

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR
SOLAR INDIRECTO POR CONVECCIÓN NATURAL

JULIAN EDUARDO GONZÁLEZ PINZÓN
DIEGO ALEJANDRO MERCHAN CASTILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO
MECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR
SOLAR INDIRECTO POR CONVECCIÓN NATURAL

JULIAN EDUARDO GONZÁLEZ PINZÓN
DIEGO ALEJANDRO MERCHAN CASTILLO

Plan de proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

JABID EDUARDO QUIROGA MENDEZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍAS
FÍSICO MECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Agradezco a Dios y a mi papi Carlos por haber sido mi guía, por darme fortaleza, sabiduría y acompañarme en la realización de este sueño.

A mis padres y mi hermana por su esfuerzo, motivación y apoyo incondicional en todos los proyectos que me he planteado a lo largo de mi vida.

A Karen González por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto.

Diego Alejandro Merchan Castillo

A Dios por haberme permitido cumplir un sueño más en mi vida.

A mis padres y mi hermana por ser mi compañía, mi guía, mi fortaleza y apoyo en cada paso de mi vida, en los cuales han sido incondicionales.

A la memoria de mi hermano Ariel Fernando González Pinzón (Richard) por ser mi guía, mi ejemplo y mis ganas de seguir creciendo profesionalmente.

Julián Eduardo González Pinzón

AGRADECIMIENTOS

Al profesor e ingeniero JABID EDUARDO QUIROGA, director del proyecto y amigo, por sus aportes intelectuales, consejos, ideas y guía para llevar a cabo la realización de este proyecto de grado.

A nuestros pares por la confianza depositada en los autores para llevar a cabo un proyecto tan importante.

A todos los profesores de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS que contribuyeron de una u otra forma en nuestro proceso de formación académica.
A todos nuestros amigos y familiares que siempre nos apoyaron y brindaron su ayuda cuando más se necesitó.

Diego Merchán, Julián González

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
2.JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
3.OBJETIVOS DEL PROYECTO	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4.JUSTIFICACION DE LA SOLUCION.....	18
4.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)	18
4.1.1. Requerimientos del usuario..	18
4.1.2. Criterios de diseño.	19
4.2. MATRÍZ DE CALIDAD DEL PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR	19
4.3. MATRICES DE CALIDAD PARA LOS SUBSISTEMAS.....	21
4.3.1. Subsistema de intercambio de calor.	21
4.3.2. Subsistema de rejilla de soporte.	22
4.3.3. Subsistema de cámara de deshidratado.....	23
4.4. ALTERNATIVAS	24
4.4.1. Alternativas subsistema de intercambio de calor.	24
4.4.2. Alternativas subsistema de rejilla de soporte.	27
4.4.3. Alternativas subsistema de cámara de deshidratado.....	31
4.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	33
4.6. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA	34
5.DISEÑO DEL DESHIDRATADOR SOLAR	36
5.1. DATOS METEOROLÓGICOS	36
5.1.1. Zona.....	36
5.1.2. Radiación solar..	37
5.1.3. Temperatura.	39
5.1.4. Humedad..	40
5.1.5. Velocidad del viento	41
5.2. DISEÑO MECÁNICO	42
5.2.1. Dimensionamiento de las bandejas	42
5.2.2. Dimensionamiento del colector solar.	44
5.2.3. Inclinação del colector solar	50

5.2.4. Dimensionamiento del bastidor.....	51
5.3. MODELO MATEMÁTICO PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SECADOR SOLAR	54
5.4. MATERIALES PARA EL COLECTOR SOLAR	55
5.4.1. Cubierta del colector.	55
5.4.2. Placa absorbente del colector solar	55
5.4.3. Aislante para el colector solar.	56
5.4.4. Material para la cámara de secado.....	57
5.5. DISEÑO DEL DESHIDRATADOR SOLAR	57
6.CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR SOLAR.....	60
6.1. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.....	61
6.1.1. Construcción del bastidor.....	61
6.1.2. Construcción del colector solar	63
6.1.3. Construcción de la cámara de secado	65
6.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	68
6.2.1. Medidor de temperatura y humedad	69
6.2.2. Calibración de los sensores	72
6.2.3. Resultados para el procedimiento de secado	74
6.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	80
6.3.1. Tasa interna de retorno.....	82
7.CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA.....	86
ANEXOS.....	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Matriz de calidad subsistemas	20
Tabla 2.Resultados del QFD de subsistemas	20
Tabla 3.QFD Subsistema de intercambio de calor.....	21
Tabla 4.Resultados QFD Subsistema de intercambio de calor.....	22
Tabla 5.QFD Subsistema de rejilla de soporte	22
Tabla 6.Resultados QFD Subsistema de rejilla de soporte.....	23
Tabla 7.QFD Subsistema de cámara de deshidratado.	23
Tabla 8.Resultados QFD Subsistema de cámara de deshidratado.	24
Tabla 9.Resultados alternativos sub. sistema de intercambio de calor.....	33
Tabla 10.Resultados alternativos sub. sistema de rejilla de soporte.....	33
Tabla 11.Resultados alternativos sub. sistema de cámara de deshidratado.	34
Tabla 12.Datos de la radiación solar (Kw-hr/m ²).	38
Tabla 13.Datos de la radiación solar (w/m ²).	38
Tabla 14.Datos temperatura superficial.	39
Tabla 15.Datos humedad.....	40
Tabla 16.Datos velocidad del viento a 10 metros del suelo.	41
Tabla 17.Propiedades físicas del aire (tabla psicrométrica).....	46
Tabla 18.Selección de la cubierta del colector.....	55
Tabla 19.Selección placa absorbente del colector solar.	55
Tabla 20.Selección del aislante para el colector solar.	56
Tabla 21.Selección del Material para la cámara de secado.....	57
Tabla 22.Dimensiones para la construcción del deshidratador solar.	61
Tabla 23.Parámetros para la construcción del deshidratador solar	62
Tabla 24.Parámetros para la construcción del deshidratador solar.	64
Tabla 25.Parámetros para la construcción de la cámara de secado	66
Tabla 26.Elementos usados en el medidor de temperatura.....	69
Tabla 27.Proceso para el secado de la frutilla.	74
Tabla 28.Resultados del deshidratador solar (Temperatura).....	76

Tabla 29.Resultados del deshidratador solar (Humedad).....	76
Tabla 30.Presupuesto.....	80
Tabla 31.Comparación de deshidratadores.....	83

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.Radiación solar.....	39
Gráfica 2.Temperatura superficial.....	40
Gráfica 3.Humedad relativa.	40
Gráfica 4.Velocidad del viento.	42
Gráfica 5.Características relevantes de la carta psicrométrica.	45
Gráfica 6.Valores tomados de la carta psicrométrica.....	46
Gráfica 7.Temperatura del deshidratador.	77
Gráfica 8. Humedad del deshidratador.	78

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Programación EES	87
Anexo 2. Programación arduino.....	91

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR SOLAR INDIRECTO POR CONVECCIÓN NATURAL¹

AUTORES:

JULIAN EDUARDO GONZÁLEZ PINZÓN, DIEGO ALEJANDRO MERCHAN CASTILLO²

PALABRAS CLAVE: Deshidratador solar, diseño mecánico, convección natural, temperatura, humedad.

DESCRIPCIÓN: El presente proyecto de grado tiene como finalidad exponer los principales parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño y construcción de un deshidratador solar por convección natural, con el cual se pretende contribuir a que se aumente el uso de la energía solar, y a su vez, la conservación de las frutas en el territorio nacional.

En la primera etapa denominada diseño se realizó el boceto conceptual a fin de definir la opción más adecuada de deshidratado según las condiciones del trópico, luego de esto, se procede a realizar el diseño matemático del equipo para hallar las medidas necesarias para su óptimo funcionamiento, luego se hace la selección de los materiales que cumplan con las condiciones necesarias para su debido uso, tal como lo estipula la UNESCO en su guía de deshidratado, seguidamente se realizan los cálculos de diseño para el bastidor utilizando métodos de diseño tradicionales, se elabora el diseño en SOLIWORDS, con el fin de obtener los planos de la máquina, para así dar paso al apartado de construcción.

Por último, se diseña un medidor de temperatura y humedad el cual está hecho en arduino UNO, con el fin de validar el óptimo funcionamiento del deshidratador solar bajo condiciones ambientes.

¹ Proyecto de grado

² Facultad de ingenieras físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Javid Eduardo Quiroga Méndez.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN INDIRECT SOLAR DEHYDRATOR PROTOTYPE BY NATURAL CONVECTION³

AUTHORS:

JULIAN EDUARDO GONZÁLEZ PINZÓN, DIEGO ALEJANDRO MERCHAN CASTILLO⁴

KEYWORDS: Solar dehydrator, mechanical design, natural convection, temperature, humidity.

DESCRIPTION: The purpose of this degree project is to expose the main parameters that must be taken into account for the design and construction of a solar dehydrator by natural convection, with which it is intended to contribute to increasing the use of solar energy, and to its time, the preservation of fruits in the national territory.

In the first stage called design, the conceptual sketch was made in order to define the most appropriate dehydration option according to the conditions of the tropics, after this, the mathematical design of the equipment is carried out to find the necessary measures for its optimal operation, then the materials are selected that meet the necessary conditions for their proper use, as stipulated by UNESCO in its dewatering guide, the design calculations for the frame are then carried out using traditional design methods, the design is elaborated in SOLIWORDS, in order to obtain the drawings of the machine, thus giving way to the construction section. Finally, a temperature and humidity meter is designed, which is made in arduino UNO, in order to validate the optimal operation of the solar dehydrator under ambient conditions.

³ Degree work

⁴ Physical-mechanical Engineering faculty. Mechanical Engineering School. Director: Eng. Jabid Eduardo Quiroga Méndez.

INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más antiguos de la conservación de alimentos es la deshidratación, proceso que consiste en extraerle a los alimentos la mayor cantidad de agua como sea posible, con el fin de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a que esto no permite la proliferación de elementos contaminantes en ellos, manteniendo su nivel nutritivo y alargando su vida útil como producto alimenticio. Colombia es uno de los países con mayor variedad de frutos y alimentos vegetales, los cuales son considerados perecederos, son aquellos que comienzan una descomposición de forma sencilla y agentes como la temperatura, la humedad o la presión son determinantes para que comience su deterioro (Ver figura 1), estos al momento de deteriorarse o perderse ocasionan pérdidas económicas significativas, con lo que se considera que aproximadamente se podría alimentar a 4 millones de *Ilustración 1. Fruta oxidada por las condiciones ambiente.*



personas en el país (Ver figura 2).

Fuente:<http://www.vertigopolitico.com/articulo/40940/Crean-recubrimiento-que-retarda-oxidacion-de-frutas-y-verduras>.

Ilustración 2. Comida desperdicia por la población colombiana



Fuente: <https://www.semana.com/nacion/articulo/se-pueden-alimentar-4-millones-de-personas-con-los-alimentos-que-se-desperdician-cada-ano/538656>

Según el Departamento Nacional de Planeación de Colombia, en el país se pierden o desperdician anualmente 9,76 millones de toneladas de alimentos, que equivale al 34 % de la producción total, la región que tiene el mayor nivel de participación en la pérdida nacional es la Centro-oriental (Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Boyacá) con una participación del 1 millón de toneladas entre frutas y verduras⁵.

Actualmente Colombia se ha convertido en unos de los países con más aceptación en el uso de la energía solar, debido a que ubicación geográfica proporciona las condiciones ideales para el aprovechamiento de la irradiación energética del sol, esto a su vez genera un entorno ideal para el desarrollo de grandes y pequeños proyectos los cuales convierten al país en un referente en desarrollo de energías alternativas.

⁵ García, P. J., Leon-Medina, J. X., Cardenas-Flechas, L. J., & Giraldo, J. F. (2018). Modelado numérico del proceso de secado solar de manzanas en el municipio de Nuevo Colón-Boyacá. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 201-208.

2.JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto se propone con el fin de concientizar a la sociedad para que se usen con más frecuencia las energías alternativas, ya que, son eficientes y ayudan a cuidar el medio ambiente, a su vez, sería de gran ayuda para familias agricultoras, debido a que al reducir el contenido de humedad en los alimentos reduciendo el deterioro biológico y ayudando a conservar por más tiempo los alimentos, esto contribuiría a que no se generen pérdidas por degradación en los tiempos de las cosechas y post cosechas.

Este método de secado es muy utilizado por países desarrollados, ya que, es rentable por la disminución de pérdidas pos cosecha y además mejora la calidad de los alimentos eliminando bacterias y plagas, para así llevar al mercado productos de buena calidad alargando la vida de los alimentos

Este proyecto además de ser rentable sería de gran utilidad para exportar alimentos por la característica de mayor conservación y durabilidad convirtiéndose un factor de valor que promovería la economía del país beneficiando a las familias agricultoras.

3.OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. OBJETIVO GENERAL

Cumplir con el plan de formación de ingenieros mecánicos de la Universidad Industrial de Santander, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en el desarrollo, construcción, implementación y pruebas de un prototipo de deshidratador solar indirecto que opere generando convección natural.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar la configuración más adecuada de deshidratador solar indirecto de frutas y verduras, que sea más efectivo en las latitudes del trópico y a las condiciones ambientales en nuestro país.
- Elaborar el diseño térmico y mecánico del deshidratador solar seleccionado de tal forma que pueda deshumidificar 20 Lb de carga por semana, con una humedad relativa de entrada al colector promedio entre (60-80) %, una velocidad de acceso de aire promedio de 5,3 Km/h; y una salida de temperatura entre (40-70) °C y la humedad relativa debe estar de (20-30) % para hacer un trabajo de secado óptimo.
- Realizar pruebas de desempeño del prototipo evaluando el porcentaje de humedad retirada por día bajo distintos escenarios de radiación solar, cambio de humedad en el aire de renovación, influencia de la temperatura ambiente en su desempeño, volumen inducido en función de la radiación solar.
- Evaluar financieramente mediante la Tasa Interna de Retorno (TIR), la rentabilidad de inversión a través del uso del dispositivo propuesto y compararlo con los deshidratadores que usan energías no renovables.

4.JUSTIFICACION DE LA SOLUCION

Actualmente las pérdidas post cosechas representan un problema significativo para las familias agricultoras en Colombia, debido a que el deterioro de los alimentos por la no comercialización, el aumento de las plagas y la economía, son los factores que más influyen en esta problemática.

Con base en lo mencionado anteriormente la finalidad de este proyecto consiste en el desarrollo (diseño y construcción) de un prototipo cuyo fin se centra en la disminución de pérdidas por cosecha, logrando un impacto positivo en los agricultores de la región, para ello se realizó un apoyo en la función calidad (QFD) que se presenta a continuación.

Para realizar la organización de la matriz calidad existen una serie de pasos, el primero consiste en ubicar las necesidades del cliente en las casillas verticales, las cuales están ordenadas de mayor a menor importancia, otorgándoles un valor que las cuantifique, entre más grande es el número, mayor jerarquía se le asigna. El segundo paso son los requisitos ingenieriles que se ubican en las casillas horizontales ubicadas en la parte superior, estableciéndose una relación entre estos y las necesidades del cliente, fijando valores en las casillas de la matriz clasificados entre 0 y 9. (siendo 0= sin relación, 1 a 3= baja relación, 4 a 7= media relación y 8 a 9= alta relación).

4.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)

4.1.1. Requerimientos del usuario. En este apartado se especifican las necesidades más relevantes de los agricultores para el diseño del deshidratador.

- Bajo costo
- Área ocupada por el secador
- Calidad de secado
- Fácil manejo

- Bajo consumo energético
- Estética

4.1.2. Criterios de diseño. Para favorecer el proceso de diseño del prototipo de deshidratar solar indirecto por convección natural, se utilizó una distribución por subsistemas para reducir la cantidad de parámetros, a continuación, se van a analizar de manera independiente.

- Subsistema de captación de aire

Ingreso de aire al sistema. (Corriente natural, corriente forzada por ventilador).

- Subsistema de intercambio de calor

Sistema de calentamiento del aire. (Convección natural, resistencia eléctrica y colector solar).

- Subsistema cámara de deshidratado

Sistema de almacenamiento para deshidratación (vertical y horizontal).

- Subsistema de rejilla de soporte

Sistema de soporte del alimento a deshidratar (Rejilla, bandeja de secado en serpentín y extremos y medios).

- Subsistema de escape

Sistema de evacuación de aire caliente. (Chimenea, en plancha y plancha en ángulo)

4.2. MATRÍZ DE CALIDAD DEL PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR

Se realizó una matriz de calidad con los subsistemas más relevantes cómo se

mencionó en los criterios de diseño. Señalando que se les dará prioridad a los tres subsistemas con las puntuaciones más significativas.

Tabla 1. Matriz de calidad subsistemas

REQUERIMIENTOS DE CONSUMIDOR	ESPECIFICACIONES DISEÑADOR										
	Prioridad	Sub. de captación de aire		Sub. Intercambio de calor		Sub. cámara de deshidratado		Sub. Rejilla de soporte		Sub. de escape	
Bajo costo	7	9	63	9	63	9	63	9	63	9	63
Área ocupada por el secador	6	7	42	8	48	8	48	8	48	5	30
Calidad de secado	5	2	10	6	30	9	45	9	45	3	15
Fácil manejo	4	6	24	8	32	7	28	9	36	7	28
Bajo consumo energético	3	9	27	9	27	1	3	1	3	2	6
Fácil mantenimiento	2	8	16	6	12	7	14	8	16	7	14
Estética	1	2	2	4	4	5	5	8	4	8	8
Total			184		216		206		215		164

Realizando la respectiva valuación de los criterios se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados del QFD de subsistemas

NÚMERO	CRITERIOS	PONDERACIÓN
1	Sub. Intercambio de calor	21,92%
2	Sub. Rejilla de soporte	21,82%
3	Sub. Cámara de deshidratado	20,91%

Como se puede observar en la tabla los subsistemas más críticos son: intercambio de calor, rejilla de soporte, cámara de deshidratado obtuvieron la máxima calificación siendo estos los subsistemas más críticos del proceso de diseño, por lo cual se le va hacer un estudio de una matriz QFD a cada uno de ellos para su posterior análisis.

4.3. MATRICES DE CALIDAD PARA LOS SUBSISTEMAS

4.3.1. Subsistema de intercambio de calor.

Tabla 3.QFD Subsistema de intercambio de calor.

REQUERIMIENTOS DE CONSUMIDOR \ ESPECIFICACIONES DISEÑADOR	Prioridad	Área efectiva		Funcionalidad		Bajo peso		Bajo costo		Bajo consumo energético	
Bajo costo	7	9	63	8	56	6	42	9	63	9	63
Área ocupada por el secador	6	8	48	8	48	3	18	7	42	8	48
Calidad de secado	5	9	45	5	25	5	25	8	40	7	35
Fácil manejo	4	7	28	8	32	3	12	5	20	5	20
Bajo consumo energético	3	5	15	3	9	4	12	7	21	9	27
Fácil mantenimiento	2	8	16	4	8	3	6	8	16	4	8
Estética	1	6	6	2	2	3	3	4	4	5	5
Total			221		180		118		206		206

Se obtienen los siguientes resultados de las respectivas ponderaciones evaluadas en la tabla anterior.

Tabla 4. Resultados QFD Subsistema de intercambio de calor.

NÚMERO	CRITERIO	PONDERADO
1	Área efectiva	23,73%
2	Bajo costo	22,12%
3	Bajo consumo energético	22,12%

De la tabla 4 se obtienen los resultados de los principales requerimientos para el diseño del subsistema los cuales son: Área efectiva, bajo costo, bajo consumo energético.

4.3.2. Subsistema de rejilla de soporte.

Tabla 5. QFD Subsistema de rejilla de soporte

REQUERIMIENTOS DE CONSUMIDOR	ESPECIFICACIONES DISEÑADOR										
	Prioridad	Eficiencia de secado			Fácil mantenimiento			Bajo peso		Bajo costo	
Bajo costo	7	9	63	3	21	8	56	9	63	9	63
Área ocupada por el secador	6	8	48	9	54	7	42	7	42	8	48
Calidad de secado	5	9	45	8	40	3	15	8	40	7	35
Fácil manejo	4	6	24	5	20	5	20	5	20	5	20
Bajo consumo energético	3	3	9	3	9	3	9	7	21	5	15
Fácil mantenimiento	2	8	16	9	18	3	6	8	16	9	18
Estética	1	5	5	2	2	3	3	4	4	9	9
Total			210		164		151		206		208

Se obtienen los siguientes resultados de las respectivas ponderaciones evaluadas en la tabla anterior.

Tabla 6. Resultados QFD Subsistema de rejilla de soporte.

NÚMERO	CRITERIO	PONDERADO
1	Eficiencia de secado	22,36%
2	Material	22,15%
3	Bajo costo	21,93%

De la tabla 6 se obtienen los resultados de los principales requerimientos para el diseño del subsistema los cuales son: Eficiencia de secado, material, bajo costo.

4.3.3. Subsistema de cámara de deshidratado.

Tabla 7. QFD Subsistema de cámara de deshidratado.

REQUERIMIENTOS DE CONSUMIDOR	ESPECIFICACIONES DISEÑADOR										
	Prioridad	Material		Capacidad		Tamaño		Bajo costo		Fácil construcción	
Bajo costo	7	9	63	3	21	8	56	9	63	9	63
Área ocupada por el secador	6	8	48	9	54	9	54	7	42	8	48
Calidad de secado	5	9	45	8	40	8	40	8	40	7	35
Fácil manejo	4	6	24	6	24	7	28	5	20	5	20
Bajo consumo energético	3	3	9	3	9	3	9	7	21	5	15
Fácil mantenimiento	2	8	16	2	4	5	10	8	16	4	8
Estética	1	5	5	2	2	3	3	4	4	9	9
Total			210		154		200		206		198

Se obtienen los siguientes resultados de las respectivas ponderaciones evaluadas en la tabla anterior.

Tabla 8. Resultados QFD Subsistema de cámara de deshidratado.

NÚMERO	CRITERIO	PONDERADO
1	Material	21,69%
2	Bajo costo	21,28%
3	Tamaño	20,66%

De la tabla 8 se obtienen los resultados de los principales requerimientos para el diseño del subsistema los cuales son: Material, bajo costo, tamaño.

4.4. ALTERNATIVAS

4.4.1. Alternativas subsistema de intercambio de calor.

- Alternativa 1. Convección por resistencia

Esta alternativa consiste en calentar el aire que posteriormente va a ser usado para la deshidratación de los alimentos, por medio de una resistencia eléctrica, la cual por convección natural transfiere el calor entre la resistencia caliente y el fluido.

Ilustración 3. Colector solar por resistencia.



Fuente:<https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-561509705-deshidratador-solar-JM?quantity=1>

- Alternativa 2. Por radiación natural

La radiación es un fenómeno de propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material, el cual debe cumplir una serie de requisitos tales como ser de color oscuro, para que la absorción del calor sea más eficiente y el aire empiece a calentarse y a fluir naturalmente.

Ilustración 4. Colector tradicional



Fuente: <https://docplayer.es/63766351-Serie-tecnologia-para-el-desarrollo-humano-tecnologias-apropiadas-para-la-transformacion-agropecuaria-deshidratadores-solares.html>

- Alternativa 3. Colector solar

El colector solar es un dispositivo que sirve principalmente para el aprovechamiento de energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para el calentamiento del aire que va a ser usado para la deshidratación.

Ilustración 5. Colector solar



Fuente:<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fsaecsaenergiasolar.com%2Fbrochures%2Fdeshidratadores.pdf&psig=AOvVaw3ywbmfSrNWsyBC36gG1lcB&ust=1572650332288000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIDDIJG7x-UCFQAAAAAdAAAAABAN>

4.4.2. Alternativas subsistema de rejilla de soporte.

- Alternativa 1. Rejilla

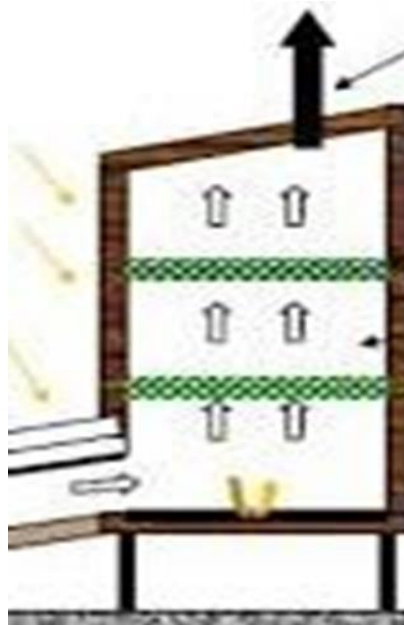
Esta alternativa es planeada con el fin de brindar un adecuado soporte a los alimentos que se van a introducir para el deshidratado, aportado además los parámetros referentes a la higiene, por otra parte, la rejilla hace que la transferencia de calor entre el aire caliente y el producto sea directa.

Ilustración 6. Rejillas de soporte alimenticio



Fuente: <https://www.mwmaterialsworld.com/blog/tipos-y-usos-mallas-metalicas/>

Ilustración 7. Simulación de paso del aire por la rejilla.



Fuente:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fscielo.conicyt.cl%2Fpdf%2Fingeniare%2Fv24nEspecial%2Fart10.pdf&psig=AOvVaw0yylssqh-C8FByJwa1kKw8&ust=1572650738426000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMCjnc28x-UCFQAAAAAdAAAAABAI>

- Alternativa 2. Bandeja (Secado en serpentín).

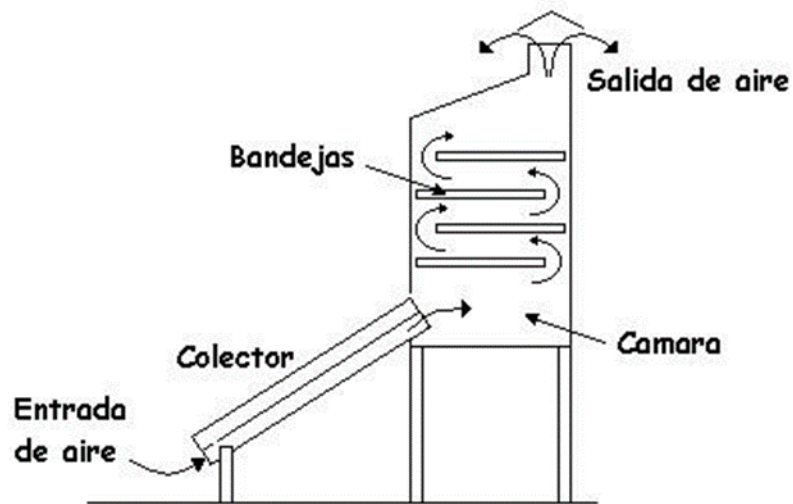
Esta alternativa se plantea para suministrar un adecuado soporte a los alimentos que se van a introducir para el deshidratado, teniendo en cuenta los parámetros referentes a la higiene, por otra parte, la bandeja hace que la convección entre el aire caliente y el producto y sea indirecta, lo que significa que el aire calienta la bandeja y esta a su vez al producto a deshidratar.

Ilustración 8. Bandeja metálica.



Fuente:<https://www.pepebar.com/bandeja-aluminio-lisa-440x315-mm-pbbl44x315>

Ilustración 9. Simulación de paso de aire por la bandeja en serpentin.

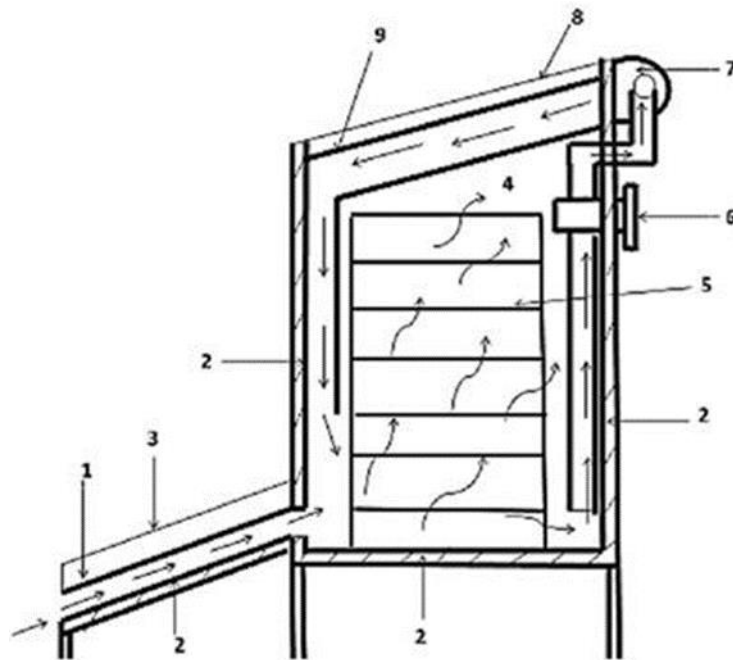


Fuente: http://exa.unne.edu.ar/investigacion/energia_solar/secadero.html.

- Alternativa 3. Bandeja (secado extremos y medios)

Esta alternativa se plantea para suministrar un adecuado soporte a los alimentos que se van a introducir para el deshidratado, teniendo en cuenta los parámetros referentes a la higiene, por otra parte, la bandeja hace que la convección entre el aire caliente y el producto y sea indirecta, lo que significa que el aire calienta la bandeja y esta a su vez al producto a deshidratar.

Ilustración 10. Simulación de paso del aire por la bandeja en extremos y medios.



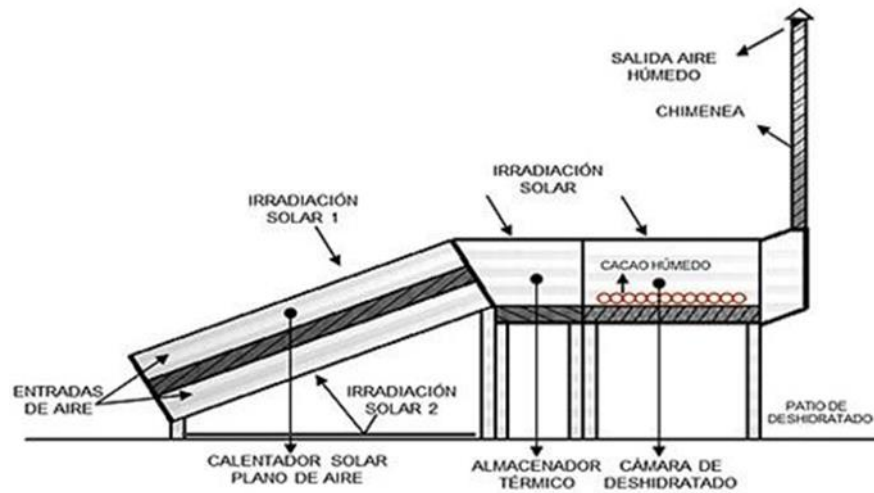
Fuente: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000801719&lng=es&nrm=iso

4.4.3. Alternativas subsistema de cámara de deshidratado.

- Alternativa 1. Cámara de deshidratación en horizontal

Es una estructura diseñada con el fin de proveer eficiencia a la transferencia de calor indirecta o directa entre el aire y los alimentos, además es usada para el almacenamiento y evitar el contacto de los frutos secos con las plagas.

Ilustración 11. Cámara en horizontal

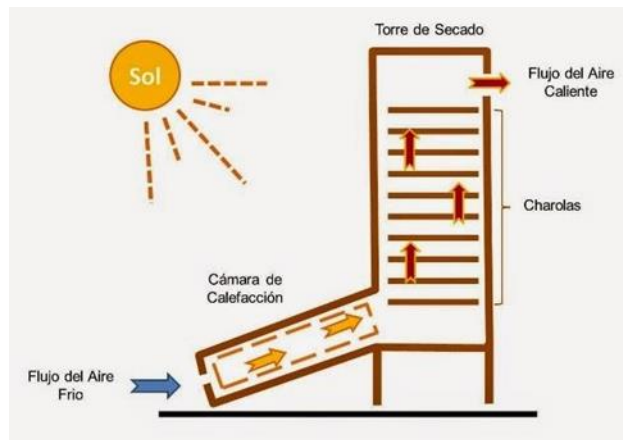


Fuente: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000100005

- Alternativa 2. Cámara de deshidratación en vertical

Es una estructura diseñada con el fin de proveer eficiencia a la transferencia de calor indirecta o directa entre el aire y los alimentos, además es usada para el almacenamiento y evitar el contacto de los frutos secos con las plagas.

Ilustración 12. Cámara en vertical.



Fuente: http://conservacasera.blogspot.com/2014_11_01_archive.html?view=classi

4.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la elección final de la mejor alternativa son consideradas bajo los tres mejores criterios de calificación de los QFD que se realizaron anteriormente en cada subsistema, posteriormente se analizaran las ventajas y desventajas de acuerdo a los parámetros ya establecidos previamente los cuales se calificarán de 1 a 5 donde 1 es la peor calificación y 5 la máxima, donde C es el valor de la calificación y P el de multiplicar entre la calificación y el porcentaje del parámetro.

Tabla 9. Resultados alternativos sub. sistema de intercambio de calor.

Sub. De intercambio de calor							
Parámetro de selección		Alter. 1		Alter. 2		Alter. 3	
CRITERIO	PONDERADO	C	P	C	P	C	P
Área efectiva	23,73%	5	1,18	3	0,711	4	0,949
Bajo costo	22,12%	3	0,66	5	1,1	3	0,66
Bajo consumo energético	22,12%	2	0,44	5	1,1	3	0,66
Resultados			2,28		2,911		2,269
Clasificación		2		1		3	

Tabla 10. Resultados alternativos sub. sistema de rejilla de soporte

Sub. Rejilla de soporte							
Parámetro de selección		Alter. 1		Alter. 2		Alter. 3	
CRITERIO	PONDERADO	C	P	C	P	C	P
Eficiencia de secado	22,36%	5	1,12	3	0,67	4	0,9
Material	22,15%	4	0,89	4	0,89	3	0,66
Bajo costo	21,93%	4	0,88	5	1,1	4	0,88
Resultados			2,89		2,66		2,44
Clasificación		1		2		3	

Tabla 11. Resultados alternativos sub. sistema de cámara de deshidratado.

Sub. Cámara de secado					
Parámetro de selección		Alter.1		Alter. 2	
CRITERIO	PONDERADO	C	P	C	P
Material	21,69%	5	1,1	5	1,1
Bajo costo	21,28%	4	0,85	4	0,85
Tamaño	20,66%	3	0,61	5	1,03
Resultados			2,56		2,98
Clasificación		2		1	

4.6. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA

Luego de analizar detalladamente las alternativas propuestas en cada subsistema se obtienen los siguientes resultados:

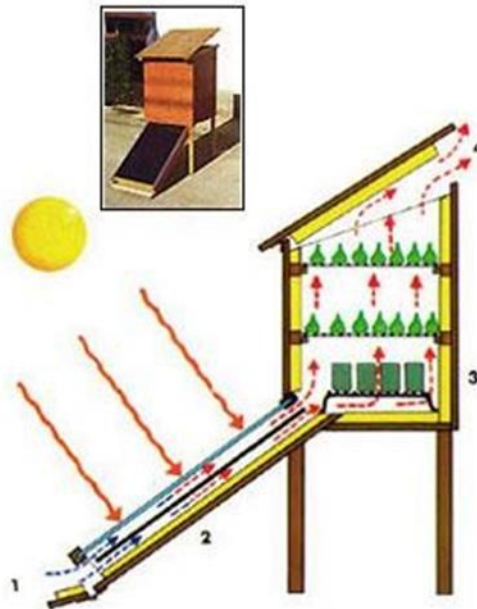
- Subsistema de captación de aire: La alternativa seleccionada para este subsistema es la de captación de aire por corrientes naturales, debido a que Bucaramanga y su área metropolitana cuentan con las condiciones requeridas para la implementación en este proyecto.
- Subsistema de intercambio de calor: La alternativa seleccionada para este apartado corresponde a la de radiación, esto teniendo en cuenta que Bucaramanga cumple con los rangos de radiación solar diaria y además trae un beneficio económico, ya que este es gratis.
- Subsistema cámara de secado: En este apartado se debe tener en cuenta cual va a ser el sistema de captación de aire, debido a que no es forzado puede que el aire e condense dentro de la cámara y no deshidrate, por consiguiente, se elige el vertical puesto que además la densidad el aire caliente es menor y tiende a subir con esto se lograra que haya flujo de aire en la cámara.
- Subsistema de rejilla de secado: En este ítem se escoge la rejilla debido a que es la más eficiente porque su transferencia de calor es directa entre el

aire y el alimento, proporcionando un poder de secado en menos tiempo.

- Subsistema de escape: La alternativa seleccionada para este apartado fue la de la plancha en ángulo, ya que al momento de la salida del aire del proceso de deshidratación sale húmedo y esto conlleva al no estancamiento del aire y a su debida condensación dentro de la cámara de secado.

La alternativa ganadora se ilustra en la siguiente figura:

Ilustración 13. Diseño final.



Fuente:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ulvr.edu.ec%2Fbitstream%2F44000%2F597%2F1%2FT-ULVR-0364.pdf&psig=AOvVaw0yylssqh-C8FByJwa1kKw8&ust=1572650738426000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMCjnc28x-UCFQAAAAAdAAAAABBD>

5.DISEÑO DEL DESHIDRATADOR SOLAR

5.1. DATOS METEOROLÓGICOS

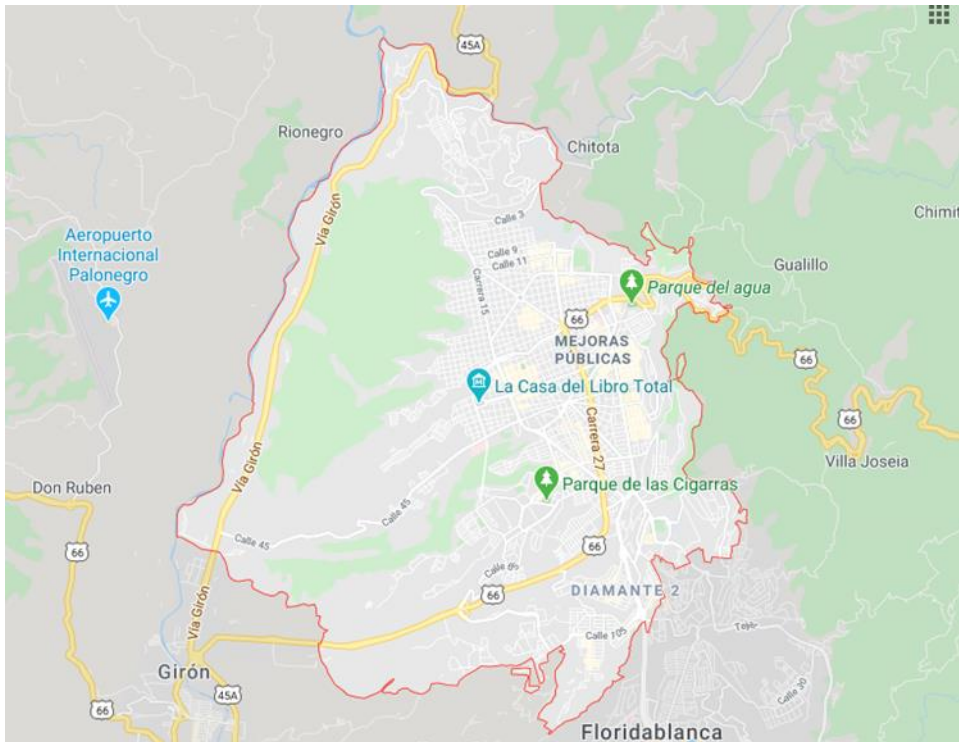
Los datos meteorológicos que se presentan a continuación corresponden a la ciudad de Bucaramanga los cuales fueron obtenidos del proyecto POWER⁶ que proporciona conjuntos de datos solares y meteorológicos de la investigación de la NASA para apoyar la energía renovable, la eficiencia energética del edificio y las necesidades agrícolas.

5.1.1. Zona

- Latitud: 7.1134
- Longitud: -73.1331
- Altitud sobre el nivel del mar: 950m
- El clima por lo general es caluroso y consta de dos estaciones, una húmeda y una seca.

⁶ NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. *The POWER Project*. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Ilustración 14. Croquis Bucaramanga



Fuente: https://www.google.com/maps?client=firefox-b-d&q=bucaramanga&um=1&ie=UTF-8&sa=X&ved=2ahUKEwjvpfqA95PqAhULSjABHSdrCNcQ_AUoAXoECBwQAw

5.1.2. Radiación solar. La radiación solar es conocida como la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Los datos que se presentarán a continuación se recolectaron de la estación meteorológica de la NASA (Proyecto POWER).

Tabla 12. Datos de la radiación solar (Kw-hr/m²).

RADIACIÓN SOLAR (Kw-hr/m ²)													
MES													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO TOTAL
2017	5.22	5.91	4.68	5.13	4.71	4.82	5.60	5.35	5.03	5.04	4.63	5.19	5.09
2018	4.96	6.03	5.42	4.65	5.01	5.07	5.52	5.87	5.22	5.24	4.52	5.66	5.08
2019	5.35	5.58	4.98	5.00	5.10	5.15	5.76	5.92	5.52	4.93	4.57	4.76	5.13
												TOTAL	5.1

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. The POWER Project. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

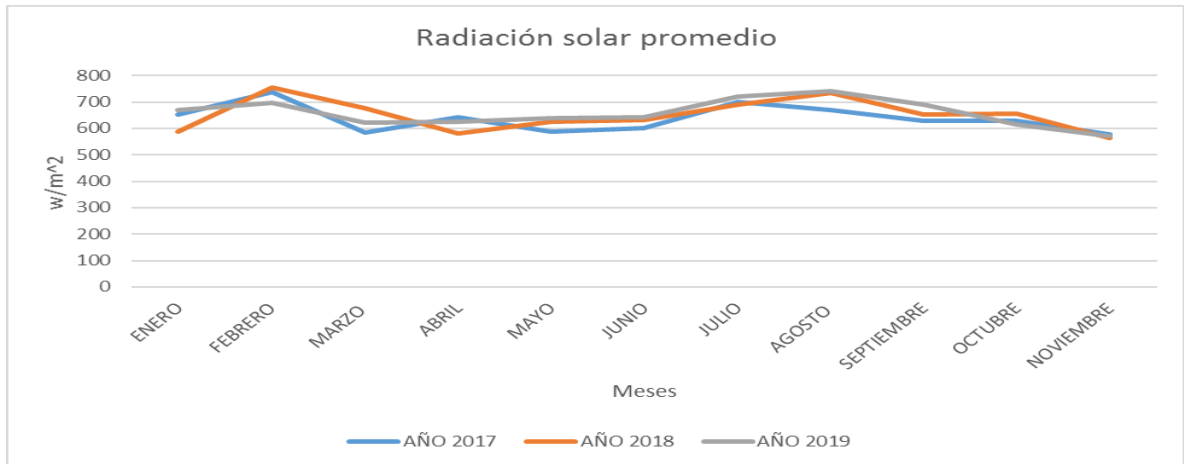
Tabla 13. Datos de la radiación solar (w/m²).

RADIACIÓN SOLAR (w/m ²)													
MES													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO TOTAL
2017	652,5	738,75	585	641,3	588,8	602,5	700	668,75	628,75	630	578,75	648,75	636,26
2018	586,25	753,75	677,5	581,3	626,3	633,75	690	733,75	652,5	655	565	706,25	635,00
2019	668,75	697,5	622,5	625	637,5	643,75	720	740	690	616,25	571,25	595	641,25
												TOTAL	637,5

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. The POWER Project. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

La radiación solar promedio en Bucaramanga es de 637.5 w/m².

Gráfica 1. Radiación solar.



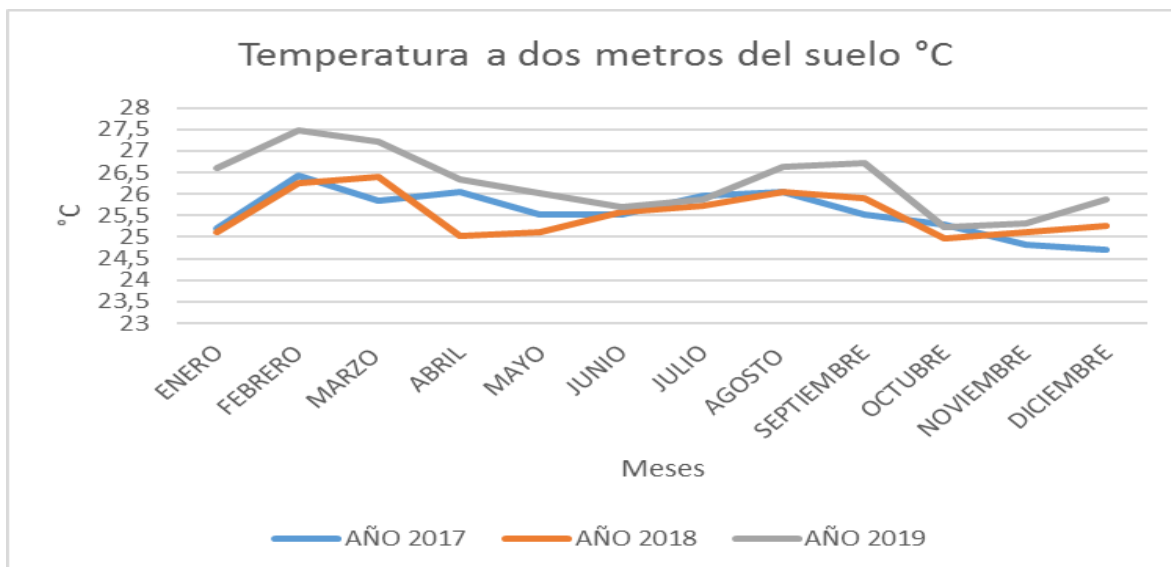
5.1.3. Temperatura. La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente, esta se define principalmente como una magnitud escalar que se encuentra relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, esta influye directamente en este proyecto. A continuación, se exponen los datos que se recolectaron de la estación meteorológica de la NASA (Proyecto POWER).

Tabla 14. Datos temperatura superficial.

TEMPERATURA A DOS METROS DEL SUELO (°C)													
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO TOTAL
2017	25,2	26,44	25,84	26,05	25,53	25,52	25,95	26,04	25,53	25,29	24,82	24,72	25,57
2018	25,12	26,26	26,41	25,04	25,12	25,57	25,74	26,05	25,89	24,97	25,11	25,27	25,54
2019	26,59	27,49	27,22	26,35	26,03	25,7	25,86	26,63	26,73	25,24	25,33	25,88	26,25
												TOTAL	25,78

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. The POWER Project. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Gráfica 2. Temperatura superficial.



Con base en los resultados anteriormente expuestos se hizo un promedio entre las temperaturas, con el fin de obtener un dato más exacto, el resultado fue 21°C, es decir, el promedio es a un metro de altura, que es la distancia medida desde el suelo donde quedará ubicada la entrada del colector de aire.

5.1.4. Humedad. La humedad es la cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire. Los datos que se presentarán a continuación se recolectaron de la estación meteorológica de la NASA (Proyecto POWER).

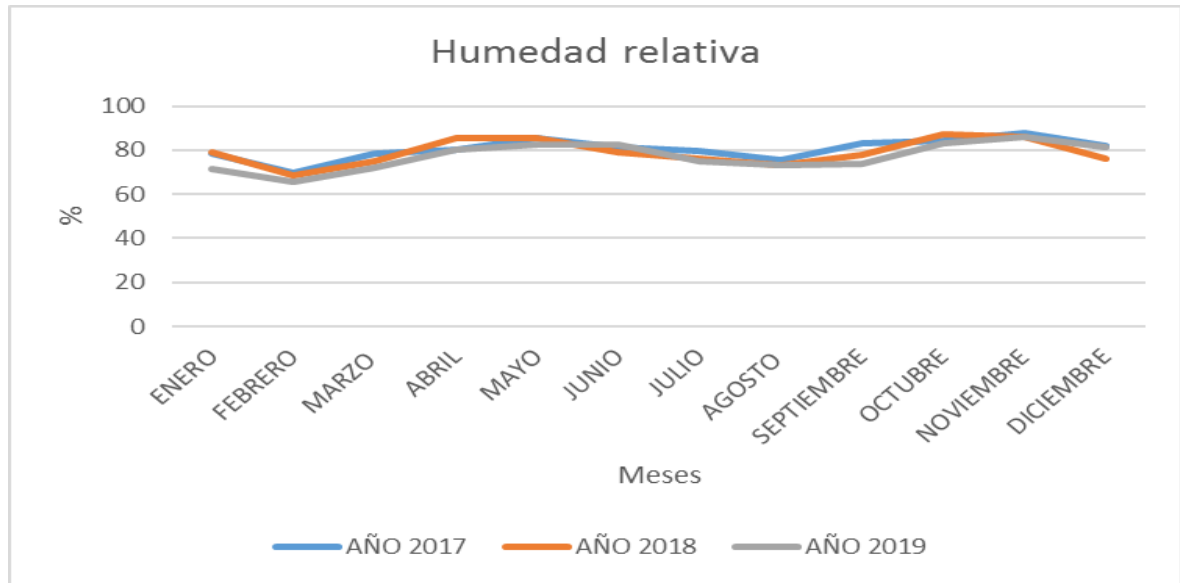
Tabla 15. Datos humedad.

HUMEDAD (%)													
MES													PROMEDIO TOTAL
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2017	78,73	69,94	78,25	79,98	85,68	81,22	79,93	75,35	83,06	84,57	87,79	81,73	0,81
2018	79,32	68,78	75,22	85,46	85,64	79,09	76,33	73	78,13	87,12	85,93	76,01	0,79
2019	71,65	65,89	72,17	80,5	82,42	82,31	75,15	73,48	73,94	83,38	86,1	81,54	77,44%
												TOTAL	79,08%

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. The

POWER Project. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Gráfica 3.Humedad relativa.



La humedad promedio de la ciudad de Bucaramanga es 79.08%.

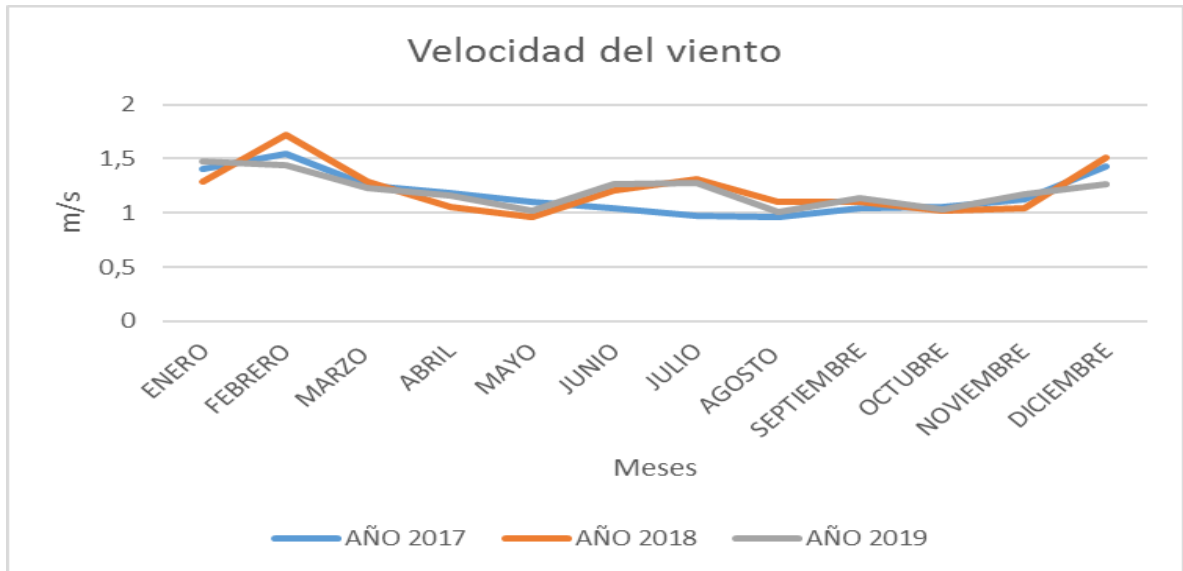
5.1.5. Velocidad del viento. De acuerdo a la relación de la velocidad del viento con el secador solar, se afirma que cuando aumenta la velocidad, disminuye el tiempo de secado. Los datos que se presentarán a continuación se recolectaron de la estación meteorológica de la NASA (Proyecto POWER).

Tabla 16.Datos velocidad del viento a 10 metros del suelo.

VELOCIDAD DEL VIENTO a 10 metros del suelo (m/s)													
MES \ AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO TOTAL
2017	1,4	1,55	1,25	1,18	1,1	1,04	0,97	0,96	1,04	1,05	1,13	1,43	1,17
2018	1,29	1,72	1,29	1,06	0,96	1,21	1,31	1,1	1,1	1,02	1,04	1,51	1,21
2019	1,47	1,44	1,23	1,16	1,02	1,26	1,28	1,01	1,14	1,03	1,17	1,26	1,20
												TOTAL	1,19

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. The POWER Project. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Gráfica 4. Velocidad del viento.



La velocidad del viento promedio en la ciudad de Bucaramanga es de 1.19 m/s.

Este proyecto se va a llevar a cabo con fresas debido a que esta fruta tiene gran cantidad de líquido para extraer (90%), se comienza sacando los datos de las medidas de las rodajas de las fresas y el número de rodajas que se le va a sacar a cada fresa. Se escogen 1,5 kilogramos de fresa, a fin de observar cuantas fresas había en los 1,5 kilogramos mencionados anteriormente, que es lo que se va a deshidratar en el día.

5.2. DISEÑO MECÁNICO

5.2.1. Dimensionamiento de las bandejas

- Fresa: 1
- Largo: 5,52
- Diámetro: 3,3
- De cada fresa salieron 5 rodajas.
- De un kilogramo de fresas salen aproximadamente 30 unidades, Por día se

van a deshidratar 1,5 kg que aproximadamente son 45.

- Experimentalmente se deshidrataron 1,5 kg de fresa y dio como resultado 206 gr de fresa seca.
- El tiempo que se va a requerir para el deshidratado de las frutas va a ser 8 horas.
- El área de cada fresa se iguala al área de un círculo que es: $Area_{fresa} = \pi r^2$

En este paso del trabajo se aproxima el área de cada rodaja de fresa como si fuera la de un círculo y con los datos del diámetro de la rodaja se calcula el área total de todas las fresas extendidas en la bandeja para así sacar el área de la bandeja que más se acomode más una tolerancia para los espacios entre las fresas.

Para hallar el área de la bandeja se procede de la siguiente manera:

$$Area_{fresa} = \pi * 3,3^2$$

$$Area_{fresa} = 8,55 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ de rodajas por } 0,75\text{kg} = 113$$

$$Area_1 = Area_{fresa} * \# \text{ de rodajas por } 0,75\text{kg}$$

$$Area_1 = 8,55 * 113$$

$$Area_1 = 967 \text{ cm}^2$$

Para el área total de la bandeja se le va a aumentar 75 % de tolerancia.

$$Area_{bandeja} = Area_1 * 0,75 + Area_1$$

$$Area_{bandeja} = 967 * 0,75 + 967$$

$$Area_{bandeja} = 1692 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ de bandejas} = \frac{Area_{total}}{Area_{designada}}$$

$$\# \text{ de bandejas} = \frac{1692}{1692}$$

$$\# \text{ de bandejas} = 1$$

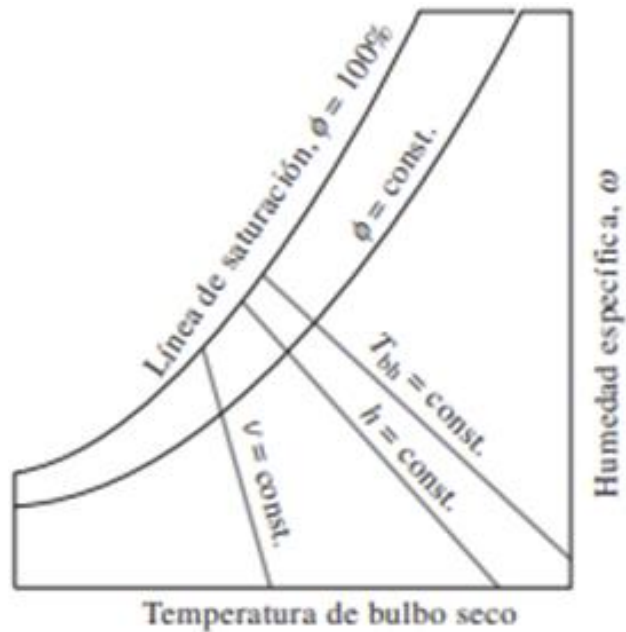
Una bandeja para 0,75 kg, pero como se van a deshidratar 1,5 kg por día entonces serian dos bandejas.

5.2.2. Dimensionamiento del colector solar. Para hallar algunas propiedades del aire se hace necesario el uso de la tabla psicrométrica.

Las características más importantes de la carta psicrométrica se presentan en la gráfica 6. Las temperaturas de bulbo seco se muestran sobre el eje horizontal y la humedad específica sobre el eje vertical. (Algunas cartas también muestran la presión de vapor sobre el eje vertical ya que para una presión fija P existe una correspondencia de uno a uno entre la humedad específica v y la presión de vapor P_v , En el extremo izquierdo de la carta se observa una curva (llamada línea de saturación) en lugar de una línea recta. Todos los estados de aire saturado se localizan en esta curva. Por lo tanto, es también la curva de un 100 por ciento de humedad relativa. Otras curvas de humedad relativa constante tienen la misma forma general. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante tienen una apariencia descendente hacia la derecha. Las líneas de volumen específico constante (en m^3/kg de aire seco) parecen similares, salvo que son más inclinadas. Las líneas de entalpía constante (en kJ/kg de aire seco) están casi paralelas a las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante. Por consiguiente, las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante en algunas cartas se emplean como líneas de entalpía constante. Para aire saturado, las temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de punto de rocío son idénticas, por ende, la temperatura de punto de rocío del aire atmosférico v en cualquier punto sobre la gráfica se determina al dibujar una línea horizontal (una línea de v constante o P_v constante) desde el punto hasta la curva saturada. El valor de la temperatura en el punto de intersección es la temperatura de punto de rocío. La carta psicrométrica también es una valiosa ayuda en la visualización de los procesos de acondicionamiento de aire. Un proceso de calentamiento o enfriamiento ordinario, por ejemplo, aparecerá como una línea horizontal en esta carta si no se incluye humidificación (es decir, v constante). Cualquier desviación de la línea horizontal indica que durante el proceso se añade

o se extrae humedad al o del aire.⁷

Gráfica 5. Características relevantes de la carta psicrométrica.



Fuente: VAN WYLEN G, SONNTAG R. (1999). Fundamentos de Termodinámica. México: Limusa

Luego, se procede a hallar las propiedades del aire mediante la carta psicrométrica que utilizan en aplicaciones de acondicionamiento de aire.

⁷ Boles, M. A., & Cengel, Y. A. (2012). Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Korea.

Gráfica 6. Valores tomados de la carta psicrométrica.



Fuente: VAN WYLEN G, SONNTAG R. (1999). Fundamentos de Termodinámica. México: Limusa

Tabla 17. Propiedades físicas del aire (tabla psicrométrica).

Propiedades del aire				
Estado del aire	Temperatura de bulbo seco °C	Temperatura de bulbo humedo en	contenido de humedad gH ₂ O/Kg	Entalpia KJ/KG
Aire de entrada	25	22,2	16	66,5
Aire en la camara de deshidratado	48	28	16	90
Aire de salida	28	26,7	21,8	85

El primer paso para hallar el calor es calcular la humedad que va a haber antes y después del deshidratado para saber cuánta humedad se le debe que quitar a la fresa que en un inicio tienen una humedad del 90% y al final del deshidratado debe

llegar a un porcentaje de humedad del 15%, a continuación, se hace el cálculo para hallar el delta de humedad de la fresa:

$$\Delta_H = \frac{H_{inicial} - H_{Final}}{100 - H_{Final}}$$

Donde:

$H_{inicial}$ = humedad inicial de la fresa

H_{Final} = Humedad final de la fresa

$$\Delta_H = \frac{90 - 15}{100 - 15} * 100$$
$$\Delta_H = 88,235\%$$

Ahora, siguiendo los pasos para hallar el calor, Se calcula la cantidad de agua que se debe extraer por segundo de la materia prima, en este caso se debe saber cuánto liquido se le extrae a 1,5 kg de fresa, para esto se hace indispensable tener claro esa cantidad de materia prima cuantos gramos de fresa seca hay, que son 250 gramos.

También se debe tener en cuenta el tiempo que el deshidratador estará expuesto al sol para así saber en cuanto tiempo se va a retirar esa humedad de las fresas.

$$\Delta x = \frac{M_{H2O}}{t_{Secado}} * \left(\frac{H_{inicial} - H_{final}}{100} \right)$$

Donde:

M_{H2O} = masa del líquido contenido en 1,5kg de fresa

t_{Secado} = tiempo de exposición al sol en segundos

$$\Delta x = \frac{1500 - 250}{28800} * \left(\frac{90 - 15}{100} \right)$$

$$\Delta x = 0,03355 \frac{gr_H2O}{s}$$

En esta parte se mide cuanta humedad puede recoger el aire desde la entrada hasta la salida del deshidratador, esto se usa con el fin de saber cuánto aire debe transcurrir por el deshidratador para que cumpla con las especificaciones del tiempo dado.

$$W = Razón\ de\ Humedad_{salida} - Razón\ de\ humedad_{entrada}$$

$$W = 21,8 - 16$$

Donde:

Razón de Humedad= la cantidad de agua que es capaz de absorber el aire. g(H2o) /kg (aire seco).

$$W = 5,8gH2O/Kgas$$

$$M^{\circ}_{Aire} = \frac{\Delta x}{W}$$

Con los datos suministrados anteriormente, se halla el flujo de aire necesario que deberá pasar por el colector solar

$$M^{\circ}_{Aire} = \frac{0,03385}{5,8}$$

$$M^{\circ}_{Aire} = 5,83 * 10^{-3} \frac{Kg}{s}$$

Ya calculado el flujo de aire y teniendo las entalpias de entrada y salida se procede a hallar el calor que necesitara recibir el colector solar.

$$Q = M^{\circ}_{Aire} * (H2 - H1)$$

Donde:

H2=entalpia a la salida del colector solar Kj/Kg

H1=entalpia a la entrada del colector solar Kj/Kg

$$Q_{\text{útil}} = 5,83 * 10^{-3}(90 - 66,5)$$

$$Q_{\text{útil}} = 0,137 \frac{KJ}{KG}$$

$$Q_{\text{útil}} = 137,005W$$

Ya calculado el calor útil se tomará como referencia para saber qué tanta área necesitará el colector, esto se hace mediante la fórmula de efectividad.

$$\epsilon = \frac{Q_{\text{útil}}}{Ac * It}$$

Donde:

Ac= Área del colector

It= Radiación solar incidente en la ciudad de Bucaramanga

ε=Efectividad

$$Ac = \frac{Q_{\text{util}}}{\epsilon * It}$$

$$Ac = \frac{137,21}{0,45 * 637,5}$$

$$Ac = 0,4775m^2$$

Ya teniendo el área del colector y la base de la bandeja que contiene las fresas, ya solo queda por hallar el ancho del colector mediante la fórmula:

$$Ac = b * a$$

Donde:

b= Base del colector

a=Ancho del colector

$$a = \frac{Ac}{b}$$

$$a = \frac{0,4775}{0,41}$$

$$a = 1,16m = 1,2m$$

Por último, se halla el área transversal por donde circulará el flujo de aire

$$M^{\circ}_{Aire} = \mathcal{P} * b * an * v$$

$$an = \frac{M^{\circ}_{Aire}}{\mathcal{P} * b * v}$$

$$an = \frac{5,83 * 10^{-3}}{0,88 * 0,41 * 0,8}$$

$$an = 2cm$$

5.2.3. Inclinación del colector solar. El ángulo adecuado para la superficie del colector está determinado por diversos factores como lo son: la radiación solar incidente en el lugar, el ciclo solar, la sombra de objetos que no se puedan eliminar como lo serían: edificios, montañas, etc.

La ubicación del colector solar (hemisferio norte) debe ser hacia el sur con una pendiente similar a la latitud, de modo que los rayos del sol golpeen perpendicularmente a la superficie y de esta forma se dé un mejor uso.

5.2.4. Dimensionamiento del bastidor. Se realizará el diseño del bastidor del colector solar, para su correcto diseño se procede a una selección de materiales en los catálogos comerciales, también una verificación de materiales por medio de un análisis de columnas ya que la carga será soportada por cuatro elementos estructurales.

Datos

Carga: 700 [N/m]

Longitud: 1,40 [m]

Análisis estático

$$\begin{aligned}\sum F_Y &= 0 \\ 4R_Y &= 700 \cdot 1,4 \\ R_Y &= 245 \text{ [N]}\end{aligned}$$

Como la carga que están soportando las columnas no es perfectamente centrada, se procede a un análisis de carga excéntrica, donde se utiliza la ecuación de la secante para el estudio del bastidor.

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{crit}}{A_{crit}} \cdot \left(1 + \frac{e \cdot C}{Rg^2} \cdot \sec \left(\frac{Le}{Rg} \sqrt{\frac{P_{crit}}{4 \cdot E \cdot A_{crit}}} \right) \right)$$

Donde

σ_{crit} = Esfuerzo crítico

S_y = Esfuerzo de fluencia

N = Factor de seguridad

P_{crit} = Carga crítica = $P \cdot N_1 \rightarrow$ donde $N_1 = [2,5 - 4,5]$

A_{crit} = Área crítica

$e =$ excentricidad de la carga

$C =$ distancia de la fibra más alejada del eje neutro

$Rg =$ Radio de giro

$Le =$ Longitud efectiva

$E =$ Módulo de elasticidad

Del catálogo se obtiene la resistencia a la tracción para el ASTM A-36, siendo este el más frecuente para aplicaciones de estructuras metálicas en general.

$$S_y = 250 [MPa]$$

Para la carga crítica se tiene que:

$$P_{crit} = P * N_1 = 245 \cdot 4,5 \rightarrow P_{crit} = 1102,5 [N]$$

El área del elemento estructural se obtiene del catálogo Sterckerl para un perfil en L (ángulo) con designación: L 1/8" x 2"

$$A_{crit} = 3,10 [cm^2]$$

La excentricidad de la carga por medio de la relación de esbeltez dada por la siguiente ecuación:

$$e = \frac{L}{400} = \frac{0,7}{400} \rightarrow e = 0,00175 [m]$$

Para la fibra más lejana del eje neutro se obtiene del catálogo, en la página 18 para el perfil en L (ángulo) 1/8" x 2"

$$C = 1,6 [cm]$$

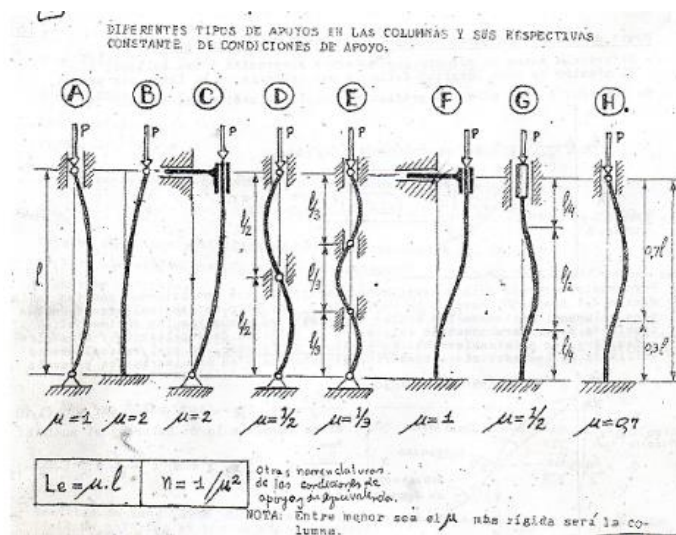
El radio de giro del elemento estructural está dado por la siguiente ecuación, y sus

datos se obtienen del catálogo.

$$Rg = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{7,91 [cm^4]}{3,10 [cm^2]}} \rightarrow Rg = 1,597 [cm]$$

La longitud efectiva de la columna debe ser afectada por un factor que dependerá del apoyo que esta tiene, en la siguiente imagen se ven los diferentes apoyos y se seleccionara el correcto de acuerdo al sistema planteado.

Ilustración 15. Factores de apoyo de las columnas



Por lo tanto, se tiene que:

$$L_e = L \cdot \mu = 0,7 * 1 \rightarrow L_e = 0,7 [m]$$

El módulo de elasticidad será:

$$E = 200 [GPa]$$

Reemplazando todos los términos en la ecuación de la secante se tiene que:

$$\sigma_{crit} = \frac{1102,5}{3,10 * \left(\frac{1}{100}\right)^2} \cdot \left(1 + \frac{0,00175 \cdot 1,6 * \left(\frac{1}{100}\right)}{\left(1,597 * \left(\frac{1}{100}\right)\right)^2} \right) \cdot sec \left(\frac{0,7}{1,597 * \left(\frac{1}{100}\right)} \sqrt{\frac{1102,5}{4 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 3,10 * \left(\frac{1}{100}\right)^2}} \right)$$

$$\sigma_{crit} = 4 [MPa]$$

Este esfuerzo critico se tiene que comparar con el del material y tiene que ser menor que este para que el elemento estructural seleccionado sea el correcto. Por lo tanto:

$$\sigma_{crit} \leq \frac{S_y}{N}$$

Donde $\frac{S_y}{N} = \frac{250}{2,5} = 100 [MPa]$

Por lo tanto, se cumple que el material seleccionado no falla por pandeo y cumple con las condiciones a la cual se someterá el perfil estructural L 1/8" x 2"

5.3. MODELO MATEMÁTICO PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SECADOR SOLAR

El modelo matemático desarrollado para la construcción del deshidratador solar fue realizado en el programa EES mediante las ecuaciones y los parámetros anteriormente representados. El programa evidencia el cálculo de las áreas relevantes que son necesarias para el diseño del mismo. El programa realizado en

EES está compuesto por dos bloques: el primero contiene las especificaciones de las dimensiones del secador solar y en el segundo se encuentran el cálculo del bastidor, tal como se evidencia en los anexos.

5.4. MATERIALES PARA EL COLECTOR SOLAR

Los materiales serán seleccionados de acuerdo a las características físicas que requiera cada una de las partes del colector solar.

5.4.1. Cubierta del colector. La cubierta del colector debe ser transparente, a fin de que permita que los rayos del sol penetren hacia la superficie absorbente.

Tabla 18. Selección de la cubierta del colector.

Materiales	Conductivida d Termica	Calor Especifico	Emisivid ad	Absortividad solar	Trasmisividad solar
Vidrio	0.8	0.8	0.94	-	0.79
Policarbonato	0.2	1.2	0.84	-	0.7
Plastico	0.19	1.4	0.8	-	0.67

Fuente: Cengel, A., Boles, A., Campos, V., & Colli, M. T. (2003). *Termodinámica*.

Tomando como punto de referencia los parámetros de selección de la tabla #8, se elige al vidrio, debido a es un material duradero contra el tiempo, es de bajo costo y se puede conseguir de cualquier tamaño.

5.4.2. Placa absorbente del colector solar. Esta placa es de metal y debe ser de color oscuro, esto con el fin de que esta absorba la radiación incidente y la transforme en calor

Tabla 19. Selección placa absorbente del colector solar.

Materiales	Conductividad Termica w/m*K	Calor Especifico Kj/Kg*K	Emisividad	Absortividad solar	Trasmisividad solar
Aluminio	207.3	0.89	0.3	0.2	0.8
Acero	58.2	0.447	0.1	0.15	0.7
Acero inoxidable	16.3	1.4	0.27	0.1	0.72

Fuente: Cengel, A., Boles, A., Campos, V., & Colli, M. T. (2003). *Termodinámica*.

De los 3 materiales expuestos en la anterior tabla, se decide elegir el aluminio, por sus propiedades físicas, por su bajo costo y fácil obtención como se especificó en la tabla #8.

5.4.3. Aislante para el colector solar. La función del aislante es no dejar fluir el calor ni por convección, ni por conducción, por el lado opuesto a la cara donde incide la radiación solar.

Tabla 20. Selección del aislante para el colector solar.

Materiales	Conductividad Termica w/m*K	Calor Especifico Kj/Kg*K	Emisividad	Absortividad solar	Trasmisividad solar
Poliuretano	0.025	-	-	-	-
Poliestireno	0.038	-	-	-	-

Fuente: Cengel, A., Boles, A., Campos, V., & Colli, M. T. (2003). *Termodinámica*.

Se elige el poliestireno debido a su fácil accesibilidad en el mercado y bajo costo.

5.4.4. Material para la cámara de secado

Tabla 21. Selección del Material para la cámara de secado.

 Materiales	 Conductividad Termica w/m*K	 Calor Especifico Kj/Kg*K	 Emisividad	 Absortividad solar	 Trasmisividad solar
Madera de pino	0.15	1.38	0.90	0.59	-
Acero inoxidable 304	16.3	1.4	0.27	0.1	0.72

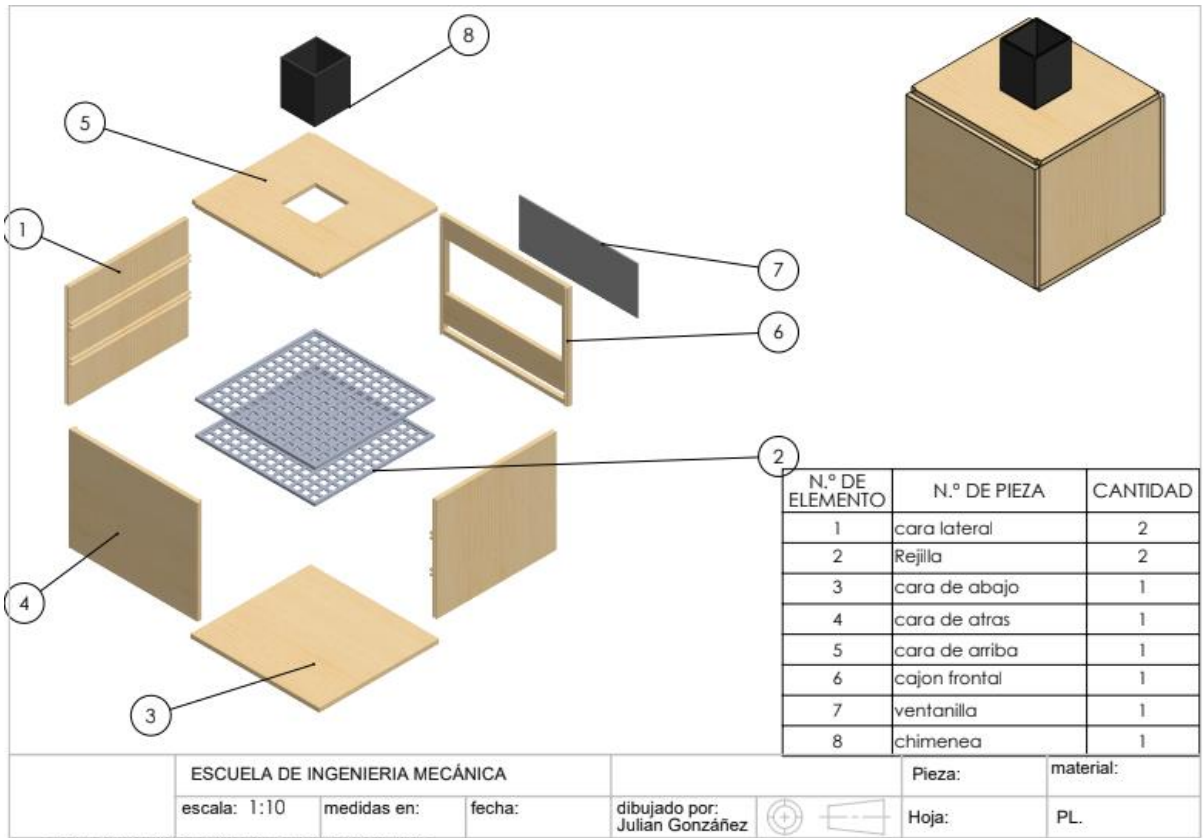
Fuente: Cengel, A., Boles, A., Campos, V., & Colli, M. T. (2003). *Termodinámica*.

Se elige la madera debido a sus propiedades físicas, su bajo costo y su fácil asequibilidad.

5.5. DISEÑO DEL DESHIDRATADOR SOLAR

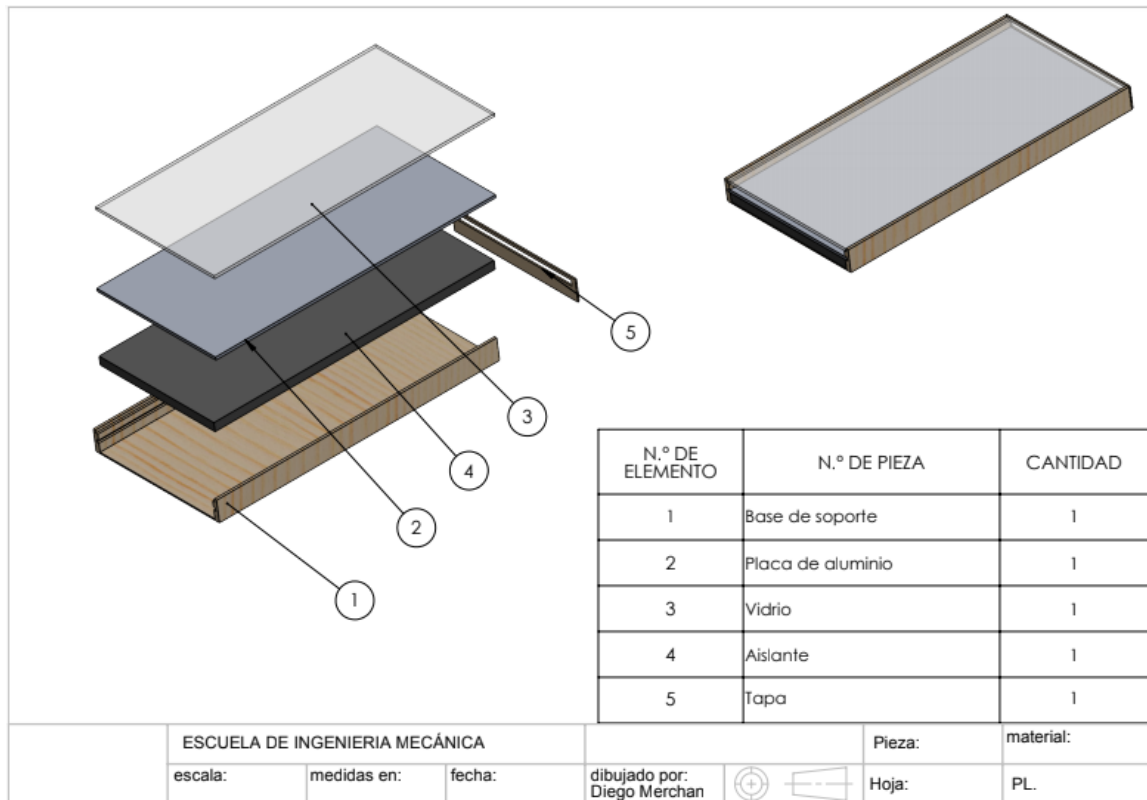
El diseño del deshidratador solar se realizó en el software de SolidWorks. Lo mencionado anteriormente se detallara mediante las siguientes ilustraciones:

Ilustración 15. Cámara de secado.



Fuente: SOLIDWORKS 2018.

Ilustración 16. Colector solar.



Fuente: SOLIDWORKS 2018

Ilustración 17. Bastidor



Fuente: SOLIDWORKS 2018

6. CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR SOLAR

Para la construcción del deshidratador se usaron 3 componentes esenciales: bastidor, colector y cámara de secado, a continuación, mediante una tabla se resumirán los detalles que se tuvieron en cuenta para su construcción.


Tabla 22. Dimensiones para la construcción del deshidratador solar.

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD
Bastidor	Angulo de 1/8"X2"	1
	Electrodo	1
Colector	Plancha de acero	1
	Vidrio	1
	Plancha madera de aluminio	2
	Plancha de aislante	1
	Tornillos	12
	Cola	1
	Barra de silicona	2
	Remaches	7
	Pintura	1
	Camara de secado	Madera
Vidrio		1
Malla		2
Clavos		12
Tornillos		13
Agarradera		1

6.1. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

6.1.1. Construcción del bastidor. A continuación, mediante una tabla se presentan con detalle las operaciones que se deben realizar para la construcción del bastidor.

Tabla 23. Parámetros para la construcción del deshidratador solar .

COMPONENTE	MATERIAL	N°	OPERACIONES	IMAGEN
BASTIDOR	Angulo de 1/8"x2"	1	Medición	
		2	Corte	
		3	Soldadura	
		4	pintado	

El proceso que se realizó para la construcción del soporte, detallado en la tabla número 23, se evidencia en las siguientes fotografías:

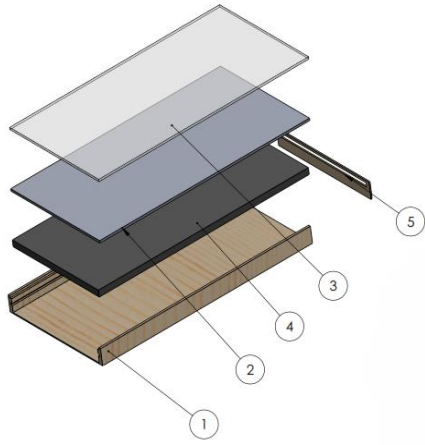
Ilustración 18. Proceso de construcción del bastidor



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

6.1.2. Construcción del colector solar. En la siguiente tabla se exponen detalladamente los parámetros usados para la construcción del colector solar:

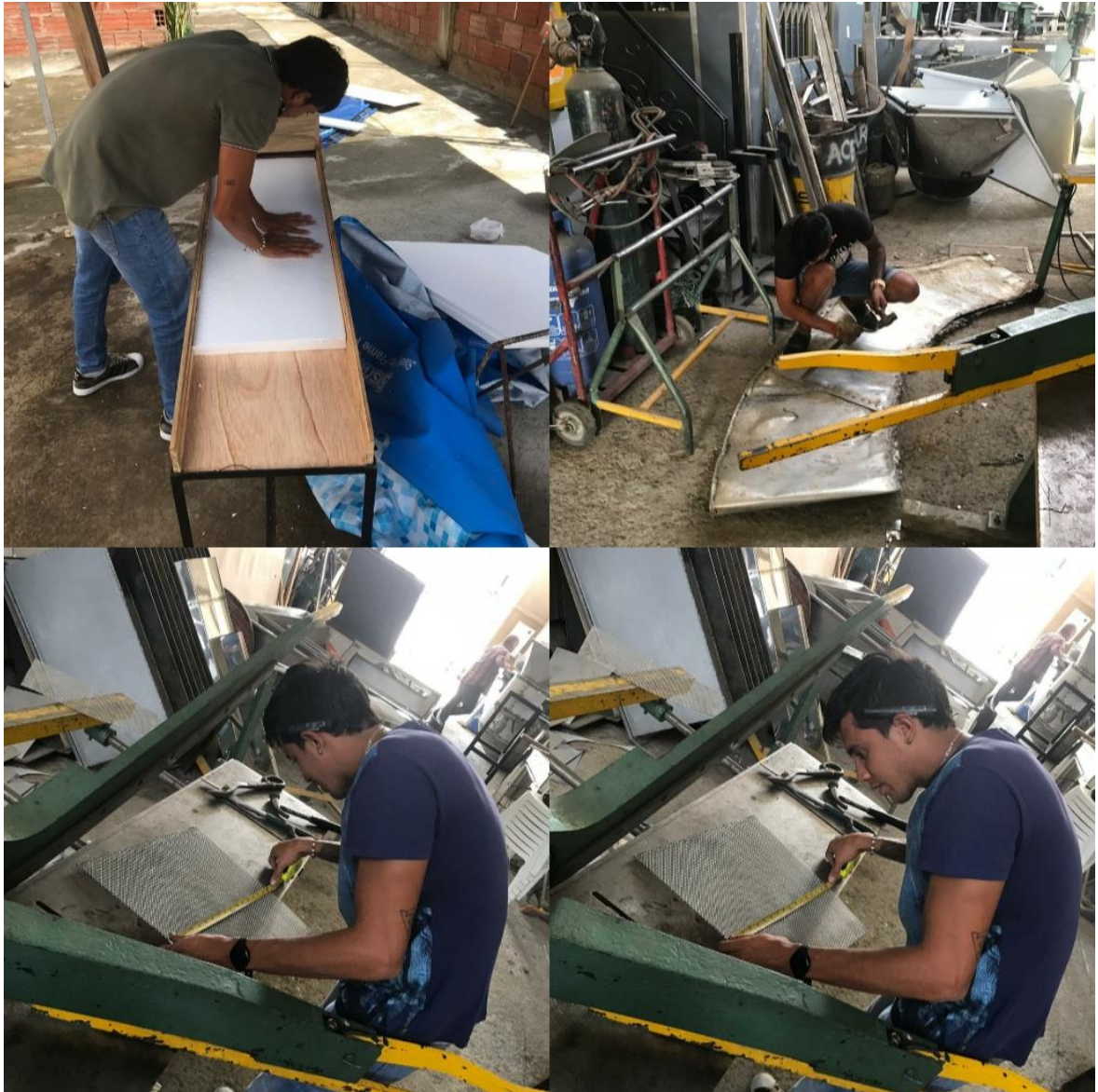
Tabla 24. Parámetros para la construcción del deshidratador solar.

COMPONENTE	MATERIAL	N°	OPERACION	IMAGEN
COLECTOR SOLAR	Madera	1	Medición	
		2	Corte	
	Placa de aluminio	3	Medición	
		4	Corte	
		5	Doblado	
	Vidrio	6	Pintado	
		7	Medición	
	Aislante	8	Corte	
		9	Medición	
	Tapa	10	Corte	
		11	Medición	
		12	Corte	
			13	

El colector está hecho de distintos materiales, ubicados uno encima del otro, adaptando la forma de una caja rectangular. El primer material que se observa en la parte superior del colector es de vidrio, puesto a que este facilita el ingreso de radiación solar y a su vez minimiza las pérdidas por radiación y convección de calor; su funcionamiento se basa en el principio de efecto invernadero. La lámina de aluminio absorbe la radiación solar y la transforma en energía térmica, con el fin de transferirla en forma de calor al fluido de trabajo. El material usado para generar el aislamiento tiene como finalidad reducir las pérdidas de calor al exterior. Por último, las paredes laterales de madera tienen como función, contener y proteger todos los elementos que conforman el colector.

El proceso que se realizó para la construcción del colector solar, detallado en tabla número 24 y descrito anteriormente, se evidencia en las siguientes fotografías:

Ilustración 19. Proceso de construcción del colector solar



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

6.1.3. Construcción de la cámara de secado. A continuación, mediante una tabla se detallan los parámetros de construcción de la cámara de secado

Tabla 25. Parámetros para la construcción de la cámara de secado .

COMPONENTE	MATERIAL	Nº	OPERACIONES	IMAGEN
CÁMARA DE SECADO	Madera	1	Medición	
		2	Corte	
		3	Ranurado	
		4	Perforación	
		5	Union con clavos	
	vidrio	6	Medición	
		7	Corte	
		8	Union con silicona	
	Malla	9	Medición	
		10	Corte	
		11	Remachado	
	Chimenea	12	Medición	
		13	Corte	
		14	Remachado	

La cámara de secado tiene una forma cuadrada, debido a varios factores, entre ellos se encuentra su facilidad de diseño, construcción, bajo costo y aprovechamiento del espacio. El proceso que se llevó a cabo para la construcción de la cámara de secado se evidencia en las siguientes fotografías:

Ilustración 20. Proceso de construcción de la cámara de secado



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

Finalmente, teniendo contruidos el colector y la cámara de secado se procede a colocarlos sobre el soporte, dando como resultado el secador solar como se evidencia a continuación en las fotografías:

Ilustración 21. Deshidratador solar



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

6.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En las pruebas de funcionamiento se mide la temperatura del secador solar con el fin de comprobar que se ajusta al modelo matemático que se desarrolló. Para la medición se ha diseñado y construido un circuito en arduino (UNO). Los sensores miden la temperatura y la humedad a la entrada de la cámara de secado, y a su vez, la humedad de salida de la cámara de secado.

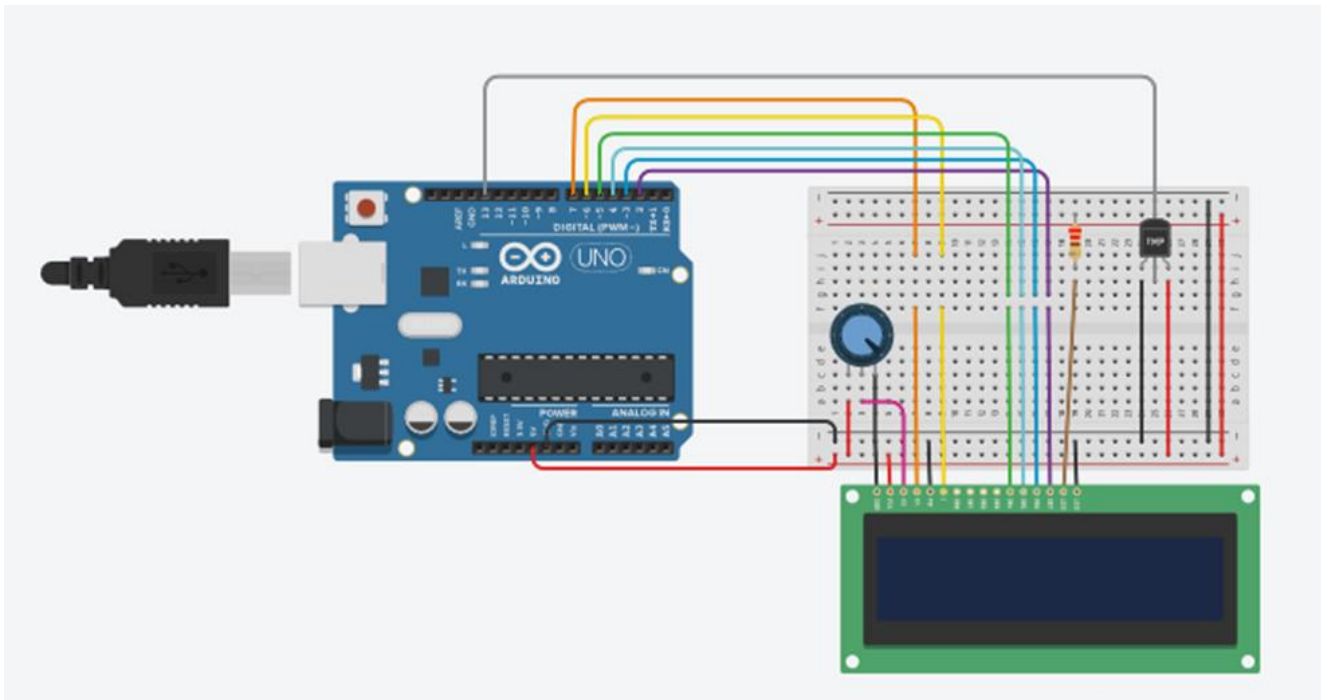
6.2.1. Medidor de temperatura y humedad. Los elementos usados en el medidor de temperatura se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 26. Elementos usados en el medidor de temperatura.

Estructura del sistema	Elemento
Elementos de entrada	Sensor de humedad y temperatura DTH22
Unidad de control	Arduino UNO
Actuadores	Displays 16x2
Elementos auxiliares	Cable
	Protoboard
	Resistencia
	Potenciometro
	Diodo
	Transistor
	Potenciometros
	Ventilador

Se diseña el sistema eléctrico con el fin de tener una idea clara de las variables más relevantes en el proceso de secado de las frutas las cuales son: humedad y temperatura.

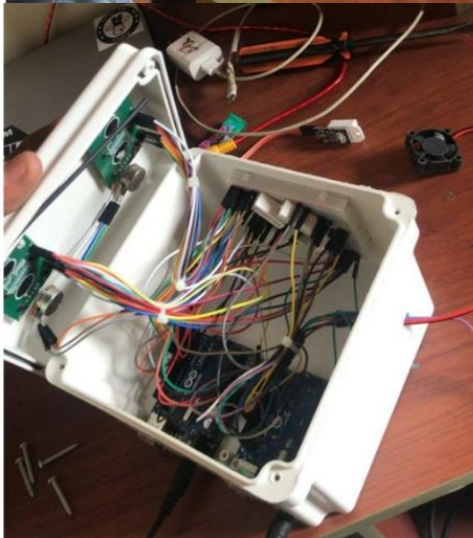
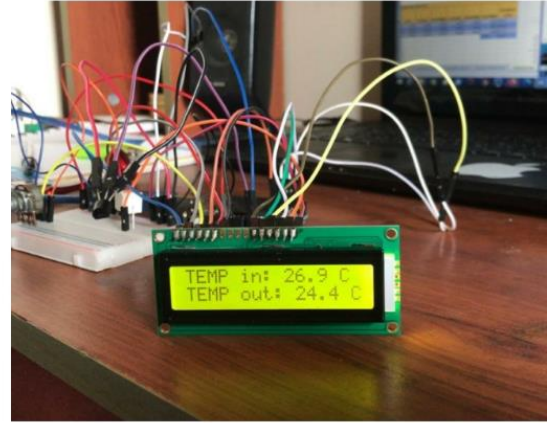
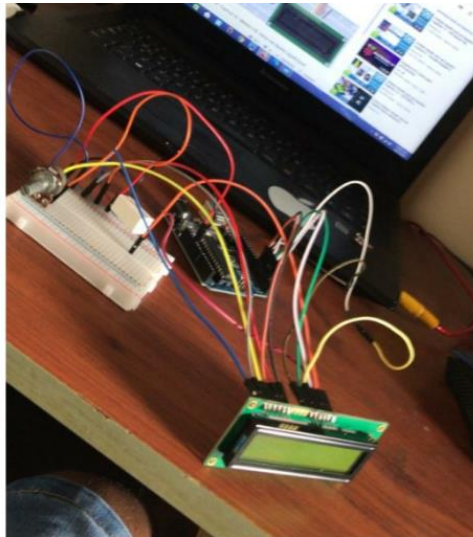
Ilustración 22. Circuito eléctrico



Fuente: Tinkercad

Seguidamente se muestra el resultado del diseño de los sensores con la pantalla

Ilustración 23. Medidor de temperatura y humedad.



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

6.2.2. Calibración de los sensores. La calibración de los sensores (DTH22) se hizo un experimento, en el cual en un primer momento se realizaron tomas de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo con un voltiamperímetro modelo DT266C como se muestra a continuación en las ilustraciones:

Ilustración 24. Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

Con los datos recolectados anteriormente se procede a calcular la humedad relativa, esto mediante las siguientes formulas:

$$P_v = P_{vs, hb} - a * P * (T - T_{bh})$$

Donde:

P_v =Presión de vapor

$P_{vs, hb}$ =Presión de vapor de saturación a la temperatura de bulbo húmedo

a= Factor psicrometrico

P=Presión atmosférica

T= Temperatura de bulbo seco

Tbh=Temperatura de bulbo húmedo

$$Pv = 20,06 - 0,00066 * 1014 * 4$$

$$Pv = 17,58$$

Para los anteriores cálculos la presión de vapor de saturación a la temperatura de bulbo húmedo (18 °C) es tomada de la tabla A-4 expuesta en el libro de termodinámica de Cengel⁸, mientras que a es un valor constante para psicrómetros con ventilación natural. Ahora se procede a realizar los cálculos correspondientes para hallar la presión de vapor de saturación.

$$Pvs = \exp\left(60,433 - \frac{6834,271}{T} - 5,1692 * \ln(T)\right)$$

Donde:

Pvs=Presión de vapor de saturación

T=Temperatura de bulbo seco

$$Pvs = \exp\left(60,433 - \frac{6834,271}{22 + 273} - 5,1692 * \ln(22 + 273)\right)$$

$$Pvs = 26,14\text{HPa}$$

Por último, se obtiene la humedad relativa mediante la siguiente formula:

$$\phi = \frac{Pv}{Pvs} * 100\%$$

Donde:

ϕ = Humedad relativa

⁸ Cengel, Y. A., Boles, M. A., Campos Olgún, V., & Colli Serrano, M. T. (2003). *Termodinámica*.

Pv= Presión de vapor

Pvs=Presión de vapor de saturación

$$\emptyset = \frac{17,93}{26,14} * 100\%$$

$$\emptyset = 67,02\%$$

Con base en los resultados expuestos anteriormente, se procede a calibrar los sensores DTH22, esto para la toma de datos que realizará el deshidratador solar.

6.2.3. Resultados para el procedimiento de secado. A continuación, se evidencia mediante una tabla el proceso que se llevó a cabo para la deshidratación de la fruta:

Tabla 27. Proceso para el secado de la frutilla.

DIAGRAMA DE PROCESO								
UNIDAD CONSIDERADA	SIMBOLOS DEL DIAGRAMA	N°	TIEMPO (minutos)					DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
			Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenaje	
1500 gr	○ ⇨ □ D ▽	1			10			Selección de frutilla
	● ⇨ □ D ▽	1	4					Lavado
	● ⇨ □ D ▽	2	3					Pesado
	● ⇨ □ D ▽	1	7					Corte
	● ⇨ □ D ▽	2	4					Colocación en bandejas
	○ ⇨ □ D ▽	3		1				Transporte de las bandejas a la cámara
	● ⇨ □ D ▽	3	480					Secado
	Total		498	1	10	0	0	
	Total en minutos		509					
	Total en horas		8,483					

Ilustración 25. Proceso de pesado y cortado.



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

Con el fin de evidenciar la validez del deshidratador, en la prueba de secado se han realizado tomas de datos (humedad y temperatura) durante cada hora iniciando desde las 8 a.m. hasta a las 3 p.m. por medio del arduino UNO, a continuación, en la tabla 28 se exponen los resultados obtenidos de la temperatura de secado y en la tabla 29 se muestran los resultados alusivos a la humedad.

Tabla 28.Resultados del deshidratador solar (Temperatura).

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Tempertura en la cámara de secado ingreso(°C)	Temperatura en la cámara de secado salida(°C)
0	17	28,8	27,4
1	20,3	33,7	28,6
2	21,4	37,7	29,7
3	22	39,2	29,9
4	22,5	40,8	30,2
5	22,3	40,7	30,1
6	22,1	40,7	30,1
7	21,5	40,2	30
8	18,4	39,7	29,9

Tabla 29.Resultados del deshidratador solar (Humedad).

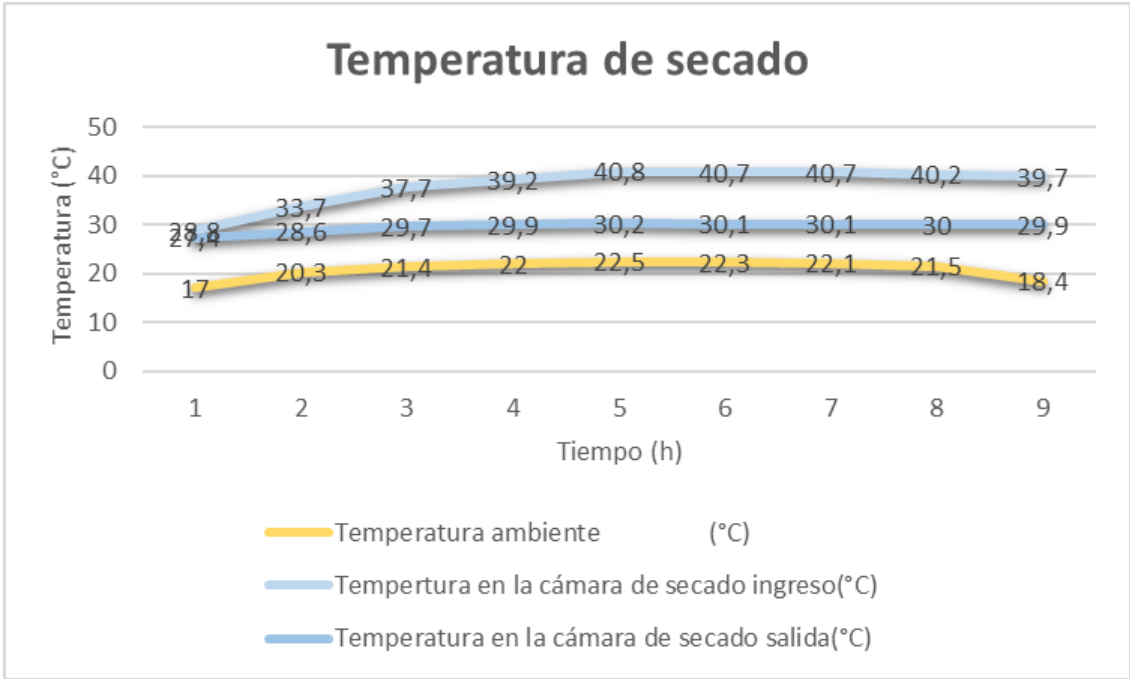
HORA	Humedad ambiente (%)	Humedad en la cámara de secado ingreso (%)	Humedad en la cámara de secado salida (%)
0	77	40,4	40,7
1	67	35,5	41,2
2	60,7	32,5	41,7
3	58,9	30,9	42
4	54,6	29,3	42,1
5	61,9	25,4	43,6
6	61,2	25,4	43,6
7	61,5	25,6	43,4
8	61,8	26,7	42,8

Mediante los datos arrojados por el deshidratador se obtuvo la curva de temperatura y humedad de la cámara de secado. Se observó que durante 8 horas de secado la maquina mantiene la temperatura óptima (Entre 40-50 °C) para el deshidratado como lo estipula la UNESCO en su guía de deshidratado⁹, en alrededor de 4 horas,

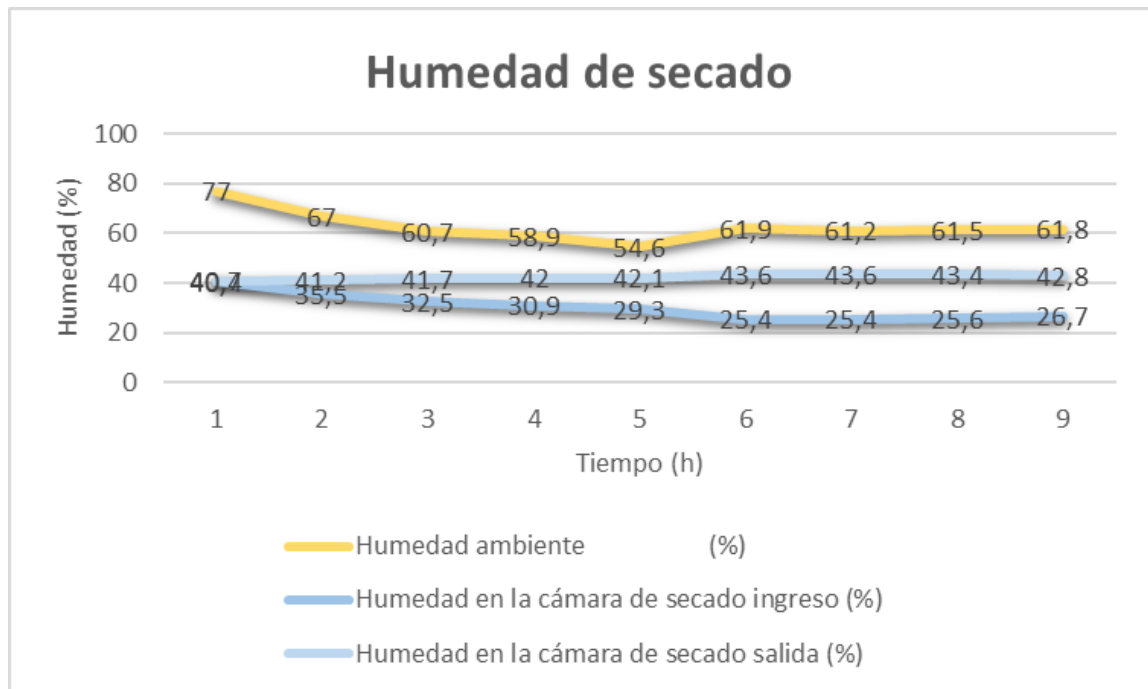
⁹ Almada, M., Cáceres, M., Machaín-Singer, M., & Pulfer, J. C. (2005). Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. *Asunción, Paraguay: UNESCO.*

y una humedad adecuada (Entre 30-20%) para el deshidratado, en un lapso de tiempo de 5 horas.

Gráfica 7. Temperatura del deshidratador.



Gráfica 8. Humedad del deshidratador.



En la ciudad de Barbosa-Santander a temperatura ambiente el secador tarda un promedio de 8 horas con 48 minutos para realizar el proceso de deshidratado a 1500 gramos de fresa fresca, obteniendo como resultado 395 gramos de producto seco, que equivalen al 26,33% del peso total de la fruta a deshidratar.

Ilustración 26. Proceso de secado y pesado.



Fuente: González. J, Merchan. D, 2020

6.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El presupuesto requerido para el proyecto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 30.Presupuesto.

CONCEPTO	PRESUPUESTO
Papelería, fotocopias	\$150.000
Software de diseño	\$700.000
Computador	\$1.500.000
Manuales, normas y catálogos	\$240.000
Libros de consulta	\$150.000
Trabajo intelectual por parte de los autores	\$1.000.000
Trabajo intelectual por parte del director	\$4.000.000
Herramientas y equipos	\$1.000.000
Mano de obra	\$650.000
Materiales para la construcción	\$800.000
Total	\$10.190.000

Dando como resultado una inversión total \$10.190.000.

En los objetivos se estableció que se deshidratarían 20 lb de carga, esa carga que se eligió es la de **fresa**, ya que esta es la fruta con más porcentaje de humedad (90%), y a su vez, es una fruta relativamente pequeña, seguidamente se procedió a dividir la carga entre los días de la semana, dando como resultado una carga diaria de 1,5 kg.

Por 1,5 kg de fresa fresca se le retira 1,125kg de humedad, dando como resultado 375 gramos de fresa deshidratada, la carga resultante es obtenida por cada día de exposición al sol.

Existe un cliente que está dispuesto a pagar \$4.000 pesos por cada 45 gramos de fresa deshidratada, comprando fresa fresca al por mayor sale a \$50.000 por 20 libras de fresa que se van a deshidratar semanalmente.

A continuación, se calculará cuánto dinero se va a ganar diariamente:

$$\frac{375 * 4000}{45} \cong 33000$$

Se supone que se esa misma cantidad se deshidrata todos los días dando como resultado \$231.000 a la semana, no obstante, a este dinero se le tiene que descontar los gastos de la inversión de la fresa fresca que fueron \$50.000, obteniendo \$181.000 como ganancia a la semana.

Seguidamente a los meses del año en los que trabaja el deshidratador se le van a descontar los meses en los que hace invierno, debido a que en estos muy pocas veces sale el sol todo el día. En Colombia el invierno se da desde el 21 de junio y va hasta 22 de septiembre, es decir, 3 meses de invierno y 9 meses en los que trabajará el deshidratador.

Haciendo los respectivos cálculos se daría una ganancia al año (9 meses) de \$6'516.000

Al siguiente año de uso se podría considerar subir de precio el producto, es decir, cobrar \$4.500 por cada 45 gramos y suponiendo que se compra la fresa al mismo precio, se tendría que:

$$\frac{375 * 4500}{45} \cong 37500$$

Calculado a la semana serían \$262.500, menos la inversión de la fresa fresca que sería de \$50.000, da como resultado \$212.500 de ganancia a la semana, y una ganancia total al año (9 meses) de \$7'650.000.

6.3.1. Tasa interna de retorno

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n}$$
$$= 0$$

$$VAN = -10.190.000 + \frac{6516000}{1 + r} + \frac{7650000}{(1 + r)^2} = 0$$

$$r=0,243$$

Este proyecto tiene una rentabilidad o tasa interna de retorno del 24%.

Ahora, vamos a comparar este deshidratador solar con uno que trabaja con energía eléctrica, este se sacó de un proyecto de grado de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El proyecto esta titulado como “Diseño y construcción de un deshidratador eléctrico automatizado para el secado de la semilla de cereales para el proceso de producción de harinas en agroindustrias.”

Este proyecto represento una inversión de \$20'103.728 solo en construcción.

Deshidrata semillas, por día trabaja 5 horas para deshidratar 20 kg de semillas, en el proyecto se expone que el deshidratador retira 9,87kg de humedad dando como resultado 10,13 kg de semilla deshidratada por día, este proyecto tiene un gasto adicional que es la energía que consume diaria y son 38.5 KWh/dia, en el mes consume 1155kwh/mes y al año sería 13860kwh/año.

El precio del kwh más o menos es de \$116,77 entonces haciendo cuentas en el año sería un costo por energía de \$1'607.760, este valor se le debe sumar a la inversión del deshidratador.

Averiguando el costo de las semillas deshidratadas, más o menos están por el orden de los 15.000 por cada kg, en este proyecto diariamente sacarían 10,13 kg de semillas, esto da como resultado una producción mensual de 303,9 kg y al año de

3646.8 kg, por último, se obtiene como ganancia anual \$54'702.000

Ahora se supone que el precio de las semillas subiría anualmente \$1.000, esto daría como resultado \$58'348.800 anualmente de ganancia en el segundo año.

Ahora aplicando la tasa interna de retorno

$$VAN = -20.103.728 - 1.607.760 * 2 + \frac{54.702.000}{1+r} + \frac{58.348.800}{(1+r)^2} = 0$$

r= 2

Tiene una rentabilidad o tasa interna de retorno del 200%

Se logra observar que este proyecto tendría una alta tasa de rentabilidad, debido a que este deshidrata grandes cantidades diarias y, además, trabaja con energía eléctrica, por lo que puede deshidratar todos los días sin parar, en cambio este proyecto como trabaja con energía solar no puede trabajar todos los días de corrido, razón por la cual la producción anual es menor.

Tabla 31. Comparación de deshidratadores.

Características	Deshidratador solar	Deshidratador electrico
Económico	X	
Rentabilidad		X
Facilidad de construcción	X	
Contribuye el medio ambiente	X	
Facilidad de transportar		X
Disponibilidad de uso		X

7.CONCLUSIONES

- Tomando como punto de referencia las latitudes del trópico y las condiciones ambientales de Colombia, se encuentra que la mejor opción para realizar el adecuado secado de las frutas es la del deshidratador por convección natural, puesto que, se lograron alcanzar los estándares de eficiencia y presupuesto deseados en este proyecto de grado.
- En la elaboración del diseño térmico y mecánico propuesto en este proyecto de grado, se logran evidenciar los parámetros adecuados para la construcción de un deshidratador solar que al momento de empezar a funcionar realiza un trabajo óptimo de secado, siguiendo los lineamientos básicos propuestos en diferentes libros y páginas de internet, sobre deshidratación solar.
- Se realizaron varias pruebas de desempeño del deshidratador solar durante 8 horas en las cuales se encontró que, aunque el clima no fue el más óptimo, debido a que en un primer momento el proyecto fue planeado para la ciudad de Bucaramanga, pero por cuestiones de la pandemia que se enfrentó en este año 2020 y en el aislamiento preventivo, se tuvo que desarrollar en Barbosa/Santander, se puede resaltar que el deshidratador mantuvo la temperatura adecuada (40°C) en un lapso de 4 horas y la humedad (20-30%) está alrededor de 5 horas,
- Se evaluó la rentabilidad de este proyecto mediante la Tasa de Retorno Interna (TIR), mediante esta se obtuvo un 24% de rentabilidad, de lo cual se puede deducir que este proyecto primeramente es un gran beneficio al momento de implementarlo, dado a que, aunque su inversión será recuperada en alrededor de 18 meses, esto sin contar los meses de invierno en Colombia.

- En comparación con los deshidratadores que usan energías no renovables, este proyecto es menos eficiente, debido a que, en el invierno, no es favorable trabajar con él, no obstante, el deshidratador solar por convección natural por su diseño y programación es más asequible para la comunidad, en cuanto a su uso.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa. 3ed. MÉXICO. MC GRAW HILL. pp. 503-546. pp.709-759.
- ✓ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 7ed.MÉXICO. MC GRAW HILL. pp.737- 761
- ✓ HAMROCK, Bernard J.; JACOBSON, Bo O. y SCHMID, Steven R. Elementos de máquinas. 1ed. MÉXICO: McGraw-Hill/ INTERAMERICANA EDITORES,2000. PP. 358-579
- ✓ NTC 2774, Evaluación de Materiales Aislantes Térmicos Empleados en Colectores Solares, 3 octubre 1990.
- ✓ NTC 1736 Energía Solar. Definición y Nomenclatura, 24 agosto 2005.
- ✓ NTC 2775 Energía Solar Fotovoltaica. Terminología y Definiciones, 24 agosto 2005.
- ✓ Norma ASTM C518, Método de Prueba Estándar para las Propiedades en Estado Estacionario de Transmisión Térmica Mediante el Aparato medidor de flujo de calor.
- ✓ Norma ASTM C177, Método de Prueba Estándar para Medidas Calor en Estado Estacionario y Propiedades de Transmisión Térmica por Medio de Colectores de Calor.
- ✓ Norma ASTM C687, Práctica Estándar para la Determinación de la Resistencia Térmica de un Recipiente Vacío Aislado.

ANEXOS

Anexo A. Programación EES

"Cálculos para hallar el área de las bandejas"

$$\text{Área_fresa} = \pi \cdot (1,65)^2$$

"rodajas en 0,75kg=113"

$$\text{Área_1} = \text{área_fresa} \cdot \text{rodajas en 0,75kg}$$

$$\text{Área_1} = \text{area_fresa} \cdot 113$$

$$\text{Área_bandeja} = \text{Área_1} + 0,75 \cdot \text{Área_1}$$

$$\text{Área_designada} = \text{Área_bandeja}$$

$$\text{número_bandejas} = \text{Área_bandeja} / \text{Área_designada}$$

"Como se van a deshidratar 1,5 kg serian dos bandejas"

"Cantidad de agua a retirar (kg de agua)"

$$\text{Masa_fresa} = 1,5$$

$$\text{Porcentaje_humedad inicial} = 90$$

$$\text{Porcentaje_humedad final} = 15$$

$$\text{CAR} = \text{Masa_fresa} \cdot ((\text{Porcentaje_humedad inicial} - \text{Porcentaje_humedad final}) / 100)$$

"Razón de humedad (g de H₂O/kg de aire)"

$$\text{Razón humedad_salida} = 21,8$$

$$\text{Razón humedad_entrada} = 16$$

$$W = \text{Razón humedad_salida} - \text{Razón humedad_entrada}$$

"Masa de aire durante el proceso (kg de aire), Se multiplica la ecuación por 1000 para acomodar unidades"

$$\text{Masa_Aire}=(\text{CAR}*1000)/W$$

"Flujo masico de aire(Kg de aire/sg), tiempo de secado esta en segundos"

$$\text{Tiempo_secado}=28800$$

$$\text{flujo_aire}=\text{Masa_Aire}/\text{Tiempo_secado}$$

"Calor util(kj/kg)"

$$\text{Entalpia_enlacamara}=90$$

$$\text{entalpia_entrada}=66,5$$

$$\text{Q_util}=\text{flujo_aire}*(\text{Entalpia_enlacamara}-\text{entalpia_entrada})$$

"Calor util (W)"

$$\text{Q_util1}=\text{Q_util}*1000$$

"Área del colector (m2)"

"it es la radiación incidente en el área metropolitana de Bucaramanga"

$$\text{Efectividad}=0,45$$

$$\text{It}=637,5$$

$$\text{Área_colector}=(\text{Q_util1})/((\text{Efectividad})*(\text{It}))$$

"largo del colector (mts)"

$$\text{B}=0,41$$

$$\text{A}=\text{Área_colector}/\text{B}$$

"Área transversal por donde va a entrar el aire (cm)"

vel_Aire=0,8

Densidad_Aire=0,88

$At=(\text{flujo_aire}/(\text{Densidad_Aire}*B*\text{vel_Aire}))*100$

"ANALISIS ESTATICO"

"Sumatoria de fuerzas en y=0"

$4*Ry= 700*1,4$

"Esfuerzo critico=Gc

Esfuerzo de fluencia=Sy

Factor de seguridad=N

Carga critica=Pc

Área critica=Ac

Excentricidad de la carga=e

Distancia de la fibra más alejada del eje neutro=C

Radio de gito=Rg

Longitud efectiva=Le

Módulo de elasticidad=E"

Sy=250

p=245

N1=4,5

$Pc=P*N1$

Ac=3,10

L=0,7

$ex=L/400$

$$C=1,6$$

$$l=7,91$$

$$Ap=3,10$$

$$Rg=\text{sqrt}(l/Ap)$$

$$U=1$$

$$LE=L*U$$

$$E=200$$

$$Gc=(Pc/(Ac*(1/100)**2))*(1+((ex*C*(1/100))/(Rg*(1/100))**2)*((Le/(Rg*(1/100)))*(\text{sqrt}(Pc/(4*E*1000*Ac*(1/100)**2))))))$$

$$Sy/N=250/2,5$$

$A = 1,346$	$Area_1 = 966,5$	$Area_{bandeja} = 1691$	$Area_{colector} = 0,5517$	$Area_{designada} = 1691$	$Area_{fresa} = 0,553$
$At = 2,333$	$B = 0,41$	$CAR = 1,125$	$Densidad_{aire} = 0,88$	$Efectividad = 0,45$	$Entalpia_{enlacamara} = 90$
$entalpia_{entrada} = 66,5$	$flujo_{aire} = 0,006735$	$lt = 637,5$	$Masa_{aire} = 194$	$Masa_{fresa} = 1,5$	$numero_{bandejas} = 1$
$Porcentaje_{humedadfinal} = 15$	$Porcentaje_{humedadinitial} = 90$	$Q_{util} = 0,1583$	$Q_{util} = 158,3$	$Razonhumedad_{entrada} = 16$	$Razonhumedad_{salida} = 21,8$
$Tiempo_{secado} = 28800$	$vel_{aire} = 0,8$	$W = 5,8$			

Anexo B. Programación arduino.

Sensor de ingreso 1 (temperatura y humedad ambiente):

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
int sensor =13;
float temperatura;
float humedad;
float suma, suma1, real, real1;

DHT dht(sensor, DHT22);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
  suma=0;
  suma1=0;

  for(int i=0;i<5;i++){
    temperatura= dht.readTemperature();
    humedad=dht.readHumidity();
    suma=temperatura+suma;
    suma1=humedad+suma1;
```

```
delay(500);

}
  real=(suma/5.0);
  real1=suma1/5.0;

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("TEMP in: ");
  lcd.print(real,1);
  lcd.print(" C");

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("HUM in: ");
  lcd.print(real1,1);
  lcd.print(" %");

}
```

Sensor 2 (temperatura y humedad de ingreso a la cámara de secado):

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
int sensor =13;
float temperatura;
float humedad;
float suma, suma1, real, real1;

DHT dht(sensor, DHT22);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  lcd.begin(16,2);
}

void loop() {
  suma=0;
  suma1=0;

  for(int i=0;i<5;i++){
    temperatura= dht.readTemperature();
    humedad=dht.readHumidity();
    suma=temperatura+suma;
    suma1=humedad+suma1;
    delay(500);
  }
}

```

```
}
    real=suma/5.0;
    real1=suma1/5.0;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("TEMP out: ");
    lcd.print(real,1);
    lcd.print(" C");

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("HUM out: ");
    lcd.print(real1,1);
    lcd.print(" %");

}
```
