



**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
ANTEPROYECTO DE GRADO**



AUTOR DEL PROYETO: David Andrés Rodríguez Villamil
CÓDIGO: 0650091041
CEDULA: 1015432578 de Bogotá
TELÉFONO: 3144540920
CORREO ELECTRÓNICO: Davida.Rodriguezv@unilibrebog.edu.co

AUTOR DEL PROYETO: Jorge Leonardo Bohórquez Mariño
CÓDIGO: 065091025
CEDULA: 1019063488 de Bogotá
TELÉFONO FIJO: 6899363
TELÉFONO CELULAR: 3132722530
CORREO ELECTRÓNICO: jorgel.bohorquezm@unilibrebog.edu.co

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA PARA LA
DESHIDRATACION DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES.**

DIRECTOR: Ingeniero. Luis Eduardo García Fernández
PROFESIÓN: Ing. Mecánico **OFICINA:** Of. De Investigación I-205
CORREO ELECTRÓNICO: Luise.garciaf@unilibrebog.edu.co
TEMA Y AREA DE INVESTIGACION: Energías Alternativas
CMPOS DE INTERES: Sector agro-Industrial.

David Andrés Rodríguez Villamil

Jorge Leonardo Bohórquez Mariño

DIRECTOR DE PROYECTO

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA PARA LA
DESHIDRATACION DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES.**

PRESENTADO POR
DAVID ANDRES RODRIGUEZ VILLAMIL
JORGE LEONARDO BOHORQUEZ MARIÑO

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.

2016

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA PARA LA
DESHIDRATACION DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES.**

PRESENTADO POR

DAVID ANDRES RODRIGUEZ VILLAMIL

JORGE LEONARDO BOHORQUEZ MARIÑO

DIRECTOR:

**LUIS EDURDO GARCIA FERNANDEZ
INGENIERO MECANICO**

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

BOGOTA D.C.

2016

NOTA DE ACEPTACION

Acepto esta tesis de pregrado de Acuerdo los lineamientos establecidos Por la universidad libre y la facultad de Ingeniería mecánica.

ING. Iuís Eduardo García Fernández

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros familiares en especial a nuestros padres Eduardo Bohórquez Martínez, Marggy Mariño Cáceres, Marlo Villamil Correa y Jaime Rodríguez Gómez por ser siempre incondicionales, por brindarnos su apoyo, confianza y aliento constante.

Agradecemos a la facultad de ingeniería mecánica de la universidad libre de Colombia por brindarnos la formación personal y profesional para desenvolvemos en el campo de la ingeniería, entregando todas sus herramientas a disposición para generar una persona competente y capaz para contribuir con el desarrollo el país.

Al director de proyecto, el Ingeniero Luis Eduardo García Fernández por su entrega de conocimiento en el desarrollo de este documentó y el acompañamiento brindado en todas las circunstancias del camino, de igual manera agradecemos al Ingeniero Gabriel Camargo por el acompañamiento brindado en la elaboración del proyecto.

A cada uno de los amigos y personas más allegadas quienes fueron una fuente de apoyo y moral para realizar este trabajo y poder así culminar los estudios de ingeniería.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS.....	16
4.1. Objetivo General.....	16
4.2. Objetivos Específicos	16
5. MARCO REFERENCIAL.....	17
5.1. MARCO TEORICO	17
5.1.1 Energía Solar	17
5.1.2 Radiation Solar.....	18
5.1.3 Fundamentos de la radiación solar.....	19
5.1.4 Factores incidentes en la radiación solar.	19
5.1.5 Componentes de la radiación.....	20
5.1.6 Radiación Solar sobre superficies.	21
5.1.7 Radiación difusa y directa	22
5.1.8 Potencial Solar energético en el estado Colombiano.	22
5.1.9 Leyes de la termodinámica.	24
5.1.10 Características de la Fruta.	25
5.1.11 Producto Agroindustrial de Estudio (Uchuva).	26
5.1.12 Mecanismos de deshidratación.....	29
5.1.12.1 Deshidratadores Pasivos.	29
5.1.12.2 Deshidratadores Activos.	30
5.1.13 Proceso de Deshidratación.	32
5.1.14 Proceso de deshidratación de alimentos.....	33
5.1.15 Capacidad Del deshidratador solar	35
5.1.16 Parámetros psicométricos.	35
5.1.17 Colector de placa plana:.....	48
5.2 MARCO CONCEPTUAL	51
5.3. ESTADO DEL ARTE	53
5.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	60
5.4.1 FUNDAMENTOS CONSTITUCIONALES.....	60
5.4.2 NORMATIVIDAD COLOMBIANA.	61
5.4.3 CODIGO ASME, SECCION VIII, Div. 1, TEMA CLASS “R”	61
5.4.4 NORMA AMERICANA ASTM.....	62

6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	63
6.1 Metodología.....	63
6.2 Revisión Bibliográfica.	63
6.3 Selección del Producto Agroindustrial.	63
6.4 Selección de Parámetros de Diseño.....	64
6.5 Análisis Térmico y de Conservación de Energía.....	64
6.6 Dimensionamiento del Colector Solar.....	64
6.7 Simulación del Modelo en ANSYS, Flujo y Temperatura.	64
6.8 Análisis e Interpretación de Datos.	65
6.9 Elaboración de Documento Final.....	65
6.10 Diseño de Experimentos.....	65
7. HIPOTESIS.....	65
8. DELIMITACION DEL PROYECTO.....	66
9. RECURSOS EMPLEADOS.....	66
9.1 RECURSOS MATERIALES.....	66
9.2 RECURSOS INSTITUICIONALES.....	66
10. RESULTADOS.....	67
10.1 Análisis del Flujo de Aire dentro del Colector.....	67
10.2 Análisis Térmico del Colector Solar	68
10.2.1 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 2 horas.....	69
10.2.2 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 4 horas.....	71
10.2.3 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 6 horas.....	72
10.3 Tiempo Optimo de Exposición.	74
11.CONCLUSIONES	76
12. BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Capas internas del sol, reacción interna a transformación en radiación.	18
Figura 2: Promedio de potencial solar en el territorio nacional.	23
Figura 3: Promedio brillo solar en Colombia.	24
Figura 4: Uchuva (Physalis peruviana).....	26
Figura 5: Porcentaje de exportaciones de frutas exóticas colombianas.	29
Figura 6: Dispositivo de deshidratación solar pasivo mixto.	30
Figura 7: Dispositivo de deshidratación solar pasivo integral.	30
Figura 8: Dispositivo de deshidratación solar activo distributivo.	31
Figura 9: Dispositivo de deshidratación solar activo integral.	32
Figura 10: Diagrama Psicométrico.	36
Figura 11: colector de calor de palca plana.....	48
Figura 12. Diagrama Psicométrico.	51
Figura 13. Análisis de Flujo de Aire dentro del Colector (Comportamiento del fluido).....	67
Figura 14. Análisis de Flujo de Aire dentro del Colector (Perfil de velocidad a la salida del colector)	68
Figura 15. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 2 horas de exposición (isométrico).	69
Figura 16. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 2 horas de exposición (corte transversal).	70
Figura 17. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 4 horas de exposición (isométrico).	71
Figura 18. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 4 horas de exposición (corte transversal).	71
Figura 19. Diagrama Temperatura vs Tiempo (4 horas de exposición)	72
Figura 20. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 6 horas de exposición (isométrico).	72
Figura 21. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 6 horas de exposición (corte transversal).	73
Figura 22. Diagrama Temperatura vs Tiempo (6 horas de exposición)	73
Figura 23. Temperatura vs Tiempo (perfil de temperatura a la salida del colector).	74

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1: Propiedades del sol.....	17
Tabla 2. Promedio de radiación solar en Bogotá.....	19
Tabla 3. Tipos de radiación, Longitudes y frecuencias de onda	21
Tabla 4: Cantidad total de radiación solar incidente sobre la atmosfera terrestre	21
Tabla 5: Estimación de radiación solar difusa en superficies.....	22
Tabla 6: Radiación y brillo solar para Bogotá.	23
Tabla 7: Composición morfológica de la uchuva	27
Tabla 8: Composición nutricional de la uchuva	27
Tabla 9: Municipios colombianos para la producción de uchuva en condiciones óptimas.	28
Tabla 10: Tecnologías convencionales de deshidratación.	34
Tabla 11: Algunas variables de medición para el proceso de deshidratación ..	38
Tabla 12: Calculo de variables para simulación del colector de placa plana. ..	43
Tabla 13: Datos iniciales de acuerdo a condiciones ambientales y materia prima.	47
Tabla 14: Cálculos términos para simulación.	47
Tabla 15: Propiedades del aislante térmico.....	48
Tabla 16: Algunas propiedades térmicas de las paredes del colector.	49
Tabla 17: Resistencia térmicas y espesor de aislamiento térmico.....	49
Tabla 18: Materiales para la placa transparente.....	50
Tabla 19: Condiciones del aire a la entrada y salida del colector.	50
Tabla 20: Condiciones térmicas a la entrada del colector	69

GLOSARIO

Aislamiento térmico: Es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican a un elemento o a un espacio calientes para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes. También se aplica a la acción y efecto de aislar térmicamente.

Calor latente: es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura.

Captador solar plano: Es el tipo más habitual de colector solar. Es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales.

Energías alternativas: son aquellas fuentes de energía diferentes de las tradicionales o clásicas. No existe una definición consensuada al respecto de qué tecnologías forman parte de este concepto. Para algunos expertos, las energías alternativas serían equivalentes a las energías sostenibles.

Energía solar: Es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

Equilibrio térmico: Es aquel estado en el cual se igualan las temperaturas de dos cuerpos, las cuales, en sus condiciones iniciales presentaban diferentes temperaturas, una vez que las temperaturas se equiparan se suspende el flujo de calor, llegando ambos cuerpos al mencionado equilibrio térmico.

Flujo másico o caudal másico: Es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica.

Humedad: Se considera humedad al agua que existe o impregna un cuerpo o el vapor presente en la atmosfera. Esta agua está presente en todos los cuerpos vivos, la humedad del aire es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica y las características propias del aire.

Propiedades psicométricas: Recibe el nombre de psicometría. Se trata de la disciplina que atribuye valores (cifras) a condiciones y fenómenos psicológicos para que, de este modo, resulte posible la comparación de las características

psíquicas de distintas personas y se pueda trabajar con información objetiva y verificable en todos los aspectos de la ciencia que se requieran.

Punto de rocío o temperatura de rocío: es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja,

Radiación solar: Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía.

Rendimiento térmico: El rendimiento térmico o eficiencia de una máquina térmica es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida (en un ciclo de funcionamiento) y la energía suministrada a la máquina (para que logre completar el ciclo termodinámico).

Termómetro de bulbo húmedo: es un termómetro de mercurio que tiene el bulbo envuelto en un paño de algodón empapado de agua, que se emplea para medir la temperatura húmeda del aire. Al proporcionarle una corriente de aire, el agua se evapora más o menos rápidamente dependiendo de la humedad relativa del ambiente, enfriándose más cuanto menor sea ésta, debido al calor latente de evaporación del agua

Transferencia de calor: Es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez Transferencia de calor o Transmisión de calor. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de deshidratación de alimentos a lo largo del tiempo ha sido útil para la conservación de productos agroindustriales conservando propiedades como peso, volumen, sabor entre otras características del mismo, debido a que es un procedimiento que elimina cierto contenido de humedad procedente del cultivo y la cosecha, la gran mayoría de sus propiedades se mantienen conservando así sus características propias para el consumo y de igual manera ayudando a prolongar su vida útil. Con el paso del tiempo, se han modificado dichos mecanismos debido a la variedad de alimentos tratados, la diversidad de productos cosechados y las diferentes presentaciones de los mismos que se ofrecen en el mercado.

En la actualidad se destaca el uso de la energía solar como una opción viable, económica y que contribuye a la conservación del medio ambiente. El proceso de deshidratación por medio de energía solar se caracteriza principalmente por convertir ésta en calor mediante procesos de transferencia, y de esta manera poder generar la remoción de humedad en determinado fruto. Entre los equipos utilizados por esta técnica se encuentran tres clasificaciones específicas como secadores solares naturales, semi-artificiales y artificiales, que varían de acuerdo a su diseño o métodos de transmisión de calor y para la cual su adaptación depende de las condiciones ambientales en donde se va a poner en funcionamiento dicho equipo, donde la eficiencia es un punto clave en procedimiento que se lleva a cabo para la deshidratación de productos alimenticios.

Colombia dispone de un amplio número de zonas propicias para la ejecución del proceso de deshidratación gracias a su diversidad geográfica y climática, así como el cultivo de diversas variedades de especies frutales, el cual es el mercado que prima constantemente para los sistemas de deshidratación, esto hace un país con ventajas competitivas con respecto a otras naciones en el mercado de la fruticultura. Específicamente Cundinamarca se destaca como uno de los mayores productores agrícolas del país en la producción de fresas, guayaba, naranja, uchuva entre otras.

El análisis que se plantea sobre el método de deshidratación, depende de los requerimientos para el diseño del prototipo y las variables o parámetros fundamentales a las cuales se vaya a someter el equipo como temperaturas, humedad relativa, velocidad de flujo de aire, y características propias del fruto a tratar. Por esto, la presente investigación tiene como objeto el diseño de un colector solar para deshidratar productos agroindustriales, que realice un proceso confiable y eficiente, donde el producto final tenga los resultados esperados.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El porcentaje de humedad que se encuentra en las frutas en promedio es del 80% [1], y varía dependiendo del producto que se desee tratar y es un problema de gran importancia en todo el campo de la industria alimenticia; la acción del agua en dichos alimentos tiende con el tiempo a afectar y deteriorar la fruta para su consumo, perjudicando su vida útil y dificultando su exportación. El porcentaje del agua en las frutas involucra diferentes factores y variables que se deben tomar en cuenta para su conservación y almacenamiento tales como la temperatura, porcentaje de humedad, presión, calidad del aire y otras más que están involucradas dentro del proceso de obtención del producto agroindustrial, por tal motivo es fundamental para el método de deshidratación reducir el porcentaje de humedad que poseen los alimentos tipo exportación con el fin de preservar las características para obtener un mayor beneficio en el momento de su almacenaje y su posterior consumo.[2].

La humedad ocasiona gran afectación en dichos productos, aumentando el costo del cultivo, cosecha y por consiguiente el costo de la fruta, conduciendo a una pérdida en la producción y una devaluación del producto en el mercado internacional, por tal motivo el proyecto se centra en la postcosecha del alimento, la deshidratación es un mecanismo que se tiene presente para la conservación de productos agroindustriales, estos beneficios se ven evidenciados en aspectos económicos si se consideran cultivos tipo exportación y preservación de propiedades alimenticias como vitaminas y nutrientes.

Debido algunas investigaciones en el tema han puesto en marcha diferentes métodos para la conservación del alimento y lograr minimizar las pérdidas que se producen por la oxidación de la fruta a causa del agua [3]. Dentro de estas investigaciones realizadas se obtuvo que existen varios métodos para la conservación de los productos agroindustriales como el análisis dimensional de colectores de calor para retirar el agua de la fruta causante de la pérdida del mismo [3,4], de igual forma se encontró que los productos como las frutas no reaccionan de la misma manera ante el proceso de deshidratación, debido a que cada uno de los productos agroindustriales debe poseer un porcentaje mínimo de agua para poderse conservar [3,5,6], evidenciando que el sistema de intercambio de calor para retirar agua dependerá del fruto que se desee tratar, dando como resultado una excelente alternativa para tratar los alimentos como los de tipo exportación.

Con este proyecto se busca reducir el porcentaje de humedad hasta el 12% valor mínimo que se debe mantener en el fruto [7]. Basando este proyecto en análisis de eficiencia, desempeño y reducción de emisiones para el colector de calor buscando el intercambio de energía en forma calorífica entre el medio y el objeto en estudio (fruta). Se espera que los porcentajes de humedad en las frutas

decrezcan para así obtener un mejor producto a exportar. Para lograr esta disminución se usarán dispositivos conocidos como medidores de humedad en la entrada, durante y salida del colector solar de placa plana para el control de la cantidad de agua retirada de la fruta y el estado final del producto.

3. JUSTIFICACIÓN

El proceso de captación de energía por medio de colectores solares es un método en el cual se busca el aprovechamiento de la emisión de radiación solar a través de un dispositivo que la absorbe y la convierte en calor mediante una placa, la cual tiene la capacidad de captar esta energía emitida. [8] Este tipo de dispositivo y su sistema de absorción de calor son aptos para la generación y recolección de energía por medio del sol, siendo óptima también por su buena aplicabilidad y facilidad en su proceso con respecto a otros medios de generación de energía, pues es un tipo de energía alternativa, limpia y que hoy en día es bastante cotizada, pues el impacto ambiental que llega a tener es mínimo, sus costos son relativamente bajos y se obtiene de una fuente gratuita de energía.

El objetivo de este estudio es diseñar un equipo de captación de energía, y se lleva a cabo esencialmente para el suministro de calor durante el proceso de deshidratación de frutas, el cual busca que por medio de esta energía obtenida se pueda extraer una cantidad deseada de humedad a cierto conjunto de frutas en el proceso. Para garantizar esta puesta en marcha, el proceso debe llevarse adecuadamente y rigurosamente según los parámetros establecidos, que pueden variar con respecto a las condiciones del entorno, para esto se diseña el colector solar, que proporciona una eficiencia para el sistema en general durante el proceso de captación de radiación solar.

En el caso de las frutas en general, el valor agregado de exportación que le brinda el proceso de deshidratación es cercano al 25%, por lo que el costo de producción juega un papel fundamental. [9] Se hace imprescindible entonces una tecnología que permita reducir los costos de operación si se quiere obtener una ganancia aceptable, para esto se consideró la manera más económica de conseguir energía, el sol, puesto que es una fuente inagotable de energía.

Sabiendo que muchos factores varían a favor o en contra según la fuente energética utilizada, aun así, este método de deshidratación por medio de un colector solar tiene muchas ventajas, aunque si de tiempo se habla, tal vez no sea tan eficaz como otros procesos, por ejemplo, los usados con vapor. En nuestro país, como en Perú y Brasil, también hay empresas encargadas de deshidratar frutas para exportación, esto nos ayuda a tener una guía, nos da una idea de ver que este proyecto es viable en Colombia y rentable por la gran variedad de fruta que se tiene, frutas exóticas y nutritivas que tienen buena aceptación en el mercado europeo y de Estados Unidos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Diseñar un colector solar de placa plana para realizar el proceso de deshidratación de productos agroindustriales.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño térmico del colector según las especificaciones que se requiere para el producto terminado.
- Realizar el diseño estructural del colector basado en el análisis térmico propuesto y los resultados obtenidos del mismo.
- Caracterizar el desempeño del equipo, eficiencia y comportamiento mediante simulación con ANSYS workbench.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEORICO

5.1.1 Energía Solar

La energía es el motor del planeta, mueve nuestros cuerpos, calienta nuestras casas, ilumina nuestras calles, alimenta nuestras industrias, desplaza nuestros vehículos y en definitiva es la base de cualquier actividad que se lleve a cabo a nuestro alrededor.

Hoy en día se observa que nuestro clima está cambiando muy rápidamente a causa de la contaminación de la atmósfera debido a que los seres humanos no toman conciencia del daño que se le está causando al planeta. La humanidad está consumiendo cada vez más energía proveniente de los combustibles fósiles (gas, petróleo; recursos no renovables) y comprometiendo así el futuro del planeta, en el que se vive actualmente.

El actual consumo desmedido de combustibles produjo en los últimos años un notable aumento en los precios de los mismos, haciendo esto necesario la búsqueda de otros recursos energéticos, tales como la energía solar.

El sol es una fuente energética que siempre ha jugado un papel vital para el desarrollo de la humanidad proporcionándole luz y calor, de las cuales ha ido aprovechando acorde a sus necesidades. Por esta razón el hombre con el tiempo se ha encargado de estudiar el comportamiento de este astro para poder dar explicación a los distintos fenómenos que en él se presentan, permitiendo obtener cada vez información más específica, a continuación, se presentan en la tabla 1 las características principales del sol.

Tabla 1: Propiedades del sol.

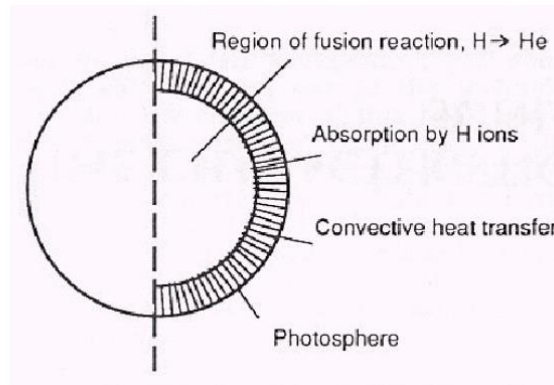
Temperatura central del núcleo (K)	15'000.000
Temperatura superficial (K)	6000
Masa total (Kg)	1.9891×10^{30}
Radio (Km)	6.9626×10^{25}
Luminosidad (watts)	3.845×10^{26}

Fuente: Arvind Bhanagar, fundamentals of solar astronomy. Structure of solar atmosphere.

El sol es una esfera de gas calentada por las reacciones de fusión nuclear que se emiten en su interior, compuesta por diferentes capas como se evidencia en la figura 1, donde se describe las diferentes capas que componen la gran estrella que rigüe el universo, la temperatura interior del sol alcanza en promedio 20'000.000 K, y la radiación producida por las reacciones internas es absorbida

por una capa de iones de hidrogeno cercana a la superficie. Esta energía absorbida es transferida a la capa exterior (fotosfera) mediante convección, emitiendo una temperatura de 6.000 K.[x1]

Figura 1: Capas internas del sol, reacción interna a transformación en radiación.



Fuente: Arvind Bhanagar, fundamentals of solar astronomy. Structure of solar atmosphere.

5.1.2 Radiation Solar

La radiación solar es un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas de forma radial que viajan a través del espacio, de las cuales cierta cantidad de esta radiación es absorbida por la tierra; estas ondas recorren una distancia sol -tierra de aproximadamente 150 millones de kilómetros tardando 8 minutos y 30 segundos [10].

La radiación solar se ve afectada por algunos factores que alteran su cantidad emitida, por ejemplo, la locación geográfica en las regiones soleadas se presenta mayor radiación solar que en regiones nubladas o lluviosas debido a la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre y los factores que se interponen en su camino como partículas suspendidas en aire, densidad del mismo entre otros. Otro factor se debe a las horas de sol presente en un lugar, los equipos que estén expuestos a radiación solar en horas del día absorberán mayor cantidad de energía con respecto a los equipos utilizados en horas de la noche, el tiempo que se presente en el año es otro factor fundamental a tener presente para la radiación solar, debido a que variará de acuerdo a las temporadas estacionales y por ultimo las condiciones atmosféricas donde involucra factores como las nubes, vapor de agua atmosférico, partículas de polvo, polución entre otras la radiación solar se verá afectada.

Como es de entender, la cantidad de radiación emitida en una zona, difiere de otra la cual se encuentre en una ubicación geográfica y que tenga parámetros climáticos diferentes. En Bogotá, el grupo de Energías Alternativas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, desarrolló una investigación para

la validación y ajuste de las constantes de los modelos: Hottel, Orgill & Hollands, Liu- Jordan, Page, Iqbal y ASHRAE, mediante medición de la radiación solar directa y global por medio de Pirómetro y un Pirheliómetro Eppley evidenciadas en la siguiente tabla con un valor promedio de radiación en los diferentes meses del año sobre la ciudad de Bogotá [49].

Tabla 2. Promedio de radiación solar en Bogotá

Mes	Valor Promedio (kWh/m^2)
Enero	4.0
Febrero	4.1
Marzo	4.1
Abril	3.6
Mayo	3.0
Junio	3.6
Julio	4.2
Agosto	4.0
Septiembre	3.6
Octubre	3.6
Noviembre	3.2
Diciembre	3.7

Fuente: UPME. IDEAM. Atlas de radiación Solar de Colombia 2005.

5.1.3 Fundamentos de la radiación solar.

La radiación solar es un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas radialmente que viajan a través del espacio, de las cuales cierta cantidad es absorbida por la tierra; estas ondas recorren una distancia sol -tierra de aproximadamente 150 millones de kilómetros tardando 8 minutos y 30 segundos. [48]

5.1.4 Factores incidentes en la radiación solar.

La radiación solar se ve afectada por algunos factores que alteran su cantidad emitida, como:

- Locación Geográfica: En regiones soleadas se presenta mayor radiación solar que en regiones nubladas o lluviosas, al igual que presenta un incremento ligero la altitud.
- Tiempo del día: los equipos que estén expuestos a radiación solar en horas del día absorberán mayor cantidad de energía con respecto a los equipos utilizados en horas de la noche.
- Tiempo del año: la radiación solar variará de acuerdo a las temporadas estacionales.

- Condiciones Atmosféricas: la incidencia de la radiación solar se verá afectada por las nubes, vapor de agua atmosférico, partículas de polvo, polución entre otras.

5.1.5 Componentes de la radiación.

La radiación emitida por el sol se compone de un conjunto de partículas llamadas fotones que viajan en ondas transversales a la velocidad de la luz. La ecuación Ec.1 calcula la energía proveniente de estas partículas, cuyas variables son la longitud de onda, la constante de plank ($h = 6.6 \times 10^{-34} \text{Js}$) y la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) [42]

Ec.1

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

La energía emitida por los fotones también se calcula por medio de la frecuencia de radiación siendo:

Ec.2

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

Por lo tanto, también se puede expresar la ecuación de energía como:

Ec.3

$$E = h\nu$$

La radiación se divide en tres componentes, la radiación directa, caracterizada por la emisión en línea recta de los rayos del sol; radiación difusa, constituida por rayos no directos y dispersados por la atmosfera en dirección a la superficie. Y por último la radiación del albedo procedente del suelo y debida a la radiación incidente en él, y reflejada hacia la superficie.

La radiación que combina estos tres tipos se denomina radiación global. Las radiaciones que emite el sol, se diferencian de acuerdo a su longitud de onda, de esta manera en la tabla 3. se muestra una aproximación de los intervalos de longitud de onda con su correspondiente banda de frecuencia de los diferentes tipos de radiación como lo es la luz visible, los rayos gamma, infrarrojos caracterizados por no ser visibles por el ojo humano pero si detectables por otros medios, los rayos x, radiaciones radioeléctricas presentes por debajo de los rayos infrarrojos y finalmente los rayos ultravioleta que son radiaciones invisibles cuya longitud de onda es corta y muchos de sus rayos son absorbidos por la atmosfera. [43].

Tabla 3. Tipos de radiación, Longitudes y frecuencias de onda

TIPO DE RADIACIÓN		INTERVALOS DE LONGITUDES DE ONDA APROXIMADOS (μm)	BANDAS DE FRECUENCIA APROXIMADA (ciclos por segundo)
Rayos Gamma		10^{-4}	3×10^{18}
Rayos X		5×10^{-2} a 5×10^{-6}	6×10^{19} a 6×10^{15}
Ultravioleta		0.005 a 0.35	9×10^{14} a 6×10^{16}
Luz visible		0.35 a 0.75	4×10^{14} a 9×10^{14}
Infrarrojo		0.75 a 300	10^{12} a 4×10^{14}
Ondas de radio	Corta	1×10^2 a 1×10^8	3×10^6 a 3×10^{12}
	Larga	1×10^8	3×10^5

Fuente: Kreider Jan F. kreith Frank. Solar energy handbook. Fundamentals of solar radiation.

5.1.6 Radiación Solar sobre superficies.

La emisión de radiación solar se divide en dos trayectorias, el incidente por fuera de la superficie terrestre y extraterrestre, la radiación terrestre se ve afectada por diversos factores como lo son, Oxígeno, Moléculas de gases, y diferentes objetos que se encuentran en el espacio exterior que impiden y difuminan la radiación solar antes de entrar en contacto con la tierra.

La medición de la radiación extraterrestre se realiza con base a variables como la constante solar, la cual está definida como una cantidad de energía que incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria, ubicada fuera de la atmosfera terrestre, y que según la referencia radiométrica mundial WRR equivale a 1367 w/m^2 . [44,43]. Por otra parte, la radiación incidente La tabla 4, muestra la relación que permite determinar la radiación solar incidente con respecto a la declinación solar. En la cual se observa que sobre cada una de las latitudes se presenta un comportamiento sinusoidal de dicha radiación solar a lo largo del año. [44].

Tabla 4: Cantidad total de radiación solar incidente sobre la atmosfera terrestre

Latitud	Fecha/Declinación						
	Junio 21/23.5°	Mayo 21 y Julio 21/20°	Abril 21 y Agosto 21/12°	Marzo 21 y Septiembre 21/0°	Febrero 21 y Octubre 21/-11°	Enero 21 y Noviembre 21/-20°	Diciembre 21/-23.5°
0	9.3	9.5	10.1	10.5	10.4	10.1	9.9
8	10.1	10.2	10.5	10.4	9.9	9.2	8.9
16	10.8	10.7	10.6	10.1	9.2	8.2	7.7
24	11.3	11.1	10.6	9.6	8.3	7.0	6.4
32	11.6	11.2	10.4	8.9	7.2	5.7	5.1
40	11.7	11.2	10.0	8.0	6.0	4.4	3.7
48	11.7	11.0	9.4	7.0	4.8	3.0	2.4
56	11.6	10.7	8.7	5.9	3.4	1.7	1.1
64	11.6	11.3	7.9	4.6	2.1	0.5	0.1

Fuente: Kreider Jan F. kreith Frank. Solar energy handbook. Fundamentals of solar radiation.

5.1.7 Radiación difusa y directa

Este tipo de radiaciones se calculan con base a la radiación global. Inicialmente se realiza una estimación de la radiación solar difusa en la cual consiste en aplicar una correlación empleada por Collares-Pereira [45,43]. y la cual se representa mediante las siguientes ecuaciones en la tabla 5, cuyo factor determinante es el índice de claridad:

Tabla 5: Estimación de radiación solar difusa en superficies.

$\frac{H_d}{H}$	0,99	$K_t \leq 0,17$
	$1,188 - 2,272K_t + 9,473 K_t^2 - 21,865K_t^3 + 14,648K_t^4$	$0,17 < K_t > 0,75$
	$-0,54K_t + 0,632$	$0,75 < K_t > 0,8$
	0,2	$K_t \geq 0,8$

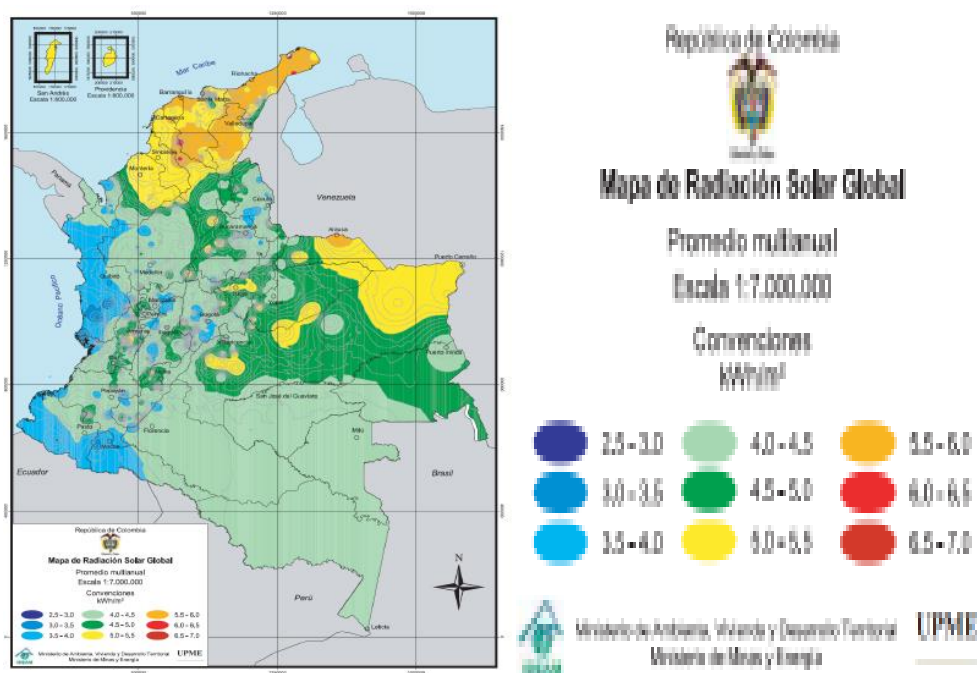
Fuente: UPME. IDEAM. Atlas de radiación Solar de Colombia 2005.

5.1.8 Potencial Solar energético en el estado Colombiano.

Para el estudio del potencial solar sobre el territorio colombiano, centros como la UPME y el IDEAM como otros entes privados se han dedicado al análisis estadístico de las distintas variables meteorológicas en las diferentes zonas del territorio nacional, como lo son temperatura, radiación solar, brillo y humedad. En su monitoreo diario y recolección de datos se usan instrumentos básicos de medida como los heliógrafos para la medición del brillo solar, actualmente no se aplican tecnologías de vanguardia como lo son piranómetros espectrales debido a su alto costo de mantenimiento por lo cual han empleado instrumentos de bajo perfil para la toma de medidas.

A continuación, se muestra un mapa de la radiación solar de la república de Colombia, suministrado por el IDEAM; en la cual se observa que sobre la Guajira hay mayor radiación solar; sus valores máximos se presentan en el mes de julio, descendiendo hasta diciembre. Así mismo zonas como la costa atlántica y parte de la región de la Orinoquía cuentan con el mismo comportamiento durante un periodo comprendido en un año.

Figura 2: Promedio de potencial solar en el territorio nacional.



Fuente: UPME. IDEAM. Atlas de radiación Solar de Colombia 2005.

La tabla 6 muestra información detallada de la radiación y brillo solar para una de las estaciones del departamento de Cundinamarca, ubicada en Bogotá; con su respectiva localización en latitud de $4^{\circ} 38'$, longitud de $-74^{\circ} - 6'$ y una altitud de 2556 m. Suministrada por la estación del observatorio meteorológico nacional, en la cual se exponen las diferentes variables determinantes para cálculos específicos, empleando unidades para en: (KWh/m²/día), en (h/día); [45,46].

Tabla 6: Radiación y brillo solar para Bogotá.

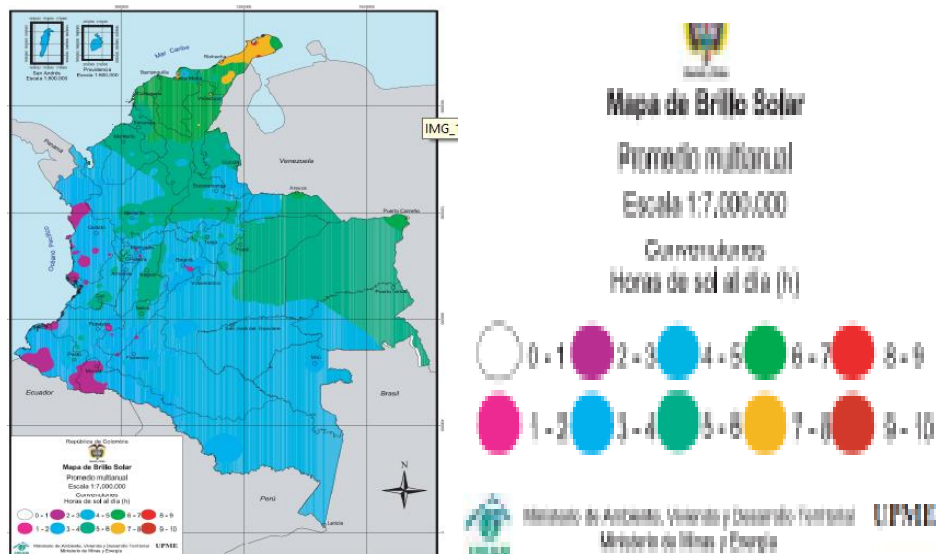
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
\bar{H}_0	9,5	10	10,4	10,4	10	9,8	9,9	10,2	10,3	10,1	9,6	9,3	10,2
\bar{H}	4,68	4,77	4,23	3,99	3,7	3,8	4,23	4,11	4,28	4,02	3,97	4,26	4,17
\bar{H}/\bar{H}_0	0,49	0,48	0,41	0,38	0,37	0,39	0,43	0,40	0,42	0,40	0,41	0,46	0,41
\bar{H}_b	2,7	2,69	2,14	1,93	1,72	1,83	2,18	2,05	2,19	2,02	2,05	2,36	2,15
\bar{H}_b/\bar{H}	0,58	0,56	0,51	0,48	0,46	0,48	0,52	0,50	0,51	0,50	0,52	0,55	0,52
\bar{H}_d	1,98	2,08	2,09	2,06	1,98	1,97	2,04	2,06	2,09	2,00	1,92	1,90	2,01
\bar{H}_d/\bar{H}	0,42	0,44	0,49	0,52	0,54	0,52	0,48	0,50	0,49	0,50	0,48	0,45	0,48
\bar{S}_0	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12,3	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,7	12
\bar{S}	5,35	5,07	3,61	3,17	2,84	3,30	4,19	3,61	3,80	3,42	3,70	4,61	3,89
\bar{S}/\bar{S}_0	0,45	0,43	0,30	0,26	0,23	0,27	0,34	0,30	0,32	0,29	0,31	0,39	0,32

Fuente. Universidad Nacional de Colombia. Manual de radiación solar en Colombia.1992

El brillo solar también llamado duración del sol a lo largo de un día, representa el tiempo total en el cual incide luz solar directa sobre la superficie terrestre. Las estaciones radiométricas de Colombia se encargan de medir esta variable, suministrando información estadística necesaria para determinar otras variables.

A continuación, en la figura 3 se evidencia que en los meses de enero, noviembre y diciembre se evidencia un aumento de las horas de brillo solar sobre el territorio alcanzando un rango máximo de 7 a 9 horas al día. En el departamento de Cundinamarca se evidencia un promedio anual de brillo solar en un rango de 2 a 5 horas de sol al día.

Figura 3: Promedio brillo solar en Colombia.



Fuente. UPME. IDEAM. Atlas de radiación Solar de Colombia 2005

5.1.9 Leyes de la termodinámica.

Las leyes de la termodinámica son fundamentales para cualquier dispositivo térmico que exista, en primera medida la conservación de la energía establece que si se realiza un trabajo sobre algún dispositivo o sistema caso práctico un intercambio de calor entre uno y otro la energía del sistema cambiara, en palabras más coloquiales la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma, de igual forma se puede expresar como la energía necesaria que puede y debe intercambiar un sistema para poder compensar las diferencias entre el trabajo generado y la energía interna del sistema.

La segunda ley de la termodinámica imparte que es imposible que se pueda construir en el mundo una maquina totalmente eficaz que el calor produzca

totalmente trabajo, una porción de calor se perderá en otras fracciones como fricción y demás factores que bajen la eficiencia del sistema. Para la tercera ley de la termodinámica se plantea que es imposible alcance en alguna oportunidad el cero absoluto, de igual forma puede formularse como que a medida que un sistema dado se aproxime considerablemente al cero absoluto, su entropía tiende a estabilizarse en un valor constante.

La radiación solar sobre superficies se subdivide en dos trayectorias, el incidente por fuera de la superficie terrestre o extraterrestre y la radiación terrestre la cual se ve afectada por diversos factores.

La radiación solar extraterrestre, la medición de la radiación extraterrestre se realiza con base a variables como la constante solar, la cual está definida como una cantidad de energía que incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria, ubicada fuera de la atmosfera terrestre, y que según la referencia radiométrica mundial equivale a 1367 w/m².10

Con el transcurso del tiempo se incurrió en la industria agro-alimenticia en utilizar energía solar para la conservación de productos como la fresa, el café, la uchuva entre otros, esto se alcanzó gracias a los colectores solares, siendo estos unos dispositivos o equipos diseñados para recoger la energía irradiada por el sol y transformarla en energía térmica para procesos [11].

5.1.10 Características de la Fruta.

Actualmente existen equipos diseñados para diferentes funciones en procesos relacionados con la radiación solar, para el proceso de deshidratación existen equipos llamados deshidratadores solares que actúan de una forma muy similar a un efecto invernadero controlado, el vidrio actuara como un filtro solar para las longitudes de onda emitidas por el sol, dejando pasar básicamente el espectro visible que contienen mayor energía comparada con otras ondas como las infrarrojas [12].

La deshidratación de frutas es una de las técnicas más antiguas utilizadas para procesar alimentos; consiste en la extracción de cierto porcentaje de humedad, con el objeto de preservar el producto durante largos periodos de tiempo, debido a que de esta forma se detiene el crecimiento de microorganismos que son la causa fundamental del deterioro de las frutas, y además es una opción que permite preservar el valor nutritivo original de los alimentos cuando se realiza con los cuidados especiales que se requiere.

Existen ciertos tipos de frutas que sirven como punto de partida para el aprovechamiento de sus propiedades, con el fin de buscar nuevas alternativas

para su transformación y conservación, evitando de esta manera posibles pérdidas de pos-cosecha, y abriendo campo a nuevos mercados externos.

El estudio en cierto modo de las propiedades físicas importantes en el proceso de secado de frutas, son esenciales para el análisis del proceso de deshidratación, a continuación, se menciona una de las frutas de mayor envergadura para el proceso anteriormente mencionado.

5.1.11 Producto Agroindustrial de Estudio (Uchuva).

Las características Generales la uchuva también llamada *Physalis peruviana*, perteneciente a la familia de las Solanáceas es originaria de los Andes Suramericanos, se caracteriza por ser una fruta carnosa de forma ovoide o globular, que mide de 1.25 a 2.50 cm de diámetro y posee un peso entre 4 y 10 g; está cubierta por un cáliz o capacho formado por cinco sépalos que la protegen contra insectos, pájaros, patógenos y condiciones climáticas extremas, estas hojas poseen un tamaño entre 5 a 15 cm de largo y 4 a 10 cm de ancho.

Figura 4: Uchuva (*Physalis peruviana*)



Fuente: Fichas Técnicas productos frescos y procesados

En cuanto a su composición morfológica, esta fruta posee un peso, que representa del 3% al 11% del peso total del fruto y sus otros componentes se muestran en los diferentes estados de maduración en que se encuentre, tomando en cuenta la cantidad de agua, minerales, y partículas que la componen [13].

Los frutos maduros contienen entre 13 y 15 ° Brix y un pH de 3.7; y en los frutos pintones entre 9 y 13 ° Brix; los cuales indican la cantidad de azúcares presentes en la fruta de acuerdo a su grado de madurez. Igualmente almacenan un buen contenido de ácidos (1.6 a 2.0 % de acidez en frutos maduros y 2.0 a 2.1 % en frutos pitones). Son frutas con alto porcentaje de azúcares (11 a 20 g de carbohidratos digeribles en 100 g de peso fresco); cuya mayor fracción la constituye la sacarosa, con un contenido de unas 2.5 veces mayor que el de glucosa y fructosa [13].

Durante el proceso de la post cosecha se debe realizar el proceso de secado del fruto, con el propósito de eliminar la humedad del capacho o caliz, para ello se debe colocar las uchuvas a una temperatura de 40 a 55°C sobre laminas, evitando el amontonamiento y acondicionarlas con adecuada aireación; al colocarlas con ventilación el proceso de secado puede durar entre 20 y 30 horas y sin ventilación hasta 4 días [4,5]. Cundinamarca se encuentra entre uno de los departamentos con mayor producción de fruta junto a Antioquia, Boyacá, y otros en menor porcentaje como Cauca y Nariño. El área cosechada de uchuva de los departamentos de Cundinamarca, tiene 247 hectáreas con una producción de 4.396 toneladas, equivalente al 28,4% de participación en producción con respecto a los otros departamentos descritos [14].

En cuanto a su composición morfológica, este posee un peso en caliz, que representa del 3% al 11% del peso total del fruto y sus otros componentes se muestran en la tabla 6, en la que la clasifican de acuerdo a su estado de maduración.

Tabla 7: Composición morfológica de la uchuva

Variable	Frutos Maduros		Frutos Verdes	
	Peso (gr)	(%)	Peso (gr)	(%)
Pulpa	4,25	85,43	3,725	87,65
Corteza	0,225	4,52	0,175	4,12
Semillas	0,5	10,05	0,35	8,23

Fuente: Felipe Duran Ramírez, manual de la uchuva, manejo, programación y fertilización

Los frutos maduros contienen entre 13 y 15 ° Brix y un pH de 3.7; y en los frutos pintones entre 9 y 13 ° Brix; los cuales indican la cantidad de azúcares presentes en la fruta de acuerdo a su grado de madurez. Igualmente almacenan un buen contenido de ácidos (1.6 a 2.0 % de acidez en frutos maduros y 2.0 a 2.1 % en frutos pintones). Son frutas con alto porcentaje de azúcares (11 a 20 g de carbohidratos digeribles en 100 g de peso fresco); cuya mayor fracción la constituye la sacarosa, con un contenido de unas 2.5 veces mayor que el de glucosa y fructosa [47].

Tabla 8: Composición nutricional de la uchuva

Compuesto	Cantidad
Calorías	73 cal
Agua	78,9 g
Carbohidratos	13,1 g
Grasas	0,4 g
Proteínas	1,1 g
Fibra	4,8 g
Cenizas	1,01 g
Calcio	7.0 mg
Fosforo	38 mg
Hierro	1,23 mg
Vitamina A	648 U.I.

Tiamina	0,18 mg
Riboflavina	0,032 mg
Niacina	1,3 mg
Ácido ascórbico	26 mg

Fuente: Fischer G, Producción post cosecha, Universidad nacional de Colombia, facultad de agronomía.

En Colombia la uchuva empezó a ser un cultivo comercial desde la década de los ochenta especialmente desde 1985, cuando este producto comenzó a tener acogida en los mercados internacionales, donde hoy se comercializa en fresco y procesada.

En la actualidad se encuentran diferentes productos procesados a partir de la uchuva como la mermelada, la uchuva pasa y los confites de uchuva cubiertos de chocolate. Por sus características puede ser procesada para jugo, néctar, pulpa y otros productos con azúcar como el bocadillo. A diferencia de los cultivos tradicionales, el productor de uchuva, aunque no es empresario, tiene en cuenta aspectos técnicos que le permite obtener una mayor remuneración por su tarea realizada. Teniendo en cuenta que la mayor oferta de uchuva se genera en los mercados internacionales durante los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre, el productor de uchuva planea las siembras y la recolección del fruto de tal forma que le permitan obtener una mayor producción en los meses de mayor demanda en el mercado europeo. Adicionalmente, el productor de uchuva reconoce la importancia de la calidad de la fruta y recoge la uchuva de acuerdo con las exigencias del consumidor en el mercado internacional; para esto tiene en cuenta el tamaño y color del capacho y de la fruta, así como su apariencia sana, limpia y libre de hongos e insectos. [x3]

Los municipios destacados que reúnen las mejores condiciones para el cultivo de la Uchuva son:

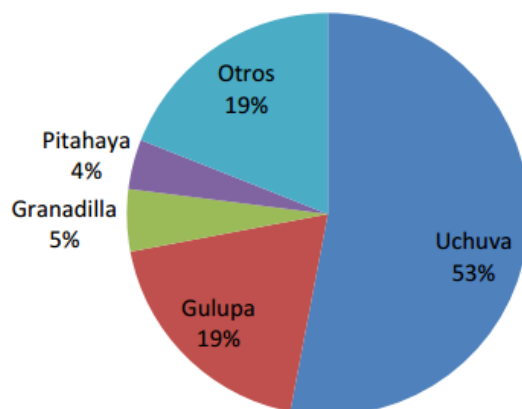
Tabla 9: Municipios colombianos para la producción de uchuva en condiciones óptimas.

Departamento	Municipios
Antioquia	Rionegro, Santa Rosa, Yarumal, Abejorral, Sonsón
Boyacá	Valle de Chiquinquirá, La Candelaria, Villa de Leyva, Duitama, Tunja, Paipa, Nuevo Colón
Cundinamarca	Sabana de Bogotá, Funza, Chía, Valle de Ubaté, Gachetá, La Mesa, Mosquera, Chocontá, Villapinzón
Cauca	El Encanto, La Uribe, Gamboa, Piendamó, Toribío, Zona de Almaquer, Sotaró
Huila	La Argentina, Plata Vieja, Humareda
Magdalena	La Sierra Nevada
Nariño	Ipiales, Túquerres, Pasto, La Cruz
Tolima	Gaitana, Roncesvalles

Fuente: Fischer, G., Flórez, V. y Sora, A. Producción, pos cosecha y exportación de la uchuva. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá, marzo del 2000, pág. 93

La fruta exótica representa una parte importante dentro de la cultura y las costumbres del país, y de gran importancia y relevancia en el mercado extranjero, lo cual lo hace un fruto ideal para la exportación, siendo bastante rentable por su alta demanda en las últimas décadas más que todo en Europa. [x4]

Figura 5: Porcentaje de exportaciones de frutas exóticas colombianas.



Fuente: Trademap, Cálculos Proexport

5.1.12 Mecanismos de deshidratación.

Las tecnologías actuales para el proceso de deshidratación solar tienen una aplicación importante en la industria agrícola. Su principio objetivo de funcionamiento, se fundamenta en la reducción del porcentaje de humedad en determinados productos como frutas, a un nivel que impida su deterioro. Para estos equipos existen dos tipos principales de deshidratadores como lo son los pasivos, en los cuales el aire calentado por medio del sol, circula por las fuerzas de flotabilidad como resultado de la presión del viento, y los activos en los que se usa un ventilador para forzar el flujo de aire al interior del deshidratador [15,16].

5.1.12.1 Deshidratadores Pasivos.

Existen los deshidratadores Pasivos, Estos secadores operan usando totalmente fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, clasificándose en 3 grandes grupos.

- Deshidratadores Pasivos de tipo distribuido, también llamados deshidratadores indirectos pasivos, los cuales se componen de un colector que por medio de energía solar caliente el aire, de una cámara de secado y una chimenea.

- Deshidratadores Pasivos de tipo integral, se les conoce como deshidratadores directos pasivos, que cuentan con una cámara pintada de negro en su interior, aislada a sus costados y cubierto con un cristal o un techo que alcanza temperaturas entre 70° C y 100° C.
- Deshidratadores pasivos de tipo mixto, la cual combinan las características de los dos anteriormente mencionados para el proceso de deshidratación [15,17].

Figura 6: Dispositivo de deshidratación solar pasivo mixto.

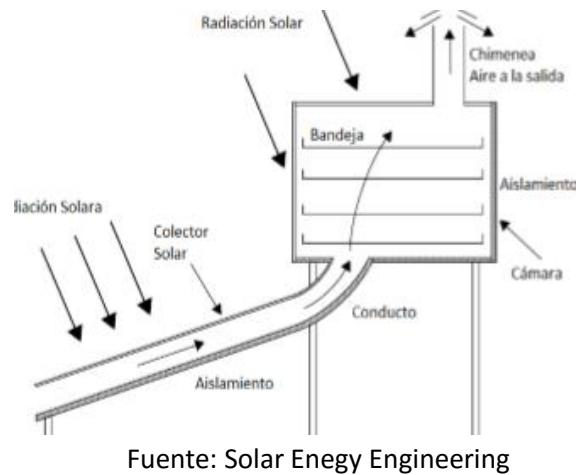
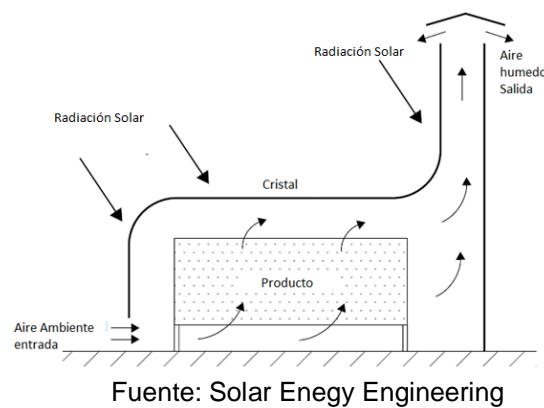


Figura 7: Dispositivo de deshidratación solar pasivo integral.

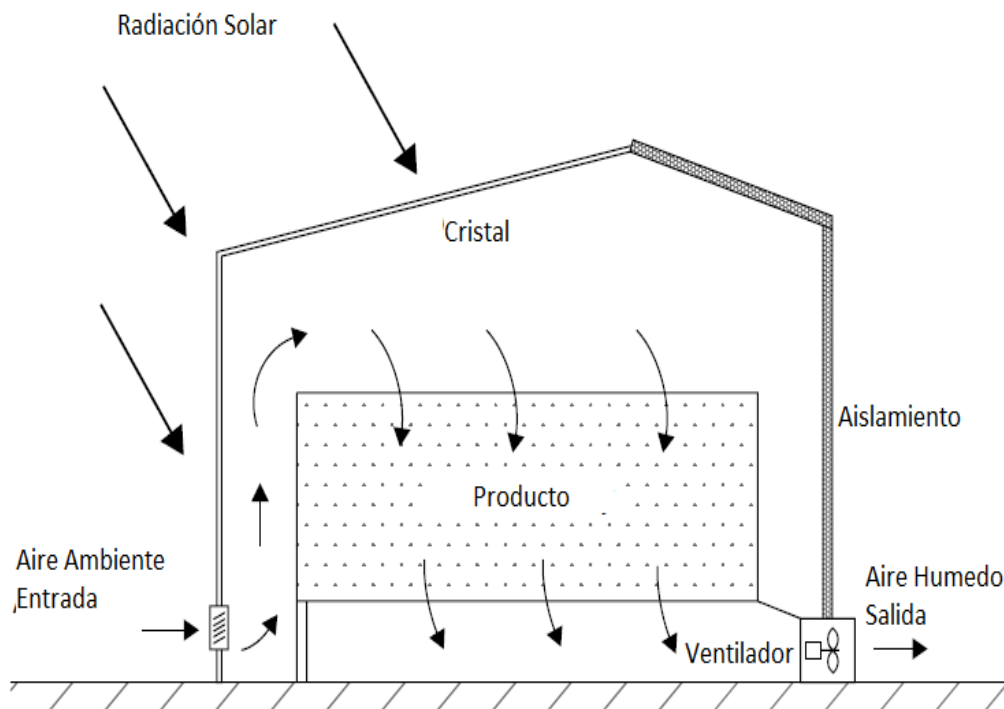


5.1.12.2 Deshidratadores Activos.

Los deshidratadores activos se encuentran clasificados de la misma manera que los pasivos estos equipos requieren además de la energía solar, otras fuentes de energía no renovables, por lo general de electricidad, para la alimentación de los ventiladores que incrementan la velocidad del aire al interior del equipo o para la calefacción auxiliar.

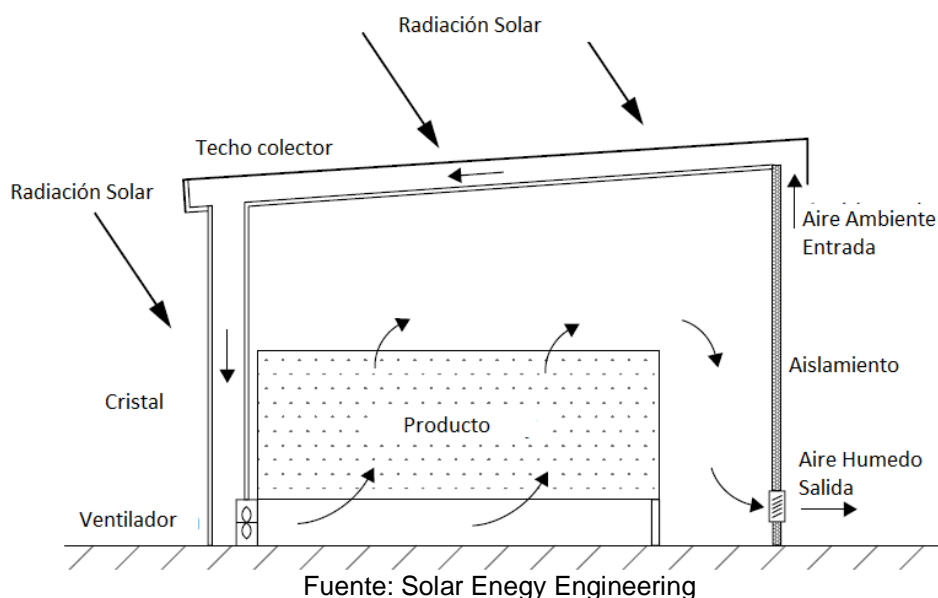
- Deshidratadores activos de tipo distributivo: Consta de cuatro componentes: una cámara de secado, un colector solar, un ventilador y conductos para transferir el aire caliente desde el colector hacia el deshidratador.
- Deshidratadores activos de tipo integral: Son deshidratadores tipo invernadero que se construyen a gran escala, tienen techo transparente y se usan para el secado de madera. Otra variación de este tipo de deshidratadores es el de colector techo/pared, en el que este colector forma parte integral de la cubierta y/o de las paredes de la cámara de deshidratación.
- Deshidratadores activos de tipo mixto: Es similar al deshidratador activo tipo distribuido, con la diferencia de que las paredes y el techo del equipo son de cristal, para permitir que la energía solar caliente los productos directamente. En los secadores solares la temperatura máxima de secado es determinada por los colectores solares, y su eficiencia disminuye con temperaturas de funcionamiento altas lo que no brinda un óptimo diseño del deshidratador. [15,17]

Figura 8. Dispositivo de deshidratación solar activo distributivo.



Fuente: Solar Energy Engineering

Figura 9: Dispositivo de deshidratación solar activo integral.



5.1.13 Proceso de Deshidratación.

Para el proceso de deshidratación Inicialmente se presenta la radiación proveniente del sol hacia el equipo de deshidratación, cuya energía es aprovechada para los requerimientos del proceso y a la materia prima empleada, a continuación se presenta una convección desde la superficie que capta el calor proveniente de la radiación hacia el flujo de aire que circula dentro del sistema en el siguiente paso se produce una convección entre el aire caliente y la materia prima en el interior del sistema así mismo como la convección entre el aire caliente y la bandeja, se presenta una transferencia de masa desde el interior de la materia prima hasta la superficie la cual depende de las características microscópicas que posea la materia prima (uchuva), y por ultimo convección entre el aire resultante del proceso y la atmosfera [17,18].

El secado de producto es uno de los métodos más empleados para la conservación de alimentos, es una de las formas tradicionales de obtener productos que posee valor regional, en la mayoría de los casos estos productos son elaborados por pequeños productores y sus familias y son realizados en forma artesanal, es decir exponiéndolos directamente al sol. Debido a esto, las posibilidades de contaminación son grandes y los productos no son de óptima calidad, a la vez que se producen importantes pérdidas debido factores climáticos, como ser lluvia, viento, rocío, etc. Algunos productores, con el objeto de evitar estas pérdidas cubren el producto con plásticos o los colocan en bandejas que poder guardarlos cuando se requiere. La mejora en la calidad del producto, mediante el empleo de alguna tecnología de secado solar, se verá

reflejado en la economía familiar ya que la mayoría de estos productores viven de la comercialización de estos productos.

Algunos materiales para la fabricación de los colectores de calor se presente con ciertas características y propiedades para mejorar el rendimiento del dispositivo, para el vidrio que permite el paso de la radiación solar se puede fabricar o diseñar con un vidrio templado de alta resistencia esto debido a que esta clase de vidrio permite el paso continuo de los rayos solares pero evita la perdida de los mismos al reflejarse en la placa absolvedora, en cuanto a la placa que transforma la radiación solar en energía térmica puede tener diferentes formas geométricas y gran capacidad para la energía si se aumenta la turbulencia del fluido, por este motivo la entalpia aumenta generando mayor transferencia de calor entre el colector de calor y la cámara de secado.

Para el costo de la fruta deshidratada, el mango tiene un precio en el mercado de aproximadamente 4 dólares la libra, por su parte la fresa un costo de aproximadamente 9 dólares la libra, y la uchuva un precio de 17 dólares la libra aproximadamente, todas las 3 frutas empleando tiempos de deshidratación muy similares. Esto lleva a pensar que se obtendrán mejores ingresos con la uchuva, así mismo recuperar más rápido la inversión del equipo construido [15,13,19].

El uso de este tipo de deshidratador está limitado debido a que el tipo de energía que maneja solo se evidencia en días soleados, debido a esto se dispone de una humedad que cumplirá la función inversa para la cual está diseñado el equipo y contribuirá a la formación de hongos en el producto, los frutos deben estar dispuestos y ubicados de tal manera que exista un espacio entre las láminas o rodajas de la cámara de secado para que el aire circule entre el producto.

De ninguna manera en el proceso de deshidratación se debe mezclar en la cámara de secado productos como hortalizas y frutas ya que por sus características propias de cada uno de los productos tienen diferentes necesidades de tiempo para un adecuado proceso, de igual forma se recomienda monitorear el proceso para evitar que se reseque el producto perdiendo así sus propiedades nutritivas como el sabor y el olor.

5.1.14 Proceso de deshidratación de alimentos.

Para el proceso de deshidratación de alimentos, la deshidratación es un método térmico basado en la reducción del contenido de agua en alimentos, con el fin de suprimir su actividad bacteriana para su conservación durante un periodo prolongado sus propiedades nutritivas; además genera una reducción sustancial del peso y volumen en el producto debido al proceso que se le realice.

Entre las aplicaciones industriales que emplea este proceso se encuentran: [18]

- Fabricación de productos químicos y farmacéuticos los cuales requieren procesos de secado previo al envasado, así mismo en productos sensibles al calor como antibióticos y plasmas sanguíneos que emplean secado por congelación y alto vacío (liofilización).
- Secado de grandes cantidades de minerales y recursos naturales por medio de deshidratadores rotatorios continuos.
- Secado de papel en el que se emplean temperaturas y condiciones de humedad determinantes para lograr la consistencia de este producto.
- Secado de productos alimenticios y agrícolas por métodos de aspersión, congelación (liofilización), solar, entre otros.
- Control de humedad para productos de la industria cerámica.
- En la industria textil y reducción de humedad de la madera.

La tabla 10, muestra una comparación de parámetros operacionales entre los equipos de secado convencionales más empleados en la industria alimentaria donde se presentan diferentes variables como tiempo de secado, cantidad de energía para el proceso entre otros factores que afectan el proceso de deshidratación.

Tabla 10: Tecnologías convencionales de deshidratación.

Equipo	Materia prima	Tiempo de secado	Consumo de energía típico (kJ/kg de H ₂ O evaporada)	Temperatura de entrada del aire caliente (°C)	Eficiencia térmica (%)
Secador de banda transportadora	Granos, vegetales, frutas, cereales, nueces	10-60 s	-	-	40-60
Secador Flash	Fécula, pulpas, cultivos, gránulos, polvos	0-10 s	4,500-9,000	400-600	50-75
Secador de lecho fluidizado	Vegetales, gránulos, grano, guisantes	10-60 s	4,000-6,000	100-600	40-80
Secador rotatorio	Semillas, granos, féculas	10-60 s	4,600-9,200	200-600	40-70
Secador por aspersión	Leche, crema, café, té, jugos, huevos, extractos, jarabes	10-30 s	4,500-11,500	200-300	50
Secador de bandejas	Frutas, vegetales, carne, pastas, gránulos.	1-6 h	-	-	85
Secador de tambor	Leche, sopas, hojuelas, cereales para bebe, jugos, purés	10-30 s	3,200-6,500	-	85

Fuente: Handbook of industrial drying, 2007

5.1.15 Capacidad Del deshidratador solar

Las energías alternativas son fuente fundamental para el sostenimiento de diferentes procesos actuales, de igual forma la energía solar es parte fundamental en el proceso de deshidratación, a continuación, se evidencian algunas ventajas y desventajas que se presentan en el proceso mencionado usando la energía solar como fuente de energética.

Algunas ventajas son:

- Es un proceso sostenible y limpio para con el medio ambiente.
- Implementa una energía alternativa para llevar a cabo diferentes procesos.
- No genera costos energéticos elevados para el consumo de energía.
- La energía obtenida es diría y constante.
- Los equipos que trabajan con esta energía son de fácil manejo, bajo costo y fácil fabricación.
- Mejoran los procesos al no utilizar combustibles derivados del petróleo para su funcionamiento.

Algunas desventajas son:

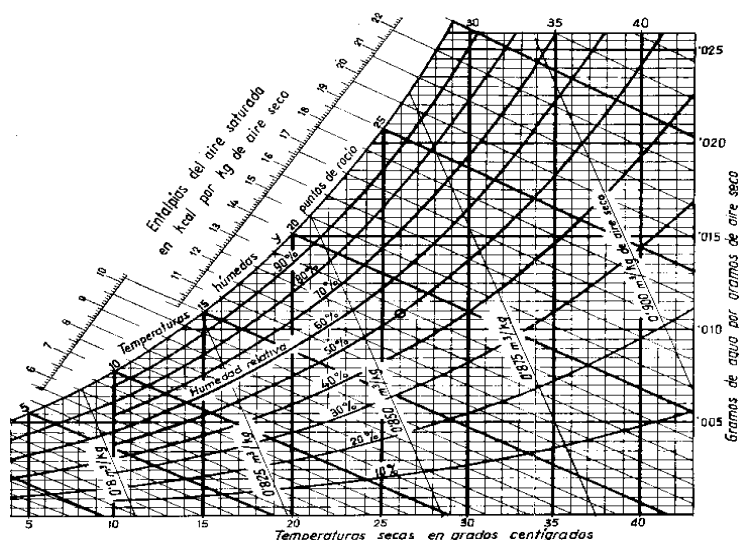
- Se depende de días de sol para el aprovechamiento de la energía.
- La eficiencia del proceso es baja comparada con otros procesos.
- El manejar grandes volúmenes dificulta realizar el proceso de deshidratación solar.
- La intermitencia de la radiación solar disminuye la continuidad del proceso.

Dependiendo de la materia prima tratada y de las condiciones ambientales se busca la mejor condición para que el proceso sea más óptimo.

5.1.16 Parámetros psicométricos.

La psicometría se define como la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y la manera como este incide sobre los materiales; esta es empleada para el análisis de procesos de deshidratación entre otros, y una forma de determinarlas, es mediante el diagrama psicométrica, ilustrado en la figura 20, en el cual se encuentra representadas cada una de las propiedades del aire. [43]

Figura 10: Diagrama Psicométrico.



Fuente: M. Monroy Soleamiento e irradiación infrarroja en cerramientos.

A continuación, presentan los diferentes parámetros psicrométricos para los respectivos cálculos para el proceso.

Temperatura bulbo seco: Es la temperatura medida del aire a condiciones atmosféricas en la entrada del sistema, ubicada en el diagrama sobre eje horizontal.

Volumen húmedo: Se define como los metros cúbicos de aire húmedo de un kilogramo de aire seco, el cual, al ser medido tanto a la entrada como a la salida del equipo, indica la cantidad de vapor resultante de los procesos de transferencia de masa y calor en diferentes intervalos de tiempo.

Ec.4

$$V_h = \frac{0.02247}{273} \left(\frac{1}{m_a} + \frac{W}{m_w} \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Calor Húmedo: Es la energía calorífica necesaria para aumentar la temperatura a 1°C de un gramo de aire y el vapor q este contiene. Se calcula a partir de la ecuación.

Ec.5

$$C_s = C_{pa} + (C_{pw}W) [kJ/kg \cdot ^\circ K]$$

Donde:

C_{pa}: Calor específico de aire seco= 1.005 Kj / kg °k

C_{pw}: Calor específico del vapor de agua= 1.86 Kj / kg °k

Entalpía Total: Es el contenido energético de la mezcla aire -vapor de agua, que determina cuanta energía almacenada en el proceso se consume o se libera, cuando la temperatura se eleve o descienda.

Ec.6

$$h_t = C_s(T_{bs}) + \lambda_0 W \quad [kJ/kg]$$

Donde:

T_{bs}: Temperatura de bulbo seco del aire °C

Lamda: Calor latente de vaporización a 0 °C=201,4 Kj / Kg

Humedad absoluta o específica: Es la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco.

Ec.7

$$W = \frac{m_w}{m_a} = \frac{kg_{agua}}{kg_{aire}} \quad \text{o} \quad W = 0.622 \frac{P_w}{P_a - P_w}$$

Presión de vapor: Es la presión que ejerce el vapor contenido de aire a determinada temperatura. El cual cuando se llega a un punto de equilibrio entre el vapor y el aire, se alcanza el estado de saturación.

Temperatura de bulbo húmedo: Temperatura de equilibrio alcanzada en la interacción de la temperatura del aire que entra al sistema con la vaporización del agua presente en alimento.

Humedad relativa: Es la relación porcentual entre la presión de vapor de agua en el aire húmedo y la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura del aire. Determinada a partir de la relación entre la temperatura de bulbo seco y húmedo en un instrumento de medición.

Ec.8

$$HR = \frac{P_w}{P_{vw}} 100 \quad [\%]$$

A continuación, se presentan algunas variables anteriormente mencionadas con sus respectivas características de medición.

Tabla 11: Algunas variables de medición para el proceso de deshidratación

VARIABLE	INSTRUMENTO	Unidades típicas en que se presenta la lectura	NORMA
Temperatura de bulbo seco (Temperatura ambiente)	Pirómetro	°C	GTC 60 ²⁶
Temperatura de bulbo húmedo	PSICRÓMETRO	°C -%HR	NTC 4505 ²⁷
Temperatura a la entrada de la cámara de secado	Termocupla	°C	NTC 4494 ²⁸
Humedad Absoluta	Higrómetro de punto de rocío	°C	GTC 158

Fuente: Handbook of industrial drying, 2007

Contenido de humedad del alimento: Es la medida de la cantidad de agua que contiene el sólido a secar, así como la cantidad necesaria a eliminar para la deshidratación.

Ec.9

$$H_{bh} = \frac{m_{aguaalimento}}{m_{aguaalimento} + m_{secaalimento}} \quad [\%]$$

Ec.10

$$H_{bs} = \frac{m_{aguaalimento}}{m_{secaalimento}}$$

Para determinar la cantidad de agua a evaporar del producto se emplea la siguiente ecuación.

Ec.11

$$M_w = M_T \frac{(H_{bsi} - H_{bsf})}{(1 - H_{bsf})}$$

Para saber cuánto es la masa de aire necesario para llevar a cabo el proceso, se debe conocer previamente la cantidad de agua a retirar.

Ec.12

$$m_a = \frac{M_w}{\Delta_w}$$

Para luego poder determinar el volumen de aire necesario de aire, se emplea el volumen específico del aire en la entrada a la cámara:

Ec.13

$$V_a = m_a v_s$$

Para determinar la cantidad de calor requerido para evaporar el agua, se emplea.

$$Q = M_w \lambda_v$$

Donde L es el calor latente de vaporización determinado con la temperatura superficial del producto que equivale a la de bulbo húmedo.

A continuación, se presenta una tabla donde se calculan diferentes variables para la simulación donde se tienen presentes aspectos de la materia prima, ambiente y proceso, los datos calculados se basan en las ecuaciones anteriormente mencionadas y se toma como punto de referencia 10 kg de fruta (materia prima) para determinar el área del colector y poder usar esta misma para como punto de partida para realizar la simulación del colector.

A continuación, se muestra un cálculo determinado para 10 Kg de fruta seleccionada con el fin de determinar el área del colector para su respectivo diseño y simulación.

Para calcular la masa de agua se tiene presente la siguiente ecuación.

$$masa\ de\ agua = \frac{cantidad\ de\ fruta\ Kg * 0,80\ \% \text{ humedad inicial}}{100}$$

Para 10Kg de uchuva se tiene:

$$m\ agua = \frac{10\ Kg * 0,8}{100} = 8,00\ Kg$$

La siguiente ecuación determina el valor de masa seca.

$$masa\ seca = cantidad\ de\ fruta - masa\ de\ agua$$

Para la masa seca se tiene:

$$m\ seca = 10\ Kg - 8,00\ Kg = 2\ Kg$$

A continuación, se calcula la cantidad de agua después del proceso.

$$cantidad\ de\ agua\ despues\ del\ proceso = \frac{masa\ de\ agua * 0.12\ \% \text{ humedad final}}{100}$$

Entonces:

$$Cantidad\ de\ gua\ despues\ del\ proceso(Ad) = \frac{2\ Kg * 0.12}{100} = 0,96\ Kg$$

Para el cálculo de fruta restante después del proceso (Caf) se obtiene de:

$$\text{cantidad de fruta despues del proceso} = \text{cantidad de agua despues del proceso} + \text{masa seca}$$

Por lo tanto.

$$Caf = 0,96 \text{ Kg} + 2 \text{ Kg} = 2,96 \text{ Kg}$$

A continuación, se dispone a retirarse el agua requería para llevar a cabo el proceso de deshidratación (Car).

$$\text{cantidad de agua a retirar en el proceso} = \text{cantidad de fruta} * \frac{(\% \text{ humedad inicial} - \% \text{ humedad final})}{(1 - \% \text{ humedad inicial})}$$

Entonces:

$$Car = 10 \text{ Kg} * \frac{(0,8 - ,12)}{(1 - 0,8)} = 7,7273 \text{ Kg}$$

Para después del proceso la cantidad de masa se determina de la siguiente manera (Mdp).

$$\text{masa despues del proceso} = \text{cantidad de fruta} - \text{cantidad de agua a retirar en el proceso}$$

Por lo tanto:

$$Mdp = 10 \text{ Kg} - 7,7273 \text{ Kg} = 2,2727 \text{ Kg}$$

Para la masa final de agua se tiene (Mfa):

$$\text{masa final de agua} = \text{masa despues del proceso} * 0,8 \% \text{ humedad inicial}$$

Donde:

$$Mfa = 2,2727 \text{ Kg} * 0,8 = 0,2727 \text{ Kg}$$

Por consiguiente, la masa de aire que requiere el proceso se representa de la siguiente manera (Map).

$$\text{masa de aire para el proceso} = \frac{\text{cantidad de agua a retirar}}{\text{humedad retirada en el equipo}}$$

Por tal motivo:

$$Map = \frac{7,2273 \text{ Kg}}{0,072 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{Kg aire seco}}} = 1073,2323 \text{ Kg}$$

Donde 0,072 se determina por la diferencia de humedades a la entrada y salida del equipo (Hr).

$$\text{humedad retira en el equipo} = \frac{\text{humedad absoluta a la salida}}{1000} - \frac{\text{humedad absoluta a la aentrada}}{1000}$$

donde para 10 Kg de uchuva se tiene:

$$Hr = \frac{18,19 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{Kg aire seco}}}{1000} - \frac{10,99 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{Kg aire seco}}}{1000} = 0,072 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{Kg aire seco}}$$

Los valores de 18,19 y 10,99 se obtienen a partir de la carta psicométrica a la entrada y la salida con las temperaturas de operación y de 23°C y 55°C.

Para determinar el calor necesario para el proceso se tiene.

$$\text{calor} = \text{cantidad de agua a retirar} * \text{calor latente de vaporizacion a } 23^{\circ}\text{c}$$

Donde el calor latente de vaporización se obtiene de las tablas de vapor con la temperatura de entrada a 23°C que es la temperatura superficial del producto.

Donde se tiene:

$$\text{calor} = 7,2273 \text{ Kg} * 2447,02 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} = 18908,79 \text{ Kj}$$

Para calcular el flujo másico de aire se determina por.

$$\text{flujo masico de aire} = \frac{\text{masa de aire para el proceso}}{\text{tiempo estimado para el proceso}}$$

Donde se tiene:

$$\text{flujo masico de aire} = \frac{1073,2323 \text{ Kg}}{90000 \text{ s}} = 0,0119 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\text{volumen de aire nesario} = \text{masa de aire para el proceso} * \text{volumen especifico del aire a la salida}$$

Donde se tiene:

$$\text{Volumen requerido} = 1073,23 \text{ Kg} * 1,28 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} = 1373,73 \text{ m}^3$$

El valor de 1,28 se obtiene de la carta psicométrica con los datos de salida del colector.

A continuación, se calcula la energía útil del colector para poder determinar el área de trabajo (Eu).

$$\text{energía util del colector} = \text{flujo masico de aire} * \text{Cp del aire a } 55^\circ\text{C} * (\text{temperatura final} - \text{temperatura inicial})$$

Donde:

$$Eu = 0,0119 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1,02 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (55^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) = 0,38617 \text{ Kw}$$

Y el área determinada:

$$\text{area del colector} = \frac{\text{energía util del colector}}{(\text{eficiencia de secado} * \text{radiación solar})} = \frac{0,38617 \text{ Kw}}{0,6 * 0,3485 \frac{\text{Kw H}}{\text{m}^2 \text{ día}}} = 1,84 \text{ m}^2$$

La eficiencia es una eficiencia promedio debido a que estos procesos no son muy eficientes se determina un valor del 60% para este proceso de deshidratación.

El Cp del aire se determina por las tablas de vapor donde se obtiene un valor de 1,02 con la temperatura de salida del sistema 55°C a 1 atmósfera de presión.

En las siguientes tablas se tabulan los valores encontrados anteriormente por los cálculos térmicos.

Tabla 12: Calculo de variables para simulación del colector de placa plana.

cantidad de fruta (kg)	masa de H2O (Kg)	masa seca (Kg)	cantidad de agua después (Kg)	Cantidad de fruta total
1	0,8	0,2	0,0960	0,2960
2	1,6	0,4	0,1920	0,5920
3	2,4	0,6	0,2880	0,8880
4	3,2	0,8	0,3840	1,1840
5	4	1	0,4800	1,4800
6	4,8	1,2	0,5760	1,7760
7	5,6	1,4	0,6720	2,0720
8	6,4	1,6	0,7680	2,3680
9	7,2	1,8	0,8640	2,6640
10	8,00	2	0,9600	2,9600
11	8,8	2,2	1,0560	3,2560
12	9,6	2,4	1,1520	3,5520
13	10,4	2,6	1,2480	3,8480
14	11,2	2,8	1,3440	4,1440
15	12	3	1,4400	4,4400
16	12,8	3,2	1,5360	4,7360
17	13,6	3,4	1,6320	5,0320
18	14,4	3,6	1,7280	5,3280
19	15,2	3,8	1,8240	5,6240
20	16	4	1,9200	5,9200
21	16,8	4,2	2,0160	6,2160
22	17,6	4,4	2,1120	6,5120
23	18,4	4,6	2,2080	6,8080
24	19,2	4,8	2,3040	7,1040
25	20	5	2,4000	7,4000
26	20,8	5,2	2,4960	7,6960
27	21,6	5,4	2,5920	7,9920
28	22,4	5,6	2,6880	8,2880
29	23,2	5,8	2,7840	8,5840
30	24	6	2,8800	8,8800

Fuente: Autor

Tabla 12: Calculo de variables para simulación del colector de placa plana (continuación).

cantidad de agua a retirar (Kg)	masa final a deshidratar (kg)	masa final de agua (kg)	masa de aire para el proceso (Kg)
0,7727	0,2273	0,0273	107,323232
1,5455	0,4545	0,0545	214,646465
2,3182	0,6818	0,0818	321,969697
3,0909	0,9091	0,1091	429,292929
3,8636	1,1364	0,1364	536,616162
4,6364	1,3636	0,1636	643,939394
5,4091	1,5909	0,1909	751,262626
6,1818	1,8182	0,2182	858,585859
6,9545	2,0455	0,2455	965,909091
7,7273	2,2727	0,2727	1073,232323
8,5000	2,5000	0,3000	1180,555556
9,2727	2,7273	0,3273	1287,878788
10,0455	2,9545	0,3545	1395,202020
10,8182	3,1818	0,3818	1502,525253
11,5909	3,4091	0,4091	1609,848485
12,3636	3,6364	0,4364	1717,171717
13,1364	3,8636	0,4636	1824,494949
13,9091	4,0909	0,4909	1931,818182
14,6818	4,3182	0,5182	2039,141414
15,4545	4,5455	0,5455	2146,464646
16,2273	4,7727	0,5727	2253,787879
17,0000	5,0000	0,6000	2361,111111
17,7727	5,2273	0,6273	2468,434343
18,5455	5,4545	0,6545	2575,757576
19,3182	5,6818	0,6818	2683,080808
20,0909	5,9091	0,7091	2790,404040
20,8636	6,1364	0,7364	2897,727273
21,6364	6,3636	0,7636	3005,050505
22,4091	6,5909	0,7909	3112,373737
23,1818	6,8182	0,8182	3219,696970

Fuente: Autor

Tabla 12: Calculo de variables para simulación del colector de placa plana (continuación).

calor (Kj)	Flujo másico de aire (Kg/s)	volumen de aire necesario (m³)	energía útil del colector (Kw)
1890,8791	0,0012	137,3737	0,03862
3781,7582	0,0024	274,7475	0,07723
5672,6373	0,0036	412,1212	0,11585
7563,5164	0,0048	549,4949	0,15447
9454,3955	0,0060	686,8687	0,19309
11345,2745	0,0072	824,2424	0,23170
13236,1536	0,0083	961,6162	0,27032
15127,0327	0,0095	1098,9899	0,30894
17017,9118	0,0107	1236,3636	0,34756
18908,7909	0,0119	1373,7374	0,38617
20799,6700	0,0131	1511,1111	0,42479
22690,5491	0,0143	1648,4848	0,46341
24581,4282	0,0155	1785,8586	0,50202
26472,3073	0,0167	1923,2323	0,54064
28363,1864	0,0179	2060,6061	0,57926
30254,0655	0,0191	2197,9798	0,61788
32144,9445	0,0203	2335,3535	0,65649
34035,8236	0,0215	2472,7273	0,69511
35926,7027	0,0227	2610,1010	0,73373
37817,5818	0,0238	2747,4747	0,77235
39708,4609	0,0250	2884,8485	0,81096
41599,3400	0,0262	3022,2222	0,84958
43490,2191	0,0274	3159,5960	0,88820
45381,0982	0,0286	3296,9697	0,92681
47271,9773	0,0298	3434,3434	0,96543
49162,8564	0,0310	3571,7172	1,00405
51053,7355	0,0322	3709,0909	1,04267
52944,6145	0,0334	3846,4646	1,08128
54835,4936	0,0346	3983,8384	1,11990
56726,3727	0,0358	4121,2121	1,15852

Fuente: Autor.

Tabla 12: Calculo de variables para simulación del colector de placa plana (continuación).

área colector (m ²)	Eficiencia de secado (%)	velocidad de aire con caudal (m/s)	área con caudal (m ²)
0,1847	0,6000	2,1306	0,1300
0,3693	0,6000	4,2612	0,1300
0,5540	0,6000	6,3917	0,1300
0,7386	0,6000	8,5223	0,1300
0,9233	0,6000	10,6529	0,1300
1,1079	0,6000	12,7835	0,1300
1,2926	0,6000	14,9141	0,1300
1,4772	0,6000	17,0446	0,1300
1,6619	0,6000	19,1752	0,1300
1,8465	0,6000	1,8465	0,1300
2,0312	0,6000	23,4364	0,1300
2,2158	0,6000	25,5670	0,1300
2,4005	0,6000	27,6975	0,1300
2,5851	0,6000	29,8281	0,1300
2,7698	0,6000	31,9587	0,1300
2,9544	0,6000	34,0893	0,1300
3,1391	0,6000	36,2198	0,1300
3,3237	0,6000	38,3504	0,1300
3,5084	0,6000	40,4810	0,1300
3,6930	0,6000	42,6116	0,1300
3,8777	0,6000	44,7422	0,1300
4,0623	0,6000	46,8727	0,1300
4,2470	0,6000	49,0033	0,1300
4,4316	0,6000	51,1339	0,1300
4,6163	0,6000	53,2645	0,1300
4,8009	0,6000	55,3951	0,1300
4,9856	0,6000	57,5256	0,1300
5,1702	0,6000	59,6562	0,1300
5,3549	0,6000	61,7868	0,1300
5,5395	0,6000	63,9174	0,1300

Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se evidencia las características y valores térmicos para el producto agroindustrial seleccionado y el cálculo de los valores anterior mente presentados en la tabla número 12, basado en las ecuaciones anteriores y los datos obtenidos de las curvas psicométricas para las condiciones de simulación de acuerdo al proceso de deshidratación. Los datos presentados a Continuación son punto de partida para la selección del área, eficiencia y calor requeridos para realizar el proceso de simulación.

Tabla 13: Datos iniciales de acuerdo a condiciones ambientales y materia prima.

Uchuva colombiana		
Humedad natural (%)	80	0,8
Humedad deseada (%)	12	0,12
humedad retirada en el equipo (Kg vapor/ Kg aire seco)		0,0072
humedad absoluta salida (g vapor/ Kg aire seco)	18,19	0,01819
humedad absoluta entrada (g vapor/ Kg aire seco)	10,99	0,01099
calor latente de vaporización a 23 °C (Kj/Kg)		2447,02
tiempo estimado (s)	25 horas	90000
radiación solar (Kw hora/ m ² día)		4
Cp del aire (Kj / Kg * °C)		1,012
temperatura de entrada en ° C		23
temperatura de proceso en ° C		55
entalpia de entrada del aire (Kj/ Kg)		51,15
entalpia del proceso del aire (Kj/ Kg)		84,01
entalpia de salida del aire (Kj/ Kg)		84,01
densidad del aire (Kg /m ³)		1,2041
densidad aparente del uchuva (Kg /m ³)		1038
volumen especifico de aire a la entrada (m ³ /Kg)		1,28
velocidad de aire (m/s)		1,5
área de paso de aire		0,13

Fuente: Autor.

Con los datos iniciales presentados en la tabla número 13 y obtenidos de las variables psicométricas y las condiciones a las cuales se desea realizar la simulación se dispone a realizarse los cálculos térmicos para determinar valores que serán ingresados al programa ANSYS para su respectivo modelamiento y simulación, entre los que se encuentra calor perdido, coeficientes de transferencia de calor y coeficientes de radiación entre otros.

Tabla 14: Cálculos términos para simulación.

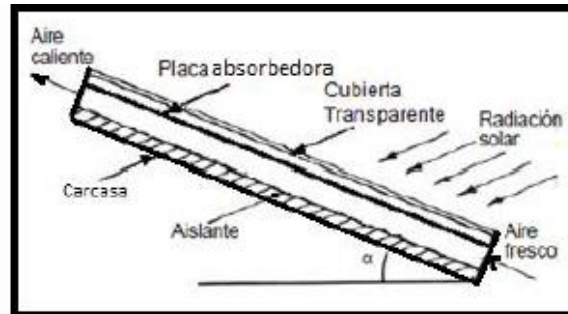
Datos calculados	
coeficiente de radiación (hr1) (W/m ² K)	5,81092272
Coeficiente Por convección aire-ambiente (hinf) (W/m ² K)	11,4
resistencia del vidrio R1 (m ² K /W)	0,05810264
coeficiente de radiación (hr2) (W/m ² K)	6,73432001
numero de grashof (Ra)	37618,5038
N u	4,73964041
convección natural (h1) (W/ m ² k)	3,76015929
resistencia del placa a sorbedora R2 (m ² K /W)	0,03949117
Coeficiente de tran. Calor parte superior (U sup) (W/ m ² k)	10,2465517
calor perdido en la parte superior (w)	264,883915
coeficiente de transferencia de calor en la parte inferior (W / m ² k)	1,37790316
coeficiente de transferencia de calor en la parte lateral (W / m ² k)	1,37791025
calor perdido en la parte inferior (w)	81,4176361
calor perdido en la parte lateral (w)	13,2279384
calor perdido total (w)	359,529489

Fuente: Autor.

5.1.17 Colector de placa plana:

Un colector solar de placa plana es un equipo diseñado para captar la radiación solar y convertirla en forma de calor, para transferirla por procesos de convección a fluidos como el aire que circula por este sistema de forma natural o forzada; es aplicado principalmente en el sector agrícola en procesos de deshidratación, por ser un equipo rentable, eficiente y de bajo costo. [20,30]

Figura 11: colector de calor de palca plana.



Fuente: Luis Pérez, Manual y cálculo para calentadores solares, 2008

Para la selección del aislamiento del colector se dispone de la siguiente tabla donde se muestra algunos materiales que funcionan como aislamiento térmico en procesos industriales. Par la selección se toma en cuenta la suma de todas las características presentes en la tabla para un mejor rendimiento del material seleccionado. En este caso el material seleccionado es la fibra de vidrio, aunque tiene un costo muy elevado comparado con los demás materiales encontrados comercialmente.

Tabla 15: Propiedades del aislante térmico.

CARÁCTERÍSTICAS		POLESTIRENO EXPANDIDO (tecopor)	FIBRA DE VIDRIO	LANA MINERAL	ESPUMA DE POLIURETANO	SILICATO DE CALDO
		Sj1	Sj2	Sj3	Sj4	Sj5
Propiedades físicas y mecánicas	Resistencia a la compresión [MPa]	0,190	1,524	1,143	0,762	1,905
	Absorción de humedad [vol]	0,429	0,286	0,333	0,286	0,048
	Densidad [Kg/m3]	0,952	0,762	0,571	0,857	0,095
Propiedades térmicas	Conductividad térmica [W/mK]	2,000	1,714	1,714	2,571	0,286
	Temperatura max [°C]	0,143	0,714	1,429	0,286	1,143
Costo	\$ (m²)	2,581	1,419	0,476	0,138	1,429

Fuente: Catalogo propiedades de los aislantes térmicos, 2006

Para el cálculo del espesor del aislante se tiene presente los siguientes valores que aparecen en la tabla que se presenta a continuación con el fin de poder calcular las resistencias de las paredes basadas en las conductividades térmicas de los materiales usados.

Tabla 16: Algunas propiedades térmicas de las paredes del colector.

Temperatura exterior del colector (°C)	37
Temperatura final del proceso (°C)	55
Espesor de lámina de aluminio (m)	0,004
Conductividad térmica del aluminio 6061-T6 W/m °c	205
Conductividad térmica de la fibra de vidrio (aislante) W/m °c	0,05
Área de la lámina de aluminio 1 de 4 mm de espesor (m ²)	2
Área de aislante térmico (m ²)	2
Área de la lámina de aluminio 2 de 4 mm de espesor (m ²)	2
calor útil del colector (w)	386

Fuente: Autor.

Basándose en los datos que se encuentran en la tabla número 12 se calcula las resistencias térmicas que ofrecen los materiales para así poder determinar el valor que se debe aplicar al aislamiento térmico del colector como se muestra en la tabla número 17 que se encuentra a continuación.

Tabla 17: Resistencia térmicas y espesor de aislamiento térmico.

resistencia de lámina 1	9,7561E-06		
resistencia aislante	0,1		
resistencia lamina 2	9,7561E-06	3860	
diferencia de temperatura (°c)	18	0,00753171	
espesor del aislante (m)	0,0466126	0,46612612	mm
suma de las resistencia 1 y 2	1,9512E-05		

Fuente: Autor.

Ec.15

$R_1 = \text{Espesor de la lámina de aluminio} / (\text{conductividad térmica del aluminio} * \text{área de la lámina de aluminio})$

Ec.16

$R_e \text{ aislante} = \text{Conductividad térmica de la fibra de vidrio (aislante) W/m °c} * \text{Área de aislante térmico (m}^2\text{)}$

Ec.17

$\text{Espesor de aislamiento} = \text{diferencia de temperatura (°c)} / \text{resistencia lamina 2}$

Para determinar el material de cubierta del colector de placa plana se tiene encuentra el mismo criterio para la selección del material del aislamiento térmico mencionado anteriormente, donde la suma de las propiedades de cada material es la más acorde para el proceso de deshidratación, por tal motivo la sumatoria de estas características arroja como resultado el vidrio templado como material

óptimo para ser utilizado en la cubierta del colector como se muestra continuación.

Tabla 18: Materiales para la placa transparente.

CARÁCTERÍSTICAS		VIDRIO TEMPLADO	POLIETILENO	POLIETILENO UV Y TÉRMICO	POUCARBONATO	POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO
		§j1	§j2	§j3	§j4	§j5
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tracción	0,43	0,29	0,07	0,64	0,71
	Resistencia a la flexión	0,36	0,07	0,04	0,18	0,25
Propiedades térmicas	Transmisión expansión térmica	0,16	0,09	0,11	0,13	0,04
	Conductividad térmica	1,14	0,57	0,29	0,14	0,14
	Temperatura max	1,25	0,38	0,25	0,63	1,00
Propiedades Físicas	Densidad	0,07	0,57	0,64	0,43	0,29
Propiedades ópticas	Transmisividad	1,43	0,71	1,43	1,79	0,18
	Refracción	1,61	0,80	0,96	0,16	0,64
Costo	\$	0,11	1,07	1,07	0,11	0,54
MANEJO DEL MATERIAL		0,32	0,11	0,11	0,86	0,86

Fuente: Catalogo propiedades de los aislantes térmicos, 2006

A continuación, se muestran las propiedades del aire a la entrada del equipo a condiciones ambientales y de igual forma se muestra las condiciones de salida del aire al final del colector se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Condiciones del aire a la entrada y salida del colector.

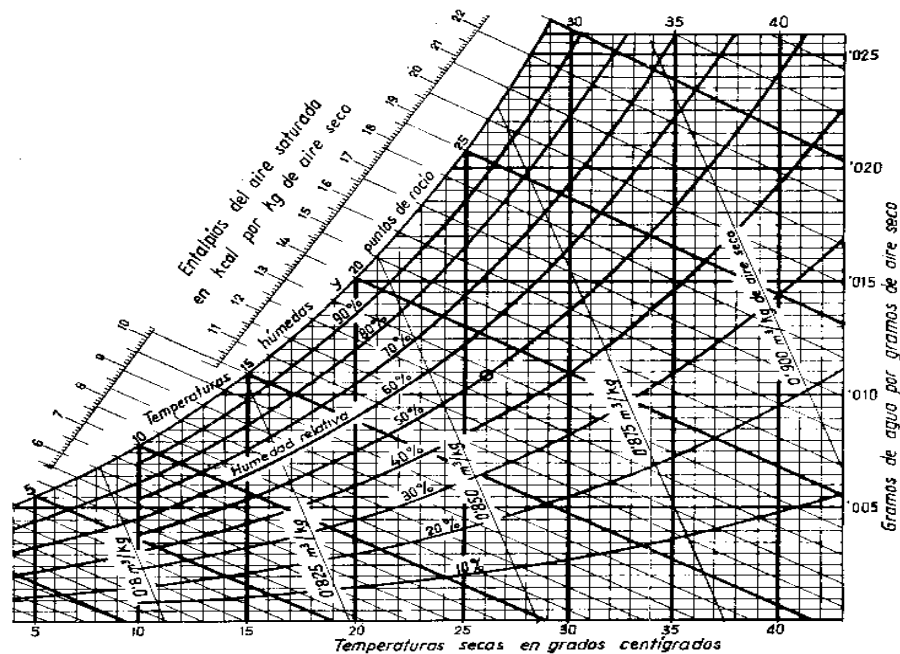
humedad absoluta salida (g vapor/ Kg aire seco)	18,19	0,01819
humedad absoluta entrada (g vapor/ Kg aire seco)	10,99	0,01099
volumen específico de aire a la entrada (m ³ /Kg)		1,28
entalpia de entrada del aire (Kj/ Kg)		51,15
entalpia del proceso del aire (Kj/ Kg)		84,01
entalpia de salida del aire (Kj/ Kg)		84,01
humedad natural (%)	53	0,53
humedad deseada (%)	11	0,11
radiacion solar (Kw hora/ m ² dia)		4,5

Fuente: Autor.

5.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Diagrama Psicométrico:** La psicrometría estudia las propiedades de termodinámicas del aire húmedo, empleada para el proceso de deshidratación y el efecto de la humedad en los materiales y el confort humano.

Figura 12. Diagrama Psicométrico.



Fuente: M. Monroy Soleamiento e irradiación infrarroja en cerramientos.

- **Temperatura de Bulbo Seco:** Es la temperatura medida del aire a condiciones atmosféricas a la entrada del sistema.
- **Volumen Húmedo:** Se define como los metros cúbicos de aire húmedo de un kilogramo de aire seco.
- **Colector solar:** Es un dispositivo compuesto por una placa captadora y un vidrio receptor para recoger energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.
- **Entalpia:** Es una magnitud de la rama de la termodinámica cuya representación expresa una cantidad de energía absorbida o cedida por algún sistema termodinámico, expresado en otros términos es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
- **Entropía:** La entropía es una magnitud física la cual permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para la generación de trabajo, es decir el calor perdido por la segunda ley de la termodinámica

se puede expresar como la entropía del sistema puesto que es el calor que no se genera en trabajo para el sistema.

- **Radiación:** Es el fenómeno por el cual la energía en forma de ondas electromagnéticas o algunas partículas subatómicas a través de algún medio sea material o fluido, esta clase de energía se propaga en forma de ondas electromagnéticas, mientras que la radiación es transmitida en forma de partículas que se mueven a unas altas velocidades en algún medio común o hasta en el mismo vacío, conteniendo un elevado transporte de energía.
- **Energía Renovable:** Se considera energía renovable a las fuentes inagotables, sea por una inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de generar energía por medios naturales diferentes a los convencionales.
- **Humedad:** Se considera humedad al agua que existe o impregna un cuerpo o el vapor presente en la atmosfera. Esta agua está presente en todos los cuerpos vivos, la humedad del aire es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica y las características propias del aire, es importante que el aire tiene una característica fundamental y es la humedad absoluta o relativa siendo esta la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.
- **Punto de Rocío:** Es la temperatura a la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenida en el aire, produciendo rocío o niebla o en caso de que la temperatura sea suficientemente baja.
- **Deshidratación:** Es una alteración del agua y algunas sales que la componen en el plasma de un cuerpo, esta se puede producir por una exposición continua al calor donde la temperatura elevada evapora las porciones mínimas de agua presente en el medio reduciendo su composición y generando menos humedad en el aire.

5.3. ESTADO DEL ARTE

En el proceso de determinación de redes de intercambiadores de calor, las técnicas empleadas habitualmente exigen una primera etapa de determinación de la Máxima Energía Recuperable. Por este motivo en 1999 se hizo un estudio por parte de (SOUTO, J. RODRIGUEZ; J. CASARES) titulado *“Análisis de redes para intercambiadores de calor”*, en este estudio se describieron diversas técnicas basadas en métodos termodinámicos como el método Simplex para Redes o el método Out of Kilter (OKA), basado en técnicas de programación lineal. Estos sistemas permiten abordar la inclusión de utilidades múltiples con modificaciones mínimas. En conclusión al exponer los resultados efectivamente el método Simplex para Redes es de utilización sencilla cuando se aplica a problemas que no contienen utilidades múltiples, debido a que necesita una solución inicial factible, puede complicarse demasiado cuando se introducen utilidades múltiples u otro tipo de restricciones. El método OKA, en cambio, no necesita una solución inicial factible, ya que el algoritmo descrito transforma la solución inicial en factible, al tiempo que se va acercando progresivamente el óptimo. Esta ventaja del método OKA evita el cálculo necesario para asignar una solución inicial factible al problema, pero, en cambio, necesitará algunas iteraciones más para alcanzar la solución óptima [20].

La optimización de redes para el intercambio de calor es fundamental para transformar la energía en un 60% de calor. Debido a que este el aprovechamiento no es total se realizó un estudio de (A. LOZANO; M. NABARRO) titulado *“optimización local de redes de intercambio de calor de estructura fija”*, realizado en 2000, este estudio propuso una representación de estas redes mediante matrices de incidencia, tal representación es utilizada posteriormente en una implementación sobre el software de optimización GAMS. Además se trata el modelado matemático de problemas de optimización local de redes de intercambio de calor de estructura fija y los problemas numéricos implícitos en el modelado. Finalmente se toman dos ejemplos de aplicación para probar un modelo y su implementación. Este proceso dio como resultado la obtención de información necesaria para entender el problema de optimización de redes de intercambio de calor y adquirir habilidad, sensibilidad y practica en el planteamiento, solución y análisis de problemas de optimización local de redes de intercambio de calor [21].

En la industria el diagnostico energético para el ahorro de energía se a disparo en los últimos años, debido a esta alza en el 2000 se realizó un estudio por parte de (L.F.ACEBES; A. MERINO; R.ALVES) el cual se tituló *“Modelo estacionario del proceso dentro de un colector de calor y algoritmos de recopilación de datos basados en técnicas de optimización”*, en este estudio se proporciona información acerca de variables no medidas, detectando de igual manera desviaciones de las variables medidas, arrojando como resultados índices

relacionados con la eficiencia energética. En conclusión los resultados obtenidos son aparentemente consistentes en eficiencia de colectores de calor de todo tipo y varían en 1.5% con respecto a los prácticos [22].

Se ha desarrollado el análisis del diseño de la tecnología "pinch", y en éste se describe cómo debe adaptarse esta tecnología para las situaciones en las que se desee realizar la mejora de una red de intercambiadores ya existente en la planta industrial. Estudio realizado por (D. SILÍO; C. RENEDO) en el año 2003. "Modificaciones en una red previa de intercambiadores de calor". En una planta industrial con una red de intercambiadores de calor y servicios auxiliares ya instalada, es posible que se desee realizar una modificación de la misma para proceder a su ampliación y mejora introduciendo nuevos intercambiadores de calor. Para comprobar si es posible una mejora en la red, se debe realizar la tabla problema de la instalación original, es decir, sin intercambiadores de calor, y la temperatura de aproximación considerada debe ser la mínima que exista en los intercambiadores ya instalados; si los resultados de la tabla, necesidades de calentamiento y refrigeración, son menores que los ofrece la red de intercambiadores ya instalada, entonces es posible realizar una mejora de la red aplicando la tecnología pinch [23].

Un tubo de termosifón cerrado de dos fases es un dispositivo altamente eficiente para la transferencia de calor. El calor se transfiere en una forma latente (altas tasas de calor) a través de distancias considerables y extremadamente pequeño descenso de la temperatura entre la sección de evaporador (región calentada) y el condensador, por este motivo en el 2004, se realizó un estudio (S.A. NADA, H. H. EL-GHETANY B, H.M.S. HUSSEIN) y un Departamento de Ingeniería Mecánica, Benha High Institute of Technology, Benha 13512, Egipto Departamento de Energía Solar, Centro Nacional de Investigación, El-Tahrir St., Dokki, Giza 12622, Egipto) titulado "*realización de una, de dos fases con sistema cerrado termosifón para colector solar con una concha y un intercambiador de calor de tubos*" esta investigación se basó en transferencia desde el colector al agua de refrigeración que se lleva a cabo por el proceso de evaporación del fluido de trabajo del tubo de calor, que era agua, en la sección del evaporador del termosifón y la condensación del vapor mediante la realización de su calor latente al agua de refrigeración a través de la Shell y el intercambiador de calor de flujo transversal del tubo. El evaporador de los tubos de termosifón se compone de 14 tubos en los que las aletas de absorción se sueldan entre sí. Las secciones de un condensador de termosifón se colocan dentro de una cáscara con tubos de un intercambiador de calor de flujo transversal, donde el flujo de agua de refrigeración va en la dirección transversal a las secciones del condensador de los tubos de termosifón. En conclusión se muerta Los resultados experimentales muestran una tasa de flujo de masa de agua de refrigeración óptima en la que el colector la eficiencia es un máximo. Esta tasa de flujo de

masa de agua de refrigeración óptima de acuerdo bien con el ASHRA Estándar caudal másico para probar colectores solares de agua de placa plana convencionales (es decir $Mw \frac{1}{4} 0:02 A$, en kg/s) [24].

La deshidratación osmótica constituye una tecnología con amplias perspectivas de aplicación en el procesamiento de alimentos. Se realizó un estudio el año 2005 llamado “Aplicación de un diseño rotatable en el modelado empírico de la deshidratación osmótica en frutas”, por los autores (FELIX MILLAN; ZOITZA CUEVAS). Se seleccionaron cuatro tipos de fruta (banana, melón, papaya y manzana) y se desarrolló un diseño rotatable para evaluar las manifestaciones macroscópicas (pérdida de agua y ganancia de sólidos) de los principales fenómenos de transporte que ocurren en la deshidratación osmótica y modelar empíricamente el proceso. Se ajustaron modelos polinomiales de segundo orden y se evaluaron estadísticamente. La mayoría de los modelos exhibieron habilidad predictiva para caracterizar el proceso. Adicionalmente, se realizó un análisis canónico y se estimó el punto estacionario de las superficies, encontrándose una amplia región de condiciones de operación equiparables al punto estacionario, dada la cercanía de las condiciones de diseño con el óptimo del proceso, a partir de las cuales se pueden tomar potenciales decisiones prácticas para incrementar la eficiencia de la deshidratación osmótica en las frutas estudiadas [25].

El tubo de calor sin mecha, que es esencialmente una fase de dos tubos de termosifón cerrado, es un dispositivo altamente eficiente para la transmisión de calor. En el 2007 se realizó un estudio por (H.M.S. HUSSEIN); Solar del Departamento de Energía, el Centro Nacional de Investigación, El-Tahrir St., 12622 Dokki, Giza, Egipto) titulado “*investigación teórica y experimental de tubos de calor sin mecha colector solar de placa plana con intercambiador de calor de flujo cruzado*”, en este trabajo Se utiliza la evaporación y la condensación de su fluido de trabajo interno para el transporte de calor, Por este motivo tiene la capacidad de transferir calor a elevadas temperaturas y consideraciones extremadamente pequeñas entre la sección del evaporador (climatizada región) y la sección del condensador (enfriado por región) de la pipa. Esto hace que el tubo de calor sin mecha sea más recomendado para ser utilizado en sistemas solares, principalmente en colectores solares. Esta es una herramienta para predecir el rendimiento térmico transitorio de tubos del calor sin mecha, colectores solares de placa plana con intercambiador de calor de flujo. En los resultados experimentales y teóricos indican que hay un caudal óptimo de agua de refrigeración de masas para un flujo transversal. Esta tasa de flujo de masa óptima es de acuerdo con la ASHRAE tasa de flujo de masa estándar para las pruebas convencionales de placa de colectores solares planos de agua [26].

El diseño de una planta de procesos está presentado para el control de temperatura en un intercambiador de calor. Estudio llamado “Diseño de un banco

de pruebas para el control de temperatura y flujo en un intercambiador de calor”, realizado por (C. CHAMORRO; L. MENESES), en el año 2008. La idea del estudio fue usar el proceso de flujo y variación de temperatura, como variables manipuladas. El fluido de trabajo es agua común, variando el flujo másico del fluido que pasa por el intercambiador de calor, y analizando controladamente las temperaturas de las entradas y salidas, a ver en qué condiciones se podría encontrar según el flujo de masa, las mejores temperaturas a la salida del proceso. Esta con el propósito de simplificar el diseño y reducir los costos de operación y mantenimiento [27].

La eficiencia energética de los colectores solares ha contribuido al desarrollo de nuevas formas de obtención de energía para diferentes propósitos. Con estos avances en la historia, en 2008 se realizó un estudio por (EQUIA LOPEZ; T. VIDART) titulado “*crecimiento de biofouling en colectores de calor refrigerados con agua*”, en este estudio se diseñó y construyó una planta piloto, en la cual cada uno de los tubos funciona como sistema independiente. En cada uno de los tubos se controlan parámetros como presión, temperatura y caudal, que definen indirectamente la capa de biofouling depositada en el interior del tubo, De igual forma se tomaron diferentes factores que se encuentran involucrados dentro del proceso tales como coeficientes de transferencia de calor y propiedades de fluidos en tránsito siendo estos mencionados variables no relevantes para el estudio realizado. Llegando a la conclusión de que el seguimiento de estos parámetros permitió establecer los valores de la resistencia a la transmisión de calor, resistencia friccional y velocidad del fluido [28].

Las frutas agroindustriales y de exportación presentan más vulnerabilidad a la oxidación por la gran cantidad de humedad que poseen en su interior. Debido a este problema en 2009 se realizó un estudio por (MORALES QUINTANA; BULA SILVERA) la cual dicha investigación llevo como título “*proceso de transferencia de calor convectivo en nano-fluidos por convección forzada en un intercambiador de tubos concéntricos*”, en este estudio se evaluó de manera experimental cómo es la variación de la conductividad térmica debido al uso de nano-partículas, realizando un modelo experimental para número de Nusselt logrando un resultado donde se demuestra una expresión matemática de acuerdo al tipo de fluido y comportamiento presentado. Como conclusión se estableció que los factores significativos de cambio de las propiedades dentro del proceso de transferencia de calor tales como temperatura, presión y humedad varían según el tipo de flujo, demostrando que los fluidos más turbulentos generan unas tasas de transferencia de energía en forma de calor más altas que los fluidos laminares [29].

Con el fin de entregar altas temperaturas con una buena eficiencia se requiere un colector solar de alto rendimiento. Los sistemas con luz, estructuras y tecnologías de bajo costo para aplicaciones de calor de proceso hasta 400 C se

podría obtener con colectores solares cilindro-parabólicos, debido a este alto rendimiento en el 2009 se llevó a cabo un estudio por (O. GARCÍA-VALLADARES; N. VELÁZQUEZ), un Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s / n, Temixco, Morelos 62580, México) titulado “*Simulación numérica de colectores solares cilindro-parabólicos: Mejora el uso de flujo de contracorriente concéntricos circulares intercambiadores de calor*”, en este estudio se propuso sistema numérico computacional para definir rangos de temperatura donde se demostraran las salidas de flujo de 400 grados centígrados o más para aplicaciones industriales, tales como secado de mercancía, procesos de calentamiento industrial y como combustible de vapor caliente para planas térmicas. En conclusión se diseñó un modelo matemático riguroso teniendo en cuenta la geometría, aspectos dinámicos ópticos, térmicos y de fluido de un solo paso, la precisión del modelo de simulación detallada se demuestra por la comparación de un incremento de la temperatura, eficiencia y pérdidas térmicas con los datos experimentales de estado estacionario para un sistema de energía solar de un solo paso con el aire de vacío en el espacio entre el receptor y el espacio de trabajo con un agua de una sola fase con aceite térmico [30].

La deshidratación es uno de los métodos más utilizados para la conservación de frutas y vegetales, mediante su uso se logra extender los períodos de almacenamiento, preservando siempre la calidad de los productos. Este trabajo se realizó el año 2010 por los ingenieros (SAHYLIN MUÑÍZ; ANNIA GARCIA) titulado “*Evaluación de la calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) Variedad Maradol roja deshidratada utilizando el método de deshidratación osmótica (DO)*” El trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de la fruta (Carica papaya) después de ser sometida a un proceso de deshidratación osmótica. Durante el análisis se determinó, masa, firmeza, talla, pH y contenido de sólidos solubles, posteriormente la fruta fue troceada en piezas para ser sometidas a un tratamiento de deshidratación osmótica a 60 °C durante un tiempo de 4 horas. Además, se determinaron los valores de masa y firmeza de cada una de las piezas antes y después de ser deshidratadas para determinar la pérdida de peso y la variación de la firmeza durante el proceso. Como principales resultados se obtuvo que el producto deshidratado por DO experimento una pérdida de peso y una variación de firmeza de 65,6% y 82,09% respectivamente, con un nivel de aceptación de 98% y un período de conservación de 90 días [31].

Se realizó un estudio para elaborar y evaluar el valor nutricional de la harina de fruta de pan deshidratada a una temperatura óptima de secado, utilizando un secador de bandejas para determinar esto se estableció la concentración de vitamina C como indicador de eficiencia del proceso de secado. Estudio realizado por (CARRAZCO QUISHPE; YESENIA DE LOS ANGELES) el año 2011 y titulado” *Elaboración y Evaluación Nutritiva de la Harina de Fruta de Pan*

(artocarpus altilis) Obtenida por Proceso de Deshidratación”. Se analizó el contenido de vitamina C en la fruta de pan fresca y deshidratada a tres temperaturas (60, 70, 80°C), por cromatografía líquida de alta resolución. Los resultados indicaron que a mayor tiempo y temperatura de secado, mayor pérdida de vitamina C, demostrando que la temperatura óptima de secado es a 70°C. Según el análisis proximal la harina contiene mayor valor nutricional, debido a la concentración de solutos durante el proceso de secado [32].

Los procesos tecnológicos de deshidratación han sido algunos de los métodos más utilizados para la conservación de frutas y vegetales. El trabajo realizado por (ANTIHUS HERNANDEZ; LAZARO GONZALES) llamado “Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa)” realizado el año 2012, tiene como objetivo *analizar comparativamente la cinética de la deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña para la Agroindustria*. Durante el análisis se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las frutas frescas y de los cubos deshidratadas (masa, firmeza, talla, pH, y contenido de sólidos solubles), posteriormente las frutas fueron troceadas en cubos para ser sometidas a tratamientos de Deshidratación Osmótica (60 °C durante 10 h) y por Deshidratación por Flujo de Aire Caliente (60°C durante 5 h). Se monitoreó además la variación de la masa, la firmeza y el porcentaje de pérdida de peso durante ambos procesos [33].

El proceso de secado se ha introducido en la industria principalmente para el desarrollo y conservación de productos agro-industriales que se encuentran en almacenamiento. Por ende en el año 2012 se realizó un estudio por el señor (C. BETANCOURT CASTELLANOS) titulado “Diseño y simulación de una máquina secadora de forrajes múltiples para la elaboración de harina y procesamiento de balanceado para ganado con capacidad de 400 Kg/H para la empresa ENSIFOR S.A.”, este estudio se propuso utilizar la mayor cantidad de los nutrientes de las hojas, sin que estos pierdan sus propiedades cuando la hoja esté en proceso de deterioro, ya que apenas se le separa de la planta, comienza el proceso degenerativo. Para evitar esto, se requiere secado inmediato con una secadora rotatoria de flujo continuo directo, para que el producto tenga sus nutrientes intactos, estas se las puedan almacenar y posteriormente procesar, haciendo buen uso de las mismas en balanceados, pellets y otros. En el proceso de secado se va a extraer la humedad de forrajes en forma directa, porque el aire que funciona como fluido de trabajo que transporta calor, va a contener la humedad de las hojas en un desarrollo rápido, evitando la degeneración del producto. Los combustibles más utilizados son el GLP y el diesel, este último con ayuda de un intercambiador de calor para evitar la mezcla de aire con los gases de la combustión [34].

Se realizó un trabajo cuyo objetivo fue determinar experimentalmente los parámetros necesarios para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la Uchuva (*Physalis peruviana L.*). Estudio realizado por el ingeniero mecánico (JUAN CARLOS MAHECHA GODOY) titulado "Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (*physalis peruviana l.*)". Para ello se evaluó el proceso de deshidratación con aire caliente para dos pre-tratamientos: escaldado, osmodeshidratado y testigo sin ningún tratamiento especial. Como parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva se determinaron las ecuaciones para el Contenido de Humedad en Equilibrio (CH_{eq}), velocidad de secado, calor latente de vaporización y calor específico del producto. Se evaluaron las propiedades físico-químicas y sensoriales de la uchuva deshidratada antes y después del proceso y como resultado se obtuvo que el análisis estadístico de los datos mostro que las ecuaciones generadas a partir del modelo matemático tienen un buen ajuste respecto a los datos experimentales, constituyéndose en una valiosa herramienta para la predicción de procesos de deshidratación de uchuva y que la temperatura de aire tiene alta influencia en la velocidad de deshidratación de la fruta, a mayor temperatura la velocidad de secado aumenta. [41]

5.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

5.4.1 FUNDAMENTOS CONSTITUCIONALES.

- Ley 697 de 2001 del Senado de la Republica.

Fomentar el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Esta ley declara el uso racional y eficiente de energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, para asegurar el abastecimiento energético adecuado y la competitividad económica colombiana y promocionar el uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente. El estado debe comprometerse a crear infraestructura adecuada para el diseño de estos sistemas a corto, mediano y largo plazo. El Ministerio de Minas y Energías será el encargado de promover y organizar el desarrollo de esta ley. [35]

- Ley 09 de 2012 del Senado de la Republica.

Promover e Incentivar el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos.

Esta ley tiene como objeto promover e incentivar el uso de paneles solares y fotovoltaicos para así obtener la generación de energías que no sean contaminantes y reducir los consumos energéticos. Principalmente enfocado en instalar estos paneles en edificaciones nuevas o que estén en proceso de reconstrucción, ya sean de sector privado o público, especialmente viviendas de interés social, hospitales, universidades, colegios, clínicas y hoteles. Vigilado y dirigido por el Ministerio de Minas y Energías, que estará a cargo de la reglamentación para el funcionamiento de dicho proceso de instalación y uso del panel. [36]

- Ley 1665 16 Julio de 2013 del Congreso de la Republica.

Aprobación del estatuto de la agencia internacional de energías renovables (IRENA) hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009.

Esta agencia promoverá la implantación sostenible de todas las formas de energía renovable, teniendo en cuenta las prioridades nacionales y la conservación del medio ambiente al mitigar los recursos y reducir la deforestación. Centrándose en materia de tecnología, de los avances del país con respecto a las energías renovables. [37]

5.4.2 NORMATIVIDAD COLOMBIANA.

- NTC 2774, Evaluación de Materiales Aislantes Térmicos Empleados en Colectores Solares, 3 octubre 1990.

Esta norma establece una metodología de ensayo para evaluar algunas propiedades de los materiales aislantes térmicos empleados en colectores solares con razones de concentración menores que 10. Las propiedades en cuestión son: pH, características de ignición de la superficie, absorción de humedad, absorción de agua, resistencia térmica, contracción o dilatación lineal, rendimiento con la superficie caliente y envejecimiento acelerado. Esta norma solo describe el procedimiento para la revisión del pH. Para las demás pruebas se deben verificar los procedimientos según las normas americanas ASTM. Como la ASTM C518, ASTM C177, ASTM C687, ASTM C209, ASTM D2842, ASTM C553 y ASTM E84. [38]

- NTC 1736 Energía Solar. Definición y Nomenclatura, 24 agosto 2005.

Esta norma define los términos generales y nomenclatura utilizada en normas relativas a energía solar. Igualmente se incluye las definiciones particulares aplicables a la energía solar térmica. La norma lista las definiciones y conceptos generales (absorción, emitancia, reflectancia.), conceptos de radiación y ángulos (afelio, ángulo de hora solar, declinación solar, flujo radiante, irradiación.), y medición de la radiación (anillo de sombra, fotómetro.). Incluye una clasificación de los colectores solares, de sus tipos de instalaciones, así como definiciones y gráficas de sus principales componentes. Esta norma es específica para los colectores solares, empleados para obtener energía térmica por medio de la energía solar. [38]

- NTC 2775 Energía Solar Fotovoltaica. Terminología y Definiciones, 24 agosto 2005.

Esta norma contiene definiciones de acuerdo a sistemas fotovoltaicos, acordes con la simbología que se encuentra en la norma NTC 1736. Define conceptos como arreglo fotovoltaico, batería, potencia pico, celdas fotovoltaicas, respuesta espectral, eficiencia de conversión, corriente de carga, entre otros términos generales. Esta norma no incluye especificaciones necesarias o clasificación de sistemas fotovoltaicos. Solo definiciones y terminología. [38]

5.4.3 CODIGO ASME, SECCION VIII, Div. 1, TEMA CLASS “R”

El código ASME sección VIII, define el todo lo que tiene que ver con respecto a la construcción y el diseño de recipientes a presión, en diferentes tipos de condiciones, entre ellas, condición de temperatura, como lo son los colectores y

calentadores solares cerrados, donde se describe todas sus condiciones de utilización y sus restricciones, de mano con el código ASME sección VII, el cual contiene todos los materiales que se necesitan usar para el diseño de estos equipos, con sus modos de utilización. [39]

5.4.4 NORMA AMERICANA ASTM

- Norma ASTM C518, Método de Prueba Estándar para las Propiedades en Estado Estacionario de Transmisión Térmica Mediante el Aparato medidor de flujo de calor.

Este método de ensayo proporciona un medio rápido para la determinación de las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario de aislamientos térmicos y otros materiales con un alto nivel de precisión cuando el aparato ha sido calibrado apropiadamente. La calibración correcta del aparato de medidor de flujo de calor se requiere que esté calibrado usando materiales que tiene propiedades de transmisión térmica anteriormente determinados por los métodos de ensayo C177, o C1114. [40]

- Norma ASTM C177, Método de Prueba Estándar para Medidas Calor en Estado Estacionario y Propiedades de Transmisión Térmica por Medio de Colectores de Calor.

Este método de ensayo cubre la medición de flujo de calor y las condiciones de prueba asociados para colectores planos. El colector de calor plano caliente se utiliza generalmente para medir el flujo de calor en estado estacionario a través de materiales que tienen una conductividad térmica baja y comúnmente denotado como aislantes térmicos. La precisión de la medición aceptable requiere una geometría de la probeta con una gran relación de área de espesor. [40]

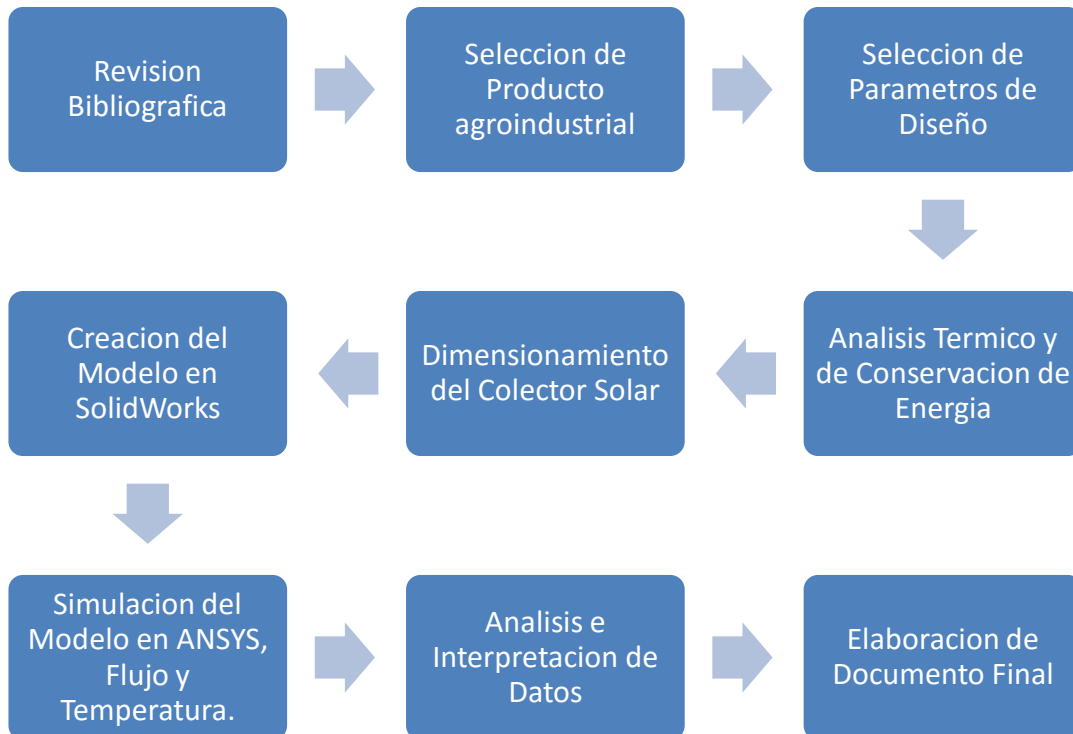
- Norma ASTM C687, Práctica Estándar para la Determinación de la Resistencia Térmica de un Recipiente Vaciado Aislado.

La resistencia térmica de un aislamiento está relacionada con la densidad y el espesor del aislamiento. Es deseable obtener datos de pruebas sobre resistencias térmicas en espesores y densidades relacionadas con los usos finales del producto. [40]

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Metodología

El diseño del colector solar de placa plana para la deshidratación de productos agroindustriales se realizará de acuerdo a la siguiente metodología:



6.2 Revisión Bibliográfica.

Búsqueda y consulta en bases de datos de antecedentes, trabajos, conceptos y normas acerca de deshidratación por medio de colectores solares y su aplicabilidad en Colombia.

6.3 Selección del Producto Agroindustrial.

Para realizar el proceso de deshidratación, se optó principalmente por la uchuva, puesto que tiene un alto contenido de humedad y llevarla al porcentaje requerido facilitaría su almacenamiento y distribución, y porque es una fruta muy cotizada en el mercado internacional y pocos países la exportan.

6.4 Selección de Parámetros de Diseño.

Para realizar los cálculos y el diseño adecuado se deben tener en cuenta ciertos parámetros primordiales, datos claves y limitantes según el área de trabajo y requerimientos, por ejemplo: cantidad de fruta a deshidratar, humedad inicial y final del producto, condiciones atmosféricas del área de trabajo.

6.5 Análisis Térmico y de Conservación de Energía.

Para el análisis térmico se parte de ecuaciones principales con las leyes de la termodinámica, la ley de conservación de energía y las ecuaciones de transferencia de calor de conducción, convección y radiación. Con esto se busca hallar eficiencia, calor útil necesario, cantidad de agua a retirar, temperatura a la salida del colector, radio crítico de aislamiento y el dimensionamiento del mismo mediante su área.

6.6 Dimensionamiento del Colector Solar.

Según las especificaciones dadas y el análisis térmico previo, se conoce el área del colector necesaria para reducir la humedad total de 10 kg de uchuva a un 12%, para un tiempo de exposición de 8 horas, la cual es 1.8 m², con esta área se procede a plantear las partes necesarias del colector y cómo será la distribución del mismo.

Creación del Modelo en SolidWorks.

Se procede a construir las piezas necesarias del colector con las medidas adecuadas basadas en la distribución hecha para el área de 1.8 m², sabiendo que será un colector de placa plana rectangular con aislamiento para evitar la pérdida de calor, teniendo cada pieza dimensionada el paso a seguir es el ensamblaje de los componentes para tener como producto final el modelo del colector solar de placa plana.

6.7 Simulación del Modelo en ANSYS, Flujo y Temperatura.

Con el modelo predispuesto mediante Solidworks, se procede a importarlo al software ANSYS en su plataforma workbench, en este se usarán dos herramientas por separado pero consecuentes la una con la otra.

La herramienta "Fluid Flow (Fluent)" que permitirá realizar el análisis de flujo dentro del colector, este principalmente para verificar que no haya turbulencia dentro del colector lo cual produciría pérdidas y tendría que haber un replanteamiento del diseño.

La herramienta “Transient Thermal” permitirá realizar el análisis térmico del colector, el comportamiento del mismo según los parámetros atmosféricos que se tengan (presión, temperatura ambiente, radiación) y el tiempo de exposición al cual vaya a trabajar el deshidratador.

6.8 Análisis e Interpretación de Datos.

Al momento de haber recopilado toda la información y los datos de la simulación se procederá a analizar los datos obtenidos, la comparación de dichos datos teóricos que se obtuvieron mediante fórmulas, con los datos de la simulación que tiende a ser el comportamiento real del colector solar.

6.9 Elaboración de Documento Final.

Una vez recopilados y analizados todos los datos y variables contundentes de la simulación y los datos teóricos, se procede a realizar el documento final según los requerimientos y se desarrollan las conclusiones de los resultados del proyecto.

6.10 Diseño de Experimentos.

Ya que este proyecto no es experimental puesto que se busca diseñar y simular el comportamiento del colector solar de placa plana a los parámetros de diseño predispuestos, no tiene como tal un tipo de diseño de experimental que se le pueda aplicar, por esto no se realiza el diseño de experimentos.

7. HIPOTESIS.

- Las condiciones ambientales a las cuales está sometido el colector de placa plana permiten obtener una temperatura óptima de deshidratación (53 ° C) para el alimento que se encuentra ubicado en la cámara de secado.
- La conservación de la temperatura dentro del colector de calor depende de las condiciones limitantes de los materiales y los cálculos necesarios para evitar la pérdida por transferencia de calor entre el interior y el exterior del colector.
- El tiempo de exposición del equipo a la radiación solar en un tiempo comprendido en 8 horas es suficiente para alcanzar las condiciones finales del proceso para lograr deshidratar la cantidad deseada.

8. DELIMITACION DEL PROYECTO.

Los colectores solares usados para el proceso de deshidratación en productos agroindustriales funcionan con diferentes sistemas de energía, el procedimiento se llevó a cabo en todo el área del colector solar desde la entrada de aire suministrada por el ventilador hasta la entrada de aire cliente a la cámara de secado, procedimiento en el cual el tiempo estimado teóricamente oscila entre las 25 horas de exposición según estudios anteriores realizados variando las velocidades entre un rango mínimo de 0,8 m/s y 3 m/s entregados por el ventilador.

Se realizaron simulaciones variando la velocidad anteriormente mencionada entre el rango de valores, manteniendo las condiciones iniciales constantes (temperatura de pared, radiación solar, tiempo de exposición, entre otros), controlando a la salida del colector la temperatura ideal para la cámara de secado.

Los datos obtenidos fueron analizados para comparar las variaciones que sufre la temperatura del aire cuando se varía la condición de entrada en la velocidad de flujo.

Las simulaciones anteriormente mencionadas, se dispuso del software ANSYS para realizar el análisis de la temperatura en el colector solar y para los dibujos isométricos para la simulación se empleó el software solid Works el cuales el primer paso para llevar el diseño a ANSYS para su respectiva simulación.

9. RECURSOS EMPLEADOS.

Los recursos empleados para la realización del proyecto han sido seleccionados en diferentes grupos de acuerdo a lo requerido entre los que encontramos.

9.1 RECURSOS MATERIALES.

- Software de simulaciones avanzadas ANSYS.
- Software de diseño Solid Works

9.2 RECURSOS INSTITUICIONALES.

- Laboratorios de materiales Bloque L
- Laboratorio de ensayos mecánicos Bloque L

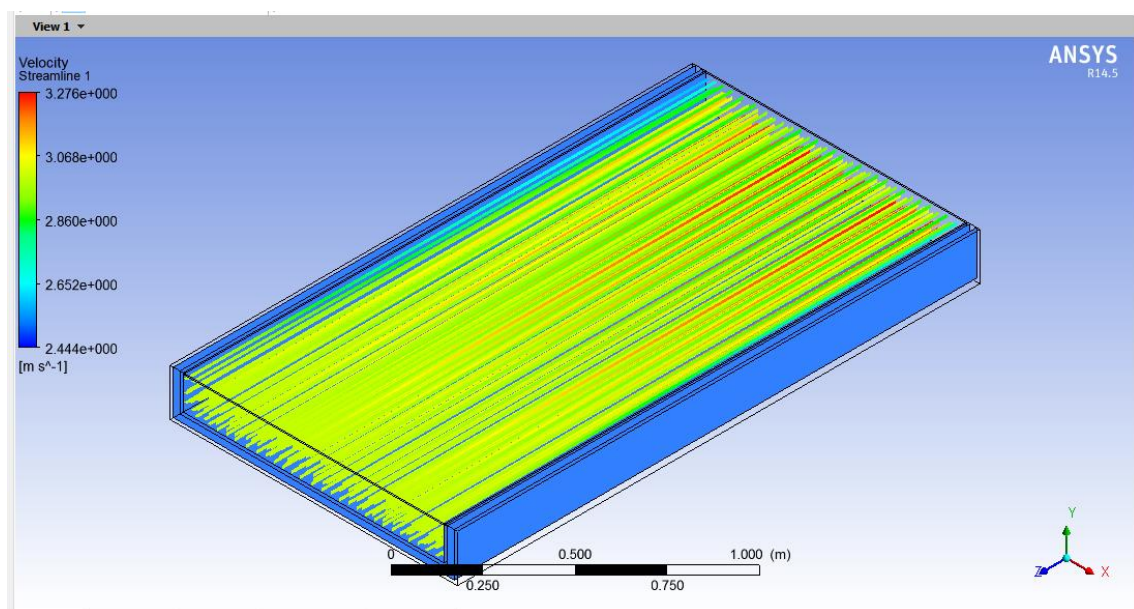
10. RESULTADOS.

10.1 Análisis del Flujo de Aire dentro del Colector.

El análisis de flujo de aire al interior del colector por elementos finitos es uno de los aspectos más importantes dentro de este estudio ya que influye directamente en la cantidad de humedad posible a retirar y la temperatura de entrada a la cámara de secado. Es importante verificar el comportamiento del fluido dentro del colector para determinar los puntos críticos de donde el flujo tiende a tomar mayor velocidad y donde tiende a disminuir la misma por el rozamiento con las paredes internas del colector.

Así mismo se debe comprobar el régimen al cual el flujo interno tiende a comportarse, al ser una placa totalmente plana, deberíamos obtener un flujo laminar con una pequeña disminución de velocidad en las paredes del colector.

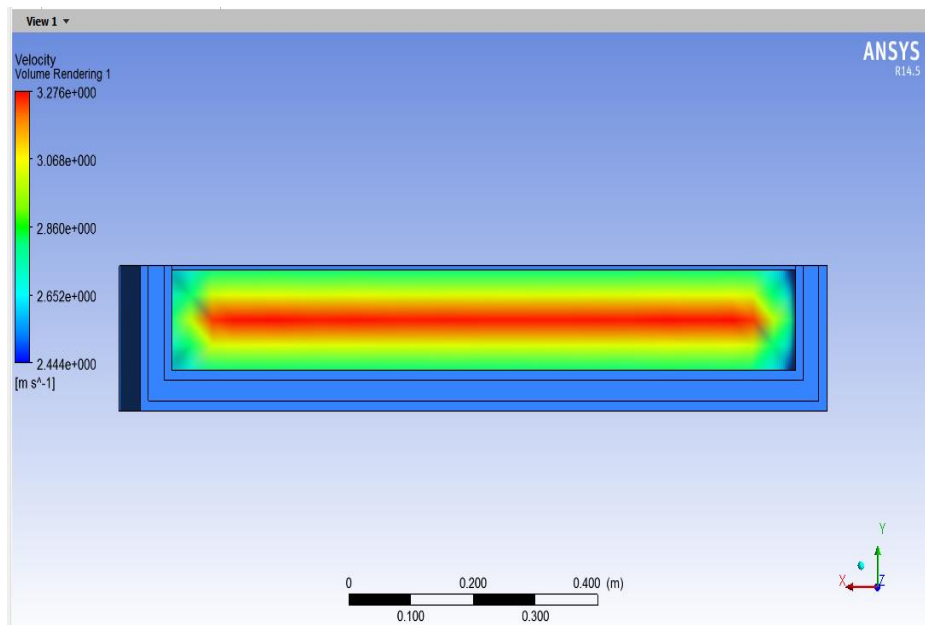
Figura 13. Análisis de Flujo de Aire dentro del Colector (Comportamiento del fluido)



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 13. se muestran los vectores de velocidad del aire mostrando una clara tendencia lineal, lo cual indica que el flujo es totalmente laminar con los ventiladores trabajando a un régimen constante de 3 m/s.

Figura 14. Análisis de Flujo de Aire dentro del Colector (Perfil de velocidad a la salida del colector)



Fuente: Autores de Proyecto

La figura 14 Muestra el corte transversal al flujo de aire, es evidente como la velocidad máxima se encuentra hacia el centro del colector donde no hay impedimentos para que el aire fluya libremente, por otro lado, en el perímetro del colector encontramos las velocidades menores, dadas por la fricción ocasionada entre las paredes internas del colector y el fluido.

10.2 Análisis Térmico del Colector Solar

El colector solar es un sistema que transforma la radiación incidente del sol en calor útil por medio de procesos de convección y conducción del aire forzado inducido al interior del equipo.

Inicialmente ocurre un proceso de radiación proporcionado por la energía solar incidente, la cual es captada por la cubierta de vidrio por conducción y cuyo calor es transferido por convección entre el aire que se encuentra en medio de la cubierta de vidrio y la placa absorbe dora.

Es necesario aclarar que la radiación incidente tendrá ciertas perdidas de energía que ocurren justamente en la parte superior del colector por la cubierta de vidrio, y en las partes laterales y la parte inferior muy mínimas dependiendo de las propiedades térmicas de los materiales usados para su diseño.

Parámetros de diseño para el análisis:

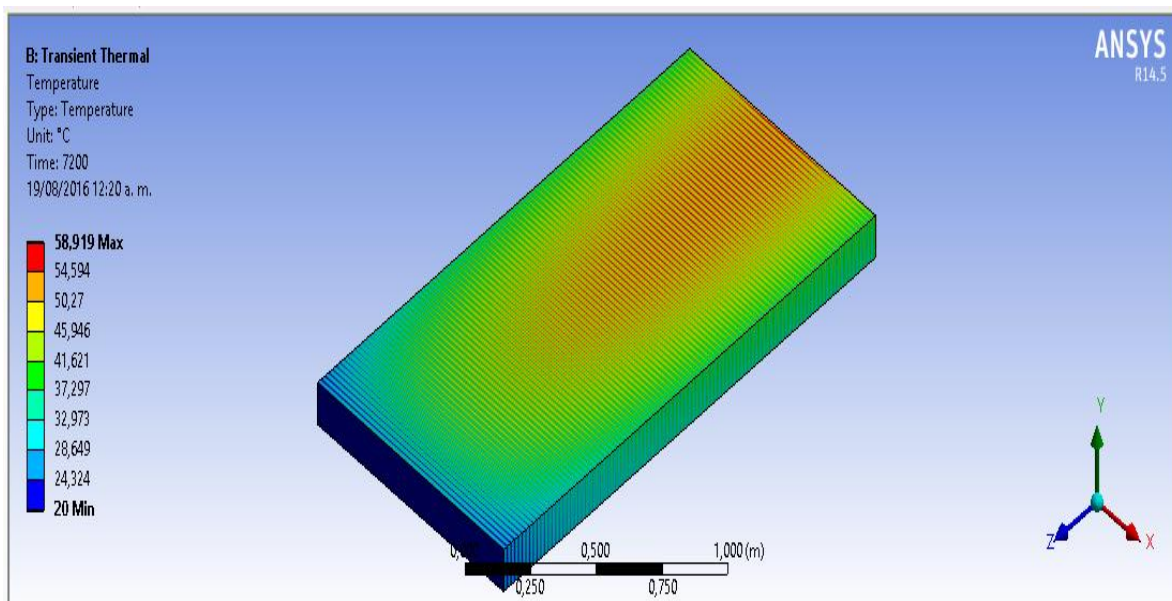
Tabla 20: Condiciones térmicas a la entrada del colector

T_{amb} (°C)	20
Vel_{in} (m/s)	3
Radiación (Kw hr/m ² dia)	4
T_{out} (°C)	55
Cp aire (KJ/Kg °C)	1,012
Densidad aire (Kg/m ³)	1,2041

Fuente: Autores de Proyecto

10.2.1 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 2 horas.

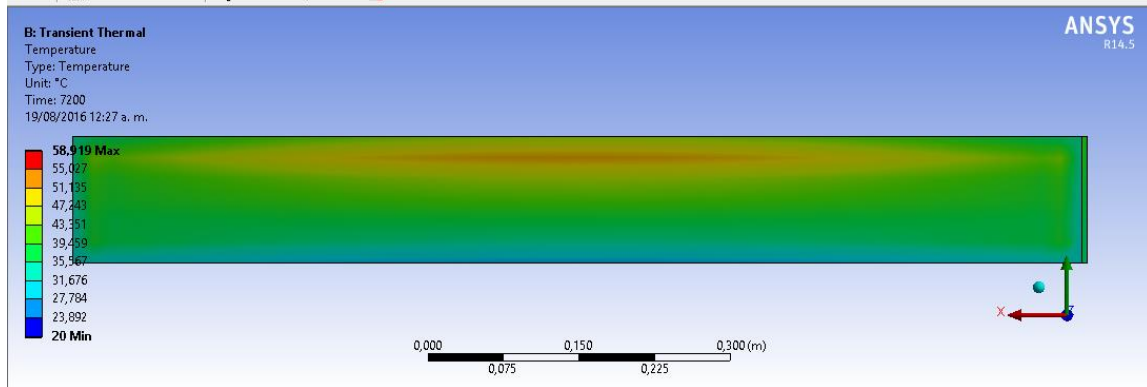
Figura 15. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 2 horas de exposición (isométrico).



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 15 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire circundante dentro del colector con la escala de colores expuesta a un tiempo de 2 horas de radiación, manteniendo la temperatura de entrada a 20°C y velocidad de entrada constante de 3 m/s.

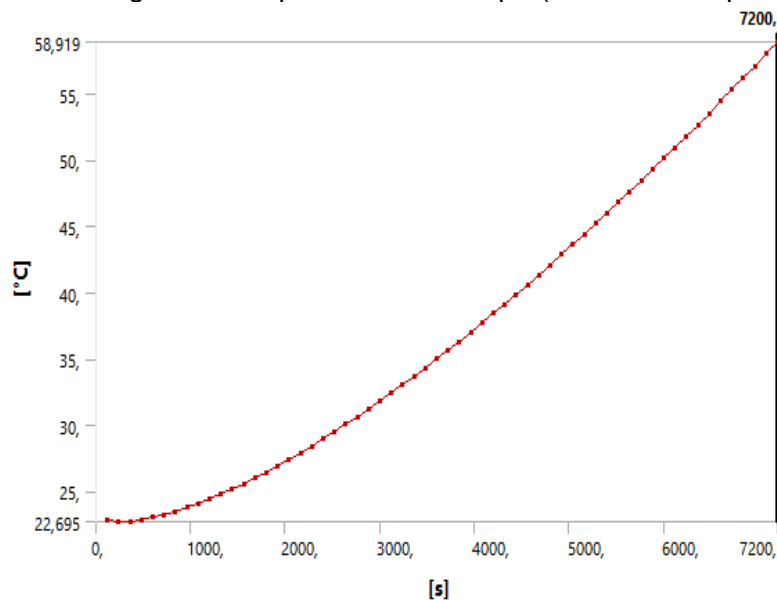
Figura 16. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 2 horas de exposición (corte transversal).



Fuente: Autores de Proyecto

La figura 16 muestra la distribución de temperaturas en toda el área transversal al flujo de aire, justo a la salida del colector, aunque la temperatura máxima es 58.9°C, no predomina en área completa de salida de aire, la temperatura promedio en dicho punto es 40°C.

Figura 17. Diagrama Temperatura vs Tiempo (2 horas de exposición)

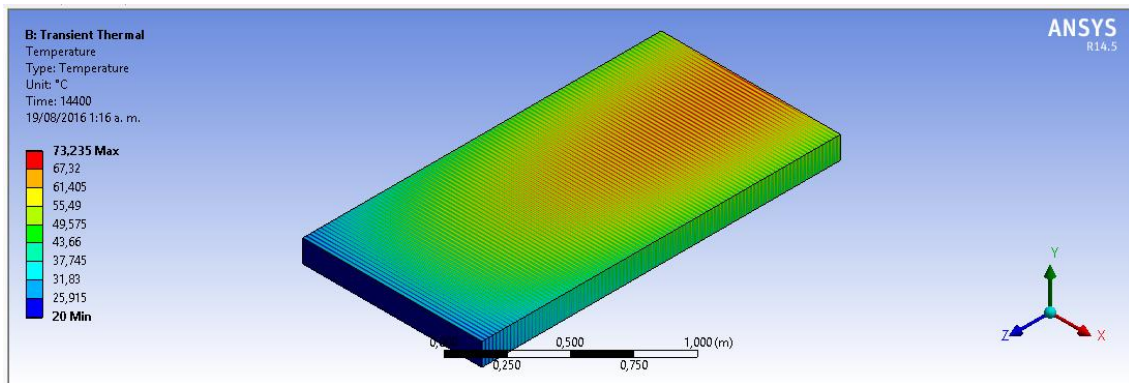


Fuente: Autores de Proyecto

En la figura x16 se evidencia que el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo tiende a ser lineal creciente al mantener los parámetros de radiación constantes, velocidad y temperatura de entrada.

10.2.2 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 4 horas

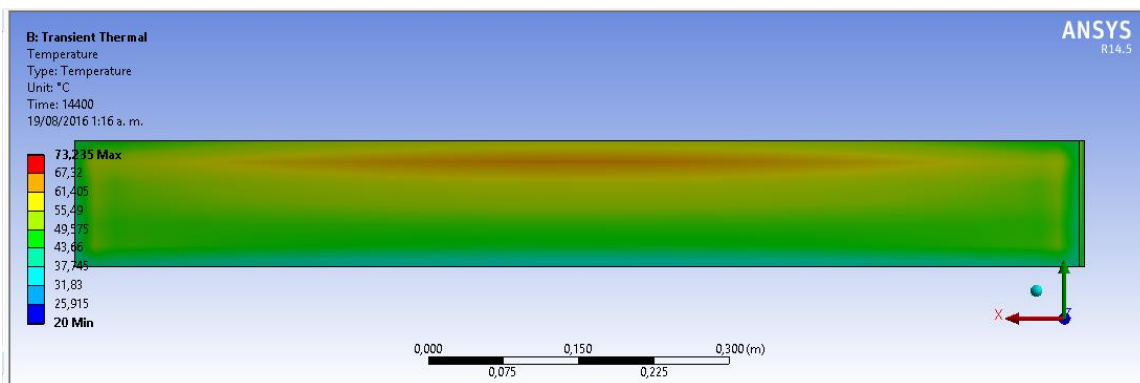
Figura 17. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 4 horas de exposición (isométrico).



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 17 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire circundante dentro del colector con la escala de colores expuesta a un tiempo de 4 horas de radiación, manteniendo la temperatura de entrada a 20°C y velocidad de entrada constante de 3 m/s.

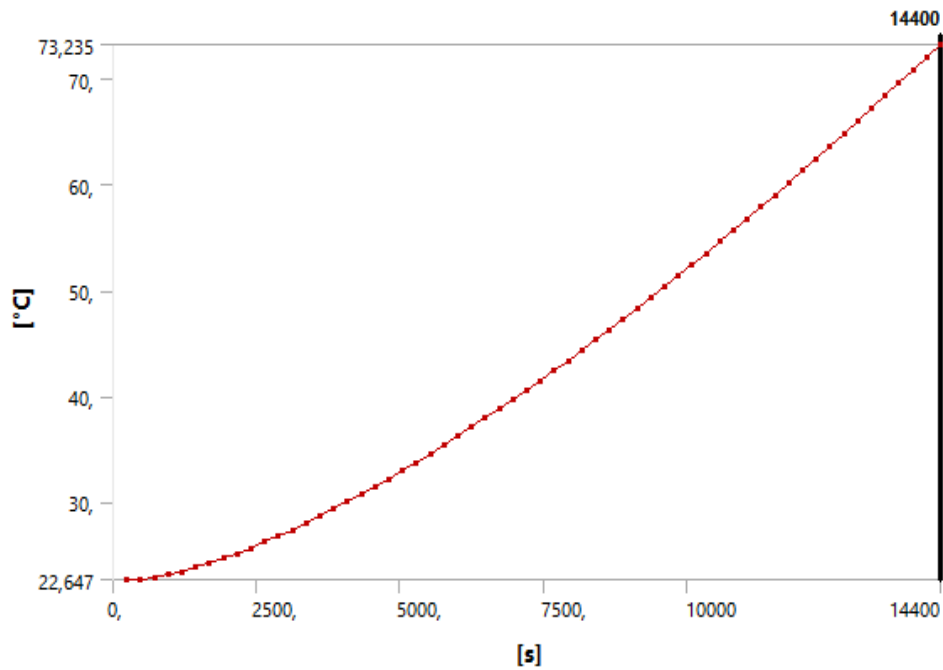
Figura 18. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 4 horas de exposición (corte transversal).



Fuente: Autores de Proyecto

La figura 18 muestra la distribución de temperaturas en toda el área transversal al flujo de aire, justo a la salida del colector, aunque la temperatura máxima es 73.2°C, no predomina en área completa de salida de aire, la temperatura promedio en dicho punto es 47°C.

Figura 19. Diagrama Temperatura vs Tiempo (4 horas de exposición)

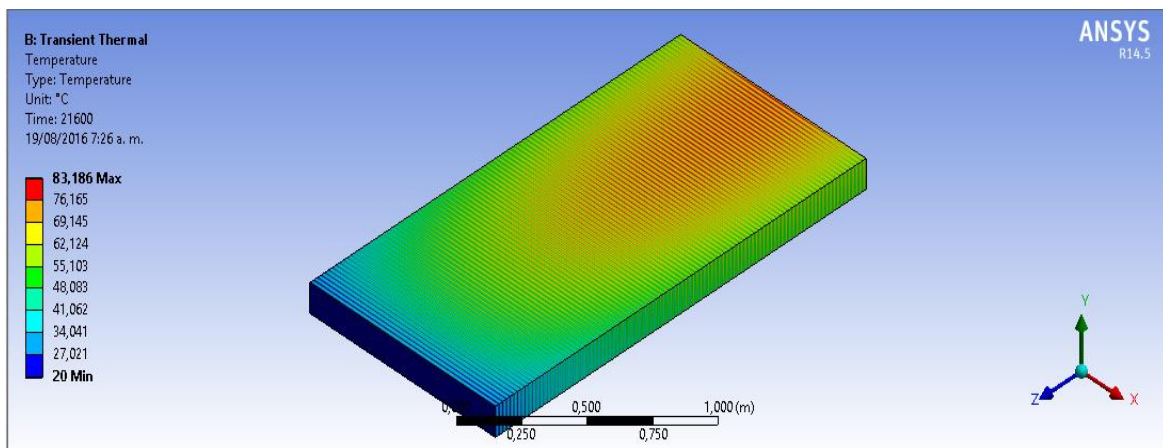


Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 19 se evidencia que el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo tiende a ser lineal creciente al mantener los parámetros de radiación constantes, velocidad y temperatura de entrada.

10.2.3 Análisis Térmico de Colector con tiempo de exposición de 6 horas

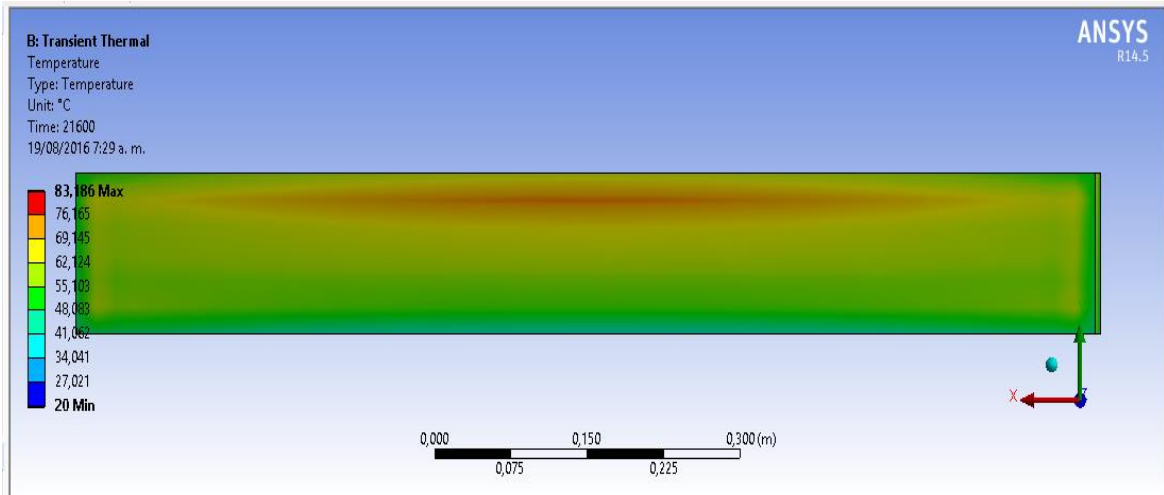
Figura 20. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 6 horas de exposición (isométrico).



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 20 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire circundante dentro del colector con la escala de colores expuesta a un tiempo de 6 horas de radiación, manteniendo la temperatura de entrada a 20°C y velocidad de entrada constante de 3 m/s

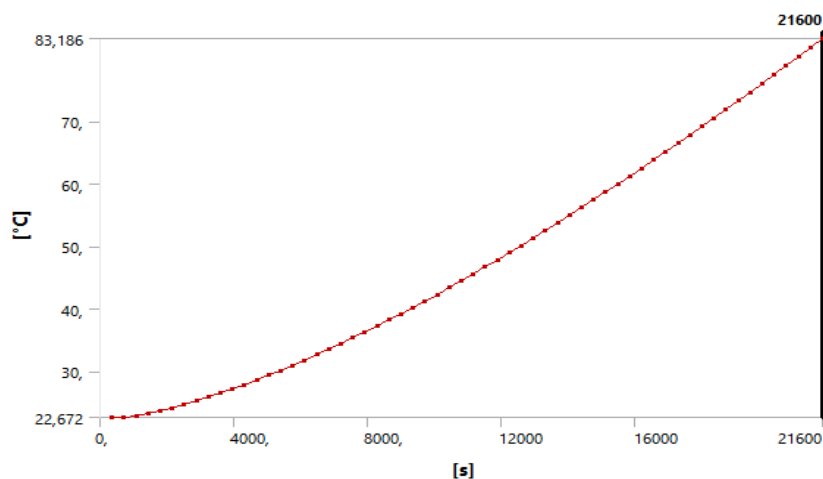
Figura 21. Análisis térmico del aire circundante en el colector a 6 horas de exposición (corte transversal).



Fuente: Autores de Proyecto

La figura 21 muestra la distribución de temperaturas en toda el área transversal al flujo de aire, justo a la salida del colector, aunque la temperatura máxima es 83.2°C, no predomina en el área completa de salida de aire, la temperatura promedio en dicho punto es 55°C.

Figura 22. Diagrama Temperatura vs Tiempo (6 horas de exposición)



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 22 se evidencia que el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo tiende a ser lineal creciente al mantener los parámetros de radiación constantes, velocidad y temperatura de entrada.

10.3 Tiempo Optimo de Exposición.

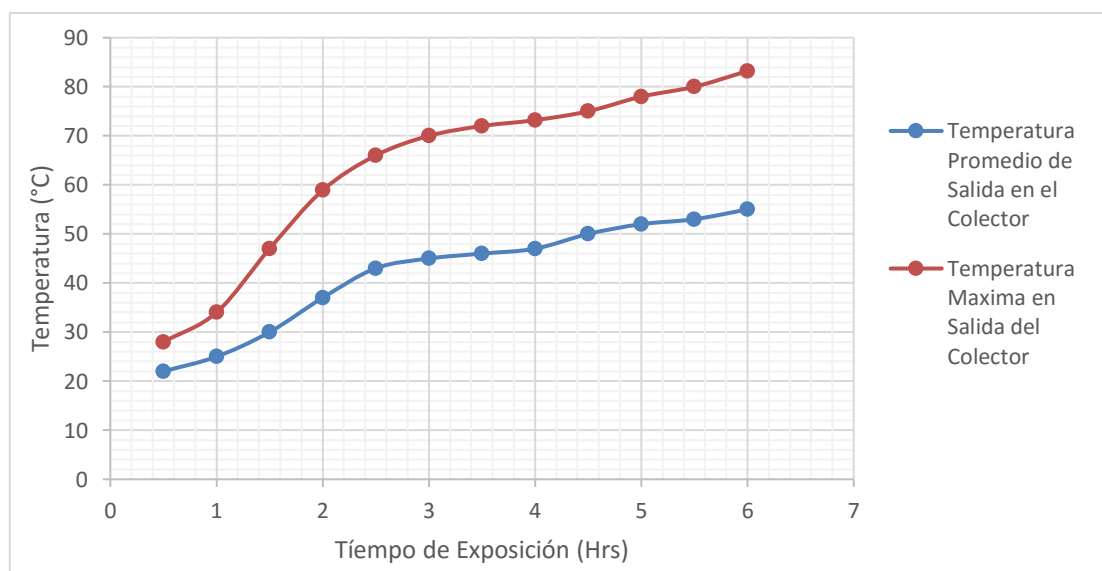
El tiempo óptimo de exposición es el punto exacto donde el colector logra su máxima temperatura deseada, justo en el costado de descarga hacia la cámara de secado.

Para este estudio, se tomó como referencia una prueba piloto realizada con un deshidratador de resistencia eléctrica **[referencia proyecto de la nacional]**. Dicho deshidratador cuenta con unas bandejas en láminas de acero inoxidable micro perforada, cuenta con una resistencia eléctrica de 10 KW y un ventilador centrífugo graduado mediante un variador de frecuencia.

Esta prueba piloto fue realizada para 10 kg de Uchuva, con unas condiciones de operación de 55°C de temperatura dentro de la cámara de secado y con una velocidad promedio de 3 m/s graduada mediante el variador de frecuencia.

Para lograr los 55°C a la salida del colector, que son necesarios en el ingreso de la cámara de secado, se realizaron las simulaciones a diferentes horas y analizando el perfil de temperaturas se llegó a la conclusión de que son necesarias alrededor de 6 horas de exposición como se muestra en la gráfica 21.

Figura 23. Temperatura vs Tiempo (perfil de temperatura a la salida del colector).



Fuente: Autores de Proyecto

En la figura 23. se evidencia el comportamiento de la temperatura justo a la salida del colector con respecto a la variación del tiempo. La temperatura promedio del colector es la temperatura evidenciada en la mayor proporción del área transversal por donde pasa el flujo de aire justo a la salida del colector, la temperatura máxima es la temperatura más alta evidenciada en el perfil de temperaturas a la salida del colector, aunque es en una proporción muy mínima.

11.CONCLUSIONES

Productos como la uchuva y fresa, poseen un gran potencial como materia prima para el proceso de deshidratación en departamentos como Cundinamarca, ya que tiene índices de producción bastante altos, al ser una fruta exótica permite participar y dar apertura a mercados externos, y al presentarla como fruta deshidratada le da un valor agregado para la comercialización, brindando calidad y conservación del producto.

Para el diseño del colector fue necesario contemplar ciertas variables importantes como tiempo aproximado del proceso, temperatura de salida del colector, eficiencia del sistema, humedad deseada del producto, incluyendo las propiedades del fruto, las cuales aportan para llegar a tener una noción cercana de lo que se desea obtener.

Se eligió un colector solar de placa plana por sus ventajas en cuanto a la eficiencia térmica y el paso de flujo de aire a diferencia de otras geometrías posibles. Para aprovechar al máximo la energía solar, se dispuso de dicha placa para que la incidencia de la radiación fuese directa y distribuida equitativamente en cada punto para así asegurar una temperatura lo más regular posible en todos los puntos a la salida del colector.

El flujo de aire es totalmente laminar en todo el trayecto dentro del colector por la misma forma de la placa, este flujo es generado por unos ventiladores de tipo axial que ayudan para lograr deshidratado óptimo del producto al transportar la mayor cantidad posible de calor por el equipo, el cual fue diseñado con unas paredes de aislamiento compuestas de un material con una conductividad térmica muy baja para garantizar la menor cantidad de pérdida posible dentro del equipo.

El equipo fue diseñado para un área de captación de calor necesaria para que pudiese aprovechar la energía solar ($1,8 \approx 2 \text{ m}^2$) y lograr unas condiciones de temperatura ideales para un óptimo proceso de deshidratación dentro de la cámara de secado (alrededor de 55°C). Con una eficiencia del 60% y bajo las condiciones climatológicas de Cundinamarca, se obtuvo como resultado que en un periodo de 5 a 6 horas se logran las condiciones óptimas de trabajo para el proceso de deshidratación.

El aprovechamiento de la energía solar como fuente energética primaria para el funcionamiento de algún dispositivo que realice una tarea en específico como en este caso el proceso de deshidratación, es un aporte benéfico al medio ambiente, ya que a diferencia de otros equipos que realizan la misma tarea pero usan recursos fósiles, este reduce las emisiones de CO₂ en un porcentaje considerablemente alto, y en miras a un futuro, el uso de energías limpias que no contaminen, será algo llamativo, novedoso y necesario de implementar para la conservación del medio ambiente.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Genetics and microbiology research group (grupo de investigación de genética y microbiología GENMIC), Universidad pública de navarre, Pamplona España, Principios básicos de deterioro microbiológico de los alimentos.
- [2]. ALZAMORA stella, GUERRERO Sandra, NIETO Andrea. Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas.2004.servicio de tecnologías de ingeniería agrícola y alimentario (AGST).
- [3]. KALOGIROU, soteris. Solar Energy Engineering. 2 ed. Academic Press, 2013.820 p. ISBN-13: 978-0123972705.
- [4].MEJIA, diana Julieth y VALENCIA, Carlos Andrés. Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. Trabajo de grado ingenieros mecánicos. Bogotá D.C.: Universidad América de Colombia. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.2011.190 p.
- [5].COLOMBIA.MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 2674 (22, julio, 2013). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen, exporten y comercialicen en el territorio nacional. Bogotá D.C. El ministerio.
- [6].VAIOS T, Karathanos. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. Journal of Food Engineering.(1999). 39 ed.
- [7].ZAPATA, Luis José y LONDOÑO, Mauricio. Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia. Grupo de investigation regional Agrícola. 2002.
- [8] B.M, Santos. M.R, Queiroz. T.P.F, Borges. A solar collector design procedurefor crop drying. 18 Febrero 2005. Campinas, SP,Brasil. Brazilian Journal of Chemical Engineering.

- [9] ProChile. Oficina Agrícola de Washington. Estudio de Mercado Snacks de Fruta Deshidratada EE.UU. Agosto 2011.
- [10] Arvind Bhanagar, William Livingston. Fundamentals of solar Astronomy. Structure of solar Atmosphere. Chapter 3. World scientific. 2005. Vol 6. ISBN 981-238-244-5
- [11] ANTIHUS HERNANDEZ; LAZARO GONZALES. (2012). Analisis comparativo de la cinetica de deshidratacion osmotica y por flujo de aire caliente de la piña (Ananas, Comosus, variedad del Cayena lisa.
- [12] KREIDER Jan F. KREITH Frank. Solar energy handbook. Fundamentals of solar radiation. Chapter 2. McGraw hill. 1981. 1099 p. ISBN 0-07-035-474.
- [13] IICA PRODAR. Fichas Técnicas productos frescos y procesados. UCHUVA (Physalis peruviana). Disponible en internet. (citado 8 octubre 2010).
- [14] República de Colombia Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Área, Producción y Rendimiento del cultivo de Uchuva. En: ANUARIO ESTADÍSTICO DE FRUTAS Y HORTALIZAS 2004 – 2008 Y SUS CALENDARIOS DE SIEMBRAS Y COSECHAS. 140-142 p.
- [15] Soteris. Industrial Process Heat, Chemistry Applications, and Solar Dryers. En: Solar energy engineering: processes and systems. 1 ed. San Diego, California. 2009.
- [16] American Solar Energy Society (ases) < URL: <http://www.ases.org/>>
- [17] Solar Dryer Systems and the Internet: important resources to improve food preparation. En: International conference on solar cooking (26-29, noviembre de 2000).
- [18] Dennis R. Heldman. Introducción a la ingeniería de alimentos. Psicrometría. cap 10. Editorial Acribia.

- [19] Ley 1665 16 Julio del 2013 del Congreso de la Republica. <URL: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201665%20DEL%2016%20DE%20JULIO%20DE%202013.pdf>>.
- [20] SOUTO, J. RODRIGUEZ; J. CASARES. (2007). analisis de redes para intercambiadores de calor.
- [21] LOZANO; M. NABARRO. (2008). optimizacion local de redes de intercambiadores de calor de estructura fija.
- [22] L.F.ACEBES; A. MERINO; R.ALVES. (2000). modelo estacionario del proceso dentro de un colector de calor y algoritmos de recopilacion de datos basados en tecnicas de optimizacion.
- [23] D. SILÍO; C. RENEDO. (2003). Modificacion en una red previa de intercambiadores de calor.
- [24] S.A. NADA, H. H. EL-GHETANY B, H.M.S. HUSSEIN. (2004). realizacion de una de dos fases con sistema cerrado termosifon para colector solar con una concha y un intercambiador de calor de tubos.
- [25] FELIX MILLAN; ZOITZA CUEVAS. (2005). Aplicacion de un diseño rotatable en el modelado empirico de la deshidratacion osmotica en frutas.
- [26] H.M.S. HUSSEIN. (2007). investigacion teorica y experimental de tubos de calor sin mecha colector solar de placa plana con intercambiador de calor de flujo cruzado.
- [27] CHAMORRO; L. MENESES. (2008). Diseño de un banco de pruebas para el control de temperatura y flujo en un intercambiador de calor.
- [28] EQUIA LOPEZ; T. VIDART. (2008). crecimiento de biofouling en colectores de calor refrigerados con agua.
- [29] MORALES QUINTANA;BULA SILVERA. (2009). proceso de transferencia de calor convectivo en nano-fluidos por convección forzada en un intercambiador de tubos concéntricos.

- [30] O. GARCÍA-VALLADARES; N. VELÁZQUEZ. (2009). simulacion numerica de colectores solares cilindro-parabolicos: Mejora el uso de flujo de contracorriente concentricos circulares intercambiadores de calor.
- [31] SAHYLIN MUÑÍZ; ANNIA GARCIA. (2010). Evaluacion de la calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) Variedad Maradol roja deshidratada utilizando el metodo de deshidratacion osmatica (DO).
- [32] CARRAZCO QUISHPE; YESENIA DE LOS ANGELES. (2011). Elaboracion y evaluacion nutritiva de la harina de fruta de pan (artocarpus altilis) obtenida por procesode deshidratacion.
- [33] BETANCOURT CASTELLANOS. (2012). diseño y simulacion de una maquina secadora de forrajes multiples para la elaboracion de harina y procesamiento de balanceado para ganado con capacidad d 400Kg/H para la empresa ENSIFOR S.A.
- [34] ANTIHUS HERNANDEZ; LAZARO GONZALES. (2012). Analisis comparativo de la cinetica de deshidratacion osmotica y por flujo de aire caliente de la piña (Ananas, Comosus, variedad del Cayena lisa.
- [35] LEY 697 DE 2001 (octubre 3) Diario Oficial No. 44.573, de 05 de octubre de 2001 <URL: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2001/ley_0697_2001.>.
- [36] Propuesta Ley 09 del 2012 del Senado de la Republica <URL: http://servoaspr.imprenta.gov.co/gacetap/gaceta.mostrar_documento?p_tipo=05&p_numero=09&p_consec=33528>.
- [37] Ley 1665 16 Julio del 2013 del Congreso de la Republica. <URL: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201665%20DEL%2016%20DE%20JULIO%20DE%202013.pdf>>.
- [38] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana (NTC).
- [39] Codigo ASME “American Society of Mechanical Engineers”. Sección VIII, División 1, Tema Class “R”.

- [40] Norma ASTM “American Society for Testing and Materials”. <URL: <http://www.astm.org/>>.
- [41] JUAN CARLOS MAHECHA GODOY. (2011). determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (*Physalis Peruviana L.*) Universidad Nacional de Colombia.
- [42]. YUNUS A CENGEL. Transferencia de calor y masa.McGraw-Hill.ISBN:978-970-10-6173-2, 932p
Sixto Guevara Vásquez. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Teoría para el diseño de calentadores solares de agua,Lima, 2003.
- [43]. KREIDER Jan F.KREITH Frank. Solar energy handbook. Fundamentals of solar radiation. Chapter2. McGraw hill. 1981.1099 p. ISBN 0-07-035-474-X.
- [44] GEANKOPLIS, C. Procesos de transporte y operaciones unitarias. México:Editorial Continental, S.A, 1998. 809.
- [45] UPME. IDEAM. Atlas de radiación Solar de Colombia 2005.
- [46] Humberto Rodriguez M. Fabio Gonzalez B. Manual de Radiación en Colombia (Radiación sobre superficies horizontales). Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia.1992. 148p.ISBN 958-95506-0-6
- FISCHER, G. Producción. Post-cosecha y Exportación de la Uchuva. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de agronomía, 2000.
- [48] RICARDO GUERRERO LEMUS. (2007) Fundamentos de la Energía Solar, Universidad Ambiental de La Palma: Las energías alternativas, una apuesta de futuro en las islas.
- [49] Mendoza, I. (2006) Validación de modelos de radiación solar directa para la ciudad de Bogotá a partir de datos experimentales. Revista Colombiana de Física.