

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**”DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA  
HIBRIDA DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES DE  
ACUARIO, QUE OPERE CON ENERGÍA SOLAR Y  
ELÉCTRICA.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**ERNESTO EMILIO CERÓN AGUIRRE**

inemilio@hotmail.com

**OMAR ISRAEL GUERRERO CUEVA**

omarisrael\_24@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. MARIO GERMÁN GRANJA RAMÍREZ.**

[mario.granja@epn.edu.ec](mailto:mario.granja@epn.edu.ec)

**CODIRECTOR: ING. ANGEL EDALBERTO PORTILLA AGUILAR MSC.**

[angel.portilla@epn.edu.ec](mailto:angel.portilla@epn.edu.ec)

**Quito, abril 2015**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Ernesto Emilio Cerón Aguirre y Omar Israel Guerrero Cueva, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Ernesto Emilio Cerón A.**

---

**Omar Israel Guerrero C.**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por: Ernesto Emilio Cerón Aguirre y Omar Israel Guerrero Cueva.

---

**Ing. Mario Granja.**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Ángel Portilla.**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre y mejor amiga Mónica por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional en cada paso que doy.

A mi padre Marco por enseñarme a luchar y a trabajar duro para alcanzar mis metas sin importar las adversidades que se presenten en la vida, enseñanzas que fueron importantes para la culminación de este proyecto.

A mi hermano Marcos que fue pilar indispensable en mi vida universitaria y por ser un gran ejemplo para mi vida.

A mi gran amigo y compañero de tesis Emilio, gracias por tu apoyo y por ser un excelente equipo de trabajo.

A los Ingenieros Ángel Portilla y Mario Granja, por su paciencia y tiempo que hicieron que este proyecto salga adelante.

A mis amigos por compartir conmigo una etapa importante de mi vida, gracias por todas las experiencias que se han vivido con ustedes tanto dentro como fuera de las aulas de nuestra querida universidad.

*Omar*

Agradezco a Dios por la fortaleza.

A mis familiares, por estar junto a mí recordándome lo mucho que significo para ellos.

A mis tíos, Segundo, Luz María, Isabel y Pedro, por su incondicional aprecio y apoyo.

A Valeria Díaz por animarme con paciencia y cariño en los malos instantes de mi vida.

A Margareth, Dayana, Vanessa, Alejandro, José, Marcelo, Byron por ser buenos amigos y estar conmigo en las peores circunstancias y en especial a Stephanie Gallegos por ser parte clave en la culminación de este proyecto.

A Daniel, Andrea, Alejandro, Carlita y a mis amigos de mi vida universitaria por ser una excelente compañía durante muchos años.

A Guido López quien ha sido un pilar importante en mi educación y formación.



A Omar Guerrero, quien es mi compañero de tesis y amigo de varios años, un profundo agradecimiento, más allá de lo que podría expresar con palabras.

Al Ingeniero Ángel Portilla por su dedicación, apego e infinita paciencia para que este proyecto tenga forma.

A los Ingenieros Luis Gabriel Henríquez y Guido Vayas por darme la oportunidad de crecer como profesional.

...sin su ayuda esto hubiera sido difícil de lograr.

*Emilio*

## DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Mónica y Marco por todas sus enseñanzas y valores impartidos, que me han ayudado a ser mejor persona cada día.

A mi hermano Marcos por ser mi amigo infaltable y por estar siempre a mi lado en los momentos que más lo necesito.

A mi sobrina Juliana por llenar de felicidad a nuestra familia.

*Omar*

A mis padres, Cecilia y Ernesto, por su apoyo incondicional en todo momento y por haberme enseñado a depender por completo de Dios.

A mis hermanos, Carina y Paúl, quienes siempre me han brindado su cariño y orientación.

A mis sobrinas, Ana Victoria y Paula Emilia, por alegrar más mi vida.

*Emilio*

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO .....	vii
CONTENIDO DE TABLAS .....	xvi
CONTENIDO DE FIGURAS .....	xix
CONTENIDO DE GRÁFICAS.....	xxiii
CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS .....	xxiv
CONTENIDO DE ANEXOS .....	xxv
RESUMEN .....	xxvii
PRESENTACION .....	xxviii
CAPITULO 1. GENERALIDADES .....	1
1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	1
1.2. ANÁLISIS DEL PRODUCTO A SECAR.....	2
1.2.1. CALIDAD DEL PRODUCTO .....	2
1.2.1.1. Humedad del producto.....	3
1.2.1.2. Espesor.....	3
1.2.1.3. Lípidos.....	3
1.2.1.4. Proteínas y Aminoácidos.....	3
1.2.1.5. Fibra.....	4
1.2.1.6. Vitaminas.....	4
1.2.1.7. Minerales .....	4
1.2.2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR.....	5
1.2.3. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.....	6

1.3.	SITUACIÓN ACTUAL DEL PRODUCTO .....	7
1.4.	CUIDADOS Y RECOMENDACIONES DE USO .....	8
CAPITULO 2. SECADO DE ALIMENTOS .....		10
2.1.	SECADO DE SÓLIDOS .....	10
2.1.1.	DEFINICIÓN .....	10
2.1.2.	VENTAJAS DEL SECADO .....	10
2.1.3.	DESVENTAJAS DEL SECADO .....	11
2.2.	CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN LA TEORÍA DEL SECADO DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES .....	11
2.2.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL PRODUCTO .....	11
2.2.1.1.	Humedad en base seca .....	11
2.2.1.2.	Humedad en base húmeda .....	12
2.2.1.3.	Humedad libre .....	12
2.2.1.4.	Humedad crítica .....	13
2.2.2.	TEMPERATURA DE BULBO SECO .....	13
2.2.3.	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO .....	13
2.2.4.	TEMPERATURA DE SATURACION .....	14
2.2.5.	TEMPERATURA SUPERFICIAL .....	14
2.2.6.	HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE .....	14
2.2.7.	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE .....	14
2.2.8.	AGUA LIBRE .....	15
2.2.9.	AGUA LIGADA .....	15
2.3.	COMPORTAMIENTO GENERAL DEL SECADO .....	15
2.3.1.	PROCESOS PSICROMETRICOS .....	15
2.3.1.1.	Descripción de las cartas Psicrométricas .....	16
2.3.1.2.	Descripción del proceso psicrométrico dentro del secado .....	17
2.3.1.2.1.	Calentamiento del aire .....	17
2.3.1.2.2.	Humidificación del aire .....	18
2.3.2.	CURVAS DE SECADO .....	19
2.3.3.	TEMPERATURA DE SECADO .....	20
2.3.4.	VELOCIDAD DE SECADO .....	20
2.3.5.	TIEMPO DE SECADO .....	21

2.3.5.1.	Tiempo en el periodo anticrítico o de velocidad de secado constante.....	22
2.3.5.2.	Tiempo en el periodo pos crítico o de velocidad de caída.....	22
2.3.6.	CANTIDAD DE PRODUCTO SECO.....	23
2.3.7.	MASA DE SÓLIDO SECO POR HORA.....	23
2.3.8.	PESO FINAL DEL PRODUCTO.....	24
2.3.9.	BALANCE DE MATERIA.....	24
2.3.10.	CANTIDAD DE AGUA A RETIRAR DEL PRODUCTO.....	26
2.3.10.1.	Entalpia de la mezcla AIRE - VAPOR.....	26
2.3.10.2.	Entalpia del sólido.....	28
2.3.11.	BALANCE DE ENERGÍA.....	28
2.4.	SECADO SOLAR.....	30
2.4.1.	VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL SECADO SOLAR.....	30
2.4.2.	MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR.....	31
2.4.2.1.	Método directo.....	31
2.4.2.2.	Método Indirecto.....	31
2.4.3.	CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN EL SECADO SOLAR.....	32
2.4.3.1.	Transferencia de calor por radiación.....	32
2.4.3.2.	Radiación solar.....	32
2.4.3.2.1.	Tipos de Radiación solar.....	33
2.4.3.3.	RADIACION EN DIFERENTES MEDIOS.....	33
2.4.3.3.1.	Radiación solar diaria incidente en una superficie plana.....	33
2.4.3.3.2.	Radiación en medios semitransparentes (COLECTORES).....	34
2.4.3.4.	Análisis de Radiación en el Ecuador.....	34
2.4.3.5.	Condiciones climatológicas en el Ecuador.....	35
2.4.3.5.1.	Radiación promedio.....	35
2.4.3.5.2.	Radiación directa promedio.....	36
2.4.3.5.3.	Radiación global promedio.....	37
CAPITULO 3. SECADORES DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES.....		39
3.1.	SECADORES POR CONVECCION.....	39
3.1.1.	SECADORES DE HORNO O ESTUFA.....	39
3.1.2.	SECADORES DE BANDEJAS O DE ARMARIO.....	40

3.1.3.	SECADORES DE TUNEL .....	41
3.1.4.	SECADORES DE CINTA TRANSPORTADORA .....	41
3.1.5.	SECADORES DE TORRE O DE BANDEJAS GIRATORIAS .....	42
3.2.	SECADORES SOLARES .....	43
3.2.1.	SECADORES SOLARES DIRECTOS .....	43
3.2.2.	SECADORES SOLARES INDIRECTOS .....	44
3.2.2.1.	Colector solar indirecto - plano. ....	44
3.2.2.1.1.	Partes del colector solar plano. ....	45
3.2.3.	SECADORES SOLARES MIXTOS .....	46
CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR .....		47
4.1.	ANÁLISIS DEL SECADOR DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES DE ACUARIO .....	47
4.2.	PARAMETROS NECESARIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR.....	49
4.2.1.	DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO .....	49
4.2.2.	CÁLCULO DE LAS CURVAS DE SECADO Y DE VELOCIDAD PARA LA COLADA DE ALIMENTO PARA PECES DE ACUARIO .....	50
4.2.3.	ESTUDIO PSICROMÉTRICO DEL LUGAR .....	51
4.2.3.1.	Análisis de la carta psicrométrica a 2800 msnm .....	52
4.2.4.	DISEÑO DE LA CAMARA DE SECADO .....	52
4.2.4.1.	Humedad inicial y final del producto. ....	55
4.2.4.1.1.	Humedad inicial del producto. ....	55
4.2.4.1.2.	Humedad al terminar el secado. ....	55
4.2.4.2.	Cantidad de agua evaporada. ....	55
4.2.4.3.	Condiciones del aire. ....	55
4.2.4.3.1.	Contenido de humedad del aire a la entrada. ....	55
4.2.4.3.2.	Contenido de humedad del aire a la salida. ....	56
4.2.4.4.	Determinación del área de secado. ....	56
4.2.4.5.	Determinación del tiempo de secado .....	57
4.2.4.5.1.	Cálculo del tiempo en el periodo anticrítico. ....	57
4.2.4.5.2.	Calculo del tiempo en el periodo Pos-crítico. ....	58

4.2.4.6.	Parámetros del producto final.....	58
4.2.4.6.1.	Masa del solido seco por hora.....	58
4.2.4.6.2.	Peso del producto final.....	59
4.2.4.7.	Cantidad de aire seco.....	59
4.2.4.8.	Cantidad de agua que se tiene que quitar.....	59
4.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL AIRE.....	60
4.3.1.	CALOR ENTREGADO AL SECADOR.....	60
4.3.1.1.	Entalpia del aire a la entrada y a la salida.....	60
4.3.1.2.	Entalpia del sólido a la entrada y a la salida.....	61
4.3.2.	SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	62
4.3.2.1.	Pérdida de carga por fricción.....	62
4.3.2.1.1.	Longitud.....	63
4.3.2.1.2.	Diámetro hidráulico.....	63
4.3.2.1.3.	Velocidad de flujo.....	64
4.3.2.1.4.	Cálculo del factor de fricción.....	65
4.3.2.1.5.	Número de REYNOLDS.....	66
4.3.2.2.	Pérdida de cargas locales.....	67
4.3.2.3.	Pérdida de carga Total.....	68
4.3.2.4.	Potencia del ventilador.....	68
4.3.2.4.1.	Cantidad de energía que consume el ventilador.....	69
4.3.3.	CALCULO DEL CALENTADOR ELECTRICO.....	70
4.3.3.1.	Potencia eléctrica necesaria para el Calentador.....	70
4.3.3.2.	Descripción de las resistencias.....	70
4.3.3.3.	Dimensionamiento de la resistencia eléctrica.....	71
4.3.3.3.1.	Ley de OHM.....	71
4.3.3.3.2.	Resistencia eléctrica a la temperatura de operación.....	71
4.3.3.3.3.	Superficie radiante de las resistencias.....	72
4.3.3.3.4.	Carga específica de las resistencias.....	72
4.3.3.3.5.	Disipación de potencia en una resistencia.....	73
4.3.3.3.6.	Longitud de la resistencia.....	75
4.3.4.	DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR.....	75
4.3.4.1.	Balance energético.....	75

4.3.4.1.1.	Calor incidente.....	76
4.3.4.1.2.	Calor Útil.....	77
4.3.4.1.3.	Irradiancia.....	77
4.3.4.2.	Eficiencia del colector solar.....	78
4.3.4.2.1.	Cálculo del Coeficiente global de pérdidas de calor.....	84
4.4.	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO.....	88
4.4.1.	POTENCIA REQUERIDA.....	88
4.4.1.1.	Fuerza total sobre la banda.....	89
4.4.1.1.1.	Masa del producto contenido en la bandejas.....	89
4.4.1.1.2.	Masa de las bandejas.....	90
4.4.1.1.3.	Masa de la banda transportadora.....	91
4.4.1.2.	Velocidad lineal de la banda:.....	92
4.4.2.	POTENCIA NOMINAL.....	92
4.4.3.	TENSION DE LA CINTA TRANSPORTADORA.....	93
4.4.4.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS EJES.....	94
4.4.4.1.	Eje motriz:.....	95
4.4.4.1.1.	Diagrama del cuerpo libre del eje motriz:.....	95
4.4.4.1.2.	Cálculo de reacciones:.....	96
4.4.4.1.3.	Diagrama cortante y de momento flector en el plano crítico X-Z: ..	98
4.4.4.1.4.	Determinación del diámetro del eje usando el diseño por esfuerzos principales y normales:.....	98
4.4.4.2.	Diseño dinámico del eje (FATIGA):.....	100
4.4.4.2.1.	Límite de resistencia a la fatiga del eje.....	100
4.4.4.2.2.	Límite de resistencia a la fatiga de la probeta.....	100
4.4.4.2.3.	Factor de acabado superficial:.....	101
4.4.4.2.4.	Factor de corrección por tamaño:.....	102
4.4.4.2.5.	Factor de confiabilidad:.....	102
4.4.4.2.6.	Factor de corrección de temperatura.:.....	103
4.4.4.2.7.	Factor de contracción de esfuerzos:.....	103
4.4.4.2.8.	Factor de efectos diversos :.....	105
4.4.4.2.9.	Análisis de confiabilidad.....	105
4.4.4.1.	Eje conducido.....	107
4.4.5.	DIMENSIONAMIENTO DE LA CUÑA.....	107



4.4.5.1.	Determinación de la longitud de las cuñas.....	109
4.4.6.	SELECCIÓN DEL COJINETE DE RODAMIENTO.....	110
4.4.6.1.	Cargas combinadas radiales y de empuje.....	110
4.4.7.	CÁLCULOS PARA LA ESTRUCTURA.....	112
4.4.7.1.	Elementos de la Estructura de soporte.....	116
CAPITULO 5. CONSTRUCCION Y MONTAJE.....		119
5.1.	REQUERIMIENTOS.....	119
5.1.1.	MATERIALES A EMPLEAR.....	119
5.1.2.	MANO DE OBRA.....	120
5.1.3.	MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	120
5.1.4.	ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	121
5.1.5.	ELEMENTOS A ELABORAR.....	122
5.1.6.	ELEMENTOS ENSAMBLADOS.....	122
5.2.	PROCESO DE CONSTRUCCION.....	122
5.2.1.	PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.....	122
5.2.1.1.	Diagrama de flujo para la construcción.....	123
5.2.2.	MONTAJE.....	132
5.2.3.	Planos de taller.....	135
5.3.	PROTOCOLO DE pruebas para LA SECADORA.....	135
5.3.1.	PROCEDIMIENTO GENERAL.....	135
5.3.1.1.	Variables a Medir:.....	135
5.3.1.1.1.	Distancia y tiempo:.....	135
5.3.1.1.2.	Temperatura del Aire a la Entrada del Ducto:.....	136
5.3.1.1.3.	Temperatura del Aire en la Cámara de Secado:.....	136
5.3.1.1.4.	Temperatura del Bulbo Seco y de Bulbo Húmedo del Aire a la Entrada:.....	136
5.3.1.1.5.	Temperatura del Bulbo Seco y de Bulbo Húmedo del Aire a la Salida:.....	136
5.3.1.1.6.	Peso:.....	136
5.3.1.1.7.	Tiempo de Secado:.....	136
5.3.1.1.8.	Temperatura de la Cubierta:.....	136
5.3.1.1.9.	Temperatura de la Placa Absorbadora:.....	137

5.3.1.1.10.	Radiación Solar:.....	137
5.3.1.2.	Equipos de Medición:.....	137
5.3.1.3.	Variables a Calcular:.....	138
5.3.1.3.1.	Velocidad de la Banda Transportadora:.....	138
5.3.1.3.2.	Humedad del Aire de Entrada:.....	138
5.3.1.3.3.	Humedad del Aire a la Salida:.....	138
5.3.1.3.4.	Humedad del Producto a la Salida de la Cámara de Secado:.....	138
5.3.1.3.5.	Capacidad de la Banda:.....	139
5.3.1.3.6.	Eficiencia del Colector:.....	139
5.3.1.4.	Pruebas Visuales.....	139
5.3.1.5.	Ubicación de los Instrumentos de Medición en el Secador:.....	139
5.3.1.6.	Metodología de Cálculo y Tratamiento de Resultados.....	141
5.3.1.6.1.	Registro:.....	141
5.3.1.6.2.	Consumo Energético:.....	141
5.3.1.6.3.	Cálculo de Eficiencia:.....	144
5.3.1.6.4.	Tiempo teórico real de secado:.....	145
5.3.1.6.5.	Capacidad teórica real de la secadora:.....	145
5.3.1.6.6.	Capacidad real de la secadora:.....	145
5.3.2.	TABLA DE RESULTADOS.....	146
5.3.3.	análisis de Resultados.....	146
CAPITULO 6. COSTOS DE LA MÁQUINA.....		148
6.1.	COSTOS DIRECTOS.....	148
6.1.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	148
6.1.2.	ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	149
6.1.3.	FABRICACION Y MAQUINADO.....	149
6.1.4.	COSTO DE MONTAJE.....	150
6.1.5.	TOTAL COSTOS DIRECTOS.....	150
6.2.	COSTOS INDIRECTOS.....	151
6.2.1.	MATERIALES CONSUMIBLES.....	151
6.2.2.	COSTO DE DISEÑO.....	152
6.2.3.	COSTOS ADICIONALES.....	152
6.2.4.	TOTAL COSTOS INDIRECTOS.....	152

6.3. COSTO TOTAL DE LA secadora .....	153
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	154
7.1. CONCLUSIONES .....	154
7.2. RECOMENDACIONES.....	154
BIBLIOGRAFIA.....	156
ANEXOS.....	158
PLANOS.....	184

## CONTENIDO DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Parámetros de calidad.....	2
Tabla 1.2. Componentes principales. ....	5
Tabla 1.3. Características a considerar del material a secar. ....	7
Tabla 1.4. Características finales del producto.....	8

### CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Humedad del Producto y Temperatura de Secado. ....	49
Tabla 4.2. Parámetros psicométricos de la ciudad de Quito.....	52
Tabla 4.3. Recopilación de datos.....	52
Tabla 4.4. Proceso Iterativo.....	67
Tabla 4.5. Características técnicas del ventilador.....	69
Tabla 4.6. Resistencia eléctrica Nichrome 80. ....	70
Tabla 4.7. Propiedades materiales empleados.....	83
Tabla 4.8. Limite de resistecia a la fatiga de la probeta. ....	101
Tabla 4.9. Factor de confiabilidad.....	102
Tabla 4.10. Tamaños de cuñas. ....	108

### CAPÍTULO 5

Tabla 5.1. Materiales.....	120
Tabla 5.2. Herramientas y equipos.....	121

Tabla 5.3. Simbología.....	123
Tabla 5.4. Tiempo de demora para construcción de la estructura .....	124
Tabla 5.5. Tiempo de demora para construcción el soporte del bastidor .....	125
Tabla 5.6. Tiempo de demora para construcción del horno secador. ....	127
Tabla 5.7. Tiempo de demora para construcción del Rodillo Motriz.....	130
Tabla 5.8. Tiempo de demora para construcción del rodillo conductor. ....	132
Tabla 5.9. Tiempo de demora para el montaje de la Secadora.....	133
Tabla 5.10. Instrumentos de medición. ....	137
Tabla 5.11. Consumo sin apoyo solar. ....	142
Tabla 5.12. Consumo con apoyo solar. ....	142
Tabla 5.13: Registro de datos. ....	143
Tabla 5.14. Cálculo de variables .....	145
Tabla 5.15: Tabla de Resultados. ....	147

## **CAPÍTULO 6**

Tabla 6.1. Costo de equipos y materiales. ....	148
Tabla 6.2. Costos elementos normalizados. ....	149
Tabla 6.3. Costo de maquinado. ....	150
Tabla 6.4. Costos de montaje.....	150
Tabla 6.5. Costos Totales directos.....	151
Tabla 6.6. Costo materiales consumibles. ....	151

Tabla 6.7. Costo de diseño. ....	152
Tabla 6.8. Costo de transporte y varios. ....	152
Tabla 6.9. Total costos indirectos. ....	153
Tabla 6.10. Costo total de la secadora. ....	153

## CONTENIDO DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Alimento en hojuelas.....	1
---------------------------------------	---

### CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Humedad critica .....	13
Figura 2.2. Representación de las cartas psicométricas. ....	16
Figura 2.3. Uso de una carta psicométrica en el secado .....	17
Figura 2.4. Curvas de secado típicas. Secado convectivo, condiciones externas constantes. .....	19
Figura 2.5. Curvas típicas de secado y de velocidad de secado. ....	21
Figura 2.6. Balance de materia. ....	24
Figura 2.7. Balance de energía. ....	29
Figura 2.8. Promedio de radiación.....	35
Figura 2.9. Promedio de radiación.....	35
Figura 2.10. Histograma de frecuencias. ....	36
Figura 2.11. Promedio de radiación directa.....	36
Figura 2.12. Histograma de frecuencias. ....	37
Figura 2.13. Promedio de radiación global.....	37
Figura 2.14. Histograma de frecuencias .....	38

### CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Esquema de un secador de horno o estufa. ....	40
Figura 3.2. Secador de bandejas o armario.....	40
Figura 3.3. Secador de tunel. ....	41
Figura 3.4. Secador de cinta transportadora. ....	42
Figura 3.5. Secador de torre o de bandejas giratorias.....	42
Figura 3.6. Secador directo.....	43
Figura 3.7. Secador solar de convección. ....	44
Figura 3.8. Colector plano con aire como medio de trabajo.....	45
Figura 3.9. Secador solar mixto.....	46

### CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Secador hibrido para el secado de alimento para peces en hojuelas. ....	48
Figura 4.2. Dimensiones de las bandejas.....	56
Figura 4.3. Ducto de la cámara de secado. ....	63
Figura 4.4. Resumen Ley de Ohm.....	71
Figura 4.5. Balance energetico de un colector solar.....	76
Figura 4.6. Efecto invernadero dentro del colector. ....	79
Figura 4.7. Esquema del colector solar plano.....	80
Figura 4.8. Análisis de resistencias a la transferencia de calor. ....	81
Figura 4.9. Pérdidas globales del colector solar plano. ....	82



Figura 4.10. Diagrama de cuerpo libre.....	89
Figura 4.11. Diagrama de cuerpo libre.....	94
Figura 4.12. Elementos de los rodillo.....	95
Figura 4.13. Diagrama del rodillo .....	95
Figura 4.14. Diagrama de cuerpo libre del rodillo .....	96
Figura 4.15. Diagrama del cortante .....	98
Figura 4.16. Diagrama del momento flector.....	98
Figura 4.17. $K_a$ vs. $S_{ut}$ .....	101
Figura 4.18. Selección de $q$ . .....	104
Figura 4.19. Selección de $q_{cortante}$ . .....	104
Figura 4.20. Dimensiones y fuerzas actuantes sobre la cuña. ....	108
Figura 4.21. Esquema de la estructura base.....	112
Figura 4.22. Modelación de los elementos en SAP 2000 .....	113
Figura 4.23. Asignación de perfiles.....	113
Figura 4.24. Asignación de perfiles.....	114
Figura 4.25. Asignación de perfiles.....	114
Figura 4.26. Asignación de perfiles.....	115
Figura 4.27. Asignación de perfiles.....	115
Figura 4.28. Asignación de perfiles.....	116
Figura 4.29. Esquema de elementos existentes .....	116

Figura 4.30. Deformación de la estructura .....	117
Figura 4.31. Espectro de colores según carga en los elementos.....	117

## **CAPÍTULO 5**

Figura 5.1. Diagrama de flujo de la construcción de la estructura para la secadora .....	124
Figura 5.2. Diagrama de flujo del soporte del bastidor .....	125
Figura 5.3. Diagrama de flujo de la construcción del hotno del secador. ....	126
Figura 5.4. Diagrama de flujo de la construcción del rodillo motriz.....	129
Figura 5.5. Diagrama de flujo del rodillo conducido. ....	131
Figura 5.6. Diagrama de flujo del montaje de la secadora .....	133
Figura 5.7. Localizacion de los instrumentos de medición. ....	140
Figura 5.6. Diagrama de flujo del montaje de la secadora. ....	133

## CONTENIDO DE GRÁFICAS

### CAPÍTULO 4

Gráfico 4.1. Curva de secado a 70°C .....	50
Gráfico 4.2. Curva de velocidad a 70°C.....	51
Gráfico 4.3. Carta psicrometrica a 2800 msnsn .	53

## CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS

### CAPÍTULO 5

Fotografía 5.1. Construcción del horno secador.....	128
Fotografía 5.2. Montaje del secador.....	134
Fotografía 5.3. Montaje del secador.....	134
Fotografía 5.4. Instrumentos para medir sobre la secadora.....	140
Fotografía 5.5. Alimento seco sobre la bandeja.....	146

## CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO 1: Informe de resultados de análisis de las muestras .....	159
ANEXO 2: Datos para la construcción de las curvas de secado y velocidad a 70°C .....	160
ANEXO 3: Rugosidad absoluta para varios materiales.....	161
ANEXO 4: Propiedades físicas del aire .....	162
ANEXO 5: Coeficientes de pérdidas .....	163
ANEXO 6: Dimensiones del ventilador .....	164
ANEXO 7: Carga específica sugerida según el artefacto o elemento .....	165
ANEXO 8: Absorbidad de algunos materiales .....	166
ANEXO 9: Transitividad de algunos materiales .....	167
ANEXO 10: Propiedades térmicas y ópticas de diferentes cubiertas.....	168
ANEXO 11: Propiedades térmicas y ópticas de diferentes materiales.....	169
ANEXO 12: Coeficiente de irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras.....	170
ANEXO 13: Coeficiente de frecuencia de arranque. ....	171
ANEXO 14: Coeficiente de número de horas de funcionamiento por día .....	172
ANEXO 15: Tabla de selección para el reductor de velocidad. ....	173
ANEXO 16: Valores de k.....	175
ANEXO 17: Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas. ....	176
ANEXO 18: Factor de esfuerzo dinámico.....	177

ANEXO 19: Factor de velocidad.....	178
ANEXO 20: Dimensiones de rodamientos.....	179
ANEXO 21: Planos de Taller. ....	180
ANEXO 22: Carta psicrométrica de la ciudad de Quito.....	181
ANEXO 23: Tablas de pruebas. ....	183

## RESUMEN

La realización del presente proyecto surge de la necesidad de encontrar una solución al problema de secado de alimento en forma de hojuelas para peces, donde se busca optimizar el tiempo de secado y las condiciones actuales de producción. Para ello se diseña una máquina secadora híbrida que trabaje con energía eléctrica y solar, con la capacidad de secar 10 libras de producto. Para alcanzar los objetivos planteados se presenta el proyecto en 8 capítulos.

El capítulo uno muestra la recopilación de información acerca del producto que se quiere secar, indicando sus características y su ubicación en el mercado de nuestro país.

El capítulo dos contiene el marco teórico referente a la teoría de secado en general, parámetros a considerar, secado solar y conceptos de gran importancia para tener una idea clara de lo que es el proceso de la deshidratación de alimentos.

Dentro del capítulo tres se menciona los tipos de secadores direccionados al presente proyecto.

El capítulo cuatro contiene todos los cálculos pertinentes, tanto para el diseño energético como mecánico. En donde se dimensiona y selecciona los elementos de la máquina.

El quinto capítulo señala el proceso necesario para la construcción y montaje de la máquina.

El capítulo seis muestra el respectivo protocolo de pruebas para calibrar y comprobar el adecuado funcionamiento del secador.

El séptimo capítulo contiene el estudio económico detallado, definiendo el costo total del equipo.

Finalmente, el capítulo número ocho muestra las conclusiones y recomendaciones a considerar en el diseño y construcción del secador.

## **PRESENTACION**

En nuestro país la producción de alimento en hojuelas para peces es llevado de manera artesanal, y debido a su demanda creciente, surge la necesidad de encontrar procesos de fabricación más eficientes y productivos para cubrir el mercado.

Actualmente, se realiza el secado de las hojuelas por medio de radiación solar y a la intemperie, por lo que el proceso se ve limitado a ser ejecutado únicamente en días soleados, y además, presenta altas probabilidades de contaminación del alimento por parte de agentes ajenos al proceso como son: polvo, insectos, etc. Es por eso que el presente proyecto busca diseñar y construir un equipo que solucione todos estos inconvenientes, basándose en fundamentos teóricos y experiencias existentes.

Se plantea una máquina secadora híbrida cuya principal energía de operación sea la eléctrica apoyada con energía solar en los días despejados, además busca mejorar las condiciones de producción del alimento en forma de hojuelas en el Ecuador y que permita sustituir a productos similares importados.



# CAPITULO 1

## GENERALIDADES

En este primer capítulo se realiza una revisión de bibliografía con temas afines a este proyecto de investigación. Se presentan las propiedades del alimento de peces, y diferentes especificaciones que debe cumplir, para que sea considerado como alimento de buena calidad.

### 1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.<sup>1</sup>

El alimento en hojuelas para peces es uno de los más utilizados cuando se desea criar peces de acuario, debido a su calidad, economía y su fácil adquisición en tiendas de mascotas o de productos afines. Además, debido a su gran flotabilidad, permite que los peces se alimenten fácilmente y con comodidad, ya que debido a su textura se puede variar su tamaño y adaptarlo a la boca de los peces, véase figura 1.1.

Está elaborado con ingredientes naturales, dentro de los que destacan la harina de pescado, de camarón, de carne y de calamar, como fuentes de proteína animal; levadura de tórula\* y espirulina\*\* como fuentes de proteína microbiana y harina de soya como fuente de proteína vegetal, que lo hace un alimento apto para la crianza de peces de acuario. Además cuenta con las vitaminas y minerales esenciales para garantizar un sano y rápido desarrollo de los peces.



Figura 1.1. Alimento en hojuelas

Fuente: Acuavida. (2008). Recuperado <http://www.elcastillodelpez.com/alimentos.html>

---

<sup>1</sup>Acuario Virtual. (2008). *El mundo de la Acuarofilia. Publicación Alimento en Hojuelas*, Recuperado de: <http://www.acuavida.com/enciclopedia/peces/61-alimentacion/178-alimento-en-hojuelas>

Las hojuelas son consumidas en todo el mundo por peces de acuario de diferentes especies. En promedio un pez de acuario (5-10 cm de largo) ingiere 0,038g de hojuelas por día, es decir, consume 13,88 g de alimento por año, y sumado al gran número de peces de acuario existentes se requiere toneladas de alimento, convirtiendo a este alimento en un producto de gran demanda.

## 1.2. ANÁLISIS DEL PRODUCTO A SECAR

### 1.2.1. CALIDAD DEL PRODUCTO<sup>2</sup>

En este punto se señalan los parámetros que miden la calidad del alimento en hojuelas para peces, por lo que se describe los mismos en la tabla 1.1:

Tabla 1.1. Parámetros de calidad.

Parámetro	Descripción
Humedad	6 - 12 %
Espesor	150 a 200 $\mu$
Lípidos	6 % o menos
Proteína	mínimo 42%
Fibra	2%
Vitaminas	A
	D3
	E
	K
	B1 (tiamina)
	B2 (riboflavina)
	B3 (ácido nicotínico)
	B5 (ácido pantoténico)
	B6 (piridoxina)
	B12 (cianocobalamina)
	C
Minerales	CALCIO
	FOSFORO

Una vez descritos los criterios de calidad, se procede a describir cada uno de ellos.

---

<sup>2</sup>Acuario Virtual. (2008). *El mundo de la Acuarofilia. Publicación Alimento en Hojuelas*, Recuperado de: <http://www.acuavida.com/enciclopedia/peces/61-alimentacion/178-alimento-en-hojuelas>

#### **1.2.1.1. Humedad del producto.**

Al momento de hablar de la humedad de las hojuelas se debe considerar la menor posible, el rango recomendado de humedad se encuentra entre 6 y 12% en base húmeda. Al emplear valores elevados existe el peligro de que el alimento se dañe con facilidad.

Como es higroscópico (atrae el agua), por ello el alimento debe ser sellado y almacenado por no más de un año. Al absorber humedad, facilita un mayor desarrollo de bacterias. Mediante el cuidadoso sellado del alimento estará menos expuesto al oxígeno, retardando así la oxidación de las vitaminas.

#### **1.2.1.2. Espesor.**

El espesor adecuado que debe tener el producto final es entre 150 a 200  $\mu\text{m}$ , siendo considerando el espesor de 200  $\mu\text{m}$  muy grueso, para evitar la falta de uniformidad de los nutrientes del alimento es necesario agitar la mezcla antes de la fabricación, para así obtener un producto uniforme y bien constituido.

#### **1.2.1.3. Lípidos.**

El bajo contenido en grasa de los componentes del producto, es un factor importante al momento de definir la calidad del producto, en donde los niveles de lípidos deben ser los más bajos posibles, siendo estos valores el 3 – 6 % para peces carnívoros y un 3% para herbívoros. Caso contrario, el tener un contenido mayor puede ocasionar una degeneración lipodea del hígado y daños en los órganos sexuales del pez.

#### **1.2.1.4. Proteínas y Aminoácidos.**

Estos son los factores más importantes para el correcto crecimiento del pez, sin menospreciar los demás nutrientes que contienen las hojuelas. Es por ello que cuando el alimento sea sometido al proceso de secado estos componentes antes mencionados, deben ser controlados en función de la humedad y la temperatura para conservar las propiedades del alimento.

Las especies carnívoras deben recibir un alimento con un contenido proteico del 45% o más y las especies herbívoras requieren un alimento con un contenido menor al 30% (entre 15 y 30%).

#### **1.2.1.5. Fibra**

La fibra presente en el alimento se debe encontrar en cantidades suficientes, en donde la mínima cantidad es el 2%, la misma que estimula la actividad intestinal.

#### **1.2.1.6. Vitaminas**

Las vitaminas son parte indispensable a considerar cuando se adquiere un alimento en hojuelas, las mismas que deben estar en porciones equilibradas. Debido al escaso trabajo de investigación, no se ha llegado a determinar qué cantidad de vitaminas requiere una determinada especie de pez.

Entre las vitaminas presentes en el alimento en hojuelas para peces se encuentran:

- Vitaminas solubles en lípidos: A, D3, E, K.
- Vitaminas hidrosolubles: B1(tiamina), B2 (riboflavina), B3(ácido nicotínico), B5 (ácido pantoténico), B6 (piridoxina), B12 (cianocobalamina), C (ácido ascorbico), ácido fólico

#### **1.2.1.7. Minerales**

El calcio y el fósforo son especialmente importantes para la formación de huesos en los peces. En el alimento estas sustancias normalmente están contenidas en la harina de pescado, la cual se elabora también junto con las espinas de los pescados.

En conclusión, un balance porcentual adecuado de cada uno de los componentes que forman parte del alimento para peces en hojuelas asegura la obtención de un producto de calidad, apto para la comercialización y con altas probabilidades de lograr una buena competencia en el mercado.

Los siguientes valores de análisis son considerados los más importantes para un buen alimento de peces, véase tabla 1.2.

Tabla 1.2. Componentes principales.

<b>Especie</b>	<b>Proteína</b>	<b>Grasa</b>	<b>Fibra</b>
Carnívoro	>45%	3 - 6%	2 - 4%
Herbívoro	15 - 30%	1 - 3%	5 -10%
Limnóvoro	30 -40%	2 – 5%	2 - 6%
Omnívoro	35 – 42%	2 – 5%	3 – 8%

Fuente: Recuperado de: SARA manual, Para un Mundo Acuático Equilibrado, [en línea], [fecha de consulta: 30 Noviembre 2014]. Capítulo II. Disponible en: <http://www.elcastillodelpez.com/alimentos.html>

### 1.2.2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR<sup>3</sup>

A continuación se analizará las características del producto más relevantes a considerar para determinar las mejores condiciones de secado, véase tabla 1.3.

Propiedades Físicas: Estas propiedades describen las dimensiones y forma del producto, el estado del material (sólido o líquido) y propiedades mecánicas (como dureza o adhesividad).

- **Dimensión y forma:** Son factores determinantes al momento de calcular el tiempo de secado, puesto que, cuanto menor sea la dimensión característica del elemento menor será el tiempo necesario para secarlo. De la misma manera, las dimensiones del producto a secar van a afectar considerablemente al momento de elegir la mejor opción del equipo de secado así como sus dimensiones, puesto que el producto a secar debe manejarse con cuidado para conservar su calidad.

---

<sup>3</sup> Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV, 92.

- **Propiedades mecánicas:** Factores como la dureza del producto permitirán elegir el mecanismo de transferencia de calor. Por ejemplo si se seca un producto de un espesor muy pequeño (micras), el uso de convección forzada afectará al mismo generando daños mecánicos durante el secado. De igual forma, la adhesividad deberá tomarse en cuenta para determinar la correcta circulación del aire, así como seleccionar las características del soporte sobre el cual ira apoyado el producto.

**Propiedades Químicas y Bioquímicas:** Se debe tener mucho cuidado al estudiar estas propiedades. Conocer la composición y entender con claridad el comportamiento de los elementos constitutivos del material, permitirán analizar los cambios que sufre el producto durante el secado y/o posterior almacenamiento.

- **Contenido de agua:** El agua es el principal elemento contenido en el producto al momento del secado. Su cantidad y forma en la que se encuentra en el material es fundamental para el diseño del secador.
- **Otros componentes:** Componentes como las proteínas, se ven afectadas a las variaciones de temperatura, por lo que este aspecto será importante al momento de determinar la temperatura de secado.
- **Propiedades bioquímicas:** Están relacionadas con los aspectos relativos a la generación de sabores y aromas, deseables o indeseables en el producto. Esto es fundamental en materiales como carne o alimento de peces. Siendo esta información determinante al momento de seleccionar las condiciones de secado.

### **1.2.3. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL**

Al momento de seleccionar el equipo y los parámetros de secado, es necesario conocer las características finales deseables del producto, describiendo así las más importantes a continuación, véase tabla 1.4.

Tabla 1.3. Características a considerar del material a secar.

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR
Propiedades físicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones y forma</li> <li>• Naturaleza del material (Líquido o Sólido)</li> <li>• Propiedades mecánicas (Dureza, adhesividad)</li> </ul>
Propiedades químicas y bioquímicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición</li> <li>• Características de los elementos constitutivos del material</li> <li>• Comportamiento bioquímico del producto en función de las variables del proceso</li> </ul>

Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España ; UPV: España.95.

- Aspectos Organolépticos y nutricionales: Si se emplea una velocidad de secado excesiva se pueden generar encortamientos que en algunos casos son indeseables, dificultando la deshidratación de las capas interiores del material. De igual manera si se trabaja con una temperatura elevada, puede generar el deterioro de proteínas y vitaminas, además de la aparición de colores y sabores extraños, inutilizando así el producto secado. Por lo que se concluye, que para evitar este tipo de inconvenientes, se debe manejar tiempo de secado mínimos unidos con niveles de temperaturas mínimas, para de esta manera cuidar los resultados finales del secado.
- Características físicas: La porosidad deseable y la textura final son características definidas por el tipo de secador seleccionado.
- Conservación del producto: Está definida por la humedad que el producto presenta a las salida del secador, así como la temperatura a la que fue secada el material dentro de la cámara, ya que esto afectará el crecimiento de microorganismos deseables o indeseables.

### 1.3. SITUACIÓN ACTUAL DEL PRODUCTO

En el Ecuador el mercado de alimento en hojuelas es muy amplio, es posible encontrar en todas las tiendas de animales este tipo de producto ya sean

importados o fabricados en nuestro país. A nivel nacional existen muy pocas empresas dedicadas al desarrollo de este tipo de alimento en hojuelas, pero existe un gran número de personas que lo producen artesanalmente cubriendo un buen porcentaje del consumo local.

Afortunadamente, gracias a la gran actividad pesquera presente en nuestro país la adquisición de los productos base que forman la colada inicial son de fácil adquisición, lo que apoya al desarrollo de este proyecto.

Tabla 1.4. Características finales del producto.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL A OBTENER</b>
Aspectos Organolépticos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Color</li> <li>• Sabor</li> <li>• Aroma</li> <li>• Textura</li> </ul>
Aspectos nutricionales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor vitamínico</li> <li>• Valor biológico de las proteínas</li> </ul>
Características físicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño</li> <li>• Forma</li> <li>• Porosidad</li> <li>• Textura</li> </ul>
Conservación del producto: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro físico</li> <li>• Deterioro químico</li> <li>• Deterioro bioquímico</li> <li>• Deterioro microbiológico</li> </ul>

Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV.: 95.

#### **1.4. CUIDADOS Y RECOMENDACIONES DE USO**

Es importante considerar ciertos cuidados y recomendaciones al momento de alimentar peces con hojuelas, por lo que a continuación se nombran algunos criterios que permiten el adecuado uso y suministro del alimento, garantizando el crecimiento adecuado de los peces y de su entorno.



Se debe tener cuidado de las porciones de alimento que se da a los peces, puesto que si se los alimenta con una cantidad mayor a la que puedan comer, provocara que los restos de comida que no se consuman se descompongan aumentando los niveles de amoniaco provocando la contaminación del agua amenazando así la vida de las mascotas.

Es recomendable ofrecer a los peces una alimentación lo más variada posible para estimular así sus defensas y su sistema inmunológico. Los peces asimilan la comida de forma eficiente y la convierten parcialmente en tejido vivo para su propio organismo. Necesitan, por tanto, un alto nivel de proteínas. Lo más adecuado es utilizar una alimentación equilibrada en conserva que les proporcione los nutrientes que necesitan y, de vez en cuando, darles comida viva.

La alimentación correcta de los peces es muy importante. Siempre que sea posible se les debe suministrar a la misma hora (una vez por la mañana y otra por la noche, preferentemente) y en la misma zona del acuario, así pronto sabrán percibir que les llega la hora de la alimentación y comerán sin desperdiciar nada, aprovechando de la mejor manera el producto en hojuelas. Como todos los alimento para peces, este deberá ser administrado en cantidad tal que sus peces lo consuman en un periodo no mayor a los 5 minutos.

## **CAPITULO 2**

### **SECADO DE ALIMENTOS**

El secado de productos es un tema de gran importancia, hoy en día la industria de alimentos deshidratados es un sector muy amplio en todo el mundo, donde el tamaño de las instalaciones varía desde simples secadores hasta grandes plantas de secado. Éste proceso se lo realiza en alimentos, plantas, granos, etc.; por lo que se ha desarrollado en el transcurso del tiempo diferentes tipos de secadores, cuyas principales funciones son: evitar la descomposición del material, disminuir el volumen facilitando de esta manera el almacenamiento y el transporte, así como lograr homogeneidad en un producto resultante.

#### **2.1. SECADO DE SÓLIDOS**

##### **2.1.1. DEFINICIÓN**

El proceso de secado se lo realiza mediante el transporte paralelo de calor y masa, logrando de esta manera extraer el contenido total o parcial del agua contenida en el producto. Los mecanismos por los que el calor se transfiere para obtener la deshidratación son conducción, convección y radiación, y a su vez se puede recurrir a una combinación de los mismos según sea el caso.

##### **2.1.2. VENTAJAS DEL SECADO**

Entre las principales ventajas del proceso de secado se encuentran:

- Preservación del producto.
- Reducción de peso y volumen para facilitar empaque y transporte.
- Transformación del producto seco a materias primas adecuadas para el mezclado y formación de nuevos productos.

### 2.1.3. DESVENTAJAS DEL SECADO

El proceso de secado también puede provocar cambios indeseables en los productos a secar. La pérdida de nutrientes es un parámetro importante a considerar, ya que conlleva a cambios de sabor, color, y aroma. Otro aspecto importante es el cambio en la textura que los materiales presentan, esto se produce debido al encogimiento celular provocado por la pérdida de agua y las altas temperaturas, lo que puede limitar la capacidad de los productos secos para absorber agua durante la rehidratación. Es por eso que se debe manejar con cuidado los tiempos y temperaturas de secado, puesto que una adecuada selección de los mismos nos permitirá reducir estos efectos al mínimo.

## 2.2. CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN LA TEORÍA DEL SECADO DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES

### 2.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL PRODUCTO

El control de la humedad relativa del producto es indispensable, ya que este parámetro será el que indique cuando el alimento está seco, y apto para comercializar. El producto inicial tiene una humedad del 80,5%, luego del proceso de secado debe tener una humedad entre 6 y 12 %, si cumple esta condición, da la seguridad de que al momento de colocar en el estanque el alimento no se va a desintegrar.

#### 2.2.1.1. Humedad en base seca.

Es la cantidad de agua contenida en el sólido referida al material seco, ecuación 2.1.

$$x_s = \frac{m_a}{m_s} * 100\% \quad (2.1)$$

Donde:

$x_s$ : Contenido de humedad en base seca [%]

$m_a$ : Masa de agua contenida en el sólido [Kg].

$m_s$ : Masa de sólido totalmente seca [Kg].

Hay que mencionar que este porcentaje puede llegar a ser mayor del 100 %, en el caso de que el producto tenga más agua que la parte sólida.

### 2.2.1.2. Humedad en base húmeda.

Se define como la cantidad de agua que es contenida por el sólido en función al material húmedo, entendiéndose por este último, a la suma del sólido seco con el agua, como muestra la ecuación 2.2.

$$x_h = \frac{m_a}{m_a + m_s} * 100 \quad (2.2)$$

Donde:

$x_h$ : Contenido de humedad en base húmeda [%].

Los contenidos de humedad en base seca y húmeda se pueden relacionar de la siguiente forma como se muestra a continuación, ver ecuaciones 2.3 y 2.4.

$$X_h = \frac{X_s}{X_s + 1} \quad (2.3)$$

$$X_s = \frac{X_h}{1 - X_h} \quad (2.4)$$

### 2.2.1.3. Humedad libre.

Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire en condiciones constantes, se llama humedad libre. Es decir es la cantidad de humedad que puede ser absorbida sin problema por el aire de secado. Entonces es la diferencia entre la humedad total y la humedad de equilibrio, y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire.

#### 2.2.1.4. Humedad crítica.

Es el contenido de humedad a partir del cual la velocidad de secado comienza a disminuir o donde termina la fase de secado a velocidad constante. Este fenómeno generalmente ocurre de una manera gradual dentro de un intervalo de humedad, como se observa en la figura 2.1.

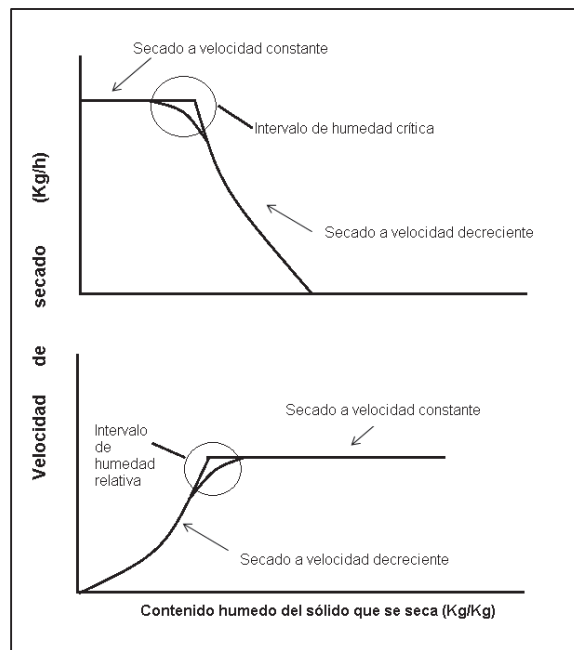


Figura 2.1. Humedad crítica.

#### 2.2.2. TEMPERATURA DE BULBO SECO

La temperatura de bulbo seco es aquella que es medida por un termómetro ordinario expuesto al aire del ambiente, el mismo que es una mezcla de aire y vapor de agua.

#### 2.2.3. TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO

Esta temperatura es medida con un termómetro que posee una mecha o tela húmeda colocada alrededor del bulbo. La evaporación del agua contenida en la tela disminuirá la lectura del termómetro, esta temperatura es conocida como de bulbo húmedo.

#### 2.2.4. TEMPERATURA DE SATURACION

Temperatura a la cual inicia la condensación, sucede cuando el aire se enfría a presión constante.

#### 2.2.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura superficial en sistemas formados por aire – agua en el secado se considera igual a la temperatura del bulbo húmedo del aire. Dicha temperatura de la superficie del producto a secar se puede medir también por medio de un sensor infrarrojo.

#### 2.2.6. HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE

También llamada humedad específica, se define como la masa de vapor de agua existente en una unidad de masa de aire seco, esta relación de humedad se la representa por la ecuación 2.5:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (2.5)$$

Donde:

$m_v$ : Masa de vapor de agua [kg]

$m_a$ : Masa de aire seco [kg].

#### 2.2.7. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

A una determinada temperatura el aire del ambiente contiene una cantidad determinada de vapor de agua, pero a estas condiciones también se puede seguir agregando vapor de agua hasta que el aire se sature. La humedad relativa es la cantidad de humedad presente en el aire respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a una misma temperatura, descrito en la ecuación 2.6.

$$hr = \frac{m_v}{m_g} \quad (2.6)$$

Donde:

$hr$ : Humedad relativa (%)

$m_v$ : Masa de vapor de agua que contiene una cantidad de aire seco [kg].

$m_g$ : Masa de vapor de agua máxima que puede contener una cantidad de aire seco [Kg].

### **2.2.8. AGUA LIBRE**

Está presente en el sólido como líquido, el mismo que ejerce presión de vapor completa, por lo que es fácilmente extraíble por medio de evaporación.

### **2.2.9. AGUA LIGADA**

Parte de la humedad contenida en el sólido se encuentra absorbida por las paredes o en el interior del mismo, por lo que no se ejerce presión de vapor y no se elimina por evaporación completamente.

## **2.3. COMPORTAMIENTO GENERAL DEL SECADO**

### **2.3.1. PROCESOS PSICROMETRICOS<sup>4</sup>**

La psicrometría según la ASHRAE, se define como la medición del contenido de humedad en el aire, involucrando sus propiedades termodinámicas, así como el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales.

---

<sup>4</sup> ASHRAE HANDBOOK. (1999). *Psicrometría*. (4ta edición) Washington DC, 164-180.

### 2.3.1.1. Descripción de las cartas Psicrométricas.

Una carta psicrométrica, es una gráfica que describe las propiedades del aire, tales como: temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. Estas cartas se emplean para determinar, como varían estas propiedades al variar la humedad del aire.

Las cartas psicrométricas son el resultado de incontables experimentos de laboratorio y de cálculos matemáticos, y son de mucha utilidad puesto que ahorra mucho tiempo y cálculos en la mayoría de casos donde no se requiere de una extremada precisión.

Las características del aire están en función de la presión atmosférica, la misma que a su vez, depende de la altura sobre el nivel del mar. Es por ello que existen diferentes cartas psicrométricas especificadas a diferentes alturas.

En la figura 2.2 se muestra los elementos de una carta psicrométrica:

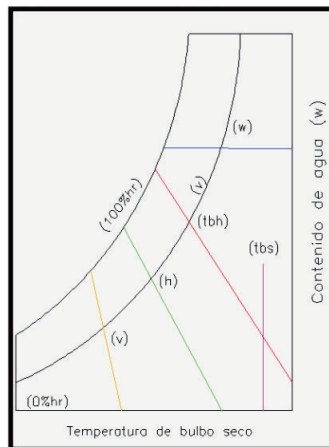


Figura 2.2. Representación de las cartas psicrométricas.

Dónde:

- Contenido de agua (w) [kg agua / Kg de aire seco]
- Volumen específico (v) [m<sup>3</sup> / Kg de aire seco]
- Entalpia específica (h) [KJ / Kg de aire seco]



- Temperatura de bulbo húmedo (tbh) [°C]
- Temperatura de bulbo seco (tbs) [°C]
- Humedad relativa (hr) [%]

### 2.3.1.2. Descripción del proceso psicrométrico dentro del secado.

#### 2.3.1.2.1. Calentamiento del aire.

En ocasiones el aire presente en la atmósfera tiene presente humedades relativas que son bastante altas, por lo que el aire posee poca capacidad de absorber vapor de agua dificultando la extracción de la humedad del producto a secar.

Las cartas psicrométricas permiten comprender con claridad el comportamiento del aire durante el secado. Como se aprecia en la figura 2.3 el proceso de calentamiento del aire se lo caracteriza como una línea horizontal de izquierda a derecha, en donde el contenido del agua se mantiene constante y a su vez la humedad relativa baja aumentando así la capacidad de absorción de agua del aire.

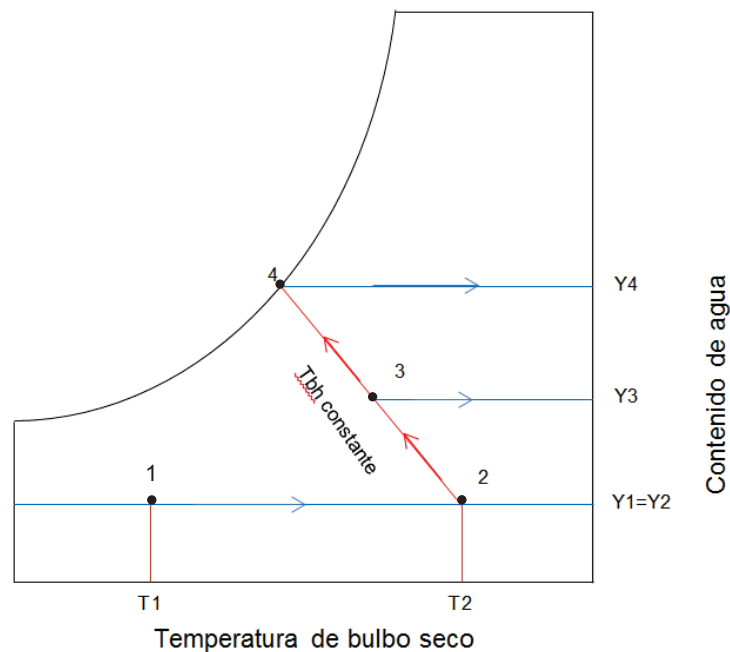


Figura 2.3. Uso de una carta psicrométrica en el secado

Se muestra el calentamiento del aire del punto 1 al 2, definiendo el balance de energía de la siguiente manera, ver ecuación 2.7.

$$h_1 + Q = h_2 \quad (2.7)$$

Expresada también, ecuación 2.8:

$$Q = h_2 - h_1 \quad (2.8)$$

Donde:

$T_1$ : Temperatura promedio del ambiente [°C].

$T_2$ : Temperatura máxima que resiste el producto a secar [°C].

$h_1$ : Entalpia a  $T_1$ [Kcal / Kg de aire seco].

$h_2$ : Entalpia a  $T_2$ [Kcal / Kg de aire seco].

$Q$  : Calor necesario para calentar el aire hasta la temperatura  $T_2$  [Kcal / Kg de aire seco].

#### 2.3.1.2.2. Humidificación del aire.

Para el caso de secado de alimentos el aire caliente pasa por el producto absorbiendo y llevándose una cantidad de agua en forma de vapor, aumentando la humedad específica del aire. Hay que tener presente que la cantidad de aire seco es siempre constante, por lo que este proceso es conocido como de saturación adiabática, que se esquematiza en la figura 2.3 en la línea Tbh constante en el tramo de 2 a 3. Por lo que a medida que el aire gana humedad, reduce consigo la temperatura de bulbo seco.

El punto 4 en la figura 2.3 muestra el punto máximo al que puede llegar el punto 3 cuando el aire llega a saturarse de agua.

### 2.3.2. CURVAS DE SECADO<sup>5</sup>

Una curva de sacado es un sistema coordinado, en cuyos ejes se muestran el contenido en humedad del material a secar frente al tiempo que transcurre desde que la operación de secado inicio. La curva se la determina mediante la obtención en serie de datos, los cuales son medidos, manteniendo constantes todas las variables y determinando periódicamente el contenido de humedad del sólido, ver figura 2.4, donde se observa una curva común obtenida para el secado de materiales húmedos, describiendo las tres zonas características:

Zona A: Periodo de Inducción.- La pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo.

Zona B: Muestra una pendiente constante.

Zona C: La pendiente disminuye con el tiempo.

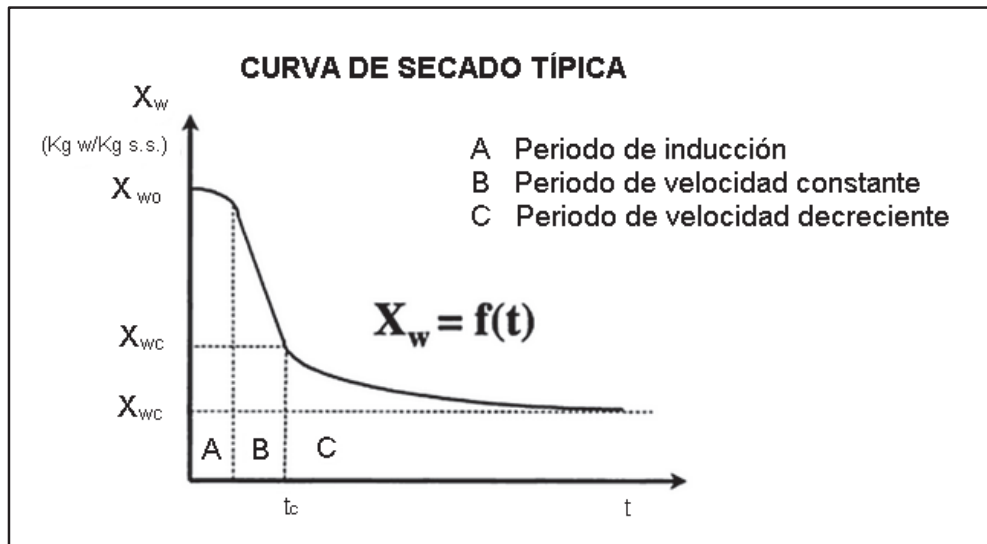


Figura 2.4. Curvas de secado típicas. Secado convectivo, condiciones externas constantes.  
 Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. pág.95.

<sup>5</sup> Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. 95.

En el caso de productos con humedades iniciales bajas el proceso de secado se desarrolla con una velocidad de secado decreciente.

### 2.3.3. TEMPERATURA DE SECADO

Al momento de determinar la temperatura de secado se debe emplear como regla general que se debe utilizar una temperatura lo más elevada posible, para que de este modo se acelere el proceso, pero se debe considerar ciertas limitaciones:

- Relacionadas con la calidad del producto (productos termolábiles).
- Relacionados con el proceso.
- Relacionadas con las cinéticas de los diferentes mecanismos.

Para establecer la temperatura óptima de secado, es muy importante considerar las características del producto a secar, ya que muchos de los componentes de los alimentos son termolábiles, en otras palabras, se ven afectados por efecto del calor. Este es uno de los principales limitantes de la temperatura máxima de secado, de manera que dicha temperatura tiene que ser tal, que esta no afecte la calidad final del producto.

### 2.3.4. VELOCIDAD DE SECADO<sup>6</sup>

Se define como la pérdida de humedad del sólido por unida de tiempo, y con más precisión por el cociente diferencial  $(-dX/dt)$  operando en condiciones constantes de secado, es decir, con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad y velocidad constantes de tiempo, ver ecuación 2.9.

$$W = \frac{P_{seco}}{A} - \frac{dX}{dt} \quad 2.9$$

---

<sup>6</sup> Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. 48.

Donde:

$W$ : Velocidad de secado [g/min]

$P_{seco}$ : Peso del sólido seco [g]

$A$ : Área de la superficie expuesta [cm<sup>2</sup>]

La pendiente de la curva de secado da como resultado la velocidad de secado, en la que se puede diferenciar tres zonas, como se muestra en la figura 2.5.

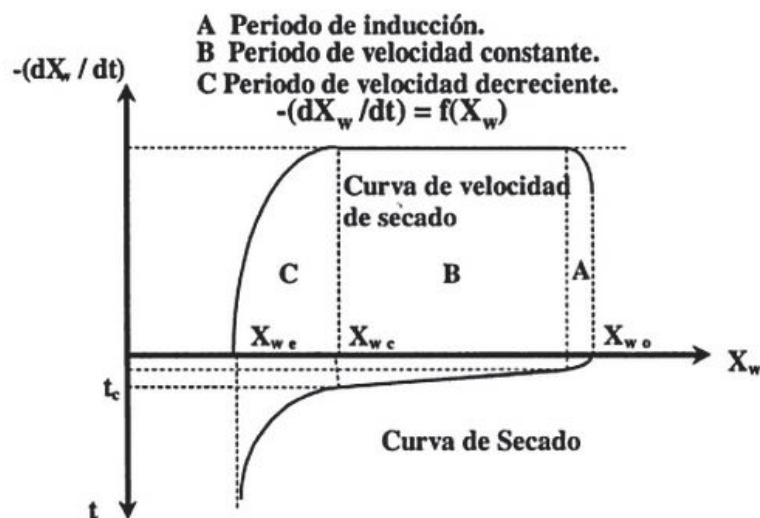


Figura 2.5. Curvas típicas de secado y de velocidad de secado.

Fuente: Fito, P. (2001); *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. 49.

### 2.3.5. TIEMPO DE SECADO<sup>7</sup>

El tiempo de secado se ve definido por el material a secar, ya que de este dependen los valores que forman la curva de secado. El tiempo debe ser determinado por separado, tanto para el periodo anti-crítico y pos-crítico. El tiempo de secado se determina por medio de la integración entre las humedades iniciales y finales de la ecuación de velocidad de secado, dando como resultado la ecuación 2.10.

<sup>7</sup>Universidad Politécnica de Catalunya. (2010). Secado de sólidos. Recuperado de: <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolidos/castella/fonaments%20funcionament.html>

$$t = \frac{P_{seco}}{A} \int_{x_f}^{x_i} \frac{dx}{W} \quad (2.10)$$

Para poder resolver esta ecuación, es necesario conocer la velocidad de secado que se encuentra en función de la humedad.

### 2.3.5.1. Tiempo en el periodo anticrítico o de velocidad de secado constante.

En este periodo de tiempo la humedad disminuye linealmente con el tiempo de secado hasta llegar al valor de humedad crítica. La integración de la ecuación 2.10 permite determinar el tiempo en el periodo de velocidad constante, ecuación 2.11.

$$t_1 = \frac{P_{seco}}{A} * \frac{X_i - X_c}{W_c} \quad (2.11)$$

Donde:

$t_1$ : Tiempo de secado del periodo anticrítico [min]

$P_{seco}$ : Peso del sólido seco [g]

$A$ : Área de la superficie expuesta [cm<sup>2</sup>]

$X_i$ : Humedad inicial [g agua/ g masa seca]

$X_c$ : Humedad crítica [g agua/ g masa seca]

$W_c$ : Velocidad de secado crítica [g/min\*cm<sup>2</sup>]

### 2.3.5.2. Tiempo en el periodo pos crítico o de velocidad de caída.

En el periodo pos-crítico la velocidad de secado disminuye hasta que se anula. Parte de la humedad crítica hasta llegar a la humedad final o también llamada humedad de equilibrio. El tiempo del periodo pos-crítico se define bajo la ecuación 2.12 considerando que la velocidad varía linealmente.

$$t_2 = \frac{P_{seco}}{A} * \frac{1}{C} * \ln \frac{X_c}{X_f} \quad (2.12)$$

Donde:

$C$ : Pendiente de la recta del periodo decreciente

$X_f$ : Humedad final [g agua/ g masa seca]

$X_c$ : Humedad crítica [g agua/ g masa seca]

La suma de los tiempos anticrítico y pos-crítico dan el tiempo necesario para realizar el secado del producto.

### 2.3.6. CANTIDAD DE PRODUCTO SECO

La cantidad de producto seco se ve definida por el porcentaje de humedad que el material posee inicialmente, ecuación 2.13.

$$P_{seco} = \text{Masa del producto al inicial} * 1 - \text{humedad inicial} \quad (2.13)$$

### 2.3.7. MASA DE SÓLIDO SECO POR HORA

Para determinar de una manera sencilla la masa de sólido seco por hora, se divide la cantidad de producto seco para el tiempo total de secado, como se muestra en la ecuación 2.14.

$$G = \frac{P_{seco}}{t_{secado}} \quad (2.14)$$

Donde:

$G$ : Masa de sólido seco por hora [Kg/hr]

$P_{seco}$ : Peso del sólido seco [Kg]

$t_{secado}$ : Tiempo de secado [hr]

**2.3.8. PESO FINAL DEL PRODUCTO**

El peso final del producto contenido en cada bandeja se encuentra en función de la humedad final del material en base húmeda, ecuación 2.15.

$$P_3 = P_{seco} + X_f * P_{seco} \tag{2.15}$$

Dónde:

$P_3$ : Peso final del producto [Kg]

$X_f$ : Humedad final [g agua/ g masa seca]

**2.3.9. BALANCE DE MATERIA<sup>8</sup>**

Realizar el balance de materia ayuda a conocer los valores de las propiedades del aire y del material a la entrada y salida del secador, así como el cambio de las mismas a lo largo del secador y la reacción del sólido en cualquier punto del secador. El balance de masa principal es el que realiza en torno al secador y que permite relacionar los valores de masa total y masa de agua contenida en el sólido y el aire a la entrada y salida del mismo, ver figura 2.6.

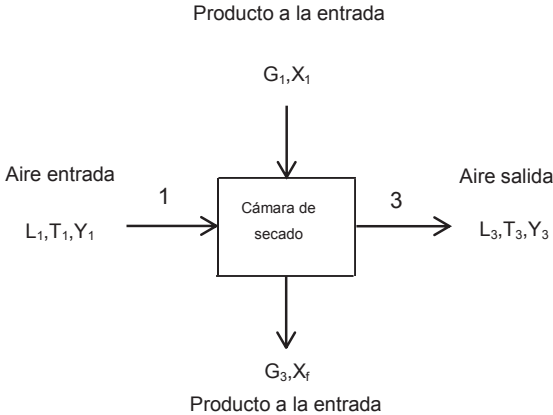


Figura 2.6. Balance de materia.

---

<sup>8</sup> Fito P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV.147.



Donde:

$L_1$ : Cantidad de aire seco a la entrada [Kg aire seco/hr]

$L_3$ : Cantidad de aire seco a la salida [Kg aire seco/hr]

$G_1$ : Masa de sólido seco por hora a la entrada [Kg/hr]

$G_3$ : Masa de sólido seco por hora a la salida [Kg/hr]

$Y_1$ : Contenido de humedad del aire a la entrada [g agua/ g aire seco]

$Y_3$ : Contenido de humedad del aire a la salida [g agua/ g aire seco]

$X_i$ : Humedad inicial [g agua/ g masa seca]

$X_f$ : Humedad final [g agua/ g masa seca]

$T_1$ : Temperatura del aire a la entrada [°C]

$T_3$ : Temperatura del aire a la salida [°C]

De lo cual:

$$L_1 = L_3 = L$$

$$G_1 = G_3 = G$$

A partir de la figura 2.6, se plantea en balance de masa el mismo que es descrito bajo la ecuación 2.16.

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$LY_1 + GX_i = LY_3 + GX_f$$

$$L Y_3 - Y_1 = G X_i - X_f \quad (2.16)$$

Desarrollando la ecuación 2.16 se logra determinar la cantidad de aire seco por hora que se necesita suministrar al sistema de secado, ecuación 2.17.

$$L = \frac{G X_i - X_f}{Y_3 - Y_1} \quad (2.17)$$

### 2.3.10. CANTIDAD DE AGUA A RETIRAR DEL PRODUCTO

La cantidad de agua a retirar es igual a la masa de agua que se evapora por medio de aire caliente, para poder determinarlo se necesita hallar la diferencia entre la humedad en base seca del producto a la entrada y salida del proceso, así como conocer la masa del producto seco y el tiempo en esta masa de material tarda en secarse hasta la humedad deseada, como lo describe la ecuación 2.18.

$$M = \frac{X_i - X_f * P_{seco}}{t_{secado}} \quad (2.18)$$

Donde:

$M$ : Cantidad de agua a retirar del producto [Kg/hr]

$t_{secado}$ : Tiempo total de secado [hr]

#### 2.3.10.1. Entalpia de la mezcla AIRE - VAPOR<sup>9</sup>

Uno de los parámetros más importantes para el cálculo de secadores es la entalpia del aire húmedo, que se define como el calor total del aire, resultado de la suma de la entalpia del aire seco más la entalpia del vapor de agua. Para poder calcularlo el primer paso es establecer sus estados estándar, por lo tanto, se define en qué estado los componentes del sistema se consideran que tienen entalpia cero, ya que la entalpía es una función de punto (es decir no

---

<sup>9</sup>Castells, X. (2012). *Sistemas de Tratamiento Térmico*. España; Díaz de Santos. 701.

importa el camino recorrido, sino los estados finales e iniciales), primero se vaporizará el agua a 0° C y luego se la calentará hasta la temperatura T.

La entalpía del aire seco de una masa de aire viene definida bajo la ecuación 2.19:

$$h_{aire\ seco} = Cp_{aire} * T - T_0 \quad (2.19)$$

Donde:

$h_{aire\ seco}$ : Entalpía del aire seco [Kcal/Kg]

$Cp_{aire}$ : Calor específico medio del aire [Kcal/Kg\*°C]

$T$ : Temperatura final de calentamiento [°C]

$T_0$ : Temperatura inicial de referencia [°C]

De manera similar la entalpía del vapor de agua a una temperatura determinada será igual a la suma del calor latente de evaporación, más el calor de calentamiento del vapor desde 0°C hasta la temperatura deseada. Por lo que se debe partir del agua líquida a 0°C, llevarla a una mezcla agua – vapor hasta llegar a la temperatura T. Entonces para una masa de vapor contenida en la unidad de masa de aire la entalpía del vapor se describe en la ecuación 2.20.

$$h_{vapor} = Y * Cp_{vapor} * T - T_0 + \lambda_0 * Y \quad (2.20)$$

Donde:

$h_{vapor}$ : Entalpía del vapor de agua [Kcal/Kg]

$Y$ : Humedad del aire [Kg agua/Kg aire seco]

$Cp_{vapor}$ : Calor específico del vapor [Kcal/Kg\*°C]

$\lambda_0$ : Calor latente de evaporación a 0°C [Kcal/Kg]

Tomando la unidad como masa de aire seco  $L = 1$ , la entalpia total del aire húmedo es entonces, ecuación 2.21.

$$h = h_{aire\ seco} + h_{vapor}$$

$$h = Cp_{aire} * T - T_0 + \lambda_0 + Cp_{vapor} * T - T_0 * Y \quad (2.21)$$

### 2.3.10.2. Entalpia del sólido.

La entalpia del material a secar se determina mediante la ecuación 2.22.

$$h_s = Cp_{sólido} * T - T_0 + X * Cp_{agua} * T - T_0 \quad (2.22)$$

Dónde:

$h_s$ : Entalpia del sólido [Kcal/Kg]

$Cp_{sólido}$ : Calor específico del sólido [Kcal/Kg\*°C]

$T$ : Temperatura del sólido [°C]

$T_0$ : Temperatura de referencia [°C]

$X$ : Humedad del producto [g agua/ g masa seca]

$Cp_{agua}$ : Calor específico del agua [Kcal/Kg\*°C]

### 2.3.11. BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía se basa en la ley de la conservación de la energía, la cual argumenta que la energía ni puede crearse ni destruirse, conocida como el primer principio de la termodinámica. Para realizar el balance de energía del secador se debe considerar las siguientes suposiciones:

- La mayor parte de energía es utilizada para evaporar el agua contenida en el sólido, por lo tanto la velocidad de secado se considera constante.
- Se considera el proceso de secado como ideal.

El balance de energía se describe en la figura 2.7.

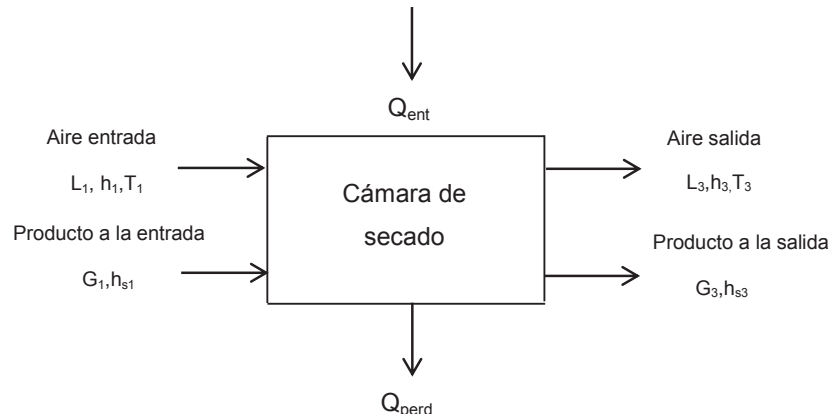


Figura 2.7. Balance de energía.

Dónde:

$Q_{ent}$ : Calor cedido al sistema [Kcal/hr]

$Q_{perd}$ : Perdida de calor por las paredes [Kcal/hr]

$h_1$ : Entalpia del aire a la entrada [Kcal/Kg]

$h_3$ : Entalpia del aire a la salida [Kcal/Kg]

$h_{s1}$ : Entalpia del sólido a la entrada [Kcal/Kg]

$h_{s3}$ : Entalpia del sólido a la salida [Kcal/Kg]

Por lo tanto, el balance de energía del secado se simplifica a un balance entálpico, ya que los efectos de energía cinética y potencial son depreciables, por lo que la expresión se define como, ecuación 2.23:

*Entra = Sale*

$$Q_{ent} + L_1 h_1 + G_1 h_{s1} = L_3 h_3 + G_3 h_{s3} + Q_{perd} \quad (2.23)$$

A partir de la ecuación 5.10 se puede llegar a determinar la cantidad de energía necesaria a suministrar al sistema, ecuación 2.24:

$$Q_{ent} = Lh_3 + Gh_{s3} + Q_{perd} - Lh_1 - Gh_{s1}$$

Desarrollando la ecuación se obtiene:

$$Q_{ent} = L * h_3 - h_1 + G * h_{s3} - h_{s1} + Q_{perd} \quad (2.24)$$

En donde  $Q_{perd}$  se considera igual al 10% del calor total entregado.

## 2.4. SECADO SOLAR

El secado solar ha sido empleado desde hace muchos años en el ámbito de la conservación de alimentos, el uso de la radiación solar para reducir el contenido de agua de un producto es considerado el procedimiento más artesanal y menos costoso de conservación de alimentos.

Por lo tanto, la aplicación del secado solar implica un proceso de investigación tanto del producto y de la zona geográfica en donde va a operar el secador. A pesar de que la energía solar es un tema ampliamente conocido, en esta sección se pretende dar una visión general de los conceptos que involucran a la misma, que serán aplicados en lo posterior para el análisis y diseño del prototipo

### 2.4.1. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL SECADO SOLAR.

Entre las ventajas del secado solar la más importante es que es gratuita, también se puede acotar que es renovable, es un recurso abundante, no contamina el medio ambiente, y no puede ser monopolizada. Al mismo tiempo, el uso de la radiación solar para procesos de secado tiene algunas dificultades como la periodicidad de la energía esto quiere decir que no hay un valor constante de energía entre días ni a lo largo del día. Se debe tener en cuenta

que la incidencia de la radiación solar es función del tiempo por ello demanda una adecuada estrategia de control.

Otro problema es que las superficies para captar energía solar deben ser grandes por la baja densidad de energía que obtenemos del sol. Por las dificultades antes mencionadas de la energía solar (uso de energía auxiliar, sistema de control, amplia área de secado) hacen que la inversión inicial sea costosa, teniendo la certeza de que este costo será compensado en el futuro.

Por la desventaja de la densidad solar, para obtener temperaturas elevadas se necesitan colectores solares centralizados o concentrados los mismos que son muy costosos, mientras que los colectores planos son baratos pero no se puede obtener temperaturas muy elevadas usualmente se obtiene temperaturas bajo los 60° C.

## **2.4.2. MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR**

### **2.4.2.1. Método directo.**

La radiación solar incide directamente por el producto a ser secado, adquiriendo así la energía de evaporación necesaria. Después, la humedad formada en los alrededores del producto es recuperada por el aire tomado del exterior.

### **2.4.2.2. Método Indirecto.**

La radiación solar es captada por un colector por donde circula cierta cantidad de aire (realiza efecto invernadero: deja entrar energía, pero no que salga), este flujo de aire se calienta e ingresa a la cámara secado en donde se encuentra el producto a ser secado. El aire caliente pasa el producto eliminando el contenido de humedad de la cámara.

El sistema colector-cámara secado puede diseñarse de diferentes formas para integrarse a diferentes equipos de secado solar.

### 2.4.3. CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN EL SECADO SOLAR

#### 2.4.3.1. Transferencia de calor por radiación.

La radiación térmica también conocida como radiación infrarroja, es la transferencia de calor por la emisión de ondas electromagnéticas desde el emisor, objeto que posee energía calórica, hasta cualquier objeto que recepte dicha energía.

A diferencia de la conducción y la convección, en transferencia de calor por radiación no es necesario que haya ningún contacto entre la fuente de calor y el objeto calentado, ni se requiere de un medio para que el calor sea transferido a través de la radiación. La radiación térmica hace que el calor pueda ser transmitido a través de un espacio vacío, un ejemplo claro de este fenómeno es que aunque no tocamos el sol, podemos sentir el calor que emite gracias a la radiación.

#### 2.4.3.2. Radiación solar.

La cantidad de sol disponible en el lugar es un parámetro fundamental para llevar un buen diseño, el término radiación solar se refiere a la potencia o a la cantidad de energía entregada por el sol. La radiación solar es la manera en la que se hace tangible la energía solar en la superficie terrestre, la misma que llega en forma de ondas electromagnéticas de diferente frecuencia a la tierra, la suma de estos componentes forma la radiación solar. La cantidad de ondas que es captado por la tierra luego de atravesar la atmósfera se la conoce como irradiación, y esta a su vez es dependiente de parámetros geográficos: inclinación del suelo, exposición y latitud; climáticos: nubosidad y partículas en suspensión, y otros como la época del año o de la hora del día en la que se realiza la medición.

Para un mayor entendimiento es necesario conocer los siguientes términos:

Irradiación: Es la energía incidente sobre una superficie por unidad de área, durante un determinado periodo de tiempo, se identifica generalmente por la letra ***H***.



Irradiancia: Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

#### *2.4.3.2.1. Tipos de Radiación solar.*

Se clasifica la radiación solar según la manera de captar la energía solar de los elementos, presentando su clasificación a continuación.

- *Radiación directa:*

Es aquella que llega hasta el objetivo que se encuentra en la superficie terrestre sin experimentar ningún cambio. En días muy soleados puede ser hasta el 90% de la radiación global, mientras que en días nublados es casi nula.

- *Radiación difusa:*

Es la consecuencia de la dispersión de los componentes atmosféricos como de las nubes, partículas de polvo, etc.

- *Radiación reflejada:*

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre y la cantidad de esta depende del albedo (coeficiente de reflexión de la superficie).

- *Radiación global:*

Es la suma de las tres radiaciones antes mencionadas.

#### **2.4.3.3. RADIACION EN DIFERENTES MEDIOS**

##### *2.4.3.3.1. Radiación solar diaria incidente en una superficie plana.*

La radiación solar total es la sumatoria de la radiación difusa y directa de la energía incidente por efecto del sol en un cuerpo determinado. El cálculo de la radiación solar se lo hace en base a los ángulos relacionados con los movimientos de traslación y rotación de la Tierra, los mismos que permiten obtener la radiación solar incidente:

- La declinación solar, provocada por el movimiento de traslación
- El ángulo horario, provocado por el movimiento de rotación.

Conocidos los valores de las componentes de la radiación incidente (difusa y directa) en una superficie plana horizontal, los cálculos de dichas componentes en un plano inclinado se facilitan utilizando métodos o modelos matemáticos como: el de Lui y Jordanó Aláis, para su determinación.

Los valores de la radiación global sobre el plano horizontal medidos por el piranómetro. El mismo que es un instrumento que se emplea para la medida de la irradiancia global sobre una superficie plana horizontal, con este instrumento se puede medir indistintamente la radiación difusa o directa dependiendo de la aplicación.

El piranómetro es el equipo que se usa habitualmente para medir la radiación solar global, su principio de funcionamiento se basa en la generación de un voltaje proporcional a la radiación solar incidente o recibida.

#### *2.4.3.3.2. Radiación en medios semitransparentes (COLECTORES)*

En los materiales semitransparentes las partículas que hacen que la energía refracte son casi nulos debido a esto la radiación incide directamente en el objetivo, usualmente se utiliza láminas de vidrio.

Una aplicación solares muy útil para este tipo de materiales son los colectores tipo placa con cubierta transparente, usando aire como medio de trabajo. El aire fluye dentro de la cámara entre el captador y la lámina traslucida.

#### **2.4.3.4. Análisis de Radiación en el Ecuador.**

A continuación se realizara un estudio global de la radiación que recibe nuestro país. El Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar al margen del Inventario de los recursos energéticos, ver figura 2.8.



Figura 2.8. Mapa del Ecuador

Fuente: [http://www.nabon.gob.ec/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=54](http://www.nabon.gob.ec/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=54)

#### 2.4.3.5. Condiciones climatológicas en el Ecuador.

Para el siguiente estudio se toman los datos del INAMHI.

El Ecuador goza de una ubicación privilegiada en la Tierra, posee un potencial solar muy favorable para el aprovechamiento energético. Los datos de radiación solar en el país son constantes en el transcurso del año.

##### 2.4.3.5.1. Radiación promedio.

En la figuras 2.9 y 2.10 se muestran el mapa del promedio de la Radiación incidente del Ecuador al año y su histograma de frecuencias, respectivamente.

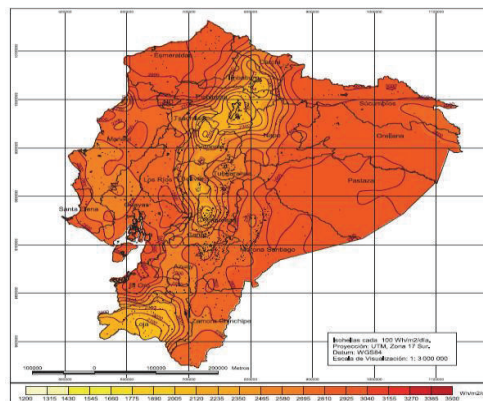
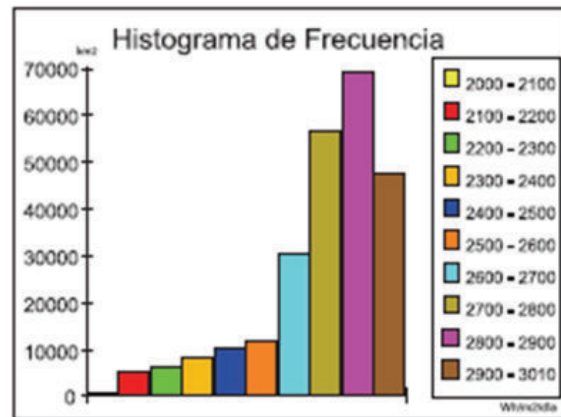


Figura 2.9. Promedio de radiación.

Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.47.



**Valor Máximo:** 3105 Wh/m2/día  
**Valor Mínimo:** 2031 Wh/m2/día  
**Valor Promedio:** 2737 Wh/m2/día  
**Desviación Estándar:** 196,8432 Wh/m2/día

Figura 2.10. Histograma de frecuencias.  
Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.47.

#### 2.4.3.5.2. Radiación directa promedio.

Las figuras 2.11 y 2.12 muestran el mapa del promedio de la Radiación directa del Ecuador al año y su histograma de frecuencias, respectivamente.

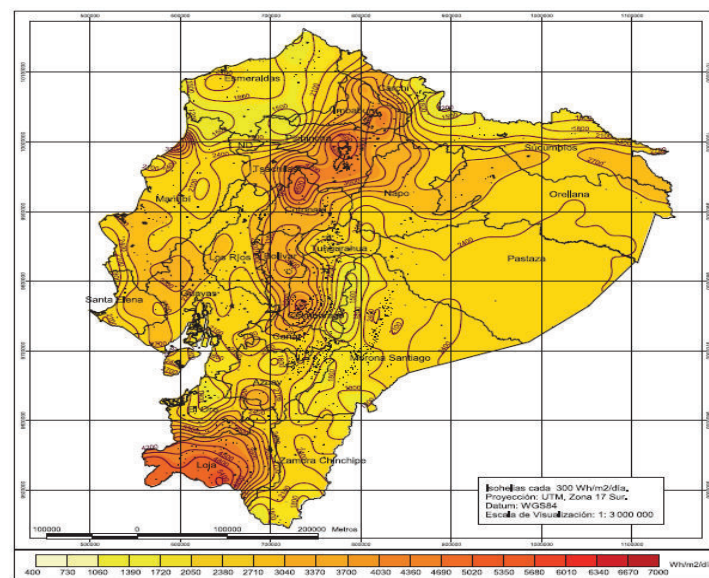
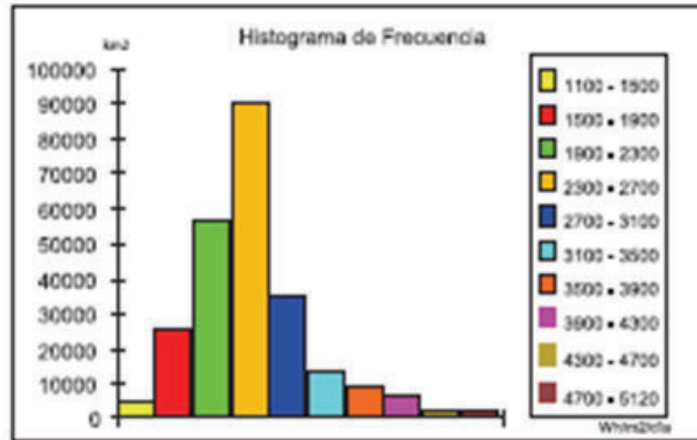


Figura 2.11. Promedio de radiación directa.  
Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.48.



**Valor Máximo: 5119 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Valor Mínimo: 1147 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Valor promedio: 2543,01 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Desviación Estándar : 643,18 Wh/m<sup>2</sup>/día**

Figura 2.12. Histograma de frecuencias.  
Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.48.

#### 2.4.3.5.3. Radiación global promedio.

Las figuras 2.13 y 2.14 muestran el mapa del promedio de la Radiación global del Ecuador al año y su histograma de frecuencias, respectivamente.

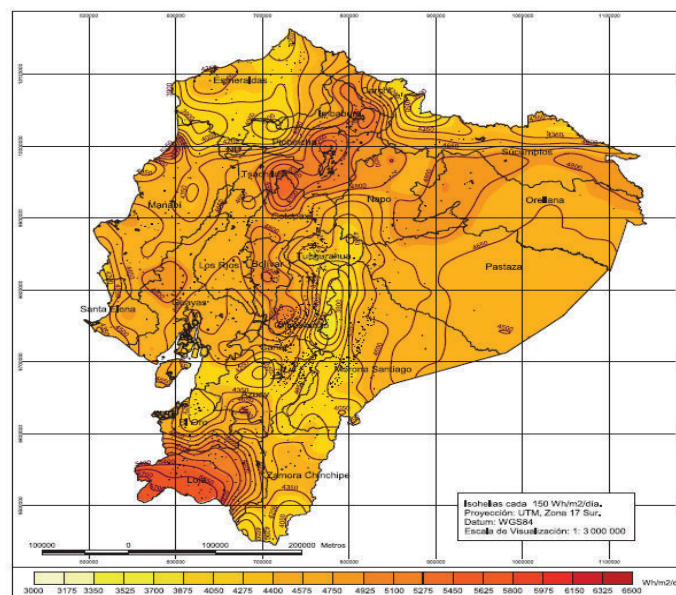
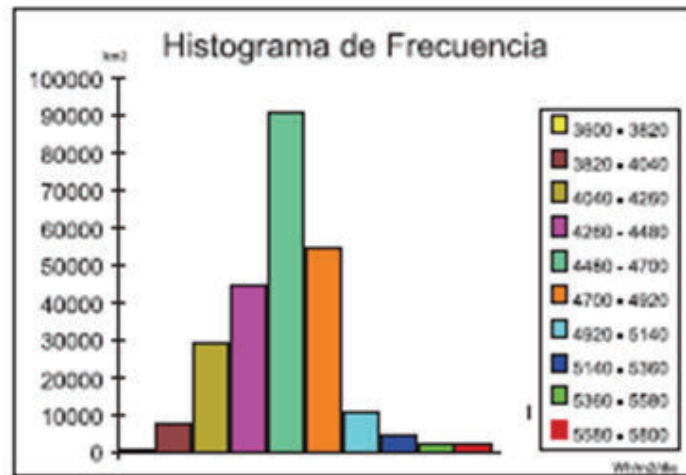


Figura 2.13. Promedio de radiación global.  
Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.49.



**Valor Máximo: 5748 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Valor Mínimo: 3634 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Valor promedio: 4574,99 Wh/m<sup>2</sup>/día**  
**Desviación Estándar : 301,40 Wh/m<sup>2</sup>/día**

Figura 2.14. Histograma de frecuencias  
 Fuente: Atlas solar del Ecuador CONELEC; pág.49.

## CAPITULO 3

### SECADORES DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES

El presente capítulo describe los tipos de secadores que se enfocan a la aplicación del secado de alimento en hojuelas para peces. Se realiza una breve descripción de cada uno de ellos con el objetivo de analizarlos y llegar a determinar la mejor opción para desarrollar este proyecto.

#### 3.1. SECADORES POR CONVECCION<sup>10</sup>

Los secadores por convección son equipos sencillos y de un manejo fácil, y en esencia está constituido por los siguientes elementos:

- Cámara de secado.
- Sistema de calefacción.
- Sistema de impulsión del aire.

##### 3.1.1. SECADORES DE HORNO O ESTUFA

Este secador es el de uso más simple dentro de este grupo, está constituido por dos áreas de secado de forma paralelepípedica de dos pisos, en donde el aire de secado se calienta en un quemador o por resistencias eléctricas. El aire caliente circula por convección natural o forzada, deshidratando el producto apoyado sobre las bandejas de secado, véase figura 3.1.

---

<sup>10</sup> Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. 95.

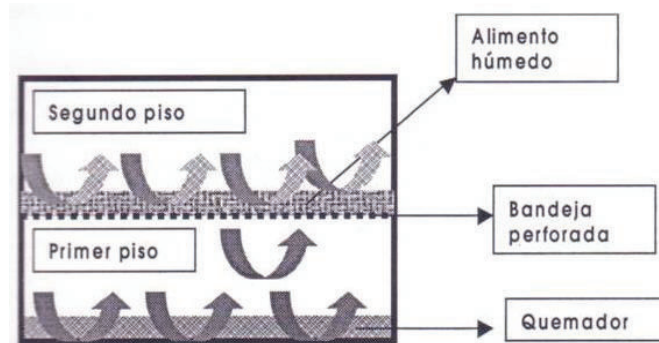


Figura 3.1. Esquema de un secador de horno o estufa.  
Fuente: FITO P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*; UPV; España. 21.

### 3.1.2. SECADORES DE BANDEJAS O DE ARMARIO

Están constituidos por una cámara metálica rectangular que tiene soportes donde son colocados los bastidores, los mismos que sirven de apoyo a bandejas poco profundas apiladas una sobre otra con cierta separación en donde es colocado el producto a secar. El aire caliente, producido por un intercambiador de calor constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula generalmente vapor de agua, agua y gases calientes, fluye entre las bandejas impulsado por un ventilador. Este tipo de secadores permite un flujo de aire horizontal o transversal según la necesidad del caso, ver figura 3.2.

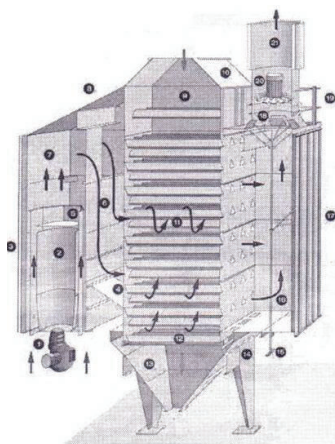


Figura 3.2. Secador de bandejas o armario.  
Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España.; UPV; 22.



### 3.1.3. SECADORES DE TUNEL

Su funcionamiento es similar a los secadores de bandejas, pero a diferencia, su funcionamiento es semi-continuo, por lo que, las bandejas con el producto a secar se cargan en carretillas o sobre una banda, las mismas que son trasladadas a lo largo del túnel de secado. Cuando se introduce una nueva bandeja sobre la banda, la primera es evacuada conteniendo el producto seco, mientras que las restantes ingresaran a continuación a la cámara de secado siguiendo con el proceso, ver figura 3.3.

Este tipo de secadores conservan la flexibilidad de los secadores de bandeja en cuanto a la gama de productos que permiten deshidratar, además de adaptarse a elevadas capacidades de producción.

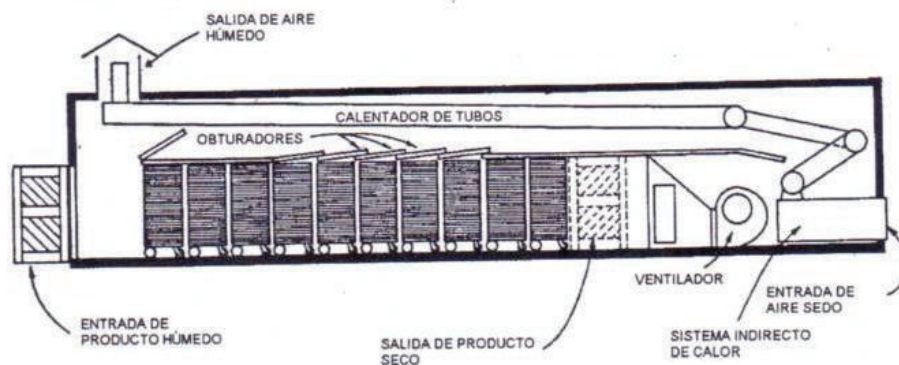


Figura 3.3. Secador de túnel.

Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. España; UPV. 23.

### 3.1.4. SECADORES DE CINTA TRANSPORTADORA

Este tipo de secadores son también conocidos como de cinta-túnel, son continuos y con circulación del aire a través del producto a secar, el mismo que es transportado por una banda que los posiciona en el túnel de secado. La banda suele ser de malla metálica entrelazada o de lámina de acero perforada, esta se desplaza a una velocidad determinada por el tiempo de secado, ver figura 3.4.

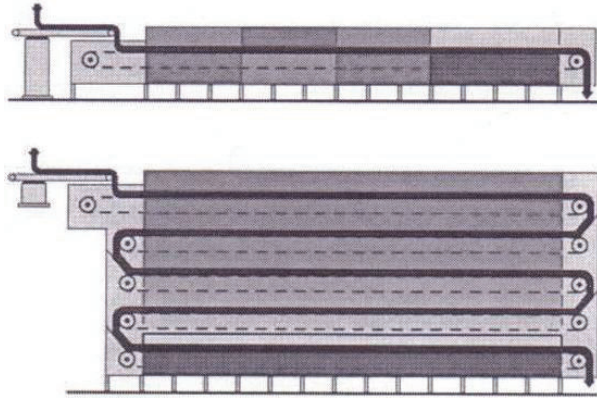


Figura 3.4. Secador de cinta transportadora.

Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. UPV; España; pág.26.

### 3.1.5. SECADORES DE TORRE O DE BANDEJAS GIRATORIAS

Este es un secador de bandejas, cuyo funcionamiento es continuo. Lo constituye una envoltura vertical, que puede ser cilíndrica o hexagonal, dentro de la cual hay una serie de bandejas segmentadas en forma de anillo montadas unas encima de otras sobre un eje que gira lentamente a razón de 0,1 a 1 rpm, véase figura 3.5.

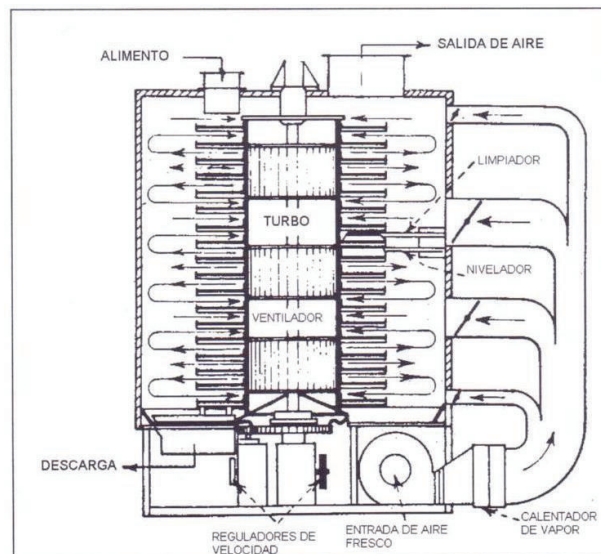


Figura 3.5. Secador de torre o de bandejas giratorias.

Fuente: Fito, P. (2001). *Introducción al Secado por Aire Caliente*. UPV; España.27.

## 3.2. SECADORES SOLARES<sup>11</sup>

Es importante realizar un análisis de los distintos tipos de secadores solares, con el objetivo de seleccionar el más adecuado para el desarrollo del secado de alimento en hojuelas para peces de acuario. Estos secadores se clasifican en función del modo de calentamiento o según la forma en que es empleado el calor derivado de la radiación solar, como se muestra a continuación:

### 3.2.1. SECADORES SOLARES DIRECTOS

En este tipo de secadores el producto a deshidratar es colocado en un receptáculo con cubierta o a su vez, paneles laterales transparentes. El calor es producido por la absorción de la radiación solar sobre el producto así como por parte de las superficies internas de la cámara secadora. Posee una cubierta de plástico estabilizado que evita la filtración de rayos ultravioletas y la disipación de los rayos infrarrojos, evitando de esta manera el daño y pérdida de propiedades nutritivas del producto, ver figura 3.6.

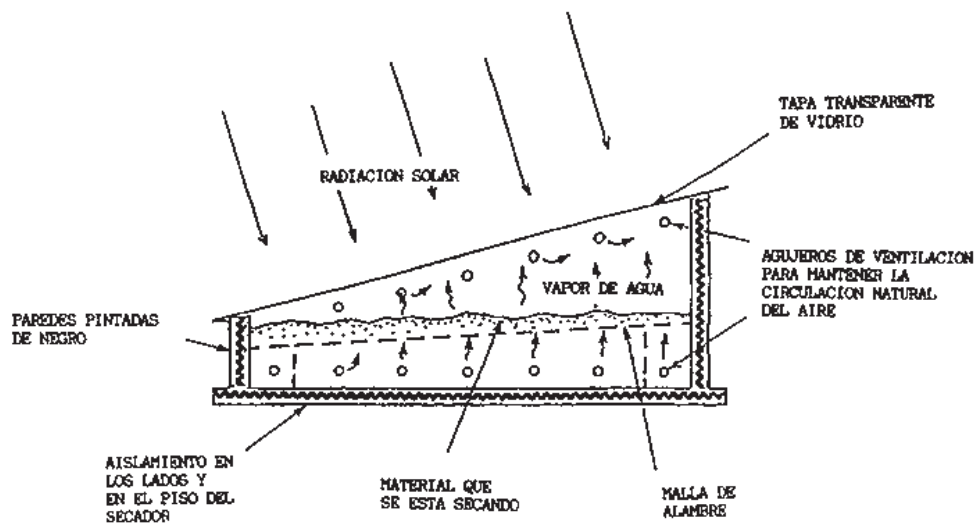


Figura 3.6. Secador directo.

Fuente: Rivasplata, C. (2003). Recuperado de: <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01040501003.pdf>

<sup>11</sup>Rivasplata, C. (2003). *Diseño y Evaluación de un secador solar para el secado industrial del tomate*. Perú; Universidad Nacional. 6.

### 3.2.2. SECADORES SOLARES INDIRECTOS

En los secadores indirectos el colector y la cámara de secado están separados, de tal manera que el aire es calentado en el colector solar y la radiación no incide directamente sobre el producto que es distribuido en la cámara de secado, la misma que no permite la entrada de la radiación solar. Básicamente, un secador indirecto es un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente de energía, ver figura 3.7.

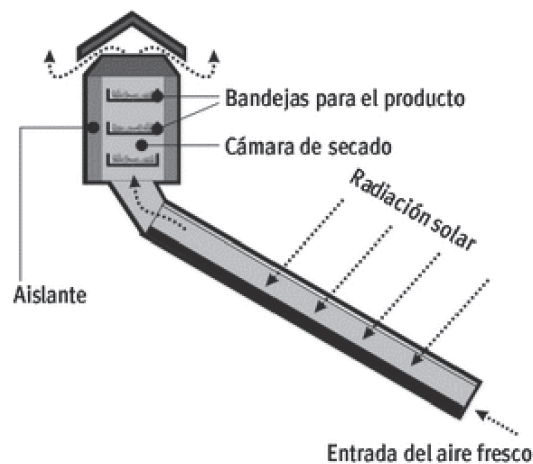


Figura 3.7. Secador solar de convección.

Fuente: Rivaspla, C. (2003). Recuperado de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia>

#### 3.2.2.1. Colector solar indirecto - plano.

El colector solar juega la parte primordial como fuente de captación de energía en el secador solar, esencialmente tiene la función de convertir y transferir la energía captada, el colector solar convierte la radiación que proviene del sol en calor, esta transformación de energía se da lugar en el absorbedor.

El absorbedor es hecho de un material de alto coeficiente de absorción de radiación solar y tiene un recubrimiento con características especiales. Por efecto de la radiación la energía interior del absorbedor aumenta y su temperatura se eleva.

La transferencia de calor entre el captador y el colector ocurre por convección, donde sólo una parte del calor que se obtiene de la radiación incidente se transforma en calor de proceso; únicamente la parte de la energía radiante que causa un incremento en la entalpía del fluido de trabajo se la considera como calor, el resto es calor perdido. Por esta razón la tasa de calor perdido en materiales transparentes como el vidrio es baja, adicionalmente se debe tener en cuenta que la reflexión de la radiación debe ser mínima para que la capacidad de absorber del colector sea la mayor. En la figura 3.8 se muestra un colector planos que emplea aire como medio de trabajo (1, cubierta; 2, captador; 3, aislante térmico).

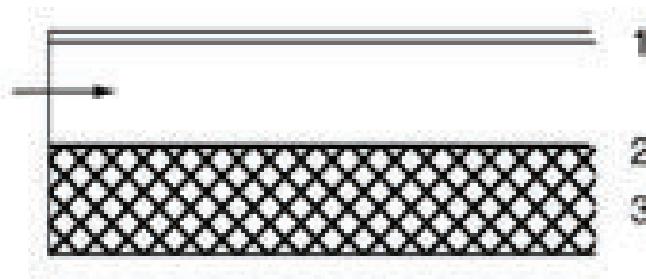


Figura 3.8. Colector plano con aire como medio de trabajo.  
Fuente: Strumillo *et al.* (2004).Handbook of Industrial Drying,

#### 3.2.2.1.1. Partes del colector solar plano.

- Cubierta: Una o más láminas de vidrio o algún material que permita la transmisión de radiación.
- Pasajes para remover el fluido calentado: Tubos, laminas o ductos que conducen o dirigen la transferencia de calor con el fluido desde adentro hacia afuera.
- Placa absorbente: Puede ser plana, corrugada o una placa ranurada, donde los tubos, láminas delgadas o pasajes están unidas. La placa absorbente esta usualmente recubierta por una capa de un material de alta absorción y de baja emisión.

- Aislamiento: Empleado para minimizar las pérdidas de calor en la parte inferior y de los lados del colector.
- Estructura: Encajonamiento que permite unir los componentes mencionados anteriormente y proteger el sistema de la suciedad, humedad u otro material.

### 3.2.3. SECADORES SOLARES MIXTOS

Este tipo de secadores permite aumentar la capacidad de remoción de agua con un mejor control del proceso, en cuanto a la velocidad del flujo de aire y temperatura. En este tipo de secadores solares el colector y la cámara de secado utilizan el mismo espacio, por ello la acción combinada de la radiación y luego se conduce a la cámara de secado para deshidratar el producto, ver figura 3.9.



Figura 3.9. Secador solar mixto.

Fuente: Biorenaces. Deshidratador mixto. Recuperado de:

[http://biorenaces.mx/tienda/index.php?route=product/product&product\\_id=63](http://biorenaces.mx/tienda/index.php?route=product/product&product_id=63)

## **CAPITULO 4**

### **PLANTEAMINETO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR**

El objetivo del presente capitulo es determinar las características y realizar los cálculos de diseño que constituyen el secador de alimento en hojuelas para peces de acuario, lo que permite desarrollar criterios para el correcto dimensionamiento y funcionamiento del equipo. Parámetros como vida útil, funcionalidad y rendimientos son considerados al momento de seleccionar los elementos de construcción.

#### **4.1. ANÁLISIS DEL SECADOR DE ALIMENTO EN HOJUELAS PARA PECES DE ACUARIO**

Una vez que se han estudiado los diferentes tipos de secadores, se procede a enfocar el diseño del presente proyecto en la mejora de las condiciones de secado manejadas actualmente y en los requerimientos planteados por el usuario.

Debido a que se plantea la construcción de un secador hibrido se requiere una máquina secadora que opere con energía eléctrica, la misma que a su vez se vea apoyada con energía solar. Con un adecuado control, en días soleados se puede llegar a disminuir el consumo eléctrico abaratando los costos del proceso de secado.

Es por eso que en el presente proyecto se combinarán las características de un secador convectivo tipo cinta – túnel con las características de un secador solar indirecto, mostrando el esquema del secador en la figura 4.1.

El dimensionamiento de la secadora de alimento en hojuelas para peces se divide en dos secciones:

Sección 1: Se busca diseñar el sistema para calentar y distribuir el aire, cuyos elementos son:

1. Ventilador.
2. Colector solar plano.
3. Resistencias eléctricas.
4. Túnel de secado.

Sección 2: Se proyecta diseñar el sistema electromecánico del secador, cuyos elementos son:

5. Cinta transportadora
6. Motor eléctrico
7. Reductor de velocidades
8. Elementos móviles
9. Estructura.

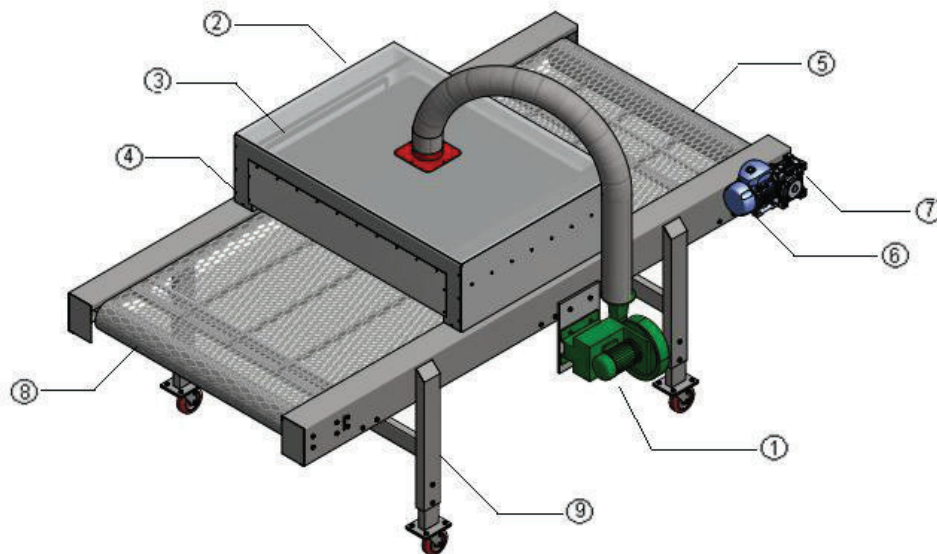


Figura 4.1. Secador híbrido para el secado de alimento para peces en hojuelas.



## **4.2. PARAMETROS NECESARIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR**

### **4.2.1. DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO**

Para determinar la humedad contenida en el producto es necesario tomar tres muestras del material, las mismas que son analizadas en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB), perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional. Se utiliza una estufa en donde se colocan las muestras con las condiciones de secado más próximas a las emplear en la maquina a construir, véase Anexo 1.

Para llegar a determinar la temperatura correcta de secado, se basa el estudio en el comportamiento de las proteínas contenidas en el material a distintas temperaturas. Las temperaturas a analizar son: 50, 60 y 70°C, debido a que si se trabaja a una temperatura menor a 50°C la muestra corre el riesgo de contaminarse con hongos, además de emplear un tiempo muy prolongado para el secado. De igual manera si se emplea una temperatura mayor a 70°C el producto pierde sus nutrientes y su aroma característico, el mismo que es necesario para que el pez lo distinga como alimento.

Examinando los resultados otorgados por el DECAB se llega a determinar que la temperatura de secado es 70°C, ver tabla 4.1. Debido a que en estas condiciones el material no presenta pérdidas significativas en las proteínas en comparación con las otras temperaturas estudiadas. Además, un secado a esta temperatura permite optimizar los tiempos de operación.

Tabla 4.1. Humedad del Producto y Temperatura de Secado.

Humedad en base húmeda	80,5 %
Temperatura de secado	70 °C

#### 4.2.2. CÁLCULO DE LAS CURVAS DE SECADO Y DE VELOCIDAD PARA LA COLADA DE ALIMENTO PARA PECES DE ACUARIO

Para la determinación de la curva de secado se recurre al uso de una estufa y de una balanza de alta precisión debido al poco espesor y peso que presenta el producto a secar. Para ello, se selecciona las condiciones más próximas a la del diseño final del secador, véase gráfico 4.1.

La obtención de datos para la construcción de la curva de secado se obtiene por medio de mediciones de pesos de las muestras en periodos de tiempo durante el proceso de secado, ver el Anexo 2.

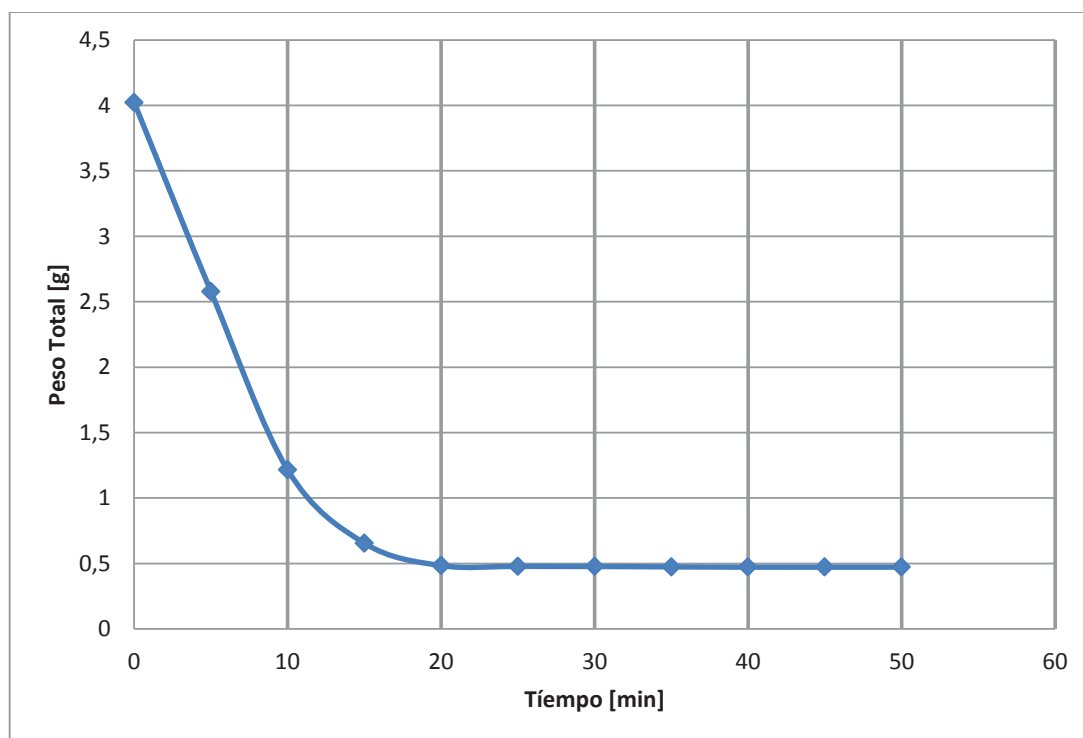


Gráfico 4.1. Curva de secado a 70°C.

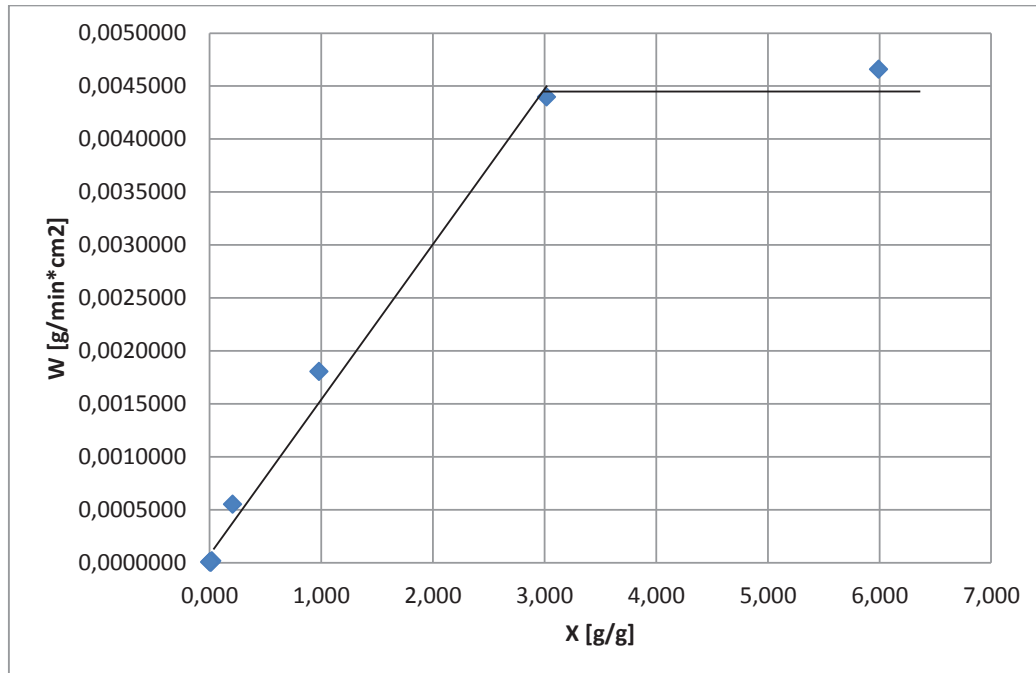


Grafico 4.2. Curva de velocidad a 70°C.

El gráfico 4.2 muestra la pérdida de humedad en el paso del tiempo del producto a secar. Con las que es posible estimar la humedad crítica del material que resulta ser igual a 3 g de agua/g de sólido seco, obteniendo así un dato importante ya que es secado se lo planea realizar hasta un contenido de humedad de 12% por razones anteriormente mencionadas.

#### 4.2.3. ESTUDIO PSICROMÉTRICO DEL LUGAR

Para iniciar con el diseño del secador es importante partir de los parámetros técnicos y ambientales del lugar en donde este se va a desarrollar, para obtener así un mejor desempeño del equipo. A continuación se muestra los datos psicrométricos de la ciudad de Quito, ver tabla 4.2:

Tabla 4.2. Parámetros psicométricos de la ciudad de Quito.

Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidades
Altura	-	2800	<i>msnm</i>
Presión del ambiente	$P_{@2800msnm}$	71,92	<i>KPa</i>
Temperatura promedio de bulbo seco	$T_{bs}$	20	°C
Temperatura promedio de bulbo húmedo	$T_{bh}$	15	°C
Humedad relativa del ambiente	$H_r$	60	%
Temperatura de secado	$T_s$	70	°C

#### 4.2.3.1. Análisis de la carta psicrométrica a 2800 msnm

Se recurre a las cartas psicométricas para obtener información adicional sobre el comportamiento del aire y su contenido de humedad, factores importantes para mejorar el secado del producto, ver gráficos 4.3 y 4.4.

#### 4.2.4. DISEÑO DE LA CAMARA DE SECADO

Previo a los cálculos energéticos de la cámara de secado se realiza una recopilación de los datos necesarios para su desarrollo, la tabla 4.3 muestra dichos valores:

Tabla 4.3. Recopilación de datos.

Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidades
Temperatura de secado	$T_s$	70	°C
Humedad del producto antes del secado	$W_1$	80.5	%
Humedad del producto después del secado	$W_3$	12	%
Temperatura de entrada del material	$T_{mat}$	25	°C
Temperatura de bulbo seco	$T_{bs1}$	20	°C
Temperatura de bulbo húmedo	$T_{bh1}$	15	°C
Densidad de ocupación del producto	$Dop$	0.065	$g/cm^2$

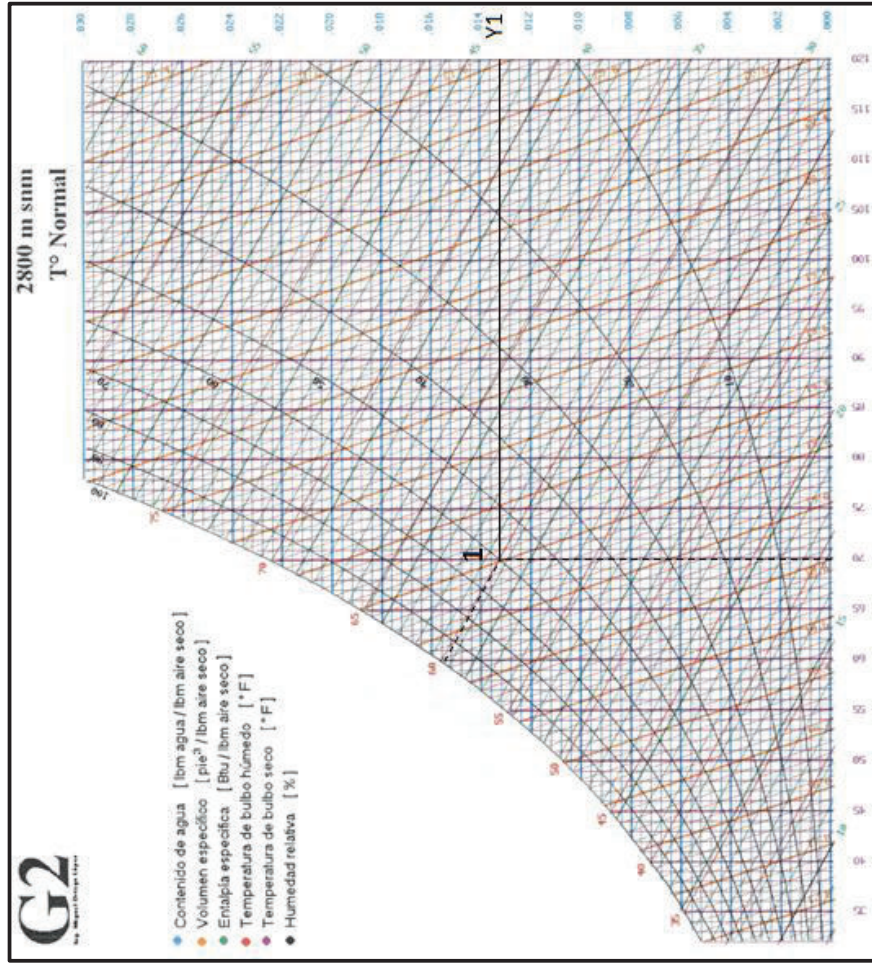


Grafico 4.3. Carta psicrométrica a 2800 msnm

Fuente: Ortega, M. *Cartas Psicrométricas*; EPN: Quito, pág. 25.

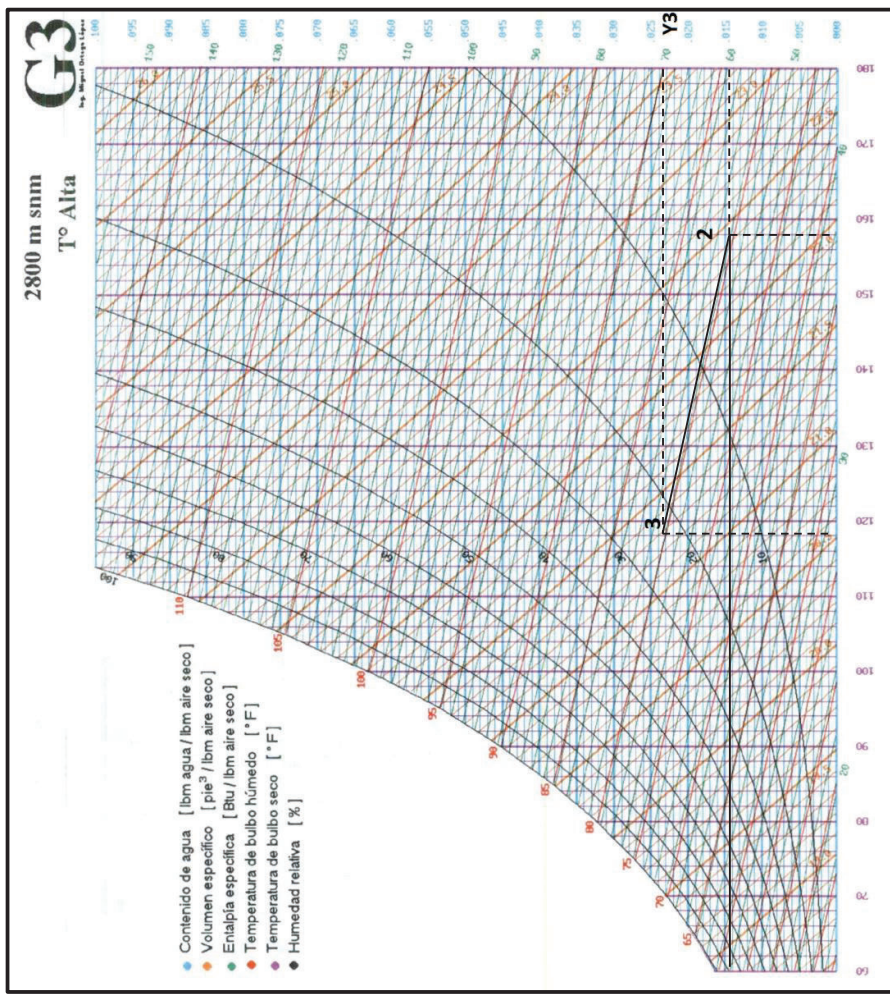


Gráfico 4.4. Carta psicrométrica a 2800 msnm (continuación).

Fuente: Ortega, M. *Cartas Psicrométricas*, EPN: Quito; pág. 26.

#### 4.2.4.1. Humedad inicial y final del producto.

##### 4.2.4.1.1. Humedad inicial del producto.

La colada de alimento posee una humedad en base húmeda de 80.5%, por lo que para posteriores cálculos de necesita transformar este valor a base seca mediante la ecuación 2.4.

$$X_i = \frac{0.805}{1 - 0.805} = 4.128 \frac{g \text{ agua}}{g \text{ masa seca}}$$

##### 4.2.4.1.2. Humedad al terminar el secado.

De la misma forma se realiza la transformación de la humedad que tiene el producto al final del proceso.

$$X_f = \frac{0.12}{1 - 0.12} = 0.136 \frac{g \text{ agua}}{g \text{ masa seca}}$$

#### 4.2.4.2. Cantidad de agua evaporada.

La cantidad de agua evaporada al final del proceso de secado se la calcula mediante la diferencia de las humedades inicial y final en base seca del material por medio de la ecuación 4.1.

$$\text{Agua evaporada} = X_i - X_f \quad (4.1)$$

$$\text{Agua evaporada} = 4.128 - 0.136 = 4 \frac{g \text{ agua}}{g \text{ masa seca}}$$

#### 4.2.4.3. Condiciones del aire.

##### 4.2.4.3.1. Contenido de humedad del aire a la entrada.

Para determinar el contenido de humedad del aire de entrada se emplea las cartas Psicrométricas, en donde se toman los valores de la temperatura de bulbo



seco y de bulbo húmedo, que para las condiciones de este proyecto son 20°C y 15°C respectivamente, ver gráfico 4.3.

$$y_1 = 0.0132 \frac{g \text{ agua}}{g \text{ aire seco}}$$

#### 4.2.4.3.2. Contenido de humedad del aire a la salida.

Se pretende diseñar el secador con un 20% de humedad relativa en condiciones de salida, además de considerar a la entalpia constante a lo largo del proceso de calentamiento del aire, ver gráfico 4.4.

$$y_3 = 0.0230 \frac{g \text{ agua}}{g \text{ aire seco}}$$

#### 4.2.4.4. Determinación del área de secado.

Para el presente proyecto se utiliza un secador por lotes, donde el producto está dispuesto sobre bandejas. Las dimensiones de las bandejas son a y b, 750 mm y 900 mm respectivamente, estas medidas son definidas por la facilidad de dispersión del alimento sobre la bandeja.

Estas medidas son el punto de partida para el dimensionamiento de los demás componentes mecánicos (Ver figura 4.2).

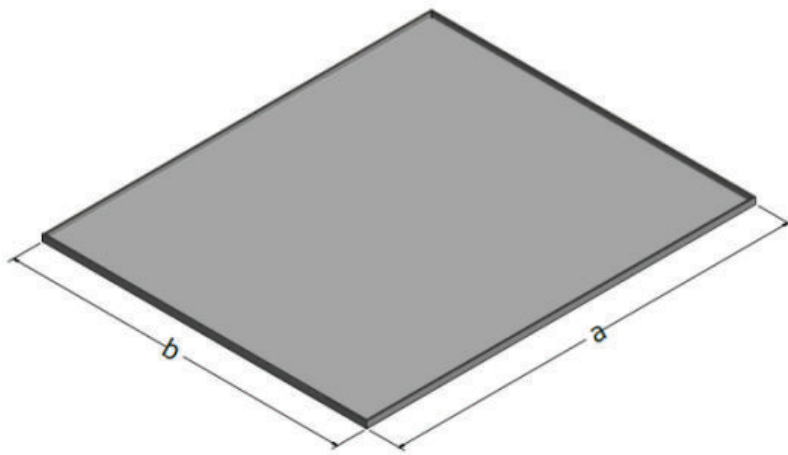


Figura 4.2. Dimensiones de las bandejas



Por lo que el área se ve definida por la ecuación 4.2.

$$A_b = a * b \quad (4.2)$$

$$A_b = 900 * 750 = 675000 \text{ mm}^2 = 6750 \text{ cm}^2$$

#### 4.2.4.5. Determinación del tiempo de secado

El tiempo de secado se determina con la ayuda de las curvas de secado y de velocidad determinadas previamente (ver gráfico 4.1 y gráfico 4.2), obtenidas con las condiciones más próximas a considerar en el diseño final del secado. Por lo que el tiempo total es el resultado de la suma de los tiempos anticrítico y pos-crítico.

##### 4.2.4.5.1. Cálculo del tiempo en el periodo anticrítico.

Para calcular el tiempo del período anti-crítico se precisa conocer la humedad crítica y la velocidad de secado del producto a secar. Ambos se obtienen de la curva de velocidad (Ver gráfico 4.2) y aplicando la ecuación 2.11 se tiene como resultado.

$$t_1 = \frac{P_{seco}}{A} * \frac{X_i - X_c}{W_c}$$

Donde:

$$P_{seco} = \text{Masa del producto inicial} * 1 - 0.805 = 438 \text{ g} * 0.195 = 85.4 \text{ g}$$

$$X_c = 3 \frac{\text{g agua}}{\text{g masa seca}} \quad (\text{Ver gráfico 4.2})$$

$$W_c = 0.0044 \frac{\text{g}}{\text{min} * \text{cm}^2} \quad (\text{Ver gráfico 4.2})$$

Remplazando los valores:

$$t_1 = \frac{85,4}{6750} * \frac{4.128 - 3}{0.0044}$$

$$t_1 = 3.4 \text{ min}$$

#### 4.2.4.5.2. Cálculo del tiempo en el periodo Pos-crítico.

El periodo de tiempo en donde la velocidad de secado disminuye hasta llegar a una humedad de equilibrio, se calcula mediante la ecuación 2.12.

$$t_2 = \frac{P_{seco}}{A} * \frac{1}{C} * \ln \frac{X_c}{X_f}$$

Dónde:

$$C = 1.4 * 10^{-3} \frac{g}{min * cm^2} \text{ (Ver gráfico 4.2)}$$

Dando como resultado:

$$t_2 = \frac{85.4}{6750} * \frac{1}{1.4 * 10^{-3}} * \ln \frac{3}{0.136}$$

$$t_2 = 27.95 \text{ min}$$

El tiempo total es igual a la suma del  $t_1$  y  $t_2$ , resultando lo siguiente:

$$t_{secado} = 31.19 \text{ min} = 0.52 \text{ hr}$$

#### 4.2.4.6. Parámetros del producto final.

##### 4.2.4.6.1. Masa del sólido seco por hora.

La masa del sólido seco por hora se determina dividiendo el peso del producto seco para el tiempo que dura el secado, ver ecuación 2.14.

$$G = \frac{P_{seco}}{t_{secado}}$$

$$G = \frac{0.0854 \text{ kg}}{0.52} = 0.164 \text{ Kg/hr}$$

#### 4.2.4.6.2. Peso del producto final.

Aplicando la ecuación 2.15, el peso final de la colada dispuesta sobre cada bandeja es:

$$P_3 = P_{seco} + X_f * P_{seco}$$

$$P_3 = 0.0854 + 0.136 * 0.0854$$

$$P_3 = 0.097 \text{ Kg}$$

#### 4.2.4.7. Cantidad de aire seco

La cantidad de aire seco por hora viene determinada por la ecuación 2.17.

$$L = \frac{G \ X_i - X_f}{Y_3 - Y_1}$$

$$L = \frac{0.164 (4.128 - 0.136)}{0.0230 - 0.0132}$$

$$L = 67 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

#### 4.2.4.8. Cantidad de agua que se tiene que quitar

El objetivo de este punto es determinar la cantidad de agua que se necesita retirar del producto para llevarlo de una humedad de 80.5% a una humedad de 12%, en función del tiempo de secado, ecuación 2.18.

$$M = \frac{X_i - X_f * P_{seco}}{t}$$

$$M = \frac{4.128 - 0.136 * 0.0854}{0.52}$$

$$M = 0.65 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

### 4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL AIRE

En esta sección se calcula la energía necesaria a suministrar al sistema para realizar el proceso de secado de alimento en hojuelas para peces, para ello se dimensiona las resistencias eléctricas, se selecciona el ventilador y se diseña el ducto de circulación de aire. Además, se realiza los cálculos pertinentes de energía solar.

#### 4.3.1. CALOR ENTREGADO AL SECADOR

Para determinar la energía necesaria para realizar es secado del alimento para peces en hojuelas se aplica la ecuación 2.24.

$$Q_{ent} = L * h_3 - h_1 + G * h_{s3} - h_{s1} + Q_{perd}$$

##### 4.3.1.1. Entalpia del aire a la entrada y a la salida.

Para determinar la entalpia del aire a la entrada y salida de la cámara de secado se aplica la ecuación 2.21.

$$h = Cp_{aire} * T + \lambda_0 + Cp_{vapor} * T * Y$$

Donde:

$$Cp_{aire}: 0.24 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Cp_{vapor}: 0.46 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_0: 597 \text{ Kcal/Kg}$$

Por lo tanto el valor de la entalpia del aire en el ingreso del secador es igual:

$$h_1 = Cp_{aire} * t_{bs1} + \lambda_0 + Cp_{vapor} * t_{bs1} * Y_1$$

$$h_1 = 0.24 * 20 + 597 + 0.46 * 20 * 0.0132$$

$$h_1 = 12.8 \text{ kcal/Kg}$$

De igual manera la entalpia del aire a la salida del secador es la siguiente:

$$h_3 = C_{p_{aire}} * t_{bs3} + \lambda_0 + C_{p_{vapor}} * t_{bs3} * Y_3$$

$$h_3 = 0.24 * 47.8 + 597 + 0.46 * 47.8 * 0.0230$$

$$h_3 = 25.7 \text{ kcal/Kg}$$

#### 4.3.1.2. Entalpia del sólido a la entrada y a la salida.

Por medio de la ecuación 2.22 se logra determinar la entalpía del sólido a secar tanto a la entrada como en la salida.

$$h_s = C_{p_{sólido}} * T - T_0 + X * C_{p_{agua}} * T - T_0$$

Donde:

$$C_{p_{sólido}}: 0.8 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{agua}}: 1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$T_0: 0^{\circ}\text{C}$$

Entalpia del sólido a la entrada:

$$h_{s1} = C_{p_{sólido}} * t_{bs1} + X_i * C_{p_{agua}} * t_{bs1}$$

$$h_{s1} = 0.8 * 20 + 4.128 * 1 * 20$$

$$h_{s1} = 98.56 \text{ Kcal/Kg}$$

Entalpia del sólido a la salida:

$$h_{s3} = C_{p_{sólido}} * t_{bs3} + X_f * C_{p_{agua}} * t_{bs3}$$

$$h_{s3} = 0.8 * 47.8 + 0.136 * 1 * 47.8$$

$$h_{s3} = 44.74 \text{ Kcal/Kg}$$

Por lo tanto la energía a suministrar al sistema será:

$$Q_{ent} = L * h_3 - h_1 + G * h_{s3} - h_{s1} + Q_{perd}$$

Se considera las pérdidas igual al 10% del calor total.<sup>12</sup>

$$Q_{entrada} = 134 \cdot 25.7 - 12.8 + 0.164 \cdot 44.74 - 98.56 + 189.62$$

$$Q_{entrada} = 1911 \text{ Kcal}_{hr}$$

### 4.3.2. SELECCIÓN DEL VENTILADOR.

#### 4.3.2.1. Pérdida de carga por fricción.

La caída de presión en ductos o tuberías se define como la pérdida de energía en el sistema. Dicha pérdida se genera por la fricción del flujo que circula a través del ducto, donde la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Este concepto se expresa bajo la ecuación de Darcy, ecuación 4.3.

$$h_l = f * \frac{L}{D_h} * \frac{V^2}{2g} \quad (4.3)$$

Donde:

$h_l$ : Pérdida de energía debido a la fricción [m H<sub>2</sub>O]

$f$ : Factor de fricción (adimensional)

$L$ : Longitud de la corriente del flujo [m]

$D_h$ : Diámetro hidráulico [m]

---

<sup>12</sup> Páez, S. (1990). *Diseño y construcción de un secador para almidón de yuca*; Quito: EPN

$V$ : Velocidad promedio del flujo [m/s]

$g$ : Gravedad [ $m^2/s$ ]

Es importante revisar los siguientes conceptos para comprender de mejor manera el cálculo de las pérdidas por fricción.

#### 4.3.2.1.1. Longitud.

La longitud del ducto se muestra en la figura 4.3.

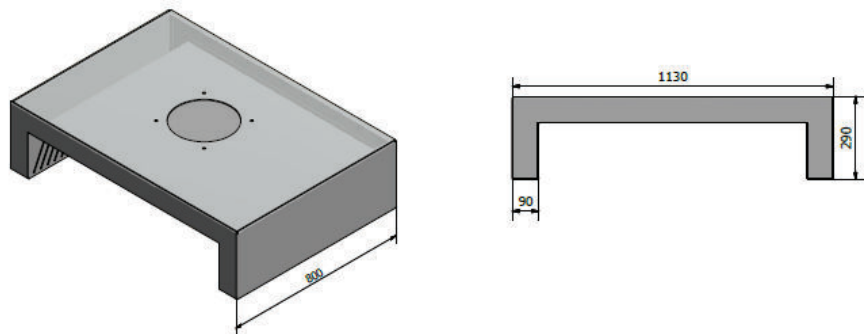


Figura 4.3. Ducto de la cámara de secado

$$L = 1710 \text{ mm} = 1.71 \text{ m}$$

#### 4.3.2.1.2. Diámetro hidráulico.<sup>13</sup>

El diámetro hidráulico se emplea cuando se manejan fluidos en ductos o tuberías que no son circulares. Este término permite analizar el comportamiento del flujo de la misma manera como si fuera una tubería de sección circular ecuación 4.4.

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (4.4)$$

---

<sup>13</sup> ASHRAE HANDBOOK. (2009). *Fundamentals*. USA: ASHRAE. 21-7.

Donde:

$D_h$ : Diámetro hidráulico [m]

$A$ : Área transversal del ducto [m<sup>2</sup>]

$P$ : Perímetro de la sección transversal [m]

Partiendo de la ecuación 4.4, se llega a determinar que el diámetro hidráulico para una sección rectangular de lados  $a$  y  $b$ , viene dado por la ecuación 4.5.

$$D_h = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad (4.5)$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$D_h = \frac{2 * 0.8 * 0.09}{0.8 + 0.09}$$

$$D_h = 0.16 \text{ m}$$

#### 4.3.2.1.3. Velocidad de flujo.

La velocidad del aire dentro de un secador tiene como funciones principales:

- Transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material, facilitando así su evaporación.
- Transportar la humedad del material.

Las características del aire y el espesor del producto a secar son parámetros importantes al momento de diseñar un secador, por lo que, en cuanto menor sea el espesor, más rápida será la remoción de humedad. El tipo de corriente de aire puede mejorar el diseño del secador, ya que si se maneja una corriente turbulenta, esta será más eficiente que una corriente laminar, puesto que un flujo turbulento afecta en mayor forma la capa límite y el aire, ecuación 4.6.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.6)$$



Donde:

V: Velocidad del aire [m/s].

Q: Flujo volumétrico del aire [m<sup>3</sup>/h]

$A_g$ : Área transversal de la tubería o ducto [m<sup>2</sup>].

Las primeras etapas de secado son cruciales al momento de realizar un buen secado, en donde la velocidad del aire desempeña un papel importante, especialmente cuando el producto contiene un alto contenido de humedad. Al proporcionar una mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor será el tiempo de secado, y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta.

La efectividad del buen secado a velocidades altas de aire, disminuyen por las siguientes razones:

- Aumento del espesor del material
- Al disminuir el contenido de humedad inicial
- Cuando menor es la temperatura de bulbo seco inicial.

Entonces:

$$V = \frac{0.03}{0.048} = 0.625 \text{ m/s}$$

#### 4.3.2.1.4. Cálculo del factor de fricción.<sup>14</sup>

Es un parámetro adimensional que se emplea para el cálculo de las pérdidas de carga en un ducto o tubería producto de la fricción del flujo con la superficie, es conocido también como coeficiente de resistencia de Darcy – Weisbach.

Para determinar el valor del factor de fricción se emplea el método de Colebrook – White, debido a que presenta valores más precisos al momento del cálculo. La

---

<sup>14</sup> Pérez, R. (2005). *Flujo Estacionario de Fluidos Incompresibles en Tuberías*. España: UPV. Pag.20.

fórmula se encuentra en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, obteniendo la ecuación 4.7.

$$\frac{1}{f} = -2 * \log \frac{\varepsilon}{3.7D_h} + \frac{2.51}{Re * f} \quad (4.7)$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción

$D_h$ : Diámetro equivalente [m]

$\varepsilon = \text{Rugosidad del acero galvanizado} = 1.5 * 10^{-4} \text{ m}$  (Ver Anexo 3)

$Re$ : Numero de Reynolds

#### 4.3.2.1.5. Número de REYNOLDS.

El número de Reynolds es un valor adimensional que permite predecir la naturaleza de un flujo, ya sea este laminar ( $Re < 2000$ ) o turbulento ( $Re > 4000$ ), relacionando las variables más relevantes que describen un flujo: velocidad, longitud de la trayectoria del flujo, densidad de fluido y viscosidad, descritas en la ecuación 4.8.

$$Re = \frac{D_h * V}{\vartheta} \quad (4.8)$$

Donde:

$V$ : Velocidad del fluido [m/s]

$\vartheta$ : Viscosidad cinemática del fluido [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] =  $2 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ver Anexo 4)

Por lo tanto:

$$Re = \frac{0.16 * 0.625}{2 * 10^{-5}}$$

$$Re = 5000$$

Se realiza un proceso de cálculo iterativo mediante una hoja electrónica, mostrando los resultados en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Proceso Iterativo.

f	$\frac{1}{f}$	$-2 \log \frac{\varepsilon}{3.7Dh} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}}$
0.01	10.0	4.6
0.02	7.1	4.8
<b>0.039</b>	<b>5.1</b>	<b>5.1</b>
0.04	5.0	5.1
0.05	4.5	5.2
0.055	4.3	5.2
0.06	4.1	5.3
0.07	3.8	5.3
0.08	3.5	5.4
0.09	3.3	5.4
0.1	3.2	5.5
0.11	3.0	5.5

Obteniendo así las cargas por caída de presión a causa de la fricción:

$$h_l = 0.039 * \frac{1.71}{0.16} * \frac{0.625^2}{2 * 9.8}$$

$$h_l = 8.3 * 10^{-3} \text{ mH}_2\text{O}$$

#### 4.3.2.2. Pérdida de cargas locales.

Además de las pérdidas de carga provocadas por la fricción en las paredes del ducto, es necesario considerar la presencia de accesorios y cambio de direcciones en el ducto o tubería. En el caso de ductos de larga longitud estas pérdidas pueden considerarse despreciables, peor en tramos pequeños como en

el caso del presente proyecto, estas pueden ser mayores que las pérdidas de fricción. Las pérdidas locales se representan bajo la ecuación 4.9.

$$hf = K_L * \frac{V^2}{2 * g} \quad (4.9)$$

Donde:

$h_f$ : Pérdida por cargas locales [m H<sub>2</sub>O]

$K_L$ : Coeficiente de pérdida [adimensional]

Donde el coeficiente de pérdidas  $K_L$  es igual a 4 debido a la presencia de un ducto en T y dos codos a 90° (Ver Anexo 5). Por lo tanto:

$$h_f = 4 * \frac{0.625^2}{2 * 9.8}$$

$$h_f = 0.08 \text{ m H}_2\text{O}$$

#### 4.3.2.3. Pérdida de carga Total.

La pérdida de carga total en el ducto es igual a la suma de las pérdidas de carga por fricción y las pérdidas de carga locales.

$$h_t = h_l + h_f$$

$$h_t = 8.3 * 10^{-3} \text{ mH}_2\text{O} + 0.08 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$h_t = 0.088 \text{ m H}_2\text{O} = 3.47 \text{ in H}_2\text{O}$$

#### 4.3.2.4. Potencia del ventilador.<sup>15</sup>

Para determinar la potencia que activa el ventilador se hace uso de la ecuación 4.10.

$$P_{vent} = \frac{Q * h_t}{6356 * n} \quad (4.10)$$

---

<sup>15</sup> Cairtec, S. (2013). Tecnología en Ventilación. Recuperado de: <http://www.airtectv.com/consumo-de-potencia-hp/>

Donde:

$P_{vent}$ : Potencia del ventilador [HP]

$Q$ : Flujo del aire [ $\text{ft}^3/\text{min}$ ]

$h_t$ : Caída de presión [ $\text{inH}_2\text{O}$ ]

$n$ : Eficiencia del ventilador

Entonces:

$$P_{vent} = \frac{Q * h_t}{6356 * n}$$

$$HP = \frac{64.43 * 3.47}{6356 * 0.75}$$

$$HP = 0.05 \quad HP = 0.04 \text{ Kw}$$

Con este dato se selecciona un ventilador centrífugo S&P modelo BS - 500 con una potencia de 0.08 Kw, cuyas características técnicas se muestra en la tabla 4.5. (Ver Anexo 6)

Tabla 4.5. Características técnicas del ventilador.

Modelo	Velocidad RPM	Potencia W	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre $\text{m}^3/\text{hr} / \text{CFM}$	Presión sonora $\text{dB(A)}^*$	Peso apróx. Kg
BS-500	1450	80	120	0.31	480 / 282	64	3
BS-700	1400	155	120	0.52	675 / 397	66	4
BS-1000	1350	220	120	0.82	961 / 565	68	7

\*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

Fuente: Lista de precios Ecuador (2014). Catálogo S&P. Pág. 72.

#### 4.3.2.4.1. Cantidad de energía que consume el ventilador.

Realizando las transformaciones adecuadas se determina el consumo de energía del ventilador por hora.

$$Q_{vent} = 0.04 \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} * \frac{0.86 \text{ Kcal}}{1 \text{ W}} \text{ hr}$$

$$Q_{ventilador} = 25.62 \text{ Kcal/hr}$$

### 4.3.3. CALCULO DEL CALENTADOR ELECTRICO

#### 4.3.3.1. Potencia eléctrica necesaria para el Calentador.

Se dimensiona al calentador para que opere con 100% de energía eléctrica con el motivo de garantizar el adecuado funcionamiento del secador en el caso de no contar con el soporte de la energía solar en días nublados, por lo tanto:

$$N = 1911 \text{ Kcal} \text{ hr} * \frac{1 \text{ W}}{0.86 \text{ Kcal}} = 2222 \text{ W}$$

#### 4.3.3.2. Descripción de las resistencias.

La resistencia eléctrica seleccionada para calentar el aire es la de Nichrome 80 cuyas características se describen en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Resistencia eléctrica Nichrome 80.

Composición Química Aproximada		Propiedades			
Ni	80%	DENSIDAD	8.31 g/cm <sup>3</sup>		
Cr	20%	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA			
		A 20 °C (microhms · cm)	108		
		A 20 °C (ohms · mil circular/pie)	650		
		TEMPERATURA DE OPERACIÓN MÁXIMA	1200 °C	2200 °F	
		PUNTO DE FUSIÓN	1400 °C	2550 °F	
		COEFICIENTE DE EXPANSIÓN	12.5 μm/m °C (20 - 100 °C)		

Factor Resistencia-Temperatura (F) A:												
20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C	1200 °C
1.00	1.006	1.015	1.028	1.045	1.065	1.068	1.057	1.051	1.052	1.062	1.071	1.080

### 4.3.3.3. Dimensionamiento de la resistencia eléctrica:

#### 4.3.3.3.1. Ley de OHM.

Este concepto fue planteado por el alemán George Simon Ohm, en donde se plantea que la intensidad de corriente es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia, figura 4.4.

La cantidad de corriente que circula por un circuito depende de su resistencia y del voltaje que se aplica. Si son conocidos dos de los tres factores que se relacionan en la ley de Ohm, es posible calcular el tercero.

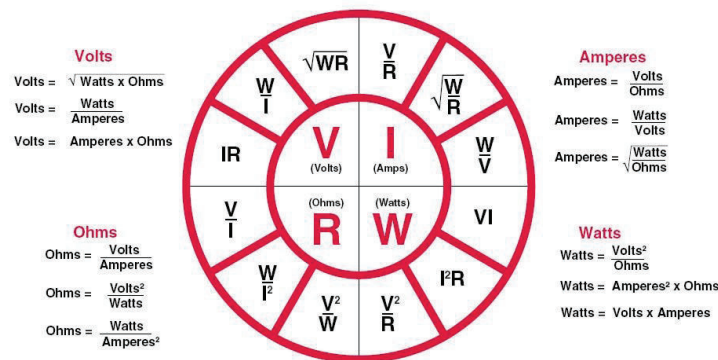


Figura 4.4. Resumen Ley de Ohm.

Fuente: Universidad de Chile. Departamento de Física. Recuperado de:  
[http://www.dfi.uchile.cl/labfi35a/Experim\\_all/ley-Ohm.pdf](http://www.dfi.uchile.cl/labfi35a/Experim_all/ley-Ohm.pdf)

#### 4.3.3.3.2. Resistencia eléctrica a la temperatura de operación<sup>16</sup>:

Cuando se dimensiona una resistencia eléctrica se debe tomar en cuenta que la resistencia que presenta el material al paso de corriente cambia con la temperatura. Debido a que la resistencia del elemento se lo diseña a la temperatura ambiente, es necesario hallar la resistencia a dicha temperatura. Para obtenerla se divide la resistencia a la temperatura de operación por un factor de resistencia – temperatura, como lo describe la ecuación 4.11.

$$R_{20} = \frac{R_t}{F} \quad (4.11)$$

<sup>16</sup>Allloy Wire, Recuperado de: <http://www.alloywire.com/>

Dónde:

$R_{20}$ : Resistencia del elemento a 20°C [ohms]

$R_t$ : Resistencia del elemento a la temperatura de operación [ohms]

F: Factor de resistencia – temperatura (adimensional)

#### 4.3.3.3.3. Superficie radiante de las resistencias:

La superficie radiante es el área superficial de una resistencia, la cual se encuentra en contacto con el aire a calentar. Para el caso de un alambre de resistencia circular la superficie radiante se obtiene de la ecuación 4.12.

$$A_r = \pi * d * l \quad (4.12)$$

Donde:

$A_r$ : Área radiante [m<sup>2</sup>]

$d$ : Diámetro de la resistencia [m]

$l$ : Longitud de la resistencia [m]

#### 4.3.3.3.4. Carga específica de las resistencias<sup>17</sup>:

En el mercado existen resistencias de alambre de diferentes materiales y diámetros, cada uno de ellos con su respectiva potencia o densidad de potencia disipada por unidad de área dependiendo de sus características. Sin, embargo, es importante mencionar que la carga sobre la superficie de la resistencia no debe ser demasiado elevada, puesto que la transferencia de calor ya sea por conducción, convección o radiación dentro del sistema de calentamiento puede no ser lo suficientemente rápida para evitar el sobrecalentamiento y falla prematura del elemento.

---

<sup>17</sup>Alloy Wire. Recuperado de: <http://www.alloywire.com/>



El Anexo 1 muestra el intervalo de carga superficial sugerido según el tipo de artefacto y de elemento. Para cálculos de la resistencia eléctrica es necesario mencionar la siguiente relación ecuación 4.13.

$$p = \frac{P}{A_r} \quad (4.13)$$

Donde:

$p$ : Carga específica de la resistencia [W/cm<sup>2</sup>]

$P$ : Potencia disipada [W]

Despejando la anterior expresión se obtiene la ecuación 4.14.

$$A_r = \frac{P}{p} \quad (4.14)$$

#### 4.3.3.3.5. *Disipación de potencia en una resistencia*<sup>18</sup>:

Cuando fluye corriente eléctrica por una resistencia, se genera calor producto de la fricción entre los electrones libres en movimiento y los átomos que obstruyen el flujo de los electrones, donde el calor es la evidencia que la potencia se usa para producir la corriente eléctrica.

Debido a que la potencia es disipada en la resistencia de un circuito, se puede expresar la potencia en términos de la resistencia según la ecuación 4.15.

$$P = R * I^2 \quad (4.15)$$

Donde:

$P$ : Potencia disipada [W]

---

<sup>18</sup> Enríquez H. (1994). *Fundamentos de Electricidad*. México: LIMUSA. .95.

$R$ : Resistencia [Ohms]

$I$ : Corriente eléctrica [Amperios]

Otra manera de expresar la potencia disipada es la ecuación 4.16.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.16)$$

Donde:

$V$ : Voltaje [vatios]

Relacionando las ecuaciones anteriores se deduce que el diámetro de la resistencia viene dado por la ecuación 4.17:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 * P^2 * F * \rho}{\pi^2 * V^2 * p}} \quad (4.17)$$

Donde:

$\rho = 1.08 * 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  (Ver tabla 4.5)

$p: 4.5 \text{ W/cm}^2$  (Ver Anexo 7)

$F_{70^\circ\text{C}} = 1.002$  (Ver tabla 4.5)

Por lo tanto:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 * 2222^2 * 1.002 * 1.08 * 10^{-4}}{\pi^2 * 110^2 * 4.5}}$$

$$d = 0.16 \text{ cm}$$

#### 4.3.3.3.6. Longitud de la resistencia:

La longitud de la resistencia se deduce de la ecuación 4.12, de lo que se obtiene ecuación 4.18.

$$l = \frac{A_r}{\pi * d} \quad (4.18)$$

Aplicando la ecuación 4.13 se obtiene:

$$A_r = \frac{P}{p}$$

$$A_r = \frac{2222}{4.5} = 493.77 \text{ cm}^2$$

La longitud de la resistencia será:

$$l = \frac{493.77}{\pi * 0.3} = 524 \text{ cm} = 5.24 \text{ m}$$

### 4.3.4. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

En esta sección se determina la cantidad de calor obtenida por el colector solar plano.

#### 4.3.4.1. Balance energético.

Para realizar el análisis del colector solar se parte de un balance de calor o energético, ver figura 4.5, en donde el calor colectado es igual al calor incidente menos las pérdidas al medio ambiente, ecuación 4.19.

Donde:

$Q_i$ : Calor incidente [w].

$Q_u$ : Calor útil [w].

$Q_l$ : Calor perdido [w].

$$Q_u = Q_i - Q_l \quad (4.19)$$

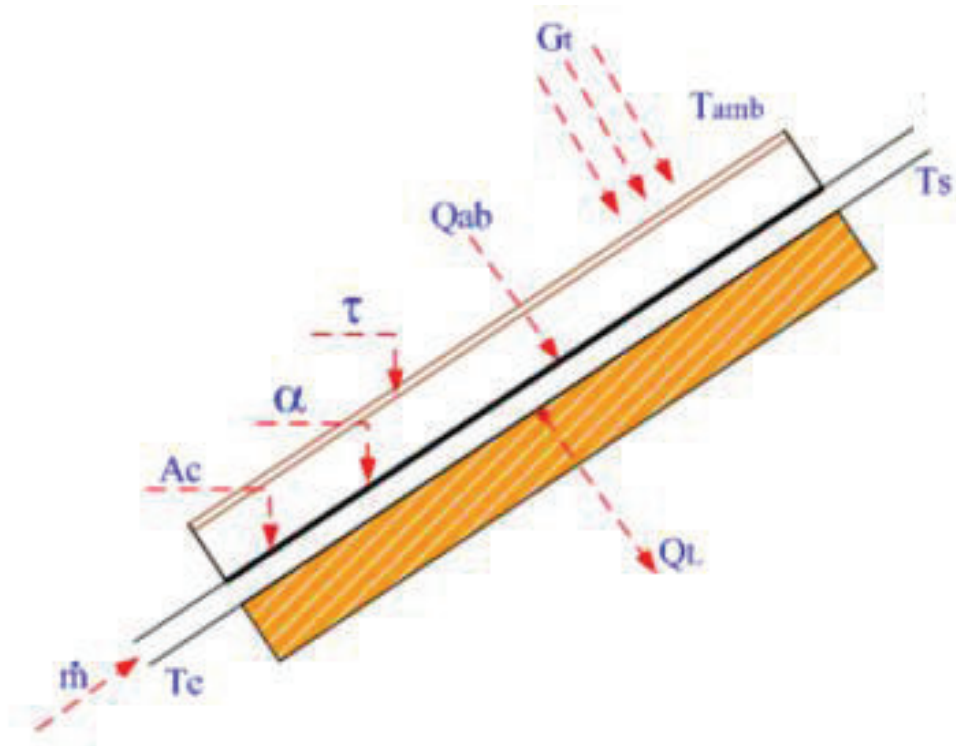


Figura 4.5. Balance energético de un colector solar.

#### 4.3.4.1.1. Calor incidente.

La expresión para determinar el calor incidente es la ecuación 4.20:

$$Q_i = \tau * \alpha_c * G_t * A_c \quad (4.20)$$

Donde:

$\alpha_c$ : Absorbancia térmica de la cubierta

$\tau$ : Transmitancia térmica de la placa absorbidora

$G_t$ : Irradiación [ $W/m^2$ ]

$A_c$ : Área del colector [ $m^2$ ]

Despejando las ecuaciones 4.18 y 4.19 se define el área de colección de la secadora de alimento en hojuelas para peces de acuario es (ecuación 4.21):

$$A_c = \frac{Q_u}{\tau * \alpha * G_t - U_t * T_p - T_a} \quad (4.21)$$

#### 4.3.4.1.2. Calor Útil.

Teniendo en cuenta que calor útil obtenido por influencia del sol es usado como calor de respaldo al proceso ya que el valor de la irradiancia no es constante y muy variable dependiendo de las condiciones climáticas, es por esto que el calor aprovechado por el sol solo proporciona el 20 % del calor total requerido.

$$Q_u = Q_{req} * 0,20$$

$$Q_u = 1911 \frac{kcal}{h} * 1,163 W * 0,20$$

$$Q_u = 444,49 [W]$$

#### 4.3.4.1.3. Irradiancia.

La incidencia del sol es diferente en cada zona del planeta, se puede tener límites referenciales entre  $300 W/m^2$  en un día nublado, y  $900 W/m^2$  en un día soleado<sup>19</sup>.

Para tener un valor referencial más aproximado se recurre a la figura 2.13 “Promedio de radiación global  $Wh/m^2/día$ .”, este dato proporcionado por el INAMHI en las gráficas del año 2014 da un espectro de irradiancia que para el caso de Quito oscila entre 4925 y 5100  $Wh/m^2/día$ , para el cálculo se usa el valor mínimo.

---

<sup>19</sup> García, J. (2003). *Calculo de la energía solar*. España; Bellisco. 234

$$G_t = 5100 \frac{wh}{\text{m}^2 \text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{10 h}$$

$$G_t = 510 \frac{w}{\text{m}^2}$$

#### 4.3.4.2. Eficiencia del colector solar.

En un colector solar se presentan los tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación; la radiación juega el papel más importante en la modelación del colector solar. Para los efectos del diseño sólo es necesario tomar un valor de referencia, estimado para la zona de estudio.

Los fenómenos descritos dependerán de las características de los materiales: absorptividad, absorptancia, emisividad, reflectividad, reflectancia y transmitancia.

La modelación del colector solar plano considera la transmitancia infrarroja, si ésta se puede establecer para cualquier ángulo de incidencia, lo más común es indicar valores para una incidencia perpendicular de los rayos solares sobre la superficie<sup>20</sup>. Una vez que la energía se transmite a través de la cubierta se dirige hacia la placa absorbidora, que absorbe una parte y aumentan su temperatura. La porción de energía no absorbida es emitida como radiación térmica y luego reflejada hacia la cubierta transparente. Dicha cubierta en estas condiciones de temperatura es opaca a la radiación infrarroja, por lo que es nuevamente reflejada hacia la placa absorbidora. Este proceso se repite en varias oportunidades y es el denominado “efecto invernadero” dentro del colector (Ver Figura 4.6), donde:

- $\alpha_p$ : Absortancia térmica de la placa de la cubierta transparente
- $\alpha_c$ : Absortancia térmica de la cubierta
- $\tau$ : Transmitancia
- $\rho_c$ : Reflectividad difusa.
- $G_t$  : Energía solar total incidente.

---

<sup>20</sup> Gonzales, R. (2006). *Radiación térmica*, Chile; USL .19.

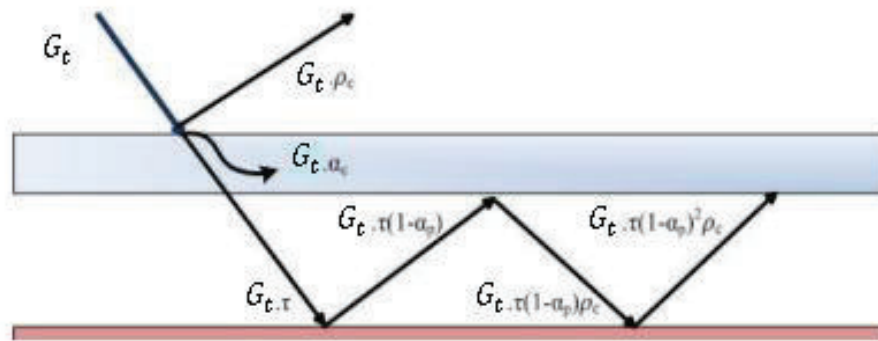


Figura 4.6. Efecto Invernadero dentro del colector  
Fuente: González Redondo, Mercedes. "Radiación térmica". Universidad Politécnica de Madrid

El efecto invernadero es acumulativo y tiene un límite, que es cuando las pérdidas de calor y la energía recibida son iguales. La temperatura máxima alcanzada es conocida como temperatura promedio o de estancamiento  $T_p$ <sup>21</sup>.

La eficiencia del colector se la expresa como el cociente entre el calor incidente por el calor útil, como se muestra en la siguiente expresión, ecuación 4.22.

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_i} \quad (4.22)$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia del colector.

Reemplazando la ecuación 4.19 en la ecuación 4.22 se tiene:

$$\eta = \frac{Q_i - Q_l}{Q_i}$$

Donde:

$$Q_i = \tau * \alpha * G_t * A_c$$

$$Q_l = A_c * U_t * T_p - T_a$$

<sup>21</sup> Fauroux, L. (1999). *Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos*. Argentina; Universidad Nacional de la Matanza. s/n

Entonces, la eficiencia se expresa con la ecuación 4.23:

$$\eta = 1 - \frac{U_t * T_p - T_a}{\tau * \alpha * G_t} \quad (4.23)$$

Donde

$U_t$ : Coeficiente global de pérdidas  $W m^2 \cdot K$

La forma más simple del colector solar consiste en una lámina de vidrio o material transparente situado en la parte superior, una placa plana que actúa como un cuerpo negro para absorber calor. En la figura 4.7 se muestra un esquema de la disposición de los elementos que conforman el secador solar.

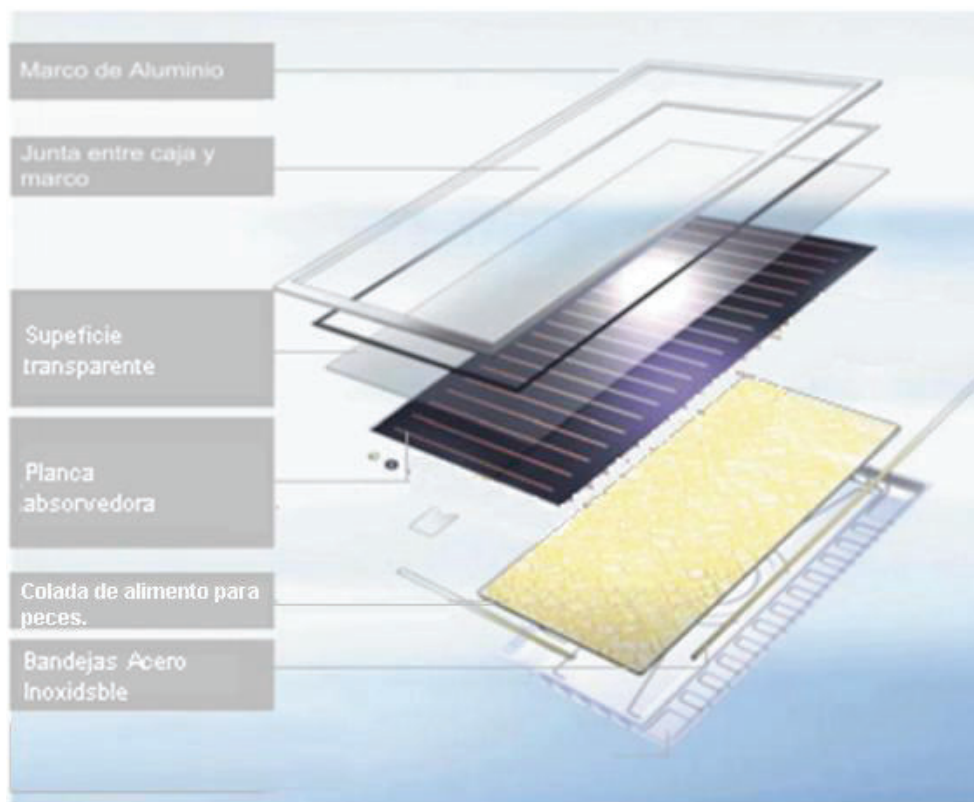


Figura 4.7. Esquema del colector solar plano.

Para su funcionamiento los rayos del sol pasan a través del vidrio y son atrapados calentando el aire en el espacio entre la cubierta y la placa o absorbedor. El calor es posteriormente usado para calentar el aire de la cámara de secado donde está



el alimento para peces en forma de colada. En la figura 4.8 se muestra un esquema donde se aprecia las resistencias a la transferencia de calor del colector solar.

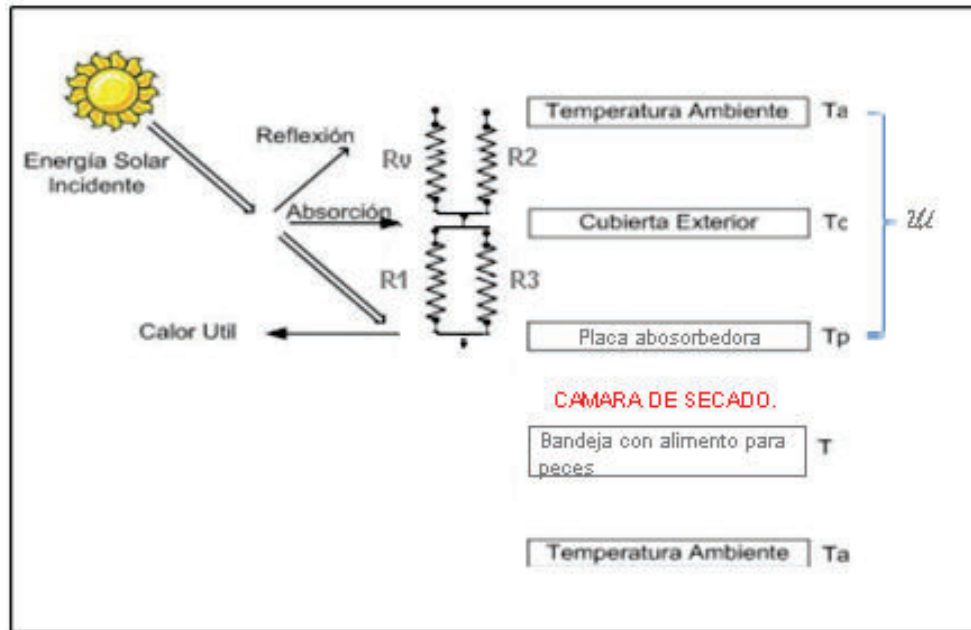


Figura 4.8. Análisis de resistencias a la transferencia de calor.

Donde:

- $R_v$ : Resistencia a la transferencia de calor por convección del viento en la superficie.  $m^2 \text{ } ^\circ K_w$
- $R_1$ : Resistencia a la transferencia de calor por radiación de la placa absorbidora hacia la cubierta  $m^2 \text{ } ^\circ K_w$
- $R_2$ : Resistencia a la transferencia de calor por radiación de la cubierta hacia el ambiente  $m^2 \text{ } ^\circ K_w$
- $R_3$ : Resistencia a la transferencia de calor por convección de la placa absorbente hacia la cubierta  $^w m^2 \text{ } ^\circ K$
- $T_a$ : Temperatura ambiente  $^\circ K$
- $T_c$ : Temperatura de la cubierta  $^\circ K$
- $T_p$ : Resistencia de la placa absorbidora  $^\circ K$

Por consiguiente la figura 4.9 muestra el esquema de las pérdidas de calor en el colector solar.

Para la modelación del colector solar se considera los siguientes parámetros de diseño preestablecidos ya sea por la experiencia o diseño de otros autores<sup>22</sup>.

#### MATERIALES:

- Cubierta transparente: Laminas de vidrio translucido, ya que posee un alto coeficiente de transmitancia térmica, resistente a golpes y granizo.
- Placa absorbente: Acero Galvanizado con pintura negra.
- Estructura del colector: Acero Galvanizado
- Aislante térmico: Fibra de plástico.
- Bandejas para producto: Acero Inoxidable

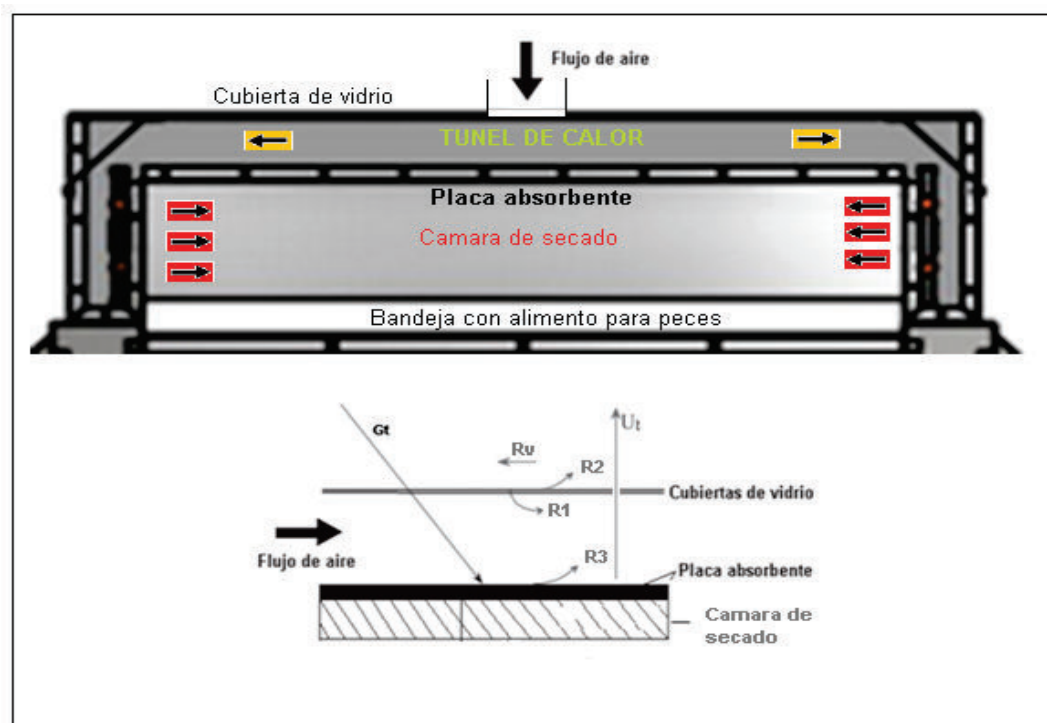


Figura 4.9. Pérdidas globales del colector solar plano.

<sup>22</sup> Rodríguez, H. (2005). *Diseño, construcción y caracterización de un colector solar plano de aire*, Chile; USACH. 41-43

Debido a que el fluido de proceso de este colector es el aire y considerando que la capacidad térmica del aire es mucho menor que la del agua, la eficiencia del colector va a ser menor o cercano al valor mínimo de los modelos prediseñados de tubos con agua que su eficiencia oscila entre 50 y 80%<sup>23</sup>. El valor real de la eficiencia del colector solar se lo obtiene experimentalmente, en el siguiente desarrollo se hace un cálculo de la eficiencia del colector para condiciones de operación supuestas.

Para visualizar las dimensiones refiérase a la figura 4.2 “Dimensiones de la cámara de secado”, las especificaciones y propiedades de los materiales usados se exponen en la tabla 4.7. Las propiedades de los materiales serán seleccionadas según los Anexos 8, 9, 10 y 11 adjuntos.

Tabla 4.7. Propiedades materiales empleados

Espesor lamina del vidrio	$n_1 = 0,004$ [m]
Emitancia del vidrio	$\varepsilon_c = 0,88$
Emitancia del absorbente	$\varepsilon_p = 0,9$
Absortancia placa absorbedora	$\alpha = 0,8$
Transmitancia del vidrio	$\tau = 0,91$
Temperatura del absorbente	$T_p = 328$ [k]
Distancia entre la placa absorbente y la cubierta	$l = 0,09$ [m]
Temperatura máxima del ambiente	$T_a = 293$ [°k]
Velocidad del viento	$V = 1,5$ [m/s]
Valor constante Stefan – Boltzman	$\sigma = 5,6697 \times 10^{-8}$ [w/m <sup>2</sup> °K]

La temperatura y velocidad máxima del viento para condiciones ambientales de Quito es 20°C y 1,5 m/s<sup>24</sup>, la temperatura de estancamiento es superior a 25°C a la temperatura ambiental<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> Rodríguez, H. (2005). *Diseño, construcción y caracterización de un colector solar plano de aire*, Chile; USACH. 5.

<sup>24</sup> Recuperado de: [www. weather.com](http://www.weather.com)- Quito

#### 4.3.4.2.1. Cálculo del Coeficiente global de pérdidas de calor<sup>26</sup>

Para este particular caso las pérdidas en la zona superior son las únicas que interfieren en este modelo. Para calcular el coeficiente global de pérdidas de calor se siguen los siguientes pasos:

Primero se supone que, ecuación 4.24:

$$T_c = \frac{T_p + T_a}{2} \quad (4.24)$$

$$T_c = 310,5 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Luego para calcular el coeficiente de transferencia de calor  $R_1$  se usa la ecuación 4.25:

$$R_1 = \frac{1}{\sigma} \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_c - 1}{T_p^2 + T_c^2} \frac{1}{T_p + T_c} \quad (4.25)$$

$$R_1 = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K}_w$$

Para el cálculo de  $R_2$  se usa la ecuación 4.26:

$$R_2 = \frac{1}{\varepsilon_c * \sigma} \frac{1}{T_c^2 + T_a^2} \frac{1}{T_c + T_a} \quad (4.26)$$

$$R_2 = 0,169 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K}_w$$

---

<sup>25</sup> Rodríguez, H. (2005). *Diseño, construcción y caracterización de un colector solar plano de aire*, Chile; USACH. 45

<sup>26</sup> Paz, J. (2008). *Colectores Solares Planos*. México; Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 108-110

Además, para el cálculo de  $R_3$  se emplea la ecuación 4.27 considerando que es un colector solar plano horizontal.

$$R_3 = \frac{l^{0,070} * e^{0,00143305 T}}{1,161 * \Delta T^{0,31}} \quad (4.27)$$

Donde:

$$\Delta T = T_p - T_c$$

$$\Delta T = 35 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Y:

$$T = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$T = 319,25 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Entonces:

$$R_3 = 0,551 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{K}_w$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección del viento está dado por la ecuación 4.28:

$$R_V = \frac{1}{5,7 + 3,8V} \quad (4.28)$$

$$R_V = 0,087 \text{ }^w \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

Utilizando los valores encontrados o designados, se puede calcular  $U_l$ , ecuación 4.29.

$$U_l = \frac{R_3 * R_1}{R_3 + R_1} + \frac{R_2 * R_V}{R_2 + R_V}^{-1} \quad (4.29)$$

$$U_l = 5,57 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

Luego se calcula la temperatura de la cubierta con la ecuación 4.29:

$$T_c = T_p - \frac{U_l T_p - T_a * R_3 * R_1}{R_3 + R_1} \quad (4.30)$$

$$T_c = 304,26 [^\circ K]$$

Con el nuevo valor de  $T_c$  se procede a calcular los mismos factores obteniendo una segunda iteración.

$$R_1 = 0,162 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$R_2 = 0,176 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$R_3 = 0,484 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$U_l = 5,55 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$T_c = 304,4 [^\circ K]$$

Con el nuevo valor de  $T_c$  se procede a calcular los mismos factores obteniendo una tercera iteración.

$$R_1 = 0,16 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$R_2 = 0,17 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$R_3 = 0,49 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ K$$

$$U_t = 5,55 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_c = 304,4 [^\circ\text{K}]$$

Como el valor de  $T_c$  coincide con el anterior calculado, ya no es necesario continuar con las iteraciones, por lo tanto el coeficiente global de pérdidas es:

$$U_t = 5,55 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Reemplazamos los valores obtenidos y designados en la ecuación 4.22 para encontrar la eficiencia del colector solar-

$$\eta = 1 - \frac{5,55 * 35}{0,91 * 0,85 * 510}$$

$$\eta = 0,492$$

$$\eta = 49,2 \%$$

La eficiencia del colector calculada es 49,2 %, es un valor promedio considerando que su medio de captación de energía térmica es el aire. Las pérdidas en la parte inferior del colector no son consideradas ya que son aprovechadas para el calentamiento de la cámara de secado beneficiando al proceso y mejorando la eficiencia del colector.

Finalmente se utiliza la ecuación 4.20 para el cálculo del área de colección:

$$A_c = \frac{Q_u}{\tau * \alpha * G_t - U_t * T_p - T_a}$$

$$A_c = \frac{444,49 \text{ W}}{(0,91 * 0,8 * 510 - 5,55 * 35) \text{ W m}^2}$$

$$A_c = 2,51 \text{ m}^2$$

El área de colección para el prototipo es  $A_c = 2,50 \text{ m}^2$ .

#### 4.4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO.

En esta sección se realiza el diseño del sistema electromecánico, que consiste en lo siguiente:

- Selección del motor que acciona la banda.
- Dimensionamiento de ejes.
- Selección de cuñas.
- Selección de rodamientos.
- Análisis de la estructura de soporte.

##### 4.4.1. POTENCIA REQUERIDA<sup>27</sup>

La potencia se calcula por medio de la ecuación 4.31:

$$P = F \cdot v \quad (4.31)$$

Dónde:

$P$ : Potencia [Watts]

$F$ : Fuerza total [N]

$v$ : Velocidad lineal [m/s]

Aplicando el principio de la conservación de la energía, la potencia necesaria para sacar al sistema del reposo estará dada por la energía de rotación producida por nuestro motor, que deberá ser igual a la energía de translación de cada masa en nuestro sistema, así en el sistema las fuerzas externas que actúan vienen dadas por el peso propio de cada bandeja y el contenido en cada una, ver figura 4.10.

---

<sup>27</sup> Robert, L. (2009). *Diseño de Maquinaria; Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos*; USA; Mc Graw Hill Education; Quinta Edición. 391,392.



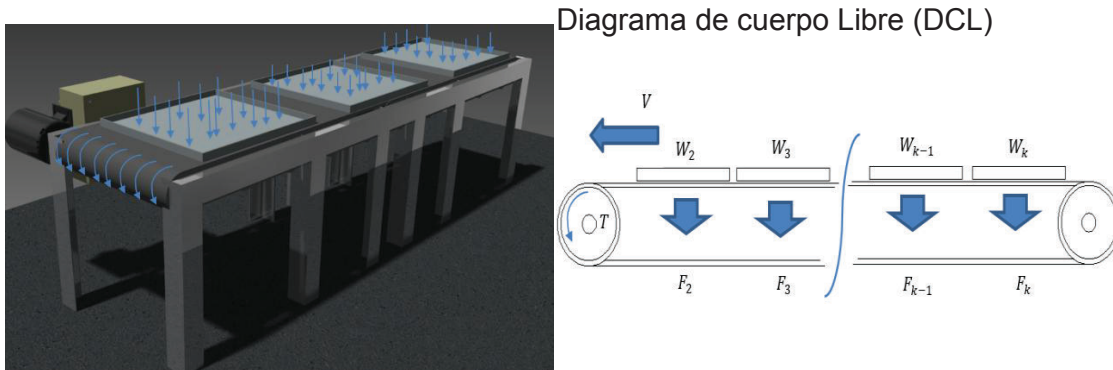


Figura 4.10. Diagrama de cuerpo libre.

#### 4.4.1.1. Fuerza total sobre la banda.

La fuerza total aplicada sobre la banda es igual a la suma de la masa de las bandejas y de la masa del producto que van contenidas sobre ellas, todo esto multiplicado por la gravedad.

Se diseña la banda transportadora con una capacidad de soportar tres bandejas a lo largo de su área por lo tanto ecuación 4.32:

$$F = 3 * m_p + m_b + m_{bd} * g \quad (4.32)$$

Donde:

$m_p$ : Masa del producto contenida en cada bandeja [kg]

$m_b$ : Masa de la bandeja [Kg]

$m_{bd}$ : Masa de la banda [Kg]

$g$ : Gravedad [ $m/s^2$ ]

##### 4.4.1.1.1. Masa del producto contenido en la bandejas

Para determinar el peso del producto contenido en las bandejas se aplica la ecuación 4.33.

$$m_p = D_{op} * A_b \quad (4.33)$$

Donde:

$Dop$ : Densidad de ocupación del producto [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ] (Ver tabla 4.3)

$A_b$ : Área de las bandejas [ $\text{cm}^2$ ]

Por lo tanto:

$$m_p = 6.5 \times 10^{-5} \text{ kg} \text{ cm}^2 * 6750 \text{ cm}^2$$

$$m_p = 0.44 \text{ Kg}$$

#### 4.4.1.1.2. Masa de las bandejas

Se selecciona acero inoxidable para la fabricación de las bandejas debido a que maneja materiales orgánicos, por lo que para determinar la masa de las bandejas emplearemos la densidad del acero inoxidable y las dimensiones de las mismas como se muestra en la siguiente expresión, ecuación 4.34.

$$m_b = \rho * V \quad (4.34)$$

Donde:

$m_b$ : Masa de la bandeja [Kg]

$\rho$ : Densidad acero inoxidable AISI 304 ( $\rho = 7930 \text{ Kg}/\text{m}^3$ )

$V$ : Volumen de la bandeja [ $\text{m}^3$ ]

Se considera una plancha de acero inoxidable con un espesor de 1.5 mm, por lo tanto:

$$V = 0.91 \text{ m} * 0.76 \text{ m} * 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V = 1.04 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Entonces, aplicando la ecuación 4.34:

$$m_b = 7930 \frac{Kg}{m^3} * 1.04 \times 10^{-3} m^3$$

$$m_b = 8.25 Kg$$

#### 4.4.1.1.3. Masa de la banda transportadora.

La masa de la banda transportadora se la calcula por medio de la densidad y sus dimensiones, ecuación 4.35:

$$m_{bd} = \rho_{acero} * V_{bd} \quad (4.35)$$

Donde:

$\rho_{acero}$ : Densidad del acero [ $Kg/m^3$ ] ( $\rho_{acero} = 7850 Kg/m^3$ )

$V_{bd}$ : Volumen de la banda [ $m^3$ ]

Remplazando:

$$m_{bd} = 7850 * 4.65 * 10^{-3}$$

$$m_{bd} = 36.5 kg$$

Por lo tanto, al remplazar los valores en la ecuación 4.32 se determina que la fuerza total sobre las bandejas es:

$$F = 3 * 0.44 + 8.25 + 36.5 * 9.8$$

$$F = 3 * 0.44 + 8.25 * 9.8$$

$$F = 613.2 N$$

#### 4.4.1.2. Velocidad lineal de la banda:

La velocidad de traslación puede ser desde 0.05m/s hasta 1m/s, se selecciona para nuestra aplicación una velocidad de 0.3 m/s para la cinta transportadora.

Volviendo a la ecuación 4.31, se determina la potencia requerida:

$$P = 613.2 \text{ N} * 0.3 \text{ m/s}$$

$$P = 184 \text{ W}$$

#### 4.4.2. POTENCIA NOMINAL<sup>28</sup>

La potencia nominal ( $P_n$ ) es el parámetro principal de dimensionamiento de los acoplamientos de los ejes y de las maquinas directamente conectados a ellos. Para su cálculo se utiliza los factores de corrección  $k_1, k_2$  y  $k_3$ , ya que no se consideran en nuestro sistema la energía para vencer los pares de torsión debido a la masa de cada eje y rodillo así como la fricción entre los rodillos y la banda, ecuación 4.36.

$$P_n = P * k_1 * k_2 * k_3 \quad (4.36)$$

Donde:

$P_n$ : Potencia nominal [W]

$k_1$ : Coeficiente de irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras (Ver Anexo 12).

$k_2$ : Coeficiente de frecuencias de arranque (Ver Anexo 13).

$k_3$ : Coeficiente de número de horas de funcionamiento por día (Ver Anexo 14).

---

<sup>28</sup> TEJASA T.C. *Acoplamientos Elásticos*. Recuperado de: <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/acoplamiento/tejasa.1.pdf>

Por lo tanto:

$$P_n = 184 * 1.2 * 1.2 * 1.2$$

$$P_n = 318 \text{ W} = 0.318 \text{ Kw} = 0.43 \text{ HP}$$

Con ayuda del catálogo Motive Reductores y con los datos calculados previamente se selecciona el Motor-reductor BOX 040 con una potencia de 0.37 Kw (Ver Anexo 15).

#### 4.4.3. TENSION DE LA CINTA TRANSPORTADORA<sup>29</sup>

Para el cálculo de la tensión en la cinta transportadora procedemos a utilizar la ecuación 4.37:

$$T_c = \frac{75 * P_n}{v} * k \quad (4.37)$$

Dónde:

$T_c$ : Tensión de la cinta [Kg]

$P_n$ : Potencia nominal [CV]

$k$ : Coeficiente de corrección (Ver Anexo 16)

Entonces:

$$T_c = \frac{75 * 0.51 \text{ CV}}{0,3 \text{ m}_s} * 2.15$$

$$T_c = 274 \text{ kgf} = 2686 \text{ N}$$

Este valor representa la carga distribuida que ejerce la cinta a lo largo del rodillo, ver figura 4.11.

---

<sup>29</sup> Pirelli, L. (2013). *Catalogo Bandas Transportadoras*. 46.

Para determinar los valores de las tensiones  $T_1$  y  $T_2$  se aplica la ecuación 4.38:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f\alpha} \quad (4.38)$$

Dónde:

$f$ : Coeficiente de rozamiento acero con acero [adimensional] = 0.2

$\alpha$ : Angulo de contacto [rad]

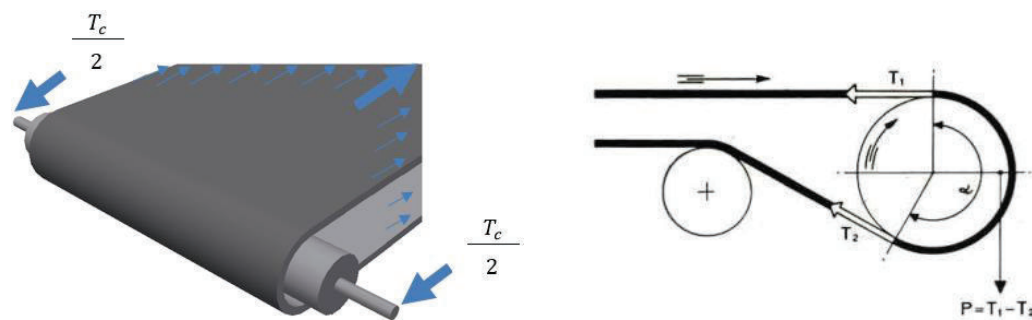


Figura 4.11. Diagrama de cuerpo libre

Además, se conoce que ecuación 4.39:

$$T_c = T_1 - T_2 \quad (4.39)$$

Relacionado las ecuaciones 4.38 y 4.39 se determina los valores:

$$T_1 = 3087 \text{ N}$$

$$T_2 = 401 \text{ N}$$

Estos valores representan las tensiones en la cinta transportadora a aplicar, para que esta no deslice.

#### 4.4.4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EJES

Se define la longitud de los ejes, tanto motriz como conducido, en función del área del colector solar ya determinada en el capítulo anterior, lo que servirá además para dimensionar la estructura de soporte en secciones posteriores. Debido a sus

considerables dimensiones los ejes tienen los siguientes componentes, ver figura 4.12:

1. El eje principal o alma, transmitirá la potencia y sobre él se ubicarán los rodamientos, el rodillo motriz y las galletas o tapas.
2. Cilindro hueco.
3. Galletas o tapas para el rodillo.

Sus elementos estarán dispuestos de tal forma que:

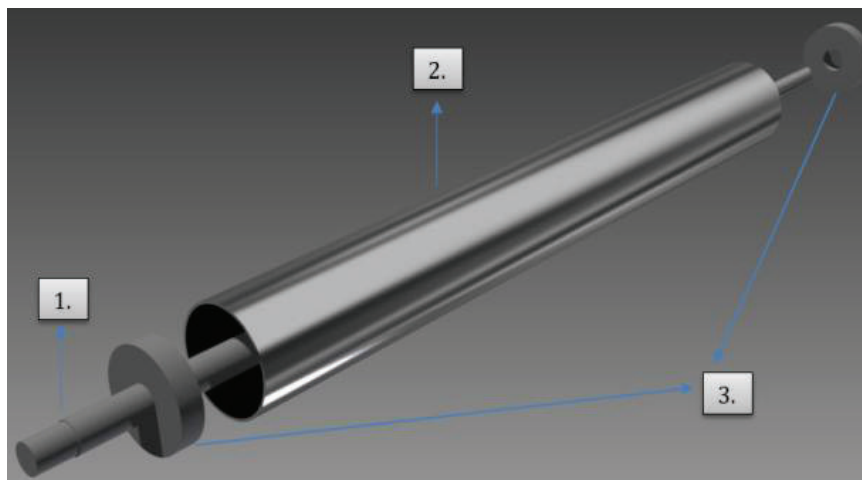


Figura 4.12. Elementos de los rodillos

#### 4.4.4.1. Eje motriz:

##### 4.4.4.1.1. Diagrama del cuerpo libre del eje motriz:

En la Figura 4.13 se puede apreciar la configuración del eje motriz utilizada en bandas transportadoras, se asume las siguientes medidas:

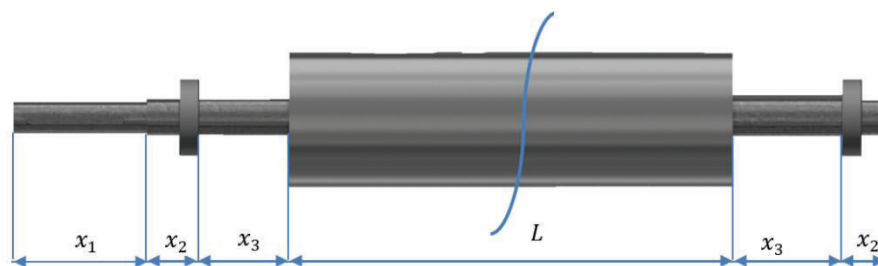


Figura 4.13. Diagrama del Rodillo.

Donde:

- $x_1 = 115 \text{ mm}$ : Corresponde a la longitud del eje que ira acoplada al motor-reductor y permitirá transmitir la potencia al eje motriz.
- $(10 \leq x_2 \leq 45) \text{ mm}$ : Corresponde a la longitud debido al ancho del rodamiento rígido de bolas.
- $x_3 = 74 \text{ mm}$  Representa la longitud de separación entre el rodamiento y la cara del rodillo.
- $L = 950 \text{ mm}$ : Es la longitud del rodillo.

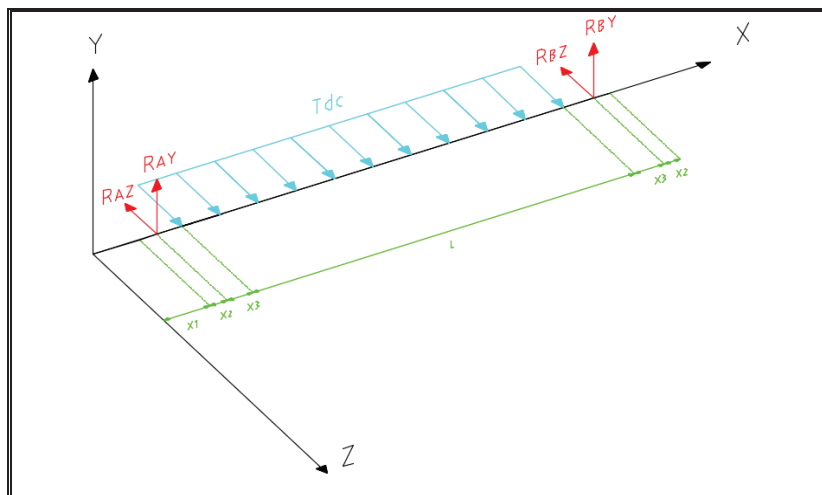


Figura 4.14. Diagrama de cuerpo libre del rodillo.

#### 4.4.4.1.2. Cálculo de reacciones:

Partiendo de la figura 4.14, se determinan las reacciones en los apoyos A y B:

Sumatoria de momentos:

- A lo largo del eje X:

$$M_x = 0$$

- A lo largo del eje Y:

$$M_y = 0$$



$$R_{AZ} * X_1 + X_2 + R_{BZ} * X_1 + X_2 + X_3 + L + X_3 = T_{dc} * L * (X_1 + X_2 + X_3 + \frac{L}{2})$$

- A lo largo del eje Z:

$$M_Z = 0$$

$$R_{AY} * X_1 + X_2 = R_{BY} * X_1 + X_2 + X_3 + L + X_3$$

Sumatoria de fuerzas:

- A lo largo del eje X:

$$F_X = 0$$

- A lo largo del eje Y:

$$F_Y = 0$$

$$R_{AY} = R_{BY}$$

- A lo largo del eje Z:

$$F_Z = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = T_{dc} * L$$

Remplazando valores:

$$0.158 * R_{AZ} + 1.256 * R_{BZ} = 1900$$

Relacionando ambas ecuaciones se tiene:

$$R_{AZ} = R_{BZ} = 1343 \text{ N}$$

#### 4.4.4.1.3. Diagrama cortante y de momento flector en el plano critico X-Z:

Para determinar los diagramas cortante y de momento flector se emplea el software MDSOLID 4.0, de lo que se obtiene:

- Diagrama del cortante, ver figura 4.15:

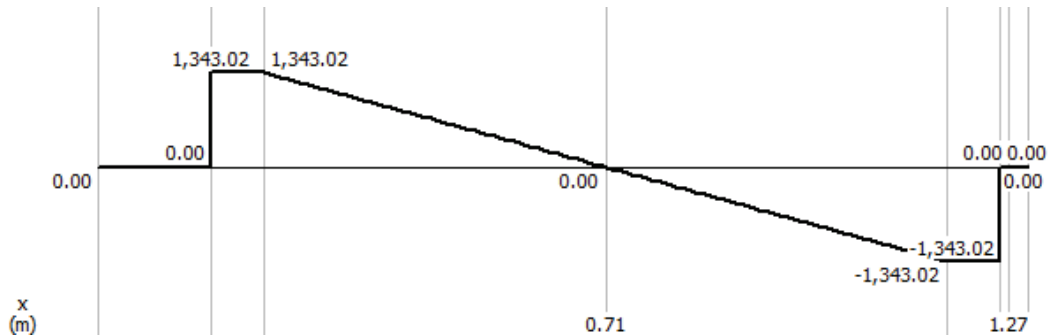


Figura 4.15. Diagrama del cortante.

- Diagrama del momento flector, ver figura 4.16:

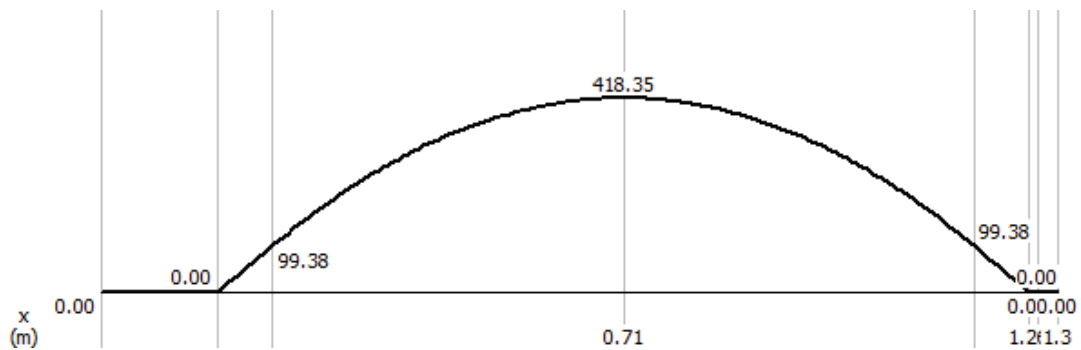


Figura 4.16. Diagrama del momento flector.

De lo cual se llega a determinar que el momento crítico es igual a 418.35 N-m.

#### 4.4.4.1.4. Determinación del diámetro del eje usando el diseño por esfuerzos principales y normales:

El diseño por esfuerzos principales normales se basa en la ecuación 4.40:

$$\sigma_1 = \frac{16}{\pi * d^3} * M + \sqrt{M^2 + T^2} = \sigma_p \quad (4.40)$$

Donde:

$\sigma_p$ : Esfuerzo permisible [ $\text{Kg/cm}^2$ ] = Acero A-53 Gr B =  $2460 \text{ Kg/cm}^2$

$d$ : Diametro del eje [cm]

$M$ : Momento crítico [Kg.cm]

$T$ : Torque (motor) [Kg.cm]

Partiendo de la ecuación 4.45 se llega a determinar el diámetro del eje, ecuación 4.41:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\sigma_p * \pi} * M + \frac{M^2 + T^2}{\sigma_p * \pi}} \quad (4.41)$$

- Determinación del torque:

El torque está definido bajo la ecuación 4.42:

$$T = \frac{225000 * P_n}{n * \pi} \quad (4.42)$$

Donde:

$T$ : Torque [Kg.cm]

$P_n$ : Potencia nominal [CV]

$n$ : Velocidad angular [rpm] = 50 rpm (Anexo motor)

Por lo tanto:

$$T = \frac{225000 * 0.51}{50 * \pi}$$

$$T = 730.5 \text{ Kg.cm}$$

Entonces, reemplazando valores:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{2460 * \pi} * 4266 + \frac{4266^2 + 730.5^2}{4266^2 + 730.5^2}}$$

$$d = 2.62 \text{ cm}$$

#### 4.4.4.2. Diseño dinámico del eje (FATIGA):

El eje de la banda transportadora está sujeto a cargas que varían con el tiempo, por lo que es necesario considerar ciertos parámetros para que resistan tales efectos con seguridad, a continuación se realiza un proceso iterativo para determinar las mejores condiciones de diseño:

##### 4.4.4.2.1. Límite de resistencia a la fatiga del eje

El límite de la resistencia a la fatiga del elemento está definido por la ecuación 4.43:

$$S_e = S'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f \quad (4.43)$$

Dónde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga del elemento.

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga de la probeta.

$k_a$ : Factor de superficie

$k_b$ : Factor de tamaño

$k_c$ : Factor de confiabilidad

$k_d$ : Factor de temperatura

$k_e$ : Factor de concentración de esfuerzos

$k_f$ : Factor de efectos diversos

##### 4.4.4.2.2. Límite de resistencia a la fatiga de la probeta

El límite de resistencia a la fatiga de la probeta se define en la tabla 4.8:

Tabla 4.8. Limite de resistencia a la fatiga de la probeta.

MATERIAL	RELACION	CONDICIÓN
Dúctil	$S'_e = 0.5 * S_{ut}$	$S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi}$
	$S'_e = 100 \text{ Kpsi}$	$S_{ut} > 200 \text{ Kpsi}$
Frágil	$S'_e = 0.45 * S_{ut}$	$S_{ut} \leq 88 \text{ Kpsi}$
	$S'_e = 40 \text{ Kpsi}$	$S_{ut} > 88 \text{ Kpsi}$

Fuente: Fuente: Shigley; (2008); "Diseño en ingeniería mecánica"; McGrawHill; España; pág.310.

Entonces, para nuestro caso:

$$S'_e = 0.5 * S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 * 60$$

$$S'_e = 30 \text{ Kpsi}$$

#### 4.4.4.2.3. Factor de acabado superficial:

El factor de acabado superficial se lo determina en la figura 4.17, la que se muestra a continuación:

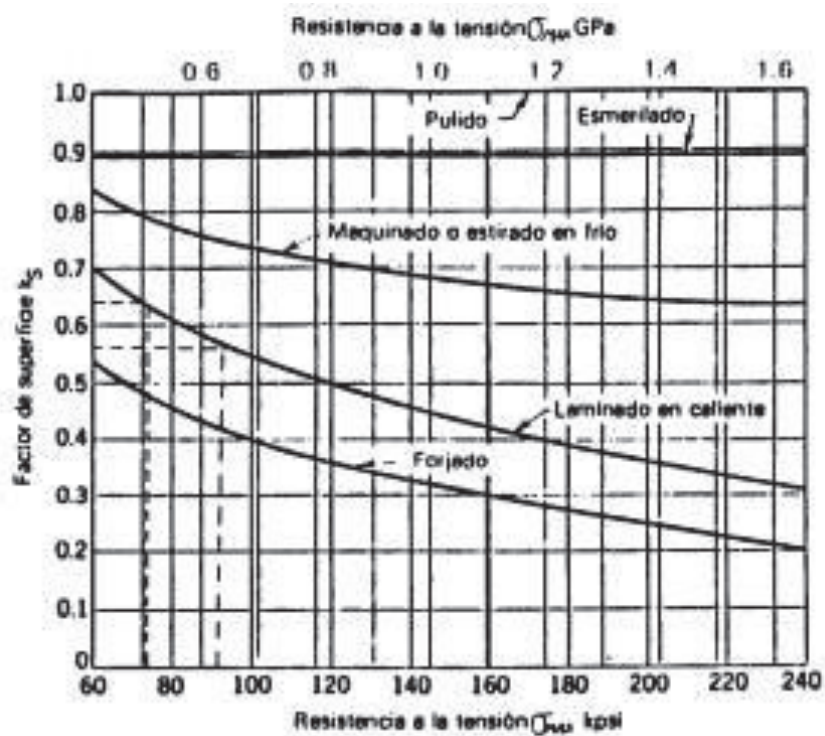


Figura 4.17.  $K_a$  vs.  $S_{ut}$ .

Fuente: Shigley, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. España; McGraw-Hill. 309.

Para la fabricación del eje maquinado en frío se emplea un acero A – 53 Gr B con un  $S_{ut} = 60$  Kpsi, por lo tanto:

$$k_a = 0.82$$

4.4.4.2.4. *Factor de corrección por tamaño:*

El factor de tamaño  $k_b$  se establece por la ecuación 4.2, para diámetros entre 0.3” y 10”:

$$k_b = 0.869 * d^{-0.097}$$

Considerando un diámetro de 7.5 cm:

$$k_b = 0.869 * d^{-0.097}$$

$$k_b = 0.76$$

4.4.4.2.5. *Factor de confiabilidad:*

El factor de confiabilidad  $k_c$  se determina según la Tabla 4.9:

Tabla 4.9. Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Factor de confiabilidad $k_e$
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620
99.99999	0.551
99.999999	0.520

Fuente: Gudinas, R. (1999). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. España; McGraw-Hill. 113.

Se selecciona una confiabilidad máxima para aumentar los factores de seguridad:

$$k_c = 0.52$$

4.4.4.2.6. *Factor de corrección de temperatura*.<sup>30</sup>:

El factor de temperatura se determina mediante las ecuaciones:

$$\begin{aligned} k_d &= 1 && \text{Si } T \leq 450^\circ\text{C} (840^\circ\text{F}) \\ k_d &= 1 - 5,8 * 10^{-3} * T - 450 && \text{Si } 450^\circ \leq T \leq (550^\circ\text{C}) \\ k_d &= 1 - 3,2 * 10^{-3} * T - 840 && \text{Si } 840^\circ\text{F} \leq T \leq (1020^\circ\text{F}) \end{aligned}$$

Para el caso de este proyecto:

$$k_d = 1$$

4.4.4.2.7. *Factor de contracción de esfuerzos*<sup>31</sup>:

La existencia de discontinuidades o irregularidades, como ranuras o muescas incrementan de manera significativa los esfuerzos teóricos en la vecindad inmediata de la discontinuidad.

La sensibilidad de la muesca está definida por la ecuación 4.44:

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} q_{cortante} = \frac{K_{fs} - 1}{K_{ts} - 1} \quad (4.44)$$

Para el cálculo de la sensibilidad a la muesca  $q$  se emplean las figuras 4.18 y 4.19.

---

<sup>30</sup> Velasteguí, T. (2011). *Elementos de Máquinas*. Quito: EPN. 20.

<sup>31</sup> Gudinas, R. (1999). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. España; McGraw-Hill. 125.

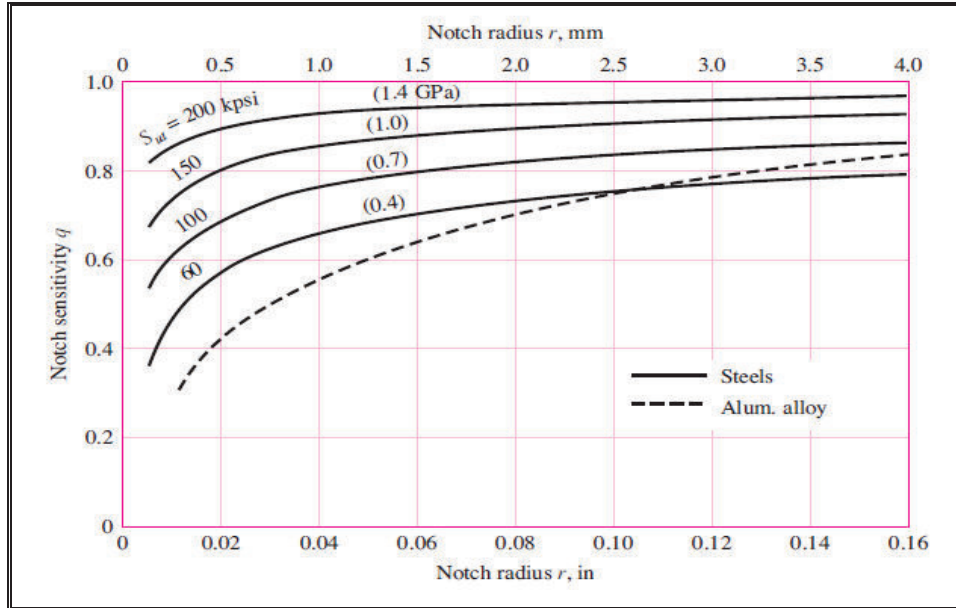


Figura 4.18. Selección de  $q$ .

Fuente: Gudinas, R. (1999). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. España; McGraw-Hill. 126.

Para el cálculo de la sensibilidad a la muesca cortante  $q_{cortante}$

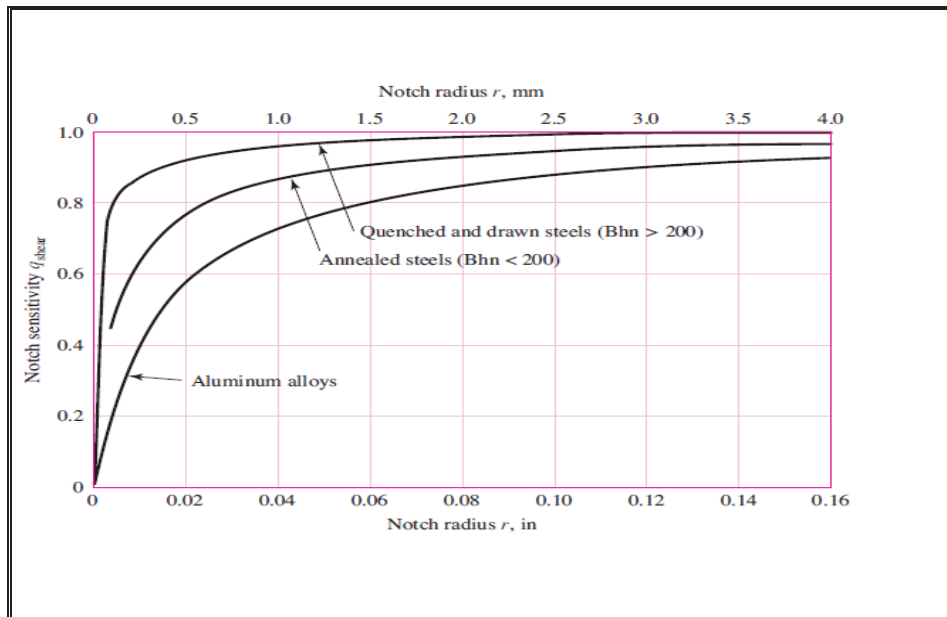


Figura 4.19. Selección de  $q_{cortante}$ .

Fuente: GUDINAS R.; (1999); "Diseño en Ingeniería Mecánica"; McGraw-Hill; pág.129.



Por lo tanto, se asume:

$$k_e = 1$$

4.4.4.2.8. *Factor de efectos diversos*<sup>32</sup>:

Este valor se lo considera únicamente en caso de análisis de engranes, por lo tanto:

$$k_f = 1$$

4.4.4.2.9. *Análisis de confiabilidad.*

Reemplazando valores en la ecuación 4.5 se tiene:

$$S_e = 30 * 0.82 * 0.76 * 0.52 * 1 * 1 * 1$$

$$S_e = 9.72 \text{ Kpsi} = 683 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se calcula los esfuerzos máximos en el punto crítico:

$$\sigma_x = \sigma_{xmax} = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{xmax} = \frac{32 * 4266}{\pi * 7.5^3}$$

$$\sigma_{xmax} = 103 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{xy\max} = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

---

<sup>32</sup> Velasteguí, T. (2011). *Elementos de Máquinas*. Quito: EPN. 21..

$$\tau_{xy\max} = \frac{16 * 730.5}{\pi * 7.5^3}$$

$$\tau_{xy\max} = 8.8 \text{ Kg } \text{cm}^2$$

Entonces, el esfuerzo promedio es igual:

$$\sigma'_m = \tau_{xy\max} * \sqrt{3}$$

$$\sigma'_m = 8.8 * \sqrt{3}$$

$$\sigma'_m = 15.24 \text{ Kg } \text{cm}^2$$

Resistencia a esfuerzos fluctuantes:

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{S_e}{S_{ut}} + \frac{\sigma_{x\max}}{\sigma'_m}}$$

$$S_m = \frac{683}{\frac{683}{4218} + \frac{103}{15.24}}$$

$$S_m = 98.7 \text{ Kg } \text{cm}^2$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_m}{\sigma'_m}$$

$$n = \frac{98.7}{15.24}$$

$$n = 6$$

El factor de seguridad  $n = 6$  garantiza el correcto funcionamiento del eje cuando este está sometido a cargas dinámicas, alargando así sus ciclos de vida y evitando fallas tempranas en el elemento ( $2 \leq n \leq 10$ )<sup>33</sup>.

#### **4.4.4.1. Eje conducido.**

Debido a que el eje conducido soporta las mismas cargas que el eje motriz, el análisis anterior cubre ambos casos.

#### **4.4.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA CUÑA.**

El diámetro del eje determina los tamaños estándares para el espesor, la altura, y la profundidad de la cuña. La falla de la cuña se presenta por corte directo o por esfuerzo de apoyo.<sup>34</sup>

El material usual de la cuña es acero laminado en frío y de bajo contenido de carbono, por lo general, las cuñas están diseñadas con factores de seguridad bajos puesto que es deseable que fallen en una situación de sobre carga en lugar de que fallen elementos más costosos.

Las cuñas y los acoplamientos conectan las partes funcionales de los mecanismos y las máquinas, y permiten que las partes móviles transmitan la potencia, o que las partes se ubiquen unas respecto de otras.

La tabla 4.10 sugiere tamaños de cuñas en función del diámetro del eje que transmite la potencia:

---

<sup>33</sup> Velasteguí, T. (2011). *Elementos de Máquinas*. Quito: EPN. 40.

<sup>34</sup> Gudinas et al. (1999). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, España; Mc Graw Hill, Novena edición. 372.

Tabla 4.10. Tamaños de cuñas.

TAMAÑO DE LA CUÑA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE				
TAMAÑO NOMINAL DEL EJE		TAMAÑO NOMINAL DE LA CUÑA		
Más de	Hasta (inches)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16
<b>1 1/4</b>	<b>1 3/8</b>	<b>5/16</b>	<b>5/16</b>	1/4
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	1/4

Fuente: Mott, R. (2009). *Diseño de Elementos de Maquinas*. México; Person Education; Cuarte Edición, . 492-495.

Para seleccionar el ancho y la altura de la cuña se parte de la información que provee el fabricante del motor-reductor a emplear, ver Figura 4.20.

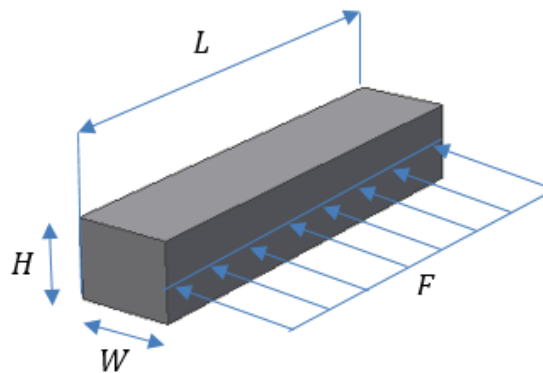


Figura 4.20. Dimensiones y fuerzas actuantes sobre la cuña.

Por lo tanto (Ver Anexo 14):

$$W = 8 \text{ mm}$$

$$H = 6 \text{ mm}$$

Valores que al compararlos con la tabla 4.9 confirma las dimensiones de la cuña.

#### 4.4.5.1. Determinación de la longitud de las cuñas<sup>35</sup>.

Las cuñas que transmiten potencia poseen básicamente dos tipos de falla: corte a través de la interfaz eje cubo, y falla por compresión, debido, a la acción de empuje entre los lados de la cuña y el material del eje o cubo.

La cuña está sometida a cortante directo, debido a las fuerzas que se crean cuando un par de torsión es aplicado hacia una de las caras en reacción con la cara del cuñero, entonces se produce un conjunto de fuerzas opuestas que someten al cuña a cortante a través de su sección transversal  $W$ , ecuación 4.45.

$$L = \frac{2 * T}{\tau_d * D * W} \quad (4.45)$$

Dónde:

$L$ : Longitud de la cuña [cm].

$T$ : Par torsional sobre el eje [Kg/cm].

$D$  : Diámetro del eje [cm].

$W$  : Ancho de la cuña [cm].

$\tau_d$ : Esfuerzo cortante [Kg/cm<sup>2</sup>]

Además, el esfuerzo cortante se define por medio de la ecuación 4.46:

$$\tau_d = 0.5 \frac{S_y}{N} \quad (4.46)$$

Donde:

$\tau_d$ : Esfuerzo cortante [Kg/cm<sup>2</sup>]

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia [Kg/cm<sup>2</sup>].

$N$ : Factor de seguridad y para aplicaciones industriales, ( $N=4$ )<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Mott, R. (2009). Diseño de Elementos de Maquinas. México; Person Educación; Cuarte Edición. 499.

Reemplazando valores:

$$\tau_d = 0.5 \frac{2500}{4}$$

$$\tau_d = 312 \frac{Kg}{cm^2}$$

La longitud L de la cuña es igual:

$$L = \frac{2 * 730.5}{312 * 2.5 * 0.8}$$

$$L = 2.34 \text{ cm}$$

#### 4.4.6. SELECCIÓN DEL COJINETE DE RODAMIENTO<sup>37</sup>

El objetivo de los cojinetes de deslizamiento es el de soportar la carga y al mismo tiempo permitir el movimiento rotativo entre dos elementos de una misma máquina.

El término cojinetes por contacto de rodadura, se emplea para describir la clase de cojinete en la cual se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan contacto rodante o deslizante.

##### 4.4.6.1. Cargas combinadas radiales y de empuje<sup>38</sup>.

Un cojinete de bolas es capaz de resistir carga radiales y de empuje. Para determinar la carga radial y axial equivalente que tengan los cojinetes y que den el mismo efecto, la FAG recomienda las formulas siguientes en el caso de cojinetes de bolas y de rodillos:

<sup>36</sup> Mott, R. (2009). *Diseño de Elementos de Maquinas*. México; Person Educación; Cuarte Edición. 500.

<sup>37</sup> FAG. *Catalogo Rodamientos de Bolas*. 20

<sup>38</sup> Gudinas et al. (1999). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, España; Mc Graw Hill, Novena edición. 400.

Según el catálogo de la FAG para rodamientos solicitados dinámicamente, el tamaño de rodamiento se determina con la ecuación 4.47.

$$C = \frac{f_L}{f_n \cdot f_H} * P_{eq} \quad (4.47)$$

Dónde:

$C$ : Capacidad de carga dinámica, que se indica para cada rodamiento en tablas.

$f_L$ : Factor de esfuerzo dinámico

$f_n$ : Factor de velocidad. Depende únicamente del número de revoluciones

$f_H$ : Factor de Dureza depende de la temperatura de servicio

$P_{eq}$ : Carga dinámica equivalente [N]

La carga dinamica equivalente se determina con la ecuación 4.48.

$$P_{eq} = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (4.48)$$

Donde:

$F_r$ : Carga radial aplicada.

$F_a$ : Carga axial aplicada

X: Factor radial (Ver Anexo 17)

Y: Factor de empuje axial (Ver Anexo 17)

Al determinar los factores axial y de empuje se cumple que  $\frac{F_a}{F_r} \leq e$  por lo tanto

$$P = F_r = R_{AZ}.^{39}$$

---

<sup>39</sup> FAG *Catalogo 412500 Rodamiento de Bolas.* 246-265.

Entonces:

$$P_{eq} = 1343 \text{ N}$$

Volviendo a la ecuación 4.44:

$$C = \frac{5.5 * 1343 \text{ N}}{0.874 * 1}$$

$$C = 8451.4 \text{ N} = 8.45 \text{ KN}$$

Dado que:

$f_L$ : Para rodillo de cinta transportadora es de 4.5 a 5.5 (Ver Anexo 18)

$f_n$ : El moto reductor seleccionado trabaja a 50 rpm con un  $i=60$ , así  $f_n = 0.874$   
(Ver Anexo 19)

$f_H$ : Consideramos 1, no trabaja a temperaturas mayores a  $150C^o$

Calculada la carga dinámica y con ayuda del catálogo de la FAG se selecciona el rodamiento de bolas con ranura circular de sujeción, Serie 6006, de diámetro interno 30mm, diámetro externo 55mm, ancho de 13mm. (Ver Anexo 20).

#### 4.4.7. CÁLCULOS PARA LA ESTRUCTURA

La estructura posee la configuración siguiente, figura 4.21.

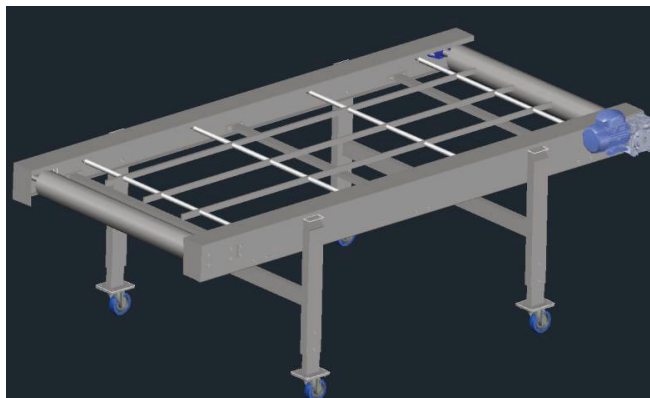


Figura 4.21. Esquema de la estructura base



Por medio de SAP20015:

Generamos los elementos para el mallado de acuerdo a la configuración y dimensiones establecida entre cada elemento, figura 4.22.

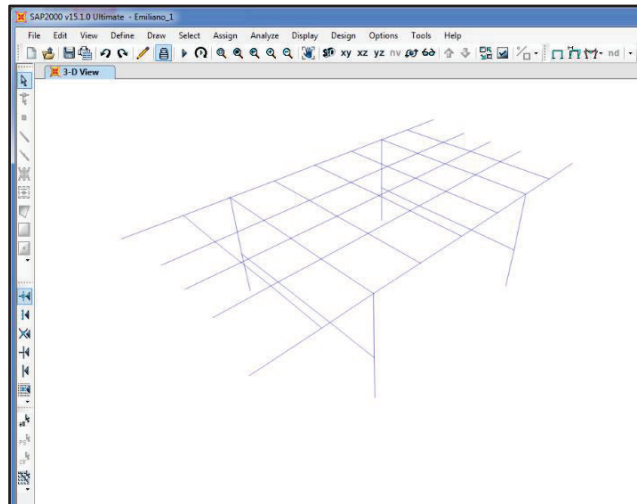


Figura 4.22. Modelación de los elementos en SAP 2000

En la malla procedemos a generar los perfiles acorde a cada elemento de la estructura, figura 4.23.

Sopotería de la estructura:

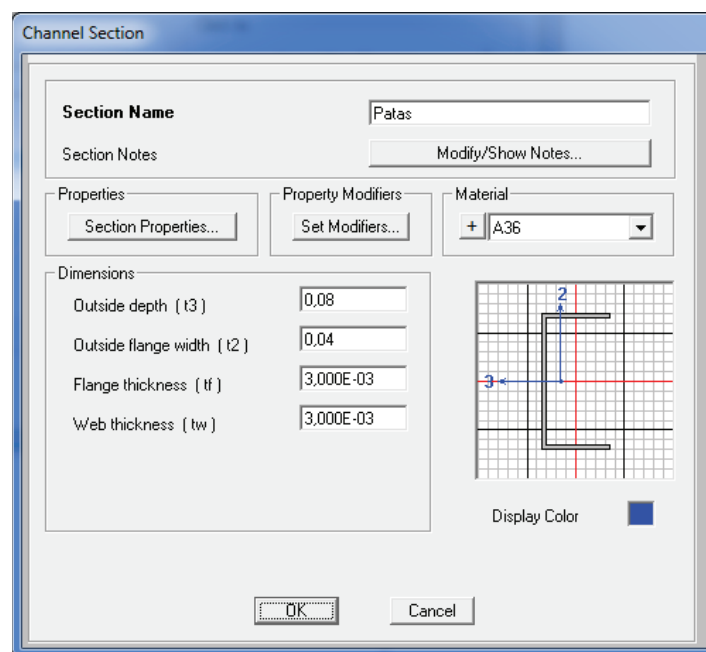


Figura 4.23. Asignación de perfiles.

El perfil utilizado para los travesaños de la soportería de la estructura es, figura 4.24:

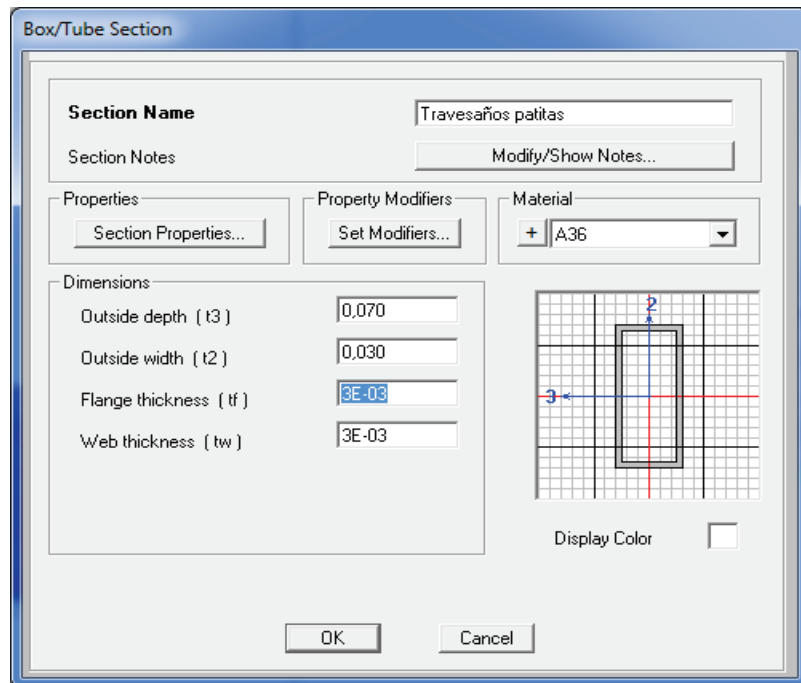


Figura 4.24. Asignación de perfiles.

Para las tres placas que cruzan la estructura longitudinalmente, créanos el perfil bajo las dimensiones establecidas en los planos, figura 4.25.

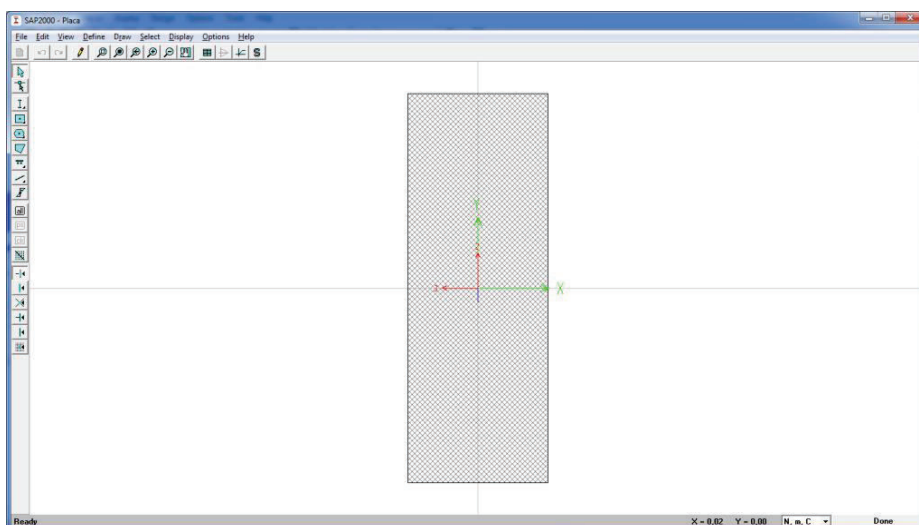


Figura 4.25. Asignación de perfiles.

Largueros para la estructura, figura 4.26.

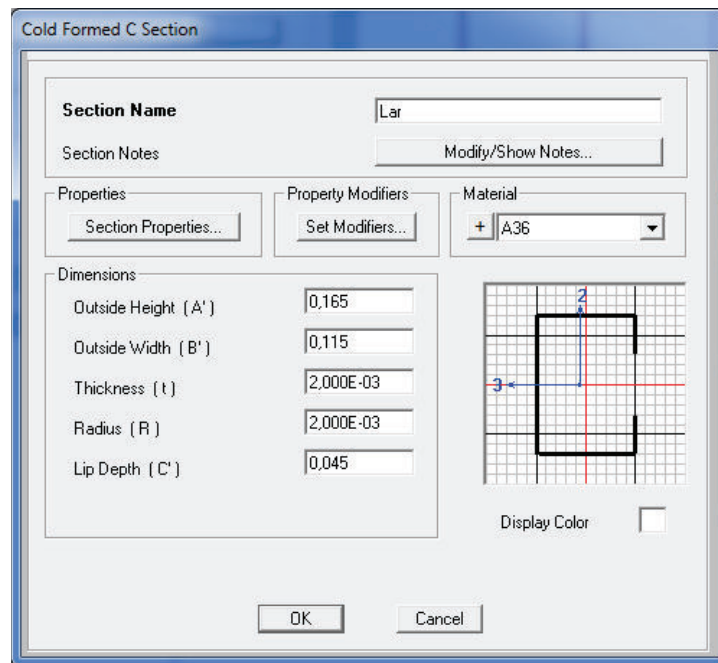


Figura 4.26. Asignación de perfiles.

Tubos circulares que cruzan a lo ancho de la estructura, figura 27.

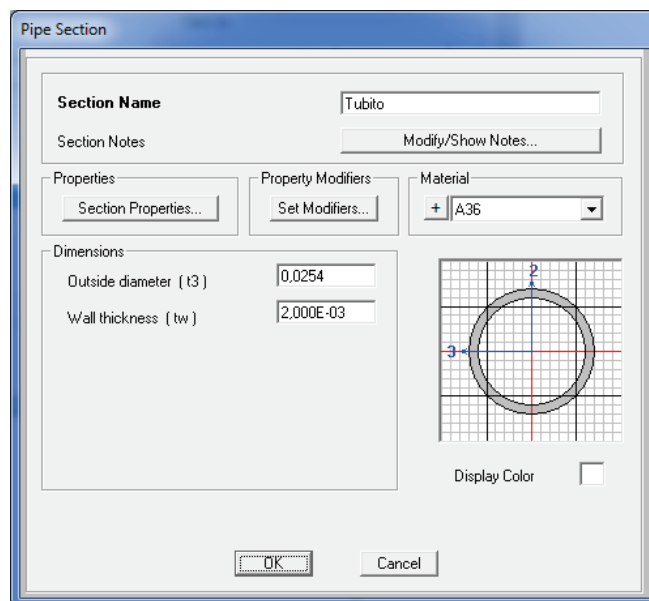


Figura 4.27. Asignación de perfiles.

Tubo rectangular para reforzar la estructura a lo ancho, figura 28.

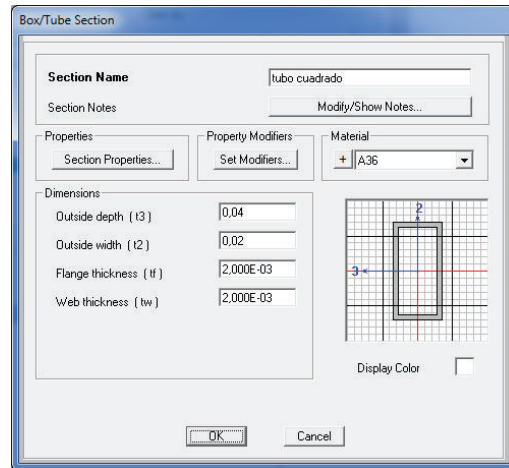


Figura 4.28. Asignación de perfiles.

#### 4.4.7.1. Elementos de la Estructura de soporte

1. Patas de la soportería
2. Tubo rectangular
3. Tubos circulares
4. Largueros
5. Placas que cruzan
6. Travesaños de las patas

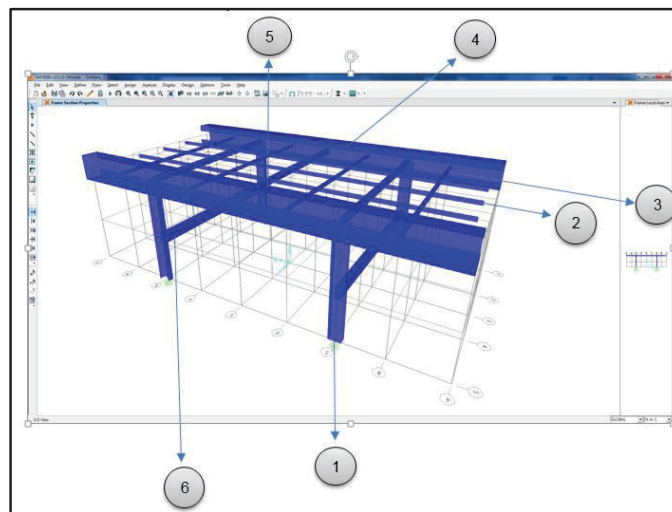


Figura 4.29. Esquema de elementos existentes

Realizamos el cálculo de deformación de la estructura, figura 4.30.

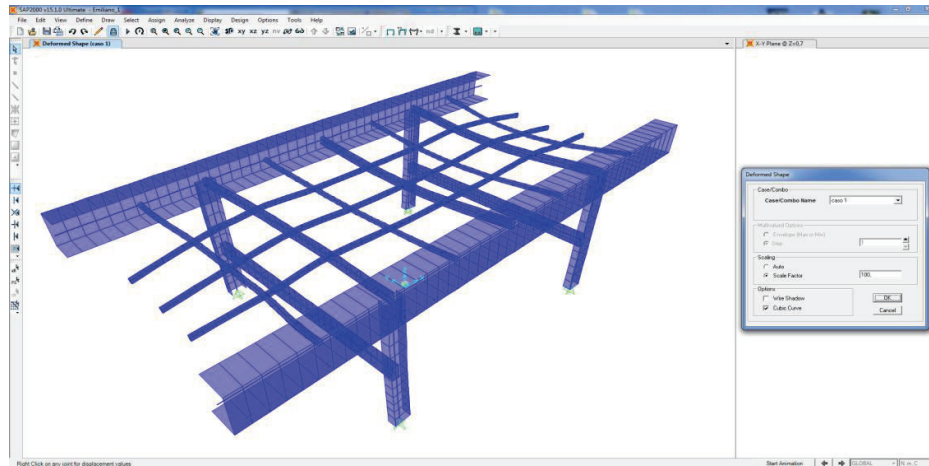


Figura 4.30. Deformación de la estructura

Calculamos cómo se comporta la estructura, sabiendo que las cargas debido al peso son de 711 N y están distribuidas a lo largo de la bancada, consideramos una carga muerta de 1.4 veces el peso de la estructura, así como las fuerzas sobre la estructura debidas a la tensión en la cinta 2686 N, transmitidas a través de los rodillos, figura 4.31.

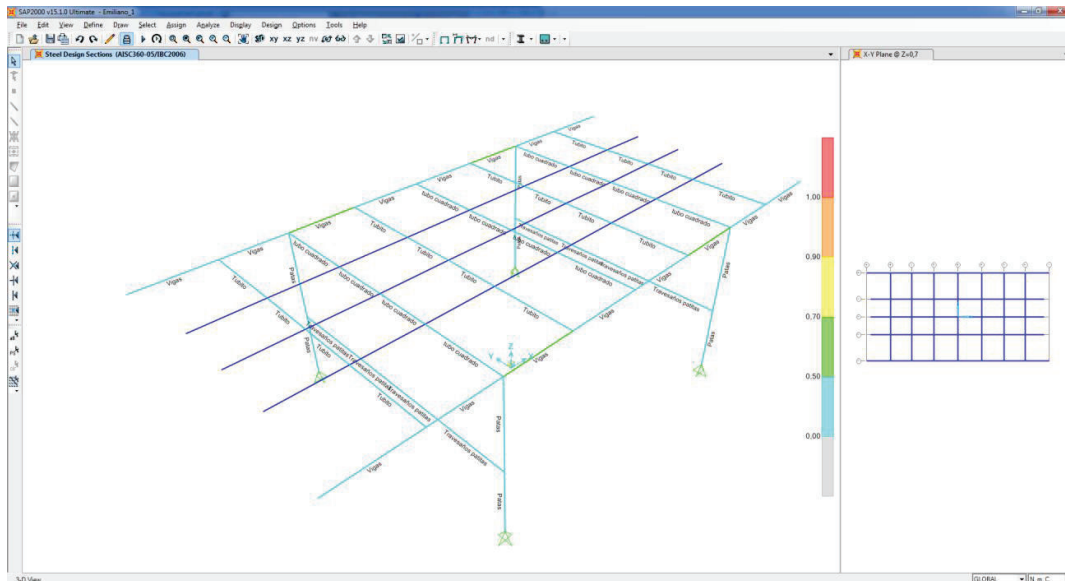


Figura 4.31. Espectro de colores según carga en los elementos

La figura 4.31 presenta cada elemento sometido a las cargas, donde el elemento en azul determina que la estructura está sobredimensionada, sobre ella no se produce cambios críticos.

Se observa además, que sobre en estructura no existen elementos en color rojo, lo que significa que no hay presencia de fallas en la soportaría a causa de sobrecargas.

## **CAPITULO 5**

### **CONSTRUCCION Y MONTAJE**

El presente capítulo describe el procedimiento para la construcción y el montaje de la secadora de alimento en hojuela para peces de acuario, adicionalmente se hace un análisis de los elementos que se requiere fabricar basados en las hojas de taller para cada uno de ellos. Los elementos se fabrican en un taller mecánico que cubra con los requerimientos necesarios para que la secadora esté de acuerdo a las especificaciones del cliente.

#### **5.1. REQUERIMIENTOS**

Para la adecuada construcción y montaje del secador es necesario verificar los siguientes requerimientos:

- Materia prima de buena calidad para la fabricación de los elementos.
- Personal técnico capacitado.
- Máquinas, equipos y herramientas en buenas condiciones de operación.
- Aplicar Normas de seguridad respectivas en el taller mecánico.

El diseño de la secadora se lo realiza en dos fases, la primera comprende la selección de los elementos que están normalizados y la segunda fase que comprende los elementos que deben ser construidos los mismos que requieren planos de detalle. Finalmente se elabora un diagrama de flujo para detallar el procedimiento de montaje de cada una de las secciones que comprende la secadora.

##### **5.1.1. MATERIALES A EMPLEAR.**

Los materiales a emplear en la secadora se describen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Materiales

<b>MATERIALES</b>		
DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD
Perfil cuadrado	m	6
Plancha de acero	EA	1
Eje	EA	3
Rodillos	EA	3
Ventilador	EA	1
Banda metálica	m	6
Laminas acero inoxidable (2.44x1.22x1.5)	EA	1
Resistencia eléctrica	EA	6
Motor	EA	1
Motor-reductor	EA	1
Chumacera pernos	EA	4
Pernos	EA	50
Anticorrosivo	lts	2
Pintura	lts	3
Electrodos	EA	15

### 5.1.2. MANO DE OBRA.

Para el desarrollo de la construcción y montaje del presente proyecto se necesita del siguiente personal:

- Técnico mecánico.
- Soldador.
- Tornero.
- Obrero.

### 5.1.3. MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

La tabla 5.2 nombra las herramientas y equipos necesarios para la construcción de la secadora.



Tabla 5.2. Herramientas y equipos

TIPO	ELEMENTO	UNIDAD	CÓDIGO	CANT.
MÁQUINAS – HERRAMIENTAS	Torno	EA	MH1	1
	Taladro de banco	EA	MH2	1
	Esmeril	EA	MH3	1
	Cortadora	EA	MH4	1
	Calentador de Inducción	EA	MH5	1
	Dobladora	EA	MH6	1
EQUIPOS	Taladro de mano	EA	E1	1
	Amoladora	EA	E2	1
	Soldadora SMAW	EA	E3	1
	Equipos de seguridad	EA	E4	1
	Equipos de pintado	EA	E5	1
HERREMIENTAS	Arco de sierra	EA	H1	2
	Disco de corte	EA	H2	1
	Disco de desbaste	EA	H3	1
	Lima	EA	H4	2
	Juego de llaves	EA	H5	1
	Juego de destornilladores	EA	H4	1
INTRUMENTOS DE MEDICION	Calibrador pie de rey	EA	I1	2
	Nivel	EA	I2	1
	Flexómetro	EA	I3	2
	Escuadra	EA	I4	1
	Compas metálico	EA	I5	1

#### 5.1.4. ELEMENTOS NORMALIZADOS.

- Rodamientos
- Ventilador Eléctrico
- Bandeja transportadora
- Reductor de Velocidad
- Motor Eléctrico.
- Pernos de diferentes medidas
- Remaches
- Ruedas para transportar el secador
- Esparrago de soporte

### **5.1.5. ELEMENTOS A ELABORAR**

- Eje Motriz A
- Eje Motriz B
- Eje Conducido.
- Galletas.
- Esparrago templador

### **5.1.6. ELEMENTOS ENSAMBLADOS.**

- Horno.
- Estructura
- Rodillo Motriz
- Rodillo Conducido

## **5.2. PROCESO DE CONSTRUCCION**

Este proceso consta de una sucesión de pasos para construir adecuadamente la secadora. Para mejorar el tiempo de construcción es necesario tener listos los elementos que se van a usar en el montaje, la materia prima debe ser de fácil comercialización en el mercado nacional.

### **5.2.1. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.**

Para la construcción de la secadora es necesario seguir los siguientes pasos:

- Elaborar hojas de procesos de los elementos a fabricar.
- Seleccionar materiales y dimensiones de los mismos.
- Cotizar y adquirir material.
- Verificar Instalaciones del Taller Mecánico.
- Acondicionamiento del espacio.
- Calibración y puesta en marcha de los equipos.
- Preparación de los materiales (medición, corte, doblado).






- Proceso de mecanizado de los elementos a construir.
- Posicionar, acoplar, fijar y soldar los elementos estructurales.
- Montaje y Comprobación de dimensiones finales.

#### 5.2.1.1. Diagrama de flujo para la construcción.

Para mejor comprensión del proceso de construcción se elabora un diagrama de flujo, donde se aprecia de manera secuencial los pasos para la construcción. De igual manera se emplea códigos para describir el tiempo empleado en ejecutar cada actividad.

A continuación, la tabla 5.3 se presenta la simbología a emplear en los diagramas de flujo.

Tabla 5.3. Simbología

ACTIVIDAD	SIMBOLO	RESULTADO PREDOMINANTE
OPERACIÓN		Se produce o se realiza algo
TRANSPORTE		Se cambia de lugar o se mueve un objeto
INSPECCION		Se verifica la calidad del producto
DEMORA		Se interfiere o se retrasa el paso siguiente
ALMACENAJE		Se guarda o se protege el producto elaborado

Fuente: <http://campus.cva.itesm.mx/nazira/Tc1001/Diagramas%20de%20flujo.pdf>

En la figura 5.1 se muestra el diagrama de flujo que describe la construcción de la estructura de la secadora, la tabla 5.4 estipula el tiempo estimado de ejecución.

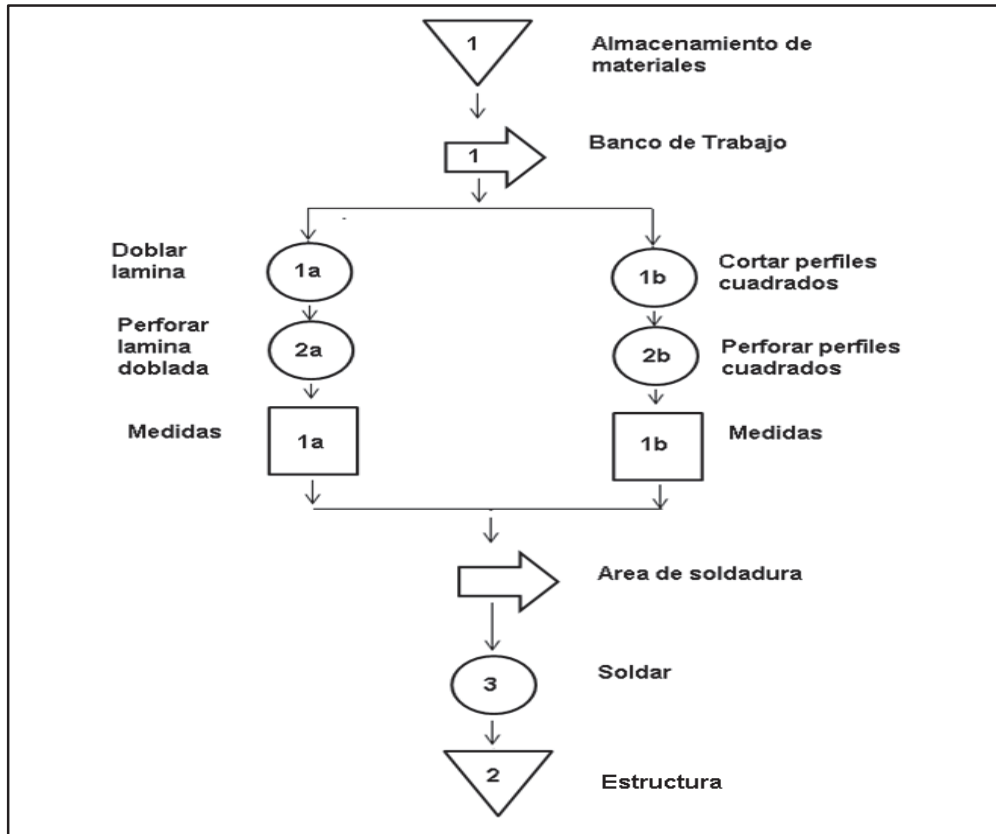


Figura 5.1. Diagrama de flujo de la construcción de la estructura para la secadora

Tabla 5.4. Tiempo de demora para construcción de la estructura

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1					15
	1				10
			1a		45
			2a		60
				1a	10
			1b		45
			2b		60
				1b	10
	2				10
			3		60
2					15
<b>Tiempo empleado</b>					<b>340</b>

En la figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de construcción del bastidor de la estructura acompañado del tiempo estimado de ejecución en la tabla 5.5.

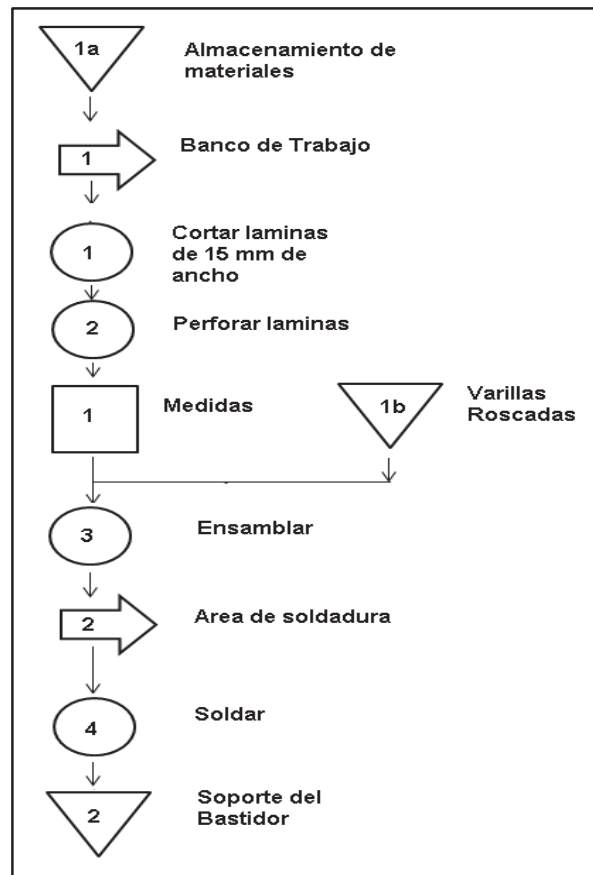


Figura 5.2. Diagrama de flujo del soporte del bastidor.

Tabla 5.5. Tiempo de demora para construcción el soporte del bastidor

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1 <sup>a</sup>					30
	1				20
			1		60
			2		50
				1	20
1b					30
			3		60
	2				20
			4		60
2					10
<b>Tiempo empleado</b>					<b>360</b>

En la figura 5.3 se muestra el diagrama de flujo para ensamblar el horno de secado acompañado del tiempo estimado de ejecución en la tabla 5.6.

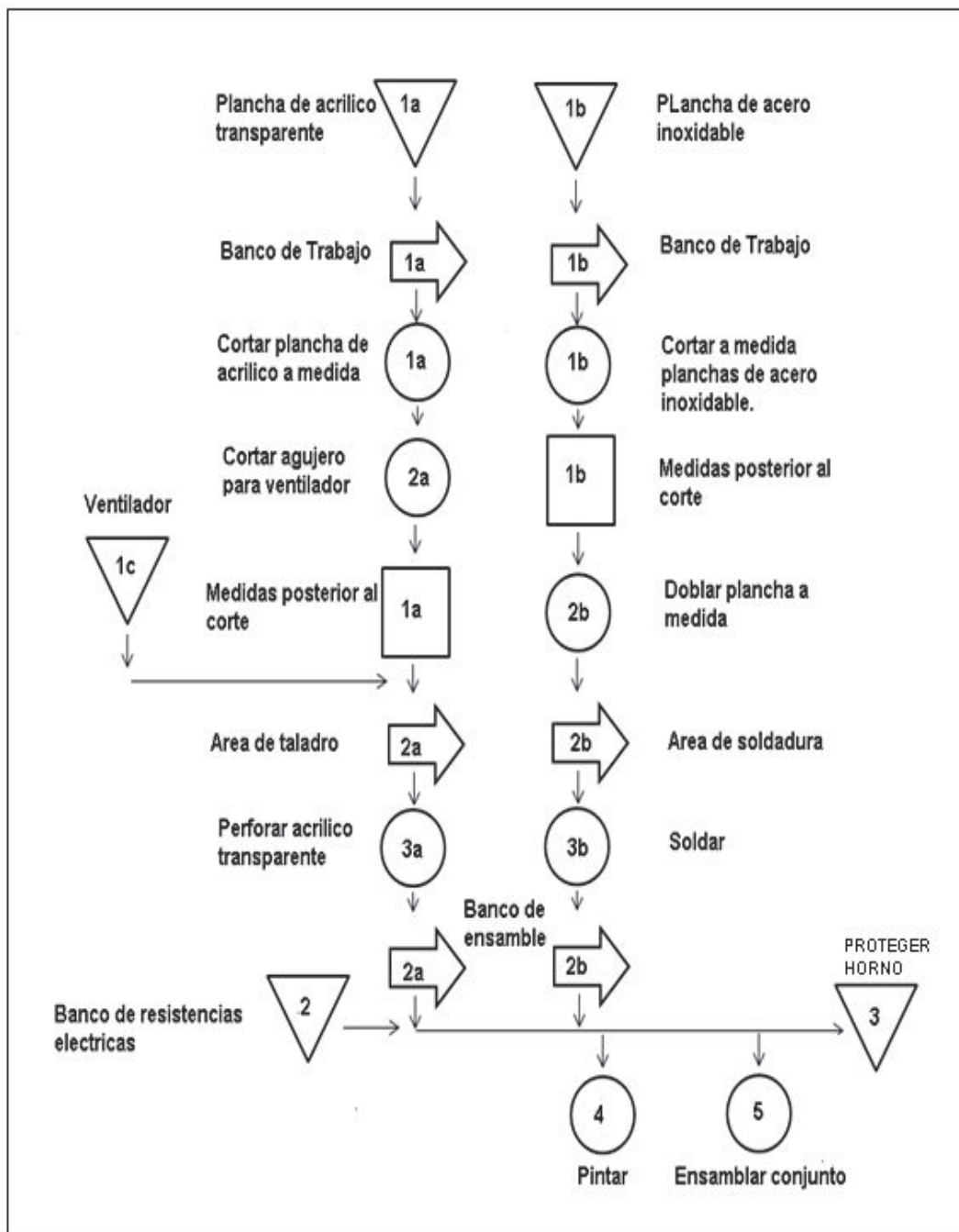


Figura 5.3. Diagrama de flujo de la construcción del horno del secador.

Tabla 5.6. Tiempo de demora para construcción del horno secador.

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1ª					15
	1a				10
			1a		20
			2a		30
1c					15
				1a	10
	2a				10
			3a		15
	3a				10
1b					15
	1b				10
			1b		45
				1b	15
			2b		60
	2b				10
			3b		45
	3b				10
2					15
			4		20
			5		50
3					15
<b>Tiempo empleado</b>					<b>445</b>

Dando continuidad al proceso y como muestra de que los elementos fueron elaborados por los autores del presente proyecto de titulación, se hace un registro fotográfico de las etapas de construcción de la secadora. En la fotografía 5.1 se aprecia la construcción del túnel u horno de secado, mostrándose la fase de doblado, maquinado y ensamble.



Fotografía 5.1. Construcción del horno de secador.



La figura 5.4 muestra el diagrama de flujo empleado para la construcción del rodillo motriz, acompañado de la Tabla 5.7 donde se estima el tiempo de construcción.

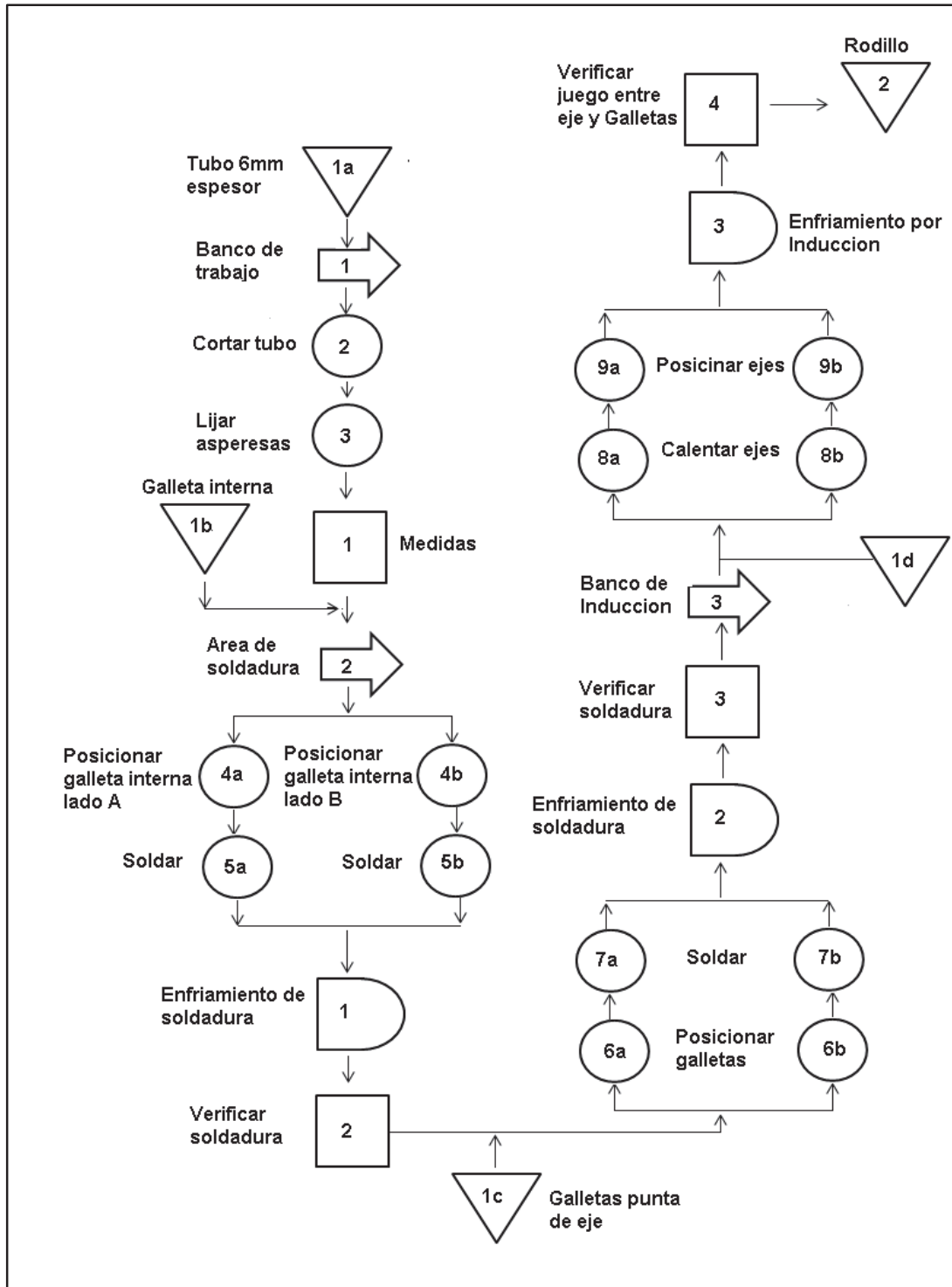


Figura 5.4. Diagrama de flujo de la construcción del rodillo motriz.

Tabla 5.7. Tiempo de demora para construcción del Rodillo Motriz.

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1ª					15
	1				10
			2		20
			3		20
				1	10
1b					15
	2				10
			4a		10
			5a		30
			4b		10
			5b		30
		1			20
				2	15
1c					15
			6a		10
			7a		30
			6b		10
			7b		30
		2			20
				3	15
	3				20
1d					15
			8a		10
			9a		15
			8b		10
			9b		15
		3			20
				4	15
2					15
<b>Tiempo empleado</b>					<b>480</b>

La figura 5.5 muestra el diagrama de flujo empleado para la construcción del rodillo motriz, acompañado de la Tabla 5.8 donde se estima el tiempo de construcción.

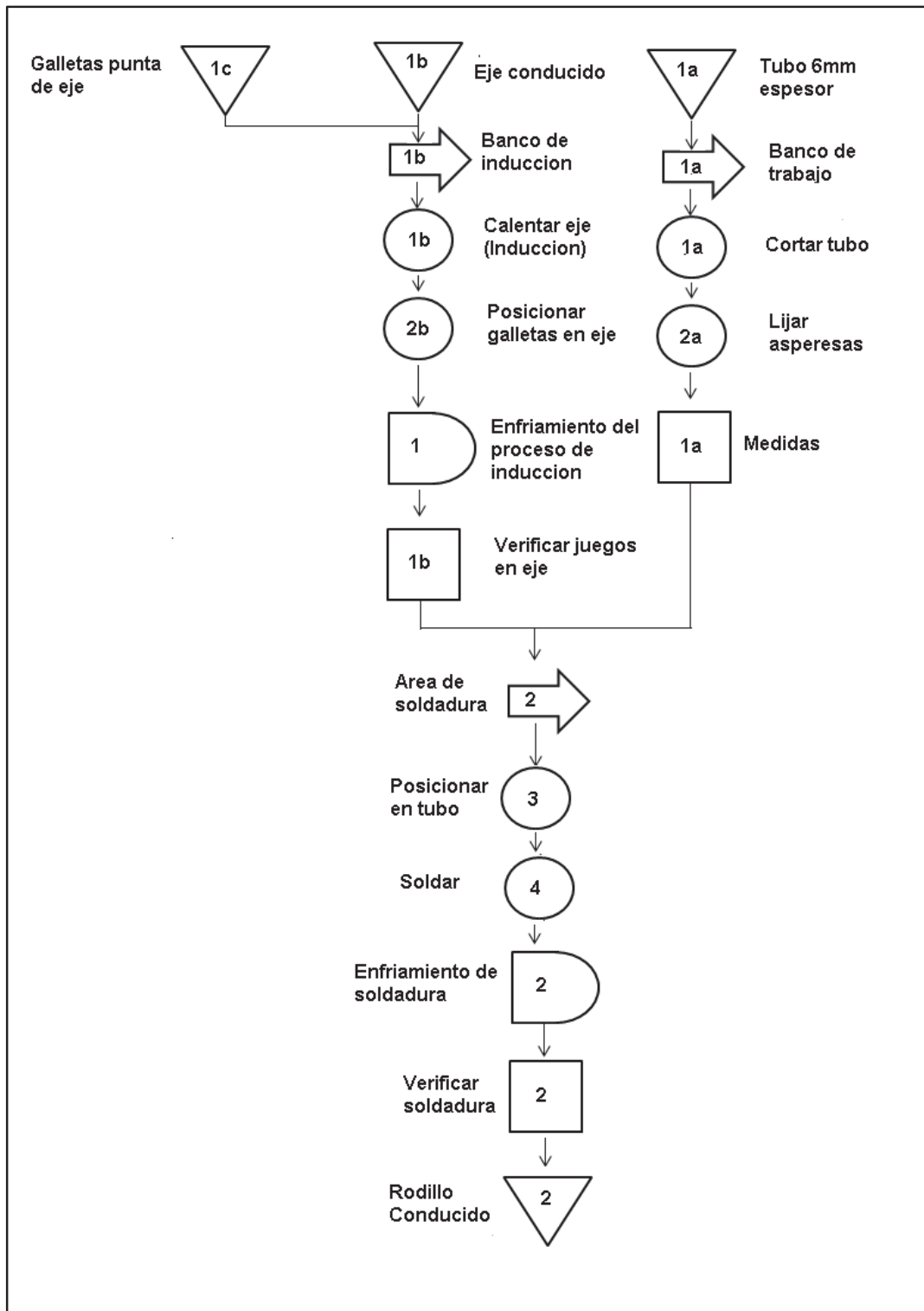


Figura 5.5. Diagrama de flujo del rodillo conducido.

Tabla 5.8. Tiempo de demora para construcción del rodillo conductor.

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1b					15
1c					15
	1b				20
			1b		10
			2b		10
		1			25
				1b	10
1 <sup>a</sup>					15
	1a				20
			1a		25
			2a		25
				1a	15
	2				20
			3		10
			4		25
		2			25
				2	15
2					15
<b>Tiempo empleado</b>					<b>315</b>

### 5.2.2. MONTAJE

Luego de haber construido los componentes de la secadora se procede a realizar el montaje, el mismo que se muestra en el diagrama de flujo esquematizado en la figura 5.6 y en la tabla 5.9 el tiempo estimado de ejecución.

De igual manera existe un registro fotográfico, en la fotografía 5.2 se muestra el montaje de los elementos móviles sobre el bastidor, y de las resistencias eléctricas en el túnel de calor. En la fotografía 5.3 se muestra la etapa de montaje del secador sobre el bastidor.

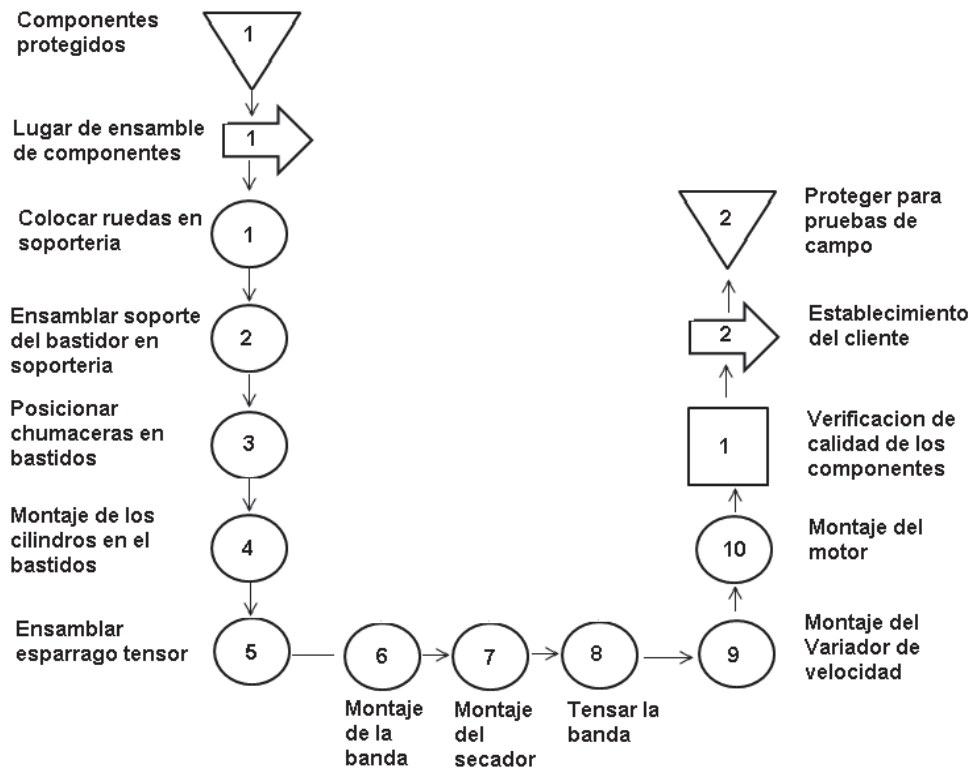


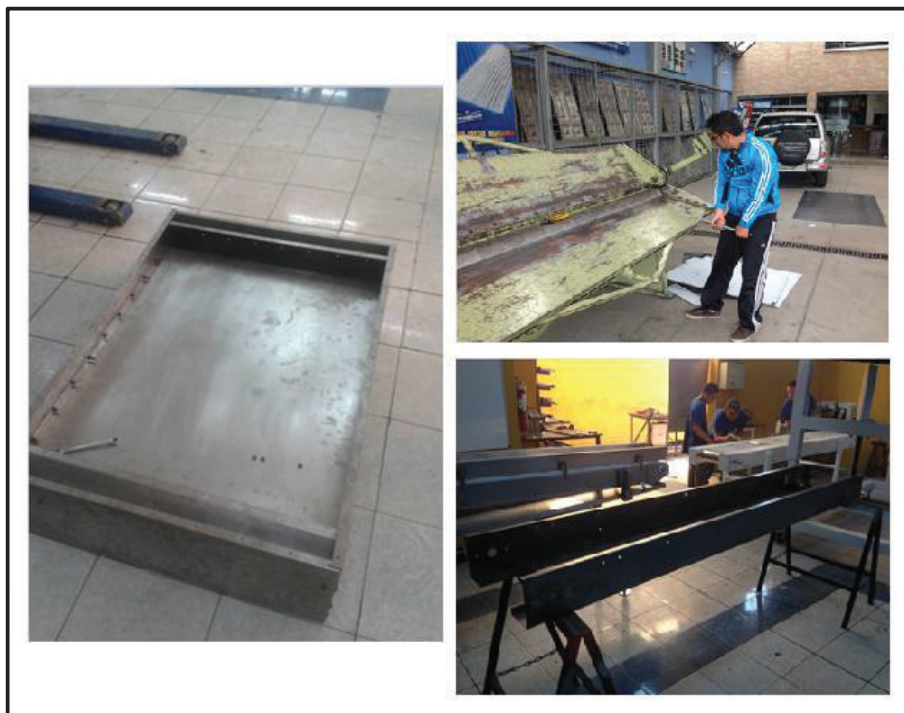
Figura 5.6. Diagrama de flujo del montaje de la secadora.

Tabla 5.9. Tiempo de demora para el montaje de la Secadora.

Almacenar materiales o protección	Transporte	Demora	Operación	Inspección	Tiempo [mm]
1					30
	1				20
			1		60
			2		50
			3		45
			4		30
			5		60
			6		20
			7		20
			8		10
			9		20
			10		20
				1	15
	2				60
2					10
<b>Tiempo empleado</b>					<b>470</b>



Fotografía 5.2. Montaje del secador.



Fotografía 5.3 Montaje del secador.

### 5.2.3. PLANOS DE TALLER

En el Anexo 21 se adjuntan los planos de taller de los elementos a elaborar.

## 5.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA SECADORA.

El protocolo de pruebas permite realizar una verificación e inspección de los parámetros empleados en los cálculos de diseño, en donde se evalúa las variables energéticas y electromecánicas.

### 5.3.1. PROCEDIMIENTO GENERAL

El procedimiento general para el protocolo de pruebas es el siguiente:

- La prueba del secador puede realizarse durante el día o la noche, de preferencia de 8:00 AM a 17:00 PM para aprovechar la energía solar.
- Realizar una instalación previa de los instrumentos de medición para su registro, ver figura 5.7.
- Precalentar el secador sin carga hasta llegar a rangos de operación (temperatura de operación del secador debe estar entre 65°C a 75 °C).
- Pesar del producto a secar y esparcirlo uniformemente sobre las bandejas.
- Medir las variables que se enlistan en el punto 5.3.1.2 “Variables a Medir” y tabular los datos cada 4 min, este registro se hacer para controlar el proceso de secado.
- Realizar una hoja de resultados.
- Determinar el error promedio entre los datos teóricos con la información obtenida experimentalmente.

#### 5.3.1.1. Variables a Medir:

##### 5.3.1.1.1. Distancia y tiempo:

Con la ayuda de un flexómetro y un cronómetro se mide el desplazamiento de la cinta transportadora en un tiempo determinado.

*5.3.1.1.2. Temperatura del Aire a la Entrada del Ducto:*

Para la medición de la temperatura del aire a la entrada del ducto se emplea una termocupla tipo TP – 01 en la ubicación que describe la figura 5.7.

*5.3.1.1.3. Temperatura del Aire en la Cámara de Secado:*

Este es uno de los parámetros más importantes a controlar, puesto que de esta temperatura dependen los tiempos de secado y porcentajes de humedad requeridos. Para su medición se coloca la termocupla dentro de la cámara de secado.

*5.3.1.1.4. Temperatura del Bulbo Seco y de Bulbo Húmedo del Aire a la Entrada:*

Se instala los termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo en la entrada del aire a la cámara de secado, figura 5.7.

*5.3.1.1.5. Temperatura del Bulbo Seco y de Bulbo Húmedo del Aire a la Salida:*

De manera similar al punto anterior, se hubican los termómetros en la salida de la cámara de secado y se realizan la mediciones.

*5.3.1.1.6. Peso:*

Se utiliza una muestra de 4 gramos la misma que se pesa con ayuda de una balanza hasta que llegue al peso correspondiente a la humedad del 12%.

*5.3.1.1.7. Tiempo de Secado:*

Empleando un cronómetro y la balanza de precisión se toma el tiempo en que tarda el producto en secarse dentro de la cámara y llegar al peso y humedad establecidos.

*5.3.1.1.8. Temperatura de la Cubierta:*

Se ubica la termocupla tipo TP – 01 en la cubierta y se procede a tomar los datos, figura 5.7.



### 5.3.1.1.9. Temperatura de la Placa Absorbadora:

Empleando la termocupla TP - 01 se toma las mediciones de temperatura en la placa absorbadora, su ubicación se muestra en la figura 5.7.







### 5.3.1.1.10. Radiación Solar:




Se elige un valor promedio de radiación tomado de las tablas del INAMHI, ver figura 2.9.

### 5.3.1.2. Equipos de Medición:

Para la medición de las variables establecidas se necesita de instrumentos de medición, cuyas características se muestran en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Instrumentos de medición.

Instrumento	Cant.	Marca	Rango	Precisión	Und.	Fotografía
Flexómetro	1	STANLEY	3	0.001	m	
Cronómetro	1	CASIO	9 Horas 59 Min 59,99 Seg	1/100seg	----	
Termocupla Tipo TP - 01	3	TP SENIES	-50 a 204	1	° C	
Termómetro bulbo seco	2	PCE	-1 a 100	1	° C	
Termómetro bulbo húmedo	2	PCE	0 a 80	1	° C	
Caja petri	1	DUROPLAN	62	---	cm <sup>3</sup>	

Balanza de precisión	1	NAHITA	100	0.001	g	
Multímetro Digital	1	FLUKE	-50 a 400	1	° C	
Selector de termocuplas	1	OMEGA	6	-----	Puertos	

### 5.3.1.3. Variables a Calcular:

#### 5.3.1.3.1. Velocidad de la Banda Transportadora:

La velocidad de la banda transportadora se calcula dividiendo la distancia que se desplaza la banda sobre el tiempo transcurrido.

#### 5.3.1.3.2. Humedad del Aire de Entrada:

Una vez medidas las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo se calcula la humedad del aire a la entrada empleando las cartas psicrométricas de la ciudad de Quito (Anexo 22).

#### 5.3.1.3.3. Humedad del Aire a la Salida:

Se realiza el mismo procedimiento del punto anterior, utilizando las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo medidas a la salida del ducto.

#### 5.3.1.3.4. Humedad del Producto a la Salida de la Cámara de Secado:

Con la ayuda de la balanza de precisión y una caja Petri que contiene una muestra de 4g, se procede a tomar los pesos del producto cada cuatro minutos mientras se realiza el proceso de secado, ecuación 2.2.

$$x_h = \frac{m_T - m_s}{m_T} * 100$$

#### 5.3.1.3.5. Capacidad de la Banda:

Es la relación entre el peso del producto contenido en la bandeja y el tiempo de secado.

#### 5.3.1.3.6. Eficiencia del Colector:

Con la temperatura de la cubierta, placa absorbadora y la radiación solar se emplea la ecuación 4.22 para el cálculo de la eficiencia del colector.

$$\eta = 1 + \frac{U_t * T_p - T_a}{\tau * \alpha * G_t}^{-1}$$

#### 5.3.1.4. Pruebas Visuales

En las pruebas visuales se analizan acabados estéticos y el correcto funcionamiento de elementos de la secadora, en donde los puntos de evaluación son:

- Lubricación de elementos móviles
- Adecuada sujeción de elementos
- Verificar el templado de la banda transportadora
- Revisar juntas soldadas
- Verificar estado de la pintura de la secadora

#### 5.3.1.5. Ubicación de los Instrumentos de Medición en el Secador:

La ubicación de los instrumentos de medida se indica en la figura 5.7, en la Fotografía 5.4 se muestra la instrumentación del equipo para realizar las pruebas.

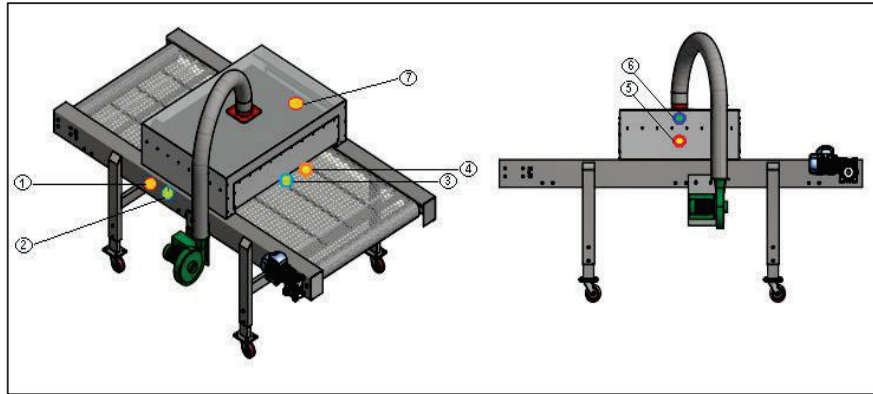
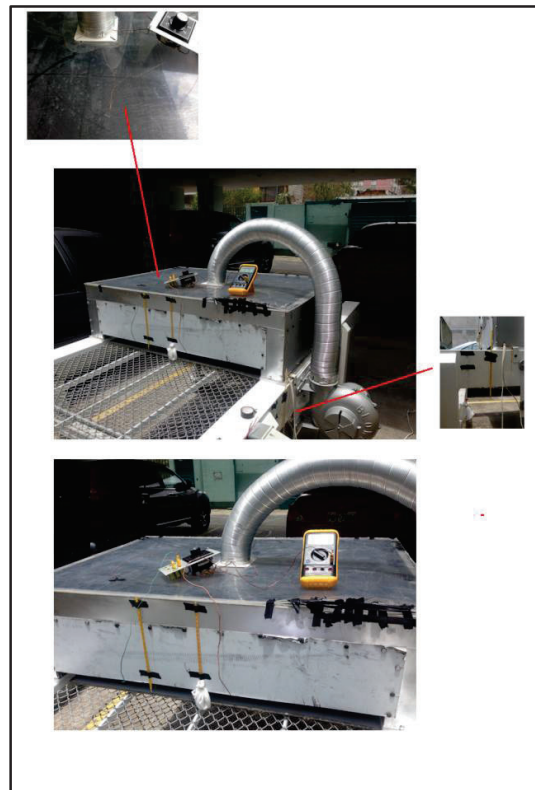


Figura 5.7. Localización de los instrumentos de medición.

- 1: Temperatura de bulbo seco del aire de entrada.  $T_1$
- 2: Temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada.  $T_2$
- 3: Temperatura de bulbo seco del aire de salida  $T_3$
- 4: Temperatura de bulbo húmedo del aire de salida.  $T_4$
- 5: Temperatura de la cámara de secado  $T_5$
- 6: Temperatura de la placa absorbente  $T_6$
- 7: Temperatura de la cubierta  $T_7$



Fotografía 5.4: Instrumentos para medir sobre la secadora

### 5.3.1.6. Metodología de Cálculo y Tratamiento de Resultados

#### 5.3.1.6.1. Registro:

Se realizan las siguientes pruebas:

- *PRUEBA 1:* Día 22 de Febrero 2015; se verifica que todos los elementos estén operando correctamente. Se observa que la temperatura en la cámara de secado no supera los 35 °C, para lo cual es necesario hacer modificaciones en el conexionado de las resistencias eléctricas. El motor de la banda transportadora y el ventilador funcionan correctamente.
- *PRUEBA 2:* Día 23 de Febrero 2015; Se verifica el correcto funcionamiento de las resistencias eléctricas, se censa la temperatura en la cámara de secado y se comprueba que la temperatura es adecuada para el proceso de secado.
- *PRUEBA 3:* Día 10 de Marzo 2015; se hacen controles de temperatura en la cámara de secado con respaldo de la energía solar. Los datos recopilados se muestran en el Anexo 23
- *PRUEBA 4:* Día 10 de Marzo 2015; se hacen controles de temperatura en la cámara de secado sin respaldo de la energía solar. Los datos recopilados se muestran en el Anexo 23
- *PRUEBA 5:* Día 10 de Marzo 2015; se hacen pruebas de secado controlando el peso el peso de la muestra cada cuatro minutos hasta llegar al peso indicado. En la tabla 5.13 se muestra los datos tomados durante el funcionamiento del secador.

Las pruebas realizadas determinan los datos experimentales para su posterior comparación con los datos reales.

#### 5.3.1.6.2. Consumo Energético:

Este parámetro sirve para determinar el ahorro de energía eléctrica cuando existe energía solar de respaldo. Para calcular la potencia eléctrica es existe energía solar de respaldo.

Para calcular la potencia eléctrica es indispensable conocer la potencia de cada elemento indicado por el fabricante.

- Resistencias eléctricas: 2400 [w]

Se utilizan los datos del anexo 23 para determinar el tiempo de funcionamiento de las resistencias eléctricas para dos escenarios. El motor y el ventilador serán accionados igual tiempo para los dos escenarios por lo que no es pertinente que entren en este cálculo.

### Consumo eléctrico sin apoyo de energía solar

En el anexo 23 el tiempo que las resistencias permanecen prendidas es 53 min 41 seg durante una hora de operación: En la tabla 5.11 se muestra el consumo de energía en este periodo de tiempo.

Tabla 5.11. Consumo sin apoyo solar.

	Potencia [kw]	Tiempo de uso /hora [h]	Potencia Eléctrica [kwh]
Resistencias Eléctricas	2,4	0,861	2,067
<b>TOTAL</b>			<b>2,07</b>

### Consumo eléctrico con apoyo de energía solar

En el anexo 23 el tiempo que las resistencias permanecen prendidas es 38 min 27 seg durante una hora de operación: En la tabla 5.12 se muestra el consumo de energía en este periodo de tiempo.

Tabla 5.12. Consumo con apoyo solar.

	Potencia [kw]	Tiempo de uso /hora [h]	Potencia Eléctrica [kwh]
Resistencias Eléctricas	2,4	0,640	1,538
<b>TOTAL</b>			<b>1,54</b>

El aporte de la energía solar es del 25,60%.

Tabla 5.13: Registro de datos.

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	AIRE										PROCESO	COLECTOR SOLAR			
	CARACTERÍSTICAS A LA ENTRADA					CARACTERÍSTICAS A LA SALIDA						T. de secado [°C]	T. de cubierta [°C]	T. de la placa absorbidora [°C]	Eficiencia energética
	Tbs [°C]	Tbh [°C]	Hr [%]	Tbs [°C]	Tbh [°C]	Hr [%]	$M_T$ [gr]	$M_a$ [gr]	Humedad [%]						
Condiciones iniciales	23	18	32%	23	18	32%	4,00				19	21	23		
9:30	24	19	31%	68	47	35%	4,00	3,220	80,50%		75	30	65	61,0%	
9:34	23	18	32%	66	45	38%	3,04	2,260	74,34%		71	32	62	62,2%	
9:38	22	18	38%	64	43	35%	2,33	1,550	66,52%		67	31	64	60,4%	
9:42	23	19	31%	67	45	37%	1,92	1,140	59,38%		70	31	67	59,2%	
9:46	22	18	36%	65	43	32%	0,88	0,110	11,36%		74	30	66	58,7%	
<b>PROMEDIO</b>	22,80	18,40	33,60%	66,00	44,60	35,40%					71,40	30,80	64,80	60%	

### 5.3.1.6.3. Cálculo de Eficiencia:

La Eficiencia del Secador es la relación entre la energía necesaria para evaporar el agua del producto y la energía realmente consumida (energía proporcionada por el sol y resistencias eléctricas).

- Energía necesaria: Se calcula con la ecuación 2.24, partiendo de las temperaturas de bulbo seco y húmedo medidas se procede hacer el cálculo de las variables indicadas en la tabla 5.14

$$Q_{ent} = 1209,94 \text{ [kcal/hr]}$$

$$Q_{ent} = 1260,35 \text{ [w]}$$

$$Energía\ necesaria = 2609,35 \text{ [Wh]}$$

- Energía Consumida:

Energía térmica entregada por el sol (Ec: 4.23)

$$Energía\ sol = Q_u * hr$$

$$Energía\ sol = 176,49 \text{ [Wh]}$$

Energía resistencias eléctricas:

$$Energía\ resistencias = Q * hr$$

$$Energía\ resistencias = 982,71 \text{ [Wh]}$$

$$Energía\ consumida = 176,49 \text{ [Wh]} + 982,71 \text{ [Wh]}$$

$$Energía\ consumida = 1159,2 \text{ [Wh]}$$

- Eficiencia del secador: 0,4442 (44,42%)



Tabla 5.14. Cálculo de variables

PARAMETRO	NOMENCLATURA	VALOR	Fuente
Humedad inicial del producto	$X_i$	4,128[g agua/g masa seca]	Ec: 2.4
Humedad final del producto	$X_f$	0,1281 [g agua/g masa seca]	Ec: 2.5
Contenido de humedad del aire a la entrada	$Y_1$	0,018[g agua/g aire seco]	Graf: 4.3
Contenido de humedad del aire a la salida	$Y_3$	0,08 [g agua/g aire seco]	Graf: 4.4
Entalpia del aire a la entrada	$h_1$	124,38 [kcla/hr]	Ec: 2.21
Entalpia del aire a la salida	$h_3$	164,7 [kcla/hr]	Ec: 2.21
Entalpia del solido a la entrada	$hs_1$	118,27 [kcla/hr]	Ec: 2.22
Entalpia del solido a la salida	$hs_3$	61,25 [kcla/hr]	Ec: 2.22
Cantidad de aire seco	L	9,02 [kg/hr]	Ec: 2.17
Masa del solido seco por hora	G	0,1625 [kg/hr]	Ec: 2.14
Tiempo anti-crítico	t1	2,96[ <i>min</i> ]	Ec: 2.11
Tiempo pos-crítico	t2	26,03[ <i>min</i> ]	Ec: 2.12

#### 5.3.1.6.4. Tiempo teórico real de secado:

Para calcular el tiempo teórico real de secado se suma el tiempo anti-crítico y pos-crítico

$$\text{Tiempo de secado} = 28,98 \text{ [min]}$$

#### 5.3.1.6.5. Capacidad teórica real de la secadora:

Masa del producto: 0,22 kg

Tiempo de secado: 0,483 [hr]

$$\text{Capacidad: } 0,455 \text{ Kg hr}$$

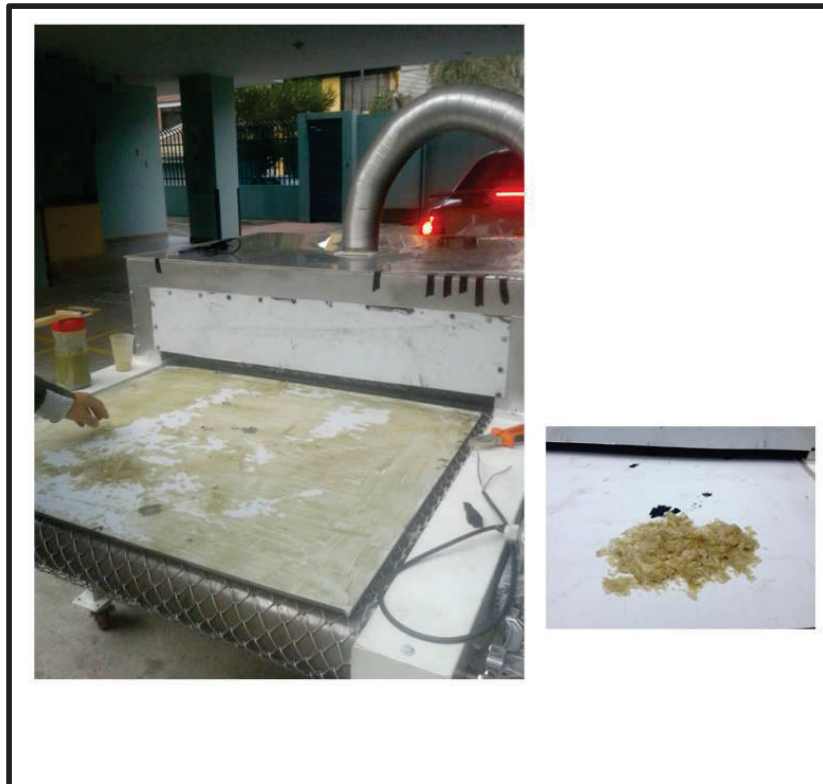
#### 5.3.1.6.6. Capacidad real de la secadora:

Masa del producto: 0,22 kg

Tiempo de secado: 0,267 [hr]

$$\text{Capacidad: } 0,82 \text{ Kg hr}$$

En la fotografía 5.5 se muestra el alimento seco.



Fotografía 5.5: Alimento seco sobre la bandeja

### 5.3.2. TABLA DE RESULTADOS

El resumen de los resultados se muestra en la tabla 5.15:

### 5.3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez evaluados cada uno de los parámetros medidos en el protocolo de pruebas y siguiendo los criterios de aceptación se puede concluir que:

- La secadora cumple con los parámetros dimensionales establecidos inicialmente.
- La secadora tiene una capacidad real de 0.82 Kg/h condición que supera la producción actual del artesano de 0,56 kg/h.
- El colector solar disminuye el consumo de energía en un 25.60% lo que abaratará el proceso de producción haciéndolo más rentable.

- La eficiencia del colector solar es cercana al 60%, parámetro que se puede mejorar para reducir aún más el consumo de energía eléctrica.
- El tiempo experimental de secado es aproximadamente 16 min mientras que el tiempo teórico es 29 minutos, la diferencia puede ser debido al flujo de aire existente y el calor por radiación transmitido por la placa absorbidora a la cámara de secado lo que hacer que el proceso se acelere.
- La eficiencia del secador es 44%, esta condición se puede mejorar colocando aislantes térmico en el túnel de secado para disminuir las pérdidas energéticas.

Tabla 5.15: Tabla de Resultados.

<b>COMPARACION DE RESULTADOS</b>				
<b>EMPRESA</b>		<b>VERIFICADORES:</b>	Cerón Emilio	
<b>MÁQUINA</b>	Secadora hibrida de alimento en hojuelas para peces de acuario		Guerrero Omar	
<b>FECHA</b>	10/03/2014-		Guerrero Víctor	
	<b>PRUEBA</b>	<b>VALOR TEÓRICO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>% ERROR</b>
<b>PARÁMETROS DE PROCESO</b>	Temperatura del Aire en la Cámara de Secado	70 °C	71,40	2%
	Humedad del Aire de Entrada	60%	33,60%	44%
	Humedad del Aire a la Salida	40%	35,40%	9%
	Humedad del Producto Final	12%	11,36%	5,3%
	Tiempo de Secado	28,98min	16 min	47%
	Capacidad de la Maquina	0.455 Kg/h	0.82 kg/h	45%
<b>PARÁMETROS COLECTOR SOLAR</b>	Temperatura de cubierta	30 °C	30,8	12%
	Temperatura placa absorbidora	40 °C	64,8	44%
	Eficiencia del colector	49,2%	60%	21%
<b>PARÁMETROS ENERGÉTICOS</b>	Ahorro energético	20%	25,60%	17%
<b>MOTOR-REDUCTOR</b>	Velocidad de la banda	1,5 m/s	1,47 m/s	2%
<b>PARÁMETROS INICIALES</b>	Humedad del producto inicial	80,50%		
	Tiempo de Puesta a Punto	14 min		
<b>APROBADO POR:</b>		<b>FIRMA:</b>		

## CAPITULO 6

### COSTOS DE LA MÁQUINA

El objetivo del presente capítulo es realizar el análisis de los costos que implica la construcción de la secadora de alimento en hojuela para peces, donde se realiza un desglose de los costos que intervienen en el proceso.

#### 6.1. COSTOS DIRECTOS

Entre los costos directos presentes en la construcción de este proyecto podemos mencionar:

- Materiales y equipos.
- Elementos normalizados.
- Fabricación, maquinado y montaje.

##### 6.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS

La Tabla 6.1 muestra los costos de los equipos y materiales.

Tabla 6.1. Costo de equipos y materiales.

Material	Proveedor	Costo unit. (USD)	Cant.	Costo tot. (USD)
Plancha A -36 1220X2440X1.5	DIPAC	54,87	3	164,61
Perfil cuadrado 80x40x2	DIPAC	46,98	1	46,98
Perfil cuadrado 40x20x2	DIPAC	38,97	1	38,97
Perfil cuadrado 20x1,2	DIPAC	6,95	1	6,95
Perfil en L 25x25x2	DIPAC	23,4	1	23,4
Platina 25x9	DIPAC	26,4	1	24,4
Tubería Ø114mm (4"); e=6mm	DIPAC	53,6	1	53,6
Tubería Ø21,3mm (1/2");	DIPAC	27,85	1	27,85

e=2,77mm				
Eje cilíndrico Ø 5/8"	DIPAC	46,85	1	46,85
Eje cilíndrico Ø 3/8"	DIPAC	36,1	1	36,1
Plancha acrílico	ACRILUX	105,4	1	55,4
Ventilador Centrifugo	S&P	212,0	1	212,0
Materiales Electricos	OMAGA	60	1	60,0
Motoreductor	SIEMENS	415,0	1	415,0
<b>Subtotal:</b>				1262,11

### 6.1.2. ELEMENTOS NORMALIZADOS

Se desglosa el costo de los elementos normalizados en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Costos elementos normalizados.

Elemento	Proveedor	Costo unit. (USD)	Cant.	Costo tot. (USD)
Perno M8x25	LA CASA DEL PERNO	0,35	48	16,8
Arandela de presión A8	LA CASA DEL PERNO	0,05	48	2,4
Tuercas M8x1,75	LA CASA DEL PERNO	0,15	48	7,2
Perno M10x25	LA CASA DEL PERNO	0,40	4	1,6
Arandela de presión A10	LA CASA DEL PERNO	0,10	4	0,4
Tuercas M10x1,75	LA CASA DEL PERNO	0,20	4	0,8
Ruedas	-----	25,4	4	101,6
Rodamiento 6304	SKF	15,42	2	30,84
Malla de acero al carbón	-----	45,5	1	45,5
<b>Subtotal:</b>				207,14

### 6.1.3. FABRICACION Y MAQUINADO

En este punto se describe los costos que implica la mano de obra y el alquiler de máquinas herramientas, tabla 6.3.

Tabla 6.3. Costo de maquinado.

<b>Maquinado</b>	<b>Costo Máquina – Operario (USD/h)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Costo tot. (USD)</b>
Torneado	12	8	96
Fresado	14	4	56
Amolado	3	3	9
Soldadura	7	3	21
Esmeril	2,5	2	5
Taladrado	5	2	10
Corte	5	6	30
Doblado	3	3	9
Montaje	9	6	54
Pintura	4	3	12
<b>Subtotal:</b>			302

#### 6.1.4. COSTO DE MONTAJE

Estos son los costos que se relacionan con el personal que se emplea para realizar el montaje de la máquina, en donde se incluyen costos de calibración, puesta a punto y marcha del secador. Los costos de montaje se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Costos de montaje.

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Costo hora (USD/h)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Tecnólogo	1	10	3	30
Ayudante	1	10	2	20
<b>Subtotal:</b>				50

#### 6.1.5. TOTAL COSTOS DIRECTOS

En la tabla 6.5 se indica los costos totales directos, que es el resultado de los costos mencionados anteriormente.

Tabla 6.5. Costos Totales directos

<b>Costo</b>	<b>Valor (USD)</b>
Equipos y materiales	1262,11
Elementos normalizados	207,14
Fabricación y maquinado	302
Montaje	50
<b>Subtotal:</b>	<b>1821,25</b>

## 6.2. COSTOS INDIRECTOS

Estos son los costos que no son recuperables con respecto a la preparación y elaboración del presente proyecto, estos son:

- Materiales consumibles.
- Diseño
- Transporte.
- Otros.

### 6.2.1. MATERIALES CONSUMIBLES

Se muestra el costo de los materiales consumibles en la tabla 6.6.

Tabla 6.6. Costo materiales consumibles.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Grata	2	10	20
Disco de corte	8	4,5	36
Electrodo AGA E7011 – 1/8"	20	2,6	52
Lijas	10	0,2	2
Varios		20	20
<b>Subtotal:</b>			<b>130</b>

### 6.2.2. COSTO DE DISEÑO

Los costos de diseño son aquellos que se deben a las pruebas y análisis realizados por los graduandos o por personal profesional para llegar a determinar el mejor diseño. Dichos aspectos se describen en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Costo de diseño.

<b>Actividad</b>	<b>Valor (USD)</b>
Pruebas y análisis de laboratorio	150
Diseño de la máquina	850
Realización de planos	450
<b>Subtotal:</b>	<b>1450</b>

### 6.2.3. COSTOS ADICIONALES

Son costos imprevistos que se presentan a medida que el proyecto se ejecuta, los mismos que se detallan en la tabla 6.8.

Tabla 6.8. Costo de transporte y varios.

<b>Actividad</b>	<b>Valor (USD)</b>
Transporte de materiales	35
Movilización	40
Ploteo de planos	35
Impresiones	30
Otros	20
<b>Subtotal:</b>	<b>160</b>

### 6.2.4. TOTAL COSTOS INDIRECTOS

El total de los costos indirectos es la suma de todos los puntos anteriormente mencionados, ver tabla 6.9.



Tabla 6.9. Total costos indirectos.

<b>Costo</b>	<b>Valor (USD)</b>
Materiales consumibles	130
Diseño	1450
Adicionales	160
<b>Subtotal:</b>	<b>1740</b>

### 6.3. COSTO TOTAL DE LA SECADORA

Es la suma de los costos directos e indirectos, como se muestra en la tabla 6.10.

Tabla 6.10. Costo total de la secadora.

<b>Costos</b>	<b>Valor (USD)</b>
Directos	1821,25
Indirectos	1740
<b>Total:</b>	<b>3561,25</b>

El costo de la secadora es competitivo en comparación con los tipos de secadoras que se encuentran en el mercado nacional, la materia usada es de buena calidad y cumple con los requerimientos para satisfacer al cliente. La ejecución del diseño seleccionado para la secadora de alimento en hojuela para peces es rentable, el precio final está dentro del presupuesto limitado por el cliente.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

- La Secadora Hibrida de Alimento en Hojuelas para Peces de Acuario que opera con Energía Eléctrica y Solar de respaldo, mejora las condiciones actuales de secado llevadas por el usuario e incrementa el rendimiento del proceso.
- Usar elementos de fácil construcción, los mismos que pueden ser fabricados en metal mecánicas, y emplear materiales y equipos de libre adquisición en el mercado Ecuatoriano, simplifica el proceso de construcción.
- El colector solar situado en la parte superior del horno de secado, aporta energía al proceso de secado ya que reduce el consumo eléctrico de las resistencias.
- Las dimensiones y diseño de la secadora hibrida para peces de acuario se basaron en la capacidad de producción establecidas por el usuario.
- La eficiencia del secador se puede mejorar colocando aislante térmico para disminuir las pérdidas que existe en la cámara de secado.
- Al realizar las pruebas, resulto importante plastificar las bandejas de secado, debido a que permite la fácil extracción del producto seco evitando que este se adhiera a la superficie.

#### 7.2. RECOMENDACIONES

- Mantener un espesor homogéneo de producto sobre las bandejas, con el objetivo de que no existan variantes significativas en el tiempo de secado y de que se obtenga una deshidratación uniforme en toda el área de la bandeja.

- Realizar una inspección semestral del secador, verificando lubricación y deterioro de los elementos.
- Colocar aislante térmico en la parte exterior del túnel de secado, con el propósito de disminuir las pérdidas de temperatura y aumentar la eficiencia del secador.
- Realizar el proceso de secado entre las 10:00 AM y las 14:00 PM, horas en las cuales existe mayor radiación solar.
- Realizar una adecuada limpieza de las bandejas antes de proceder a esparcir nuevamente el producto. Se debe retirar todos los residuos de producto seco.
- Adaptar al secador equipos dosificadores con el propósito de automatizar el proceso, obtener un espesor uniforme y aumentar su capacidad de producción.
- Usar vidrio para la construcción de la cubierta del colector, debido a que su alto coeficiente de transmitancia permite mejorar las condiciones de efecto invernadero incrementado así la eficiencia del colector.
- Es recomendable realizar un análisis químico del producto seco para tener un control de los porcentajes de proteínas contenidas en el mismo.

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFICAS

- Nonhebel G. (1979).” El Secado de Sólidos en la Industria Química”. España. REVERTÉ.
- Rafael P. (2005). “Flujo Estacionario de Fluidos Incompresibles en Tuberías”. España. UPV.
- Astigarraga J. (1999).”Hornos Industriales de Resistencia”. Colombia. McGRAW-HILL.
- Fito P. (2001). ”Introducción al Secado por Aire Caliente”. España. UPV.
- Lista de precios Ecuador (2014). Catálogo SIEMENS.
- Handbook of Industrial Drying (STRUMILLO *et al.*, 2004)
- ASHRAE HANDBOOK. (199). Psicrometría. USA: ASHRAE.
- ASHRAE HANDBOOK. (2009). Fundamentals. USA: ASHRAE.
- Enríquez H. (1994). “Fundamentos de Electricidad. México”. LIMUSA.
- Atlas solar del Ecuador CONELEC.


### DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://www.acuavida.com/enciclopedia/peces/61-alimentacion/178-alimento-en-hojuelas>
- <http://www.acuavida.com/enciclopedia/peces/61-alimentacion/178-alimento-en-hojuelas>
- <http://www.elcastillodelpez.com/alimentos.html>
- <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments%20funcionament.html>


- <http://www.airtectv.com/consumo-de-potencia-hp/>
- <https://www.charlylabs.cl/charly-labs/charly-explica-la-ley-de-ohm/>
- <http://www.alloywire.com/>
- <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01040501003.pdf>
- <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia40/HTML/articulo04.htm>
- [http://biorenaces.mx/tienda/index.php?route=product/product&product\\_id=63](http://biorenaces.mx/tienda/index.php?route=product/product&product_id=63)
- [www.homepage.mac.com](http://www.homepage.mac.com)
- [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432010000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000100004)
- [http://www.nabon.gob.ec/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=54](http://www.nabon.gob.ec/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=54)
- <http://pdf.directindustry.es/pdf/motive/reductores-sinfin-corona-serie-box-catalogo-general/14726-21678.html>
- <http://www.jocartransmisiones.com/PDF's/rodillos.pdf>
- <http://pdf.directindustry.es/pdf/motive/reductores-sinfin-corona-serie-box-catalogo-general/14726-21678.html>

# ANEXOS

## ANEXO 1. Informe de resultados de análisis de las muestras.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**  
 Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Dra. Irma Paredes. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [Irma.paredes@epn.edu.ec](mailto:Irma.paredes@epn.edu.ec)  
 Tlga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2507 144 ext. 2272 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO**

ORDEN: DC-OTI0005-2014

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

Descripción de la muestra	Código de la muestra
COLADA DE ALIMENTO PARA PECES DE ACUARIO	DC-OTI-0005-2014

RESULTADOS

Muestra	Analito	Unidades	Resultados	Método
Colada de alimento para peces de Acuario.	Humedad a 50 °C	g/100 g	79,92	AOAC 925.10
	Humedad a 60 °C		80,21	
	Humedad a 70 °C		80,49	
<b>Muestras:</b>				
Colada de alimento para peces de Acuario seca a 50 °C	Proteína	g/100 g	17,22	AOAC 2001.11
Colada de alimento para peces de Acuario seca a 60 °C			18,91	
Colada de alimento para peces de Acuario seca a 70 °C			19,57	

COMENTARIOS:

- 1.- La determinación de humedad se realizó secando la muestra en estufa de corriente de aire por 16 horas a 50, 60 y 70 °C, de acuerdo a lo solicitado por el cliente, Sr. Omar Guerrero.
- 2.- Los datos de % de proteína están en base seca.
- 3.- Se reporta la media de dos determinaciones de cada analito.

PROFESIONAL RESPONSABLE  
DEL ANÁLISIS

*Susana Fuertes*

-----  
Dra. Susana Fuertes

Página 1 de 2

**ANEXO 2.** Datos para la construcción de las curvas de secado y velocidad a 70°C.

Peso Solido Seco [g]
0,472

Área de Secado [cm <sup>2</sup> ]
62

minutos	C+M	Ptotal [g]	Humedad Total [g]	X [g/g]
0	51,179	4,022	3,550	7,521
5	49,735	2,578	2,106	4,462
10	48,372	1,215	0,743	1,574
15	47,812	0,655	0,183	0,388
20	47,641	0,484	0,012	0,025
25	47,635	0,478	0,006	0,013
30	47,634	0,477	0,005	0,011
35	47,631	0,474	0,002	0,004
40	47,629	0,472	0,000	0,000
45	47,629	0,472	0,000	0,000
50	47,629	0,472	0,000	0,000

Valor Medio	W [g/min.cm2]
5,992	0,0046581
3,018	0,0043968
0,981	0,0018065
0,207	0,0005516
0,019	0,0000194
0,012	0,0000032
0,007	0,0000097
0,002	0,0000065



**ANEXO 3.** Rugosidad absoluta para varios materiales.

Material	Coficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams $C_H$	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

(Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5<sup>th</sup> Edition, Haestad Methods)

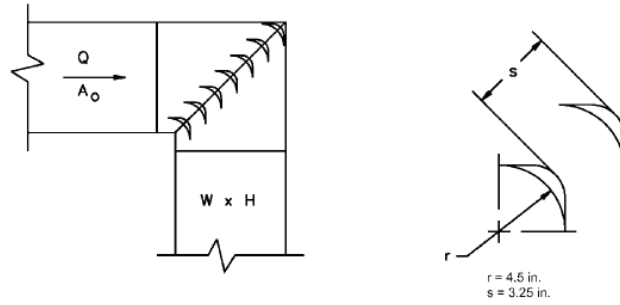
#### ANEXO 4. Propiedades físicas del aire.

Temperatura [°C]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosidad absoluta [Pa s]	Viscosidad cinemática [m <sup>2</sup> /s]	Constante particular [J/kg K]	Calor específico a presión constante [J/kg K]	Calor específico a volumen constante [J/kg K]	Coefficiente de dilatación adiabática
0	1,29	$1,71 \times 10^{-5}$	$1,33 \times 10^{-5}$	287	1000	716	1,40
50	1,09	$1,95 \times 10^{-5}$	$1,79 \times 10^{-5}$	287	-	-	-
100	0,946	$2,17 \times 10^{-5}$	$2,30 \times 10^{-5}$	287	1010	723	1,40
150	0,835	$2,38 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	287	-	-	-
200	0,746	$2,57 \times 10^{-5}$	$3,45 \times 10^{-5}$	287	1020	737	1,39
250	0,675	$2,75 \times 10^{-5}$	$4,08 \times 10^{-5}$	287	-	-	-
300	0,616	$2,93 \times 10^{-5}$	$4,75 \times 10^{-5}$	287	1040	758	1,38
400	0,525	$3,25 \times 10^{-5}$	$6,20 \times 10^{-5}$	287	1070	781	1,37
500	0,457	$3,55 \times 10^{-5}$	$7,77 \times 10^{-5}$	287	1090	805	1,36

**ANEXO 5. Coeficientes de pérdidas.**

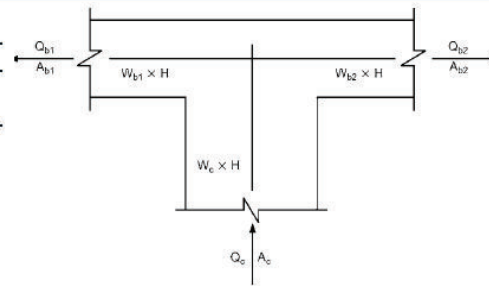
**CR3-16 Elbow, Mitered, 90 Degree, Double-Thickness Vanes (3.25 in. Vane Spacing)**

$C_o = 0.41$



**SR5-15 Bullhead Tee Without Vanes, Diverging**

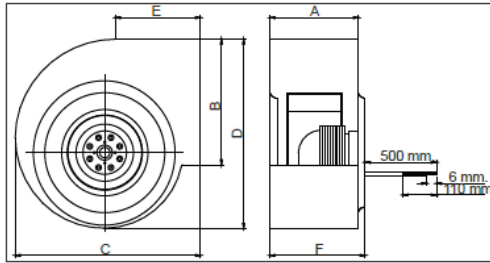
$A_{b1}/A_c$	$C_{b1}$ Values								
	$Q_{b1}/Q_c$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	1.34	0.53	0.37	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.27
0.2	4.43	1.25	0.66	0.45	0.39	0.35	0.32	0.31	0.30
0.3	9.58	2.45	1.16	0.71	0.56	0.47	0.41	0.37	0.35
0.4	16.87	4.17	1.88	1.09	0.73	0.53	0.38	0.33	0.30
0.5	26.19	6.35	2.79	1.56	1.01	0.71	0.49	0.41	0.37
0.6	37.57	9.02	3.89	2.14	1.35	0.92	0.62	0.52	0.45
0.7	51.03	12.17	5.20	2.82	1.75	1.18	0.78	0.64	0.54
0.8	66.55	15.81	6.71	3.61	2.22	1.48	0.96	0.78	0.65
0.9	84.15	19.93	8.42	4.50	2.74	1.81	1.17	0.94	0.78



For other branch, subscripts 1 and 2 change places.

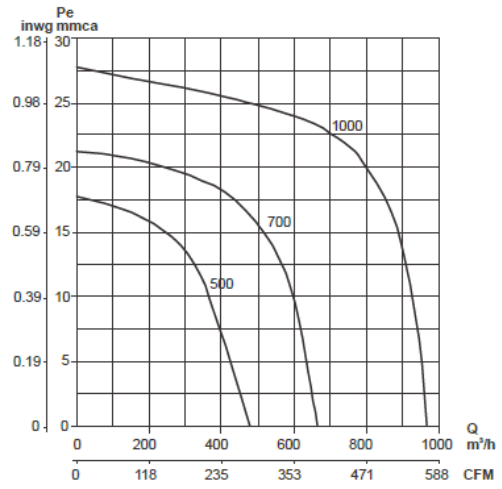
**ANEXO 6. Dimensiones del ventilador.**

**DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS**



MODELO	A	B	C	D	E	F
BS 500	96	94	224	244	103	98
BS 700	110	120	265	260	150	110
BS 1000	129	134	296	332	133	133

<sup>1</sup> \*Dimensiones mm.



**ANEXO 7.** Carga específica sugerida según el artefacto o elemento.

Artefacto	Tipo de elemento	Intervalo de carga superficial sugerido (W/cm <sup>2</sup> )
Estufa	Elemento espiral al aire libre	4.5 - 6.0
Estufa	Barra tipo lápiz	6.0 - 9.5
Calentador de cinta	Elemento bobinado en mica	4.0 - 5.5
Tostadora	Elemento bobinado en mica	3.0 - 4.0
Convector	Elemento espiralado	3.5 - 4.5
Convector de acumulación	Elemento espiralado	1.5 - 2.5
Calefactor con ventilador	Elemento espiralado	9.0 - 15.0
Elemento de horno		8.0 - 12.0
Elemento de parrilla		15.0 - 20.0
Placa calentadora	Elemento tubular envainado	17.0 - 22.0
Calentador de inmersión en agua		25.0 - 35.0
Elemento de hervidor		35.0 - 50.0

## ANEXO 8. Absorbidad de algunos materiales.

	<b>Absortividad</b>	<b>Emisividad</b>	<b>Cociente</b>	<b>Marca</b>
<b>Recubrimientos</b>				
Negro humo	0.99	0.99	1.0	
Metal galvanizado	0.65	0.13	5.0	
Hormigón oscuro	0.65 – 0.80	0.85 – 0.95	0.81	
Metal galvanizado viejo	0.80	0.28	2.90	
Cromo negro	0.87	0.09	9.70	
Anodizado negro	0.88	0.88	1.00	
Aceros con óxido de níquel	0.92	0.08	11.00	
Cobre o aluminio + CuO	0.80 – 0.93	0.09 – 0.21	3.37	
Óxido de cobre sobre aluminio	0.93	0.11	8.45	
Negro de cobre sobre cobre	0.89	0.17	5.23	
Negro de cromo sobre níquel	0.93	0.16	5.81	
Cobre NaCl <sub>2</sub> NaOH	0.87	0.13	6.69	
Óxido de titanio	0.95	0.07	13.0	Tinox
<b>Cermets</b>				
SS-C	0.92	0.05	18.4	
Mo-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	0.032	30.0	
<b>Pinturas</b>				
Solkote	0.88 – 0.94	0.28 – 0.49	2.36	Solkote HI/SORB-II
Solchrome	0.94 – 0.98	0.10 – 0.14	8.00	Solchrome
Solarect	0.90 – 0.92	0.20 – 0.3	3.64	Helios

**ANEXO 9. Transmisividad de materiales.**

	<i>Cubiertas</i>	<i>Transmisividad</i>	<i>Coefficiente de pérdidas (W/m<sup>2</sup>K)</i>
Vidrios	1 Cubierta	0,91	5,8
	2 Cubiertas	0,83	2,9
	3 Cubiertas	0,76	2,0
Vidrios múltiples con recubrimiento selectivo	2 Cubiertas	0,57	1,8
	3 Cubiertas	0,52	1,1
Panel de policarbonato	5 cm	0,70	1,6
	10 cm	0,63	1,1
	15 cm	0,56	0,8

**ANEXO 10.** Propiedades térmicas y ópticas de diferentes cubiertas.

<b>VALORES DE EMITANCIA DE DIFERENTES MATERIALES TÍPICOS DE CONSTRUCCIÓN</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>EMITANCIA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>EMITANCIA</b>
Asfalto	0.94	Mármol	0.93
Aluminio	0.03	Pintura: Laca Blanca	0.80
Ladrillo	0.93	Pintura: Esmalte Blanco	0.91
Concreto	0.89	Pintura: Laca Negra	0.80
Vidrio	0.95	Pintura: Esmalte Negro	0.91
Fibra de Vidrio	0.85	Papel	0.92
Yeso	0.91	Plata	0.02
Acero	0.12	Madera	0.90



**ANEXO 11.** Propiedades térmicas y ópticas de diferentes materiales.

Material	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica W/m. <sup>°K</sup>
1. Poliestireno Expandido (EPS)*	15	0,037
	20	0,035
	25	0,033
	30	0,032
2. Poliestireno Extruido (XPS)	32	0,029
3. Poliuretano, espuma rígida de (PUR)	30-60	0,022-0,024
4. Poliuretano proyectado (Spray)	30-60	0,022
5. Polietileno, espuma de	30-40	0,035-0,045
6. Polietileno, membrana de burbujas	30-60	0,031-0,038
7. Aislante de celulosa proyectada	50-90	0,040-0,049
8. Lana de vidrio	8-10	0,045
	11-14	0,043
	15-18	0,040
	19-30	0,037
	31-45	0,034
	46-100	0,033
9. Lana de roca	30-50	0,042
	51-70	0,040
	71-150	0,038
*Vulgarmente denominado por una marca "Telgopor"		

**ANEXO 12.** Coeficiente de irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras.

Máquina motriz			Máquina receptora	Ejemplos de máquinas receptoras
Motor electr. y turbina	Máq. de piston			
	4 a 6 cilind.	1 a 3 cilind.		
1	1,2	1,4	1 Marcha regular Inercia muy pequeña	•Eje de reenvío •Generador de alumbrado •Línea de ejes •Bombas centrifugas •Ventilador centrifugo ...
1,2	1,4	1,7	2 Marcha irregular Inercia pequeña	•Agitador de líquidos •Cinta transportadora •Ascensor •Máquinas herramientas rotativas para madera y metales •Máquinas textiles ligeras •Plegadoras •Bombas de engranajes •Bombas de paletas •Ventiladores ...
1,4	1,7	2	3 Marcha irregular Inercia media	•Agitador de líquidos cargados •Compresor rotativo •Transportadora de rodillos •Desmenuzadoras •Hornos rotativos •Máquinas para maderas (desbastadora, sierra de cinta ...) •Máquinas para imprimir •Mezclador •Montacargas •Punzonadora •Bomba centrifuga para líquidos cargados ...
1,7	2	2,4	4 Marcha irregular Inercia media De golpes medios	•Hormigonera •Molino de percusión •Molino de bolas •Compresor de pistón con volante de inercia •Transportador de cadena •Grúa •Laminador de metales ligeros •Máquinas de molino harinero •Martillo pilón •Telar •Bomba de pistón con volante de inercia •Cepilladora de metales •Tornos elevadores •Ventiladores de mina ...
2	2,4	2,8	5 Marcha irregular Inercia importante De golpes importantes	•Molino de martillos •Calandra (de caucho, textil ...) •Compresor de pistón con pequeño volante de inercia •Desfibradora de madera •Excavadora •Laminador •Bomba de pistón con pequeño volante de inercia •Prensa forjadora •Prensa para fabricación de papel •Tamiz vibrante ...
2,4	2,8	3,3	6 Marcha irregular Inercia muy importante De golpes muy importantes	•Compresor de pistón sin volante de inercia •Triturador •Generador de soldadura •Laminador pesado •Prensa de mam-postería •Bomba de pistón sin volante de inercia ...

**ANEXO 13. Coeficiente de frecuencias de arranque**

Según máquina motriz - máquina receptora	NUMERO DE ARRANQUES POR HORA				
	1	10	30	60	120
Ver cuadro K <sub>1</sub>	1	1,2	1,3	1,5	1,6
①	1	1,2	1,3	1,5	1,6
② ③	1	1,1	1,2	1,3	1,4
④ ⑤ ⑥	1	1,05	1,1	1,2	1,2

**ANEXO 14.** Coeficiente de número de horas de funcionamiento por día.

Número de horas de funcionamiento diario	0 - 2	2 - 8	8 - 16	16 - 24
Coeficiente $K_3$	0,9	1	1,1	1,2

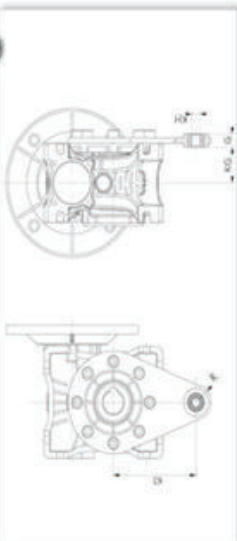


TABLA DE DIMENSIONES

Accesorios

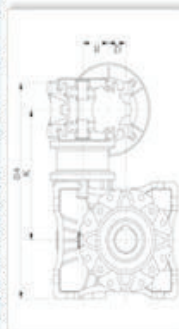
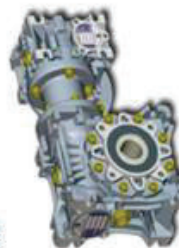
Brazo de reacción

Tipo	K1	G	KG	KH	R
BOX025	70	14	17,5	8	15
BOX030	85	14	24	8	15
BOX040	100	14	31,5	10	18
BOX050	100	14	38,5	10	18
BOX063	150	14	49	10	18
BOX075	200	25	47,5	20	30
BOX090	200	25	57,5	20	30
BOX110	250	30	62	25	35
BOX130	250	30	69	25	35
BOX150	250	30	84	25	35



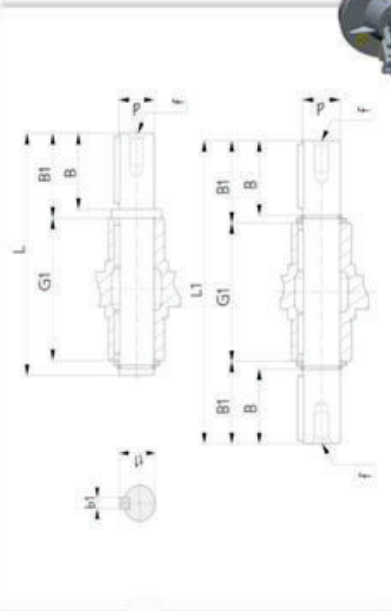
Unidades combinadas

BOX + BOX	K	I1	I2	G4
BOX030+BOX040	122	30	10	201
BOX030+BOX050	132	30	20	221
BOX030+BOX063	145	30	63	246
BOX040+BOX075	167,5	40	35	290
BOX040+BOX090	184,5	40	50	324
BOX050+BOX110	226	50	60	397
BOX063+BOX130	245	63	67	446



Eje de salida sólido y doble eje de salida

Tipo	d (h6)	B	B1	G1	L	L1	f	b1	t1
BOX025	11	23	25,5	50	81	101	-	4	12,5
BOX030	14	30	32,5	63	102	128	M6	5	16
BOX040	25	40	43	78	128	164	M6	6	20,5
BOX050	35	50	55,5	96	153	199	M10	8	28
BOX063	25	50	53,5	112	173	219	M10	8	28
BOX075	28	60	63,5	120	192	247	M10	8	31
BOX090	35	80	84	140	234	308	M12	10	38
BOX110	42	80	84,5	155	249	324	M12	10	45
BOX130	45	80	85	170	265	340	M16	14	48,5
BOX150	50	82	87	200	297	374	M16	14	53,5





## ANEXO 16. Valores de K

Arco abrazado $\alpha^{\circ}$	Coeficiente convencional de rozamiento				
	0,20	0,25	0,30	0,35	
180 <sup>o</sup>	2,15	1,84	1,64		1,50
200 <sup>o</sup>	2,00	1,71	1,54		1,42
210 <sup>o</sup>	1,94	1,67	1,51		1,38
220 <sup>o</sup>	1,88	1,62	1,46		1,36
240 <sup>o</sup>	1,77	1,54	1,40		1,30
300 <sup>o</sup>	1,54	1,38	1,26		1,19
360 <sup>o</sup>	1,40	1,26	1,18		1,12
420 <sup>o</sup>	1,30	1,19	1,12		1,08
480 <sup>o</sup>	1,23	1,14	1,08		1,05

## ANEXO 17. Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas.

▼ Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas															
$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	Juego normal de rodamiento					Juego de rodamiento C3					Juego de rodamiento C4				
	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2	0,32	1	0	0,46	1,7	0,4	1	0	0,44	1,4
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8	0,35	1	0	0,46	1,56	0,43	1	0	0,44	1,31
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58	0,39	1	0	0,46	1,41	0,45	1	0	0,44	1,23
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4	0,43	1	0	0,46	1,27	0,48	1	0	0,44	1,16
3	0,36	1	0	0,56	1,2	0,48	1	0	0,46	1,14	0,52	1	0	0,44	1,08
6	0,43	1	0	0,56	1	0,54	1	0	0,46	1	0,56	1	0	0,44	1



## ANEXO 18. Factor de esfuerzo dinámico.

Lugar de aplicación	Valor $f_d$ que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
<b>Máquinas para trabajar la madera</b>		
Husillos de tupis y ejes portacuchillas	3 ... 4	Fuerzas de corte y de accionamiento; velocidad nominal
Rodamiento principal de sierras de bastidor	3,5 ... 4	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Rodamiento de la biela de sierras de bastidor	2,5 ... 3	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Sierras circulares	2 ... 3	Fuerza de corte y accionamiento; velocidad nominal
<b>Transmisiones de maquinaria en general</b>		
Transmisiones universales	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Motoreductores	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Grandes transmisiones estacionarias	3 ... 4,5	Potencia nominal; velocidad nominal
<b>Manutención</b>		
Cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Rodillos de cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Rodillos para cintas transportadoras en general	2,5 ... 3,5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Tambores para cinta transportadora	4 ... 4,5	Tiro de la cinta, peso de la cinta y carga; velocidad en servicio
Excavadoras de rotopalas, accionamiento	2,5 ... 3,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Excavadoras de rotopalas, rotopalas	4,5 ... 6	Resistencia a la excavación, peso; velocidad en servicio
Excavadoras de rotopalas, accionamiento de la rueda	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Poleas de extracción	4 ... 4,5	Carga en cable; velocidad nominal (según DIN 22 410)
Poleas de cable	2,5 ... 3,5	Carga en cable; velocidad nominal

## ANEXO 19. Factor de velocidad

▼ Valores  $f_n$  para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{4}}{n}}$$

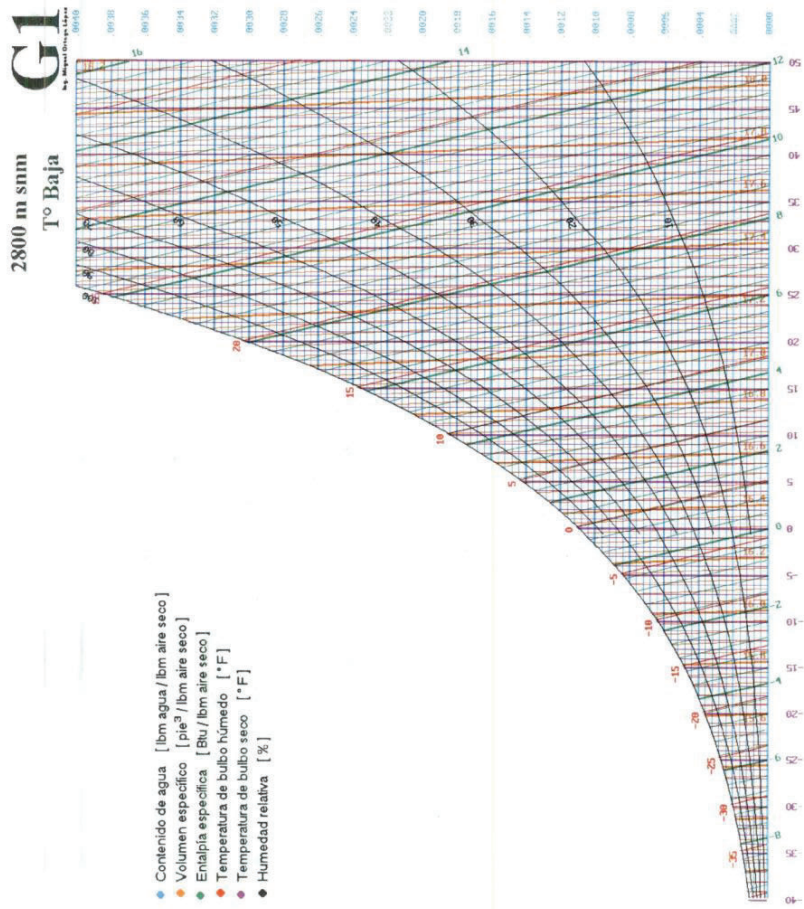
n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$
min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>	
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874



# **ANEXO 21**

## Planos de Taller

ANEXO 22. Carta psicrométrica para la ciudad de Quito.

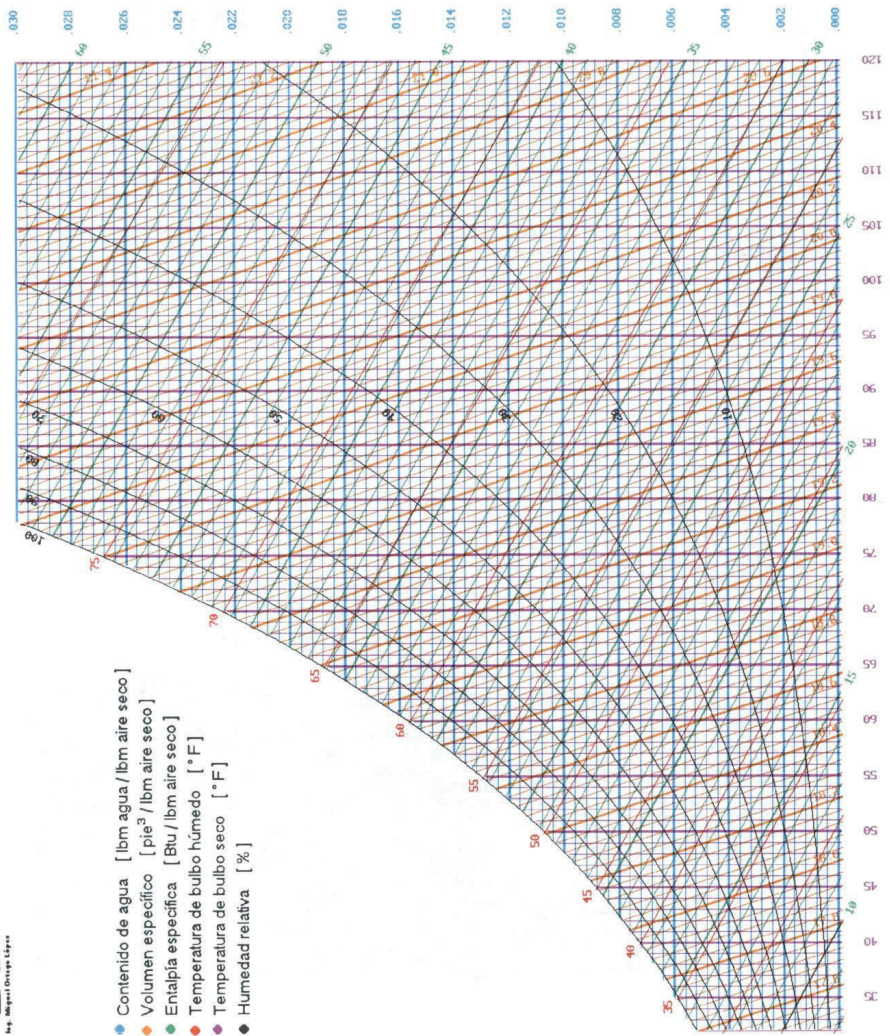






2800 m snm  
T° Normal

- Contenido de agua [ lbm agua / lbm aire seco ]
- Volumen específico [ pie<sup>3</sup> / lbm aire seco ]
- Entalpía específica [ Btu / lbm aire seco ]
- Temperatura de bulbo húmedo [ ° F ]
- Temperatura de bulbo seco [ ° F ]
- Humedad relativa [ % ]



**ANEXO 23. Tablas Prueba 3**

Con respaldo solar:

HORA DE INICIO DE PRUEBA	12:00	Tiempo de descenso		<b>0:21:33</b>		
		Tiempo de ascenso		<b>0:38:27</b>		
Tiempo de precalentamiento:	7min 20 seg	Tiempo total		<b>1:00:00</b>		
TIMEPO DE FUNCIONAMIENTO	Diferencia de tiempo (h:min:seg)	Temp. cámara de secado °C	Temp. de la placa absorbidora °C	Temp. de la cubierta °C	Temp. Ambiente °C	Eficiencia del colector solar
<b>12:07:20</b>		65	62	28	23	62,3%
<b>12:12:14</b>	0:04:54	75	61	30	24	63,5%
<b>12:19:56</b>	0:07:42	65	60	31	22	62,9%
<b>12:25:18</b>	0:05:22	75	67	31	24	59,7%
<b>12:35:20</b>	0:10:02	65	60	30	24	64,2%
<b>12:42:08</b>	0:06:48	75	64	32	23	61,0%
<b>12:51:17</b>	0:09:09	65	61	31	22	62,3%
<b>12:55:46</b>	0:04:29	75	62	32	22	61,6%
<b>13:07:20</b>	0:11:34	66	65	32	24	60,9%

Sin respaldo solar:

HORA DE INICIO DE PRUEBA	17:30	Tiempo de ascenso		<b>0:51:41</b>		
		Tiempo de descenso		<b>0:08:19</b>		
Tiempo de precalentamiento:	14 min	Tiempo Total		<b>1:00:00</b>		
TIMEPO DE FUNCIONAMIENTO	Diferencia de tiempo (h:min:seg)	Temp. cámara de secado °C	Temp. de la placa absorbidora °C	Temp. de la cubierta °C	Temp. Ambiente °C	Eficiencia del colector solar
<b>17:44:00</b>		65	18	18	18	
<b>17:55:43</b>	0:11:43	75	18	17	16	97,4%
<b>17:57:36</b>	0:01:53	65	19	17	16	96,1%
<b>18:08:00</b>	0:10:24	75	19	17	17	97,4%
<b>18:10:16</b>	0:02:16	65	19	17	18	98,7%
<b>18:20:07</b>	0:09:51	75	20	17	17	96,1%
<b>18:22:09</b>	0:02:02	65	20	18	17	96,1%
<b>18:32:41</b>	0:10:32	75	18	17	18	98,7%
<b>18:34:49</b>	0:02:08	65	19	18	17	97,4%
<b>18:44:00</b>	0:09:11	72	19	17	18	98,7%

# PLANOS