



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

TESIS

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA
EL DESHIDRATADO DEL AGUAYMANTO USANDO UN
SECADOR SOLAR EN EL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA-
CAJAMARCA**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

SANTOS RUDAS SAUCEDO

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

CAJAMARCA, PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mis padres: Emilio Rudas Mosqueira y Carmen Saucedo Mosqueira, por su apoyo incondicional.

A mis hermanos: Corpus y Felipe; por darme ánimos en el momento difíciles para seguir adelante.

A mis hijas: Cielo Rudas y Stefani Aydee Rudas; son el motor y motivo para seguir luchando por mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores, por haberme brindado su apoyo y guiado durante el tiempo de la investigación de mi proyecto.

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Alas Peruanas por brindarme las facilidades, a través de los asesores y plana administrativa, para desarrollar este trabajo de investigación.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	14
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.2.1. Delimitación Espacial.....	15
1.2.2. Delimitación Social.....	15
1.2.3. Delimitación Temporal	15
1.2.4. Delimitación Conceptual.....	16
1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	16
1.3.1. Problema Principal.....	16
1.3.2. Problemas Secundarios.....	16
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos Específicos	17
1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.5.1. Hipótesis General	17
1.5.2. Hipótesis Secundarias	17
1.5.3. Variables (Definición Conceptual y Operacional).....	17
1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación	19
1.6.2. Método y Diseño de la Investigación	20
1.6.3. Población y Muestra de la Investigación.....	20
1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	21
1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación....	22

	Pag.
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.1.1. Internacional	24
2.1.2. Nacional	26
2.1.3. Local	27
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. Energía solar	28
2.2.2. Energía Solar en el Perú	29
2.2.3. Energía Solar en la Zona de Investigación	30
2.2.4. Transferencia de Calor	31
2.2.5. Aspectos Generales de la Transferencia de Calor	35
2.2.6. Transferencia de Calor por Radiación	36
2.2.7. Naturaleza de la Radiación	40
2.2.8. Características de la Radiación	41
2.2.9. Radiación Espectro magnética	43
2.2.10. Penetración de la Radiación Electromagnética	46
2.2.11. Leyes de Radiación	48
2.2.12. Factor de Visión	51
2.2.13. Relaciones de Factor de Visión	52
2.2.14. Equipos Utilizados en la Transferencia de Calor	53
2.2.15. Procesos de Transferencia de Radiación	53
2.3. Secadores Solares	54
2.3.1. Definición del Secado	55
2.3.2. Principio de Secado	55

	Pag.
2.3.3. Posicionamiento del Secador.....	56
2.3.4. Procesos de Secado	58
2.3.5. Tipos de Secadores Solares.....	60
2.3.6. Secador Propuesto en la Investigación.....	61
2.3.7. Tiempos de Secado.....	62
2.3.8. Humedad en el Producto	63
2.3.9. El Calor Latente de Evaporación.....	63
2.3.10. Pasos Principal Para Secar	64
2.4. EL AGUAYMANTO	65
2.4.1. COMPOSICION NUTRICIONAL	66
2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	67
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE	
RESULTADOS	69
3.1. Ubicación Geográfica	69
3.1.1. Aislamiento del secador solar.....	70
3.1.2. Recolección de datos durante el estudio	71
3.1.3. Medio Experimental.....	71
3.1.4. Análisis del Resultado	76
3.1.5. Humedad del aguaymanto.....	76
3.1.6. Variación de masa del aguaymanto.....	77
3.1.7. Eficiencia del secador solar indirecto	77
3.1.8. Eficiencia de la cámara de secado.....	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
FUENTES DE INFORMACION.....	82

	Pag.
ANEXOS 1	86
ANEXO 2	87
ANEXO 3	89
ANEXO 4	90
ANEXO 5	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalizacional de Variables	18
Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos.....	21
Tabla 3. Origen de la Radiación	39
Tabla 4 Tipos de Radiación.....	45
Tabla 5 Radiación de las partículas	47
Tabla 6 Factor de Visión	52
Tabla 7 Equipos de Transferencia de Calor.	53
Tabla 8 Flujo de Aire Caliente a Temperatura de 40°C a 70°C	59
Tabla 9 Tipos de Secadores.....	60
Tabla 10 Etapas del Proceso de Secado	62
Tabla 11 Humedad del Producto.....	63
Tabla 12 Niveles de nutrientes, minerales y bioactivos solubles en agua en la pulpa de Physalis Peruviana.	66
Tabla 13 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento.....	72
Tabla 14 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento.....	73
Tabla 15 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento.....	74
Tabla 16 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento.....	75
Tabla 17 Principales Causas de las Pérdidas	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 Transferencia de Calor por Conducción,	33
FIGURA 2 Transferencia de Calor por Convección,.....	34
FIGURA 3 Transferencia de Calor por Radiación,	35
FIGURA 4 Modelo Atómico de Bohr,.....	37
FIGURA 5 Tipos de Radiación Electromagnética,	43
FIGURA 6 Espectro Electromagnético y Región Visible,	44
FIGURA 7 Penetración de la Radiación Electromagnética,	47
FIGURA 8 Secador Solar de Tipo Indirecto,	56
FIGURA 9 Captación de la Energía sobre el techo y el Colector Solar.....	57
FIGURA 10 Clasificación de Tipos de Secadores.	61
FIGURA 11 Colector Solar de Tipo Indirecto, elaboración acoplada.....	70
FIGURA 12 Variación del contenido de Humedad	76
FIGURA 13 Variación de Masa del Aguaymanto	77
FIGURA 14 Eficiencia del Colector Solar	78
FIGURA 15 Eficiencia de la Cámara de Secado	79

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolló el *análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca*, Como las frutas se desperdician un 54% en el consumo doméstico o desconociendo de como poder guardar las frutas por más largo tiempo que es la deshidratación del producto. El objetivo de este proyecto es analizar y evaluar la energía solar para el deshidratado de aguaymanto usando un secador solar de tipo indirecto que nos permita, aprovechar la energía radiante que nos brinda la naturaleza (Sol) y por lo tanto que sea amigable con el medio ambiente, se logró determinar la eficiencia de colector solar de tipo indirecto, se evaluó el efecto de la radiación solar en la variación de temperatura de secador solar así como el tiempo optimo del secado. La investigación es cuantitativa de nivel correccional y método hipotético deductivo experimental. Se concluye de la investigación que para la calefacción del secador solar y del aire que transita sobre él obedece a las condiciones ambientales promedio como son la radiación solar en la zona que es de 656 W/m², con una temperatura ambiente de 20°C, el flujo de aire, y las propiedades de transferencia de calor del aire, La variación de masa del agua, cogida en el aguaymanto con dependencia al tiempo presenta una actuación similar a la cámara de secado obteniendo el secado en 54 horas, con una variación de humedad de 15% al final del secado, además para el secado del aguaymanto de forma óptima es de 50°C a una velocidad promedio de viento de 1.8 m/s. asimismo, se observó que los sabores se intensificaron, esto se debe a que se concentraron mediante la eliminación del agua. Manteniéndose su color y sus propiedades nutritivas puesto que la fruta se encuentra protegida de los rayos solares. La construcción del secador resultó sencilla, rápida y adecuada para su utilización en la deshidratación del aguaymanto, ya que hubo una disminución de humedad entre el 64 y 66% en el producto final. Por lo que consideramos que es una buena alternativa económica que se puede aplicar.

ABSTRACT

In the present investigation the analysis and evaluation of solar energy for the dehydration of aguaymanto was developed using a solar dryer in the District of Baños del Inca-Cajamarca, As fruits are wasted 54% in domestic consumption or not knowing how to be able to store the fruits for a longer time, which is the dehydration of the product. The objective of this project is to analyze and evaluate solar energy for the dehydration of aguaymanto using an indirect type solar dryer that allows us to take advantage of the radiant energy that nature (Sun) offers us and therefore that is friendly to the environment environment, it was possible to determine the efficiency of solar collector of indirect type, the effect of solar radiation on the solar dryer temperature variation as well as the optimal drying time was evaluated. The investigation is quantitative of correctional level and hypothetical experimental deductive method. It is concluded from the research that for the heating of the solar dryer and the air that transits on it obeys to the average environmental conditions such as solar radiation in the area that is 656 W / m^2 , with an ambient temperature of 20° C , the flow of air, and the properties of heat transfer of air, The variation of mass of water, caught in the aguaymanto with time dependence presents a performance similar to the drying chamber obtaining the drying in 54 hours, with a variation of humidity of 15% at the end of drying, in addition to drying the aguaymanto optimally is 50° C at an average wind speed of 1.8 m / s . likewise, it was observed that the flavors intensified, this is due to the fact that they were concentrated through the elimination of water. Maintaining its color and its nutritional properties since the fruit is protected from the sun's rays. The construction of the dryer was simple, fast and suitable for use in the dehydration of aguaymanto, since there was a decrease in humidity between 64 and 66% in the final product. For what we consider is a good economic alternative that can be applied.

INTRODUCCIÓN

Para mantener en óptimas condiciones el aguaymanto es necesario garantizar un correcto proceso de secado. Algunos productores operan métodos de secado natural, como la exposición directa a la luz solar sobre mantas (secado artesanal), planchas de metálicas o láminas flexibles de color negro, pero este proceso es muy lento. El aprovechamiento de la energía solar para la deshidratación del aguaymanto mediante el uso de secadores solares, tiene antecedentes concretos para nuestro país.

La presente investigación titulada *análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca*, está compuesta por tres capítulos, distribuidos de la siguiente manera: en el capítulo I, se desarrolla el planteamiento del estudio, descripción de la realidad problemática, formulación del problema, objetivos, delimitación de la investigación, se aborda el marco metodológico, el método de investigación, que incluye el diseño de la investigación, población y muestra de la investigación, hipótesis y variables de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, y técnicas de procesamiento de análisis de datos.

La construcción de un secador solar se basa en la aplicación de una tecnología sencilla y apropiada para ser aplicada a nivel doméstico. Su aplicación permite la conservación de productos comestibles, como es el aguaymanto, que al ser deshidratados mantienen una gran proporción de su valor nutritivo original.

Consideramos que el uso de un secador solar para el deshidratado del aguaymanto proporciona varias ventajas desde el punto de vista práctico y económico. Además, podemos originar la utilización de energía renovable (solar) la cual tiene pequeños impactos ambientales que el de las fuentes convencionales.

Finalmente, en el presente trabajo se promueve la utilización de energía renovable mediante la construcción de un secador solar de frutas que sea de bajo costo y que se adapte a las necesidades.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El secador solar es una forma más antigua y saludable de conservar alimentos. El hombre ha utilizado la energía del sol para secar productos perecederos desde hace miles de años logando conservar una gran variedad de alimentos de forma natural. A diferencia de otras formas de conservación a temperaturas extremas con la esterilización o l congelación, el deshidratado es un método sumamente respetuoso con las propiedades y el contenido nutricional de los alimentos. (Mendoza, 2017)

La FAO al respecto señala que, “Los factores que influyen en las pérdidas de productos perecederos después de la cosecha varían considerablemente de un lugar a otro y se complican a medida que los sistemas de comercialización adquieren mayor complejidad. (FAO, 2017)

“Un periodo crítico para los agricultores de frutas y hortalizas es aquél en el que tienen que decidir cuándo cosechar un producto. Normalmente cualquier tipo de producto fresco está listo para la cosecha cuando se ha desarrollado hasta alcanzar el estado ideal para el consumo. Por consiguiente, la madurez para la cosecha es el estado en el que el producto puede ya cosecharse, y en su cálculo deben tenerse en cuenta el tiempo necesario para hacerlo llegar al mercad (FAO, 2017)

Actualmente, el transporte de alimentos del campo a las ciudades es un problema que se presenta cada año, debido a diversas causas, como

son el mal manipuleo del producto, después de la cosecha; la falta de una adecuada red vial; el poco mantenimiento de los ya existentes y las rigurosas condiciones climáticas de nuestro país, circunstancias que (...) originan pérdidas económicas considerables” (instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas, s.f. p-4)

La FAO, señala que: “Todas las frutas, hortalizas y raíces son partes de plantas vivas que contienen de un 65 a un 95 por ciento de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección. Su vida después de la cosecha depende del ritmo al que consumen sus reservas almacenadas de alimentos y del ritmo de pérdida de agua.

En ese sentido, un problema central es la pérdida y deterioro de la fruta, se ha establecido en diferentes estudios, que en un 54% de las frutas se pierde a nivel del consumo doméstico. (Defilippi, 2009) (Ver anexo 2 y 3)

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Delimitación Espacial

La presente investigación, su delimitación espacial es el Distrito de los Baños del Inca – Cajamarca, sin embargo, su alcance puede ser a nivel nacional.

1.2.2. Delimitación Social

La presente investigación, su delimitación social es la población del Distrito de los Baños del Inca – Cajamarca, mayores de 18 años.

1.2.3. Delimitación Temporal

La presente investigación fue desarrollada desde (enero de 2017) y culminada en (enero de 2018), durante el periodo de un año.

1.2.4. Delimitación Conceptual

Para la presente investigación entendemos que la “energía solar” es “un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura, cuando estos están separados por un espacio, inclusive el vacío absoluto [...] (Díaz, 2007, pág. 309)

Se entiende por la segunda variable, “Secadores solares”, cómo un equipo que elimina, la reducción del contenido de agua de un producto, suministrando al producto el calor necesario y removiendo el aire húmedo (corporación peruana-alemana, s/a). Conservando los alimentos (frutas) en óptimas condiciones de calidad en sabor, olor, color y valor nutritivo, permitiendo almacenarlos durante largo tiempo (instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas, s.f. p-4).

1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema Principal

¿Cuál será el Análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado de aguaymanto usando un secador solar?

1.3.2. Problemas Secundarios

¿Cuál sería la eficiencia del colector solar propuesto para deshidratar las frutas?

¿Cómo se aprovecharía la radiación solar para el deshidratado de frutos?

¿Cuál sería el tiempo óptimo para el secado de los frutos?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Analizar y evaluar la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el distrito de Baños del Inca - Cajamarca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia del secador solar indirecto.
- Evaluar el efecto de la radiación solar en la variación de temperatura del secador solar
- Determinar el tiempo óptimo de secado.

1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

La energía solar con la ayuda de un secador producirá la deshidratación del aguaymanto en el distrito de Baños del Inca - Cajamarca.

1.5.2. Hipótesis Secundarias

La eficiencia producida por el secador solar propuesto para el deshidratado del aguaymanto, será suficiente.

El secador solar producirá una variación significativa de humedad en el aguaymanto.

El tiempo para el secado del aguaymanto estará dentro los estudios preestablecidos.

1.5.3. Variables (Definición Conceptual y Operacional)

1.5.3.1. Variable independiente.

Tiempo de deshidratado es establecido como condición para la construcción del equipo.

Temperatura dentro de la cámara de secado, es establecida como condición para la construcción del equipo.

Cantidad de agua, es un valor fijo, de acuerdo con la naturaleza del producto

1.5.3.2. Variable dependiente.

Densidad del aguaymanto en el proceso de secado, cambia de acuerdo con la condiciones de deshidratación.

Temperatura del ambiente, cambia de acuerdo con las condiciones meteorológicas.

Porcentaje de la humedad del aguaymanto, cambia de acuerdo con las condiciones del secado.

Tabla 1. Operacionalizacional de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
TIEMPO	Magnitud con la que se mide la duración de un determinado fenómeno o suceso.	Tiempo de deshidratado	Horas
TEMPERATURA DENTRO DEL COLECTOR SOLAR	La temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. Puede ser medida con termómetro.	Temperatura del viento entrante a la cámara de secado.	°C
CONTENIDO DE AGUA	Se refiere al agua que se encuentra en los alimentos, no involucra o ligada con el soluto	Actividad de agua antes del proceso. Actividad del agua después del proceso	0-1aw 0-100%
VARIABLE DEPENDIENTES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	UNIDADES
DENSIDAD DEL AGUAYMANTO	Representa la cantidad de masa de una sustancia sobre su volumen.	Densidad del aguaymanto antes del proceso. Densidad del aguaymanto después del proceso.	P=Kg/m ³

TEMPERATURA DEL AMBIENTE	La temperatura del medio ambiente depende del clima meteorológico de cada día.	Temperatura del viento en el ambiente	°C
PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL AGUAYMANTO	Es la variación de la humedad con relación del peso que disminuye durante el estudio.	Porcentaje de humedad	VH de 80% a 16%
VARIABLE INTERVENIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	UNIDADES
RADIACIÓN SOLAR	Es la radiación electromagnética procedente del sol.		KWh/m ² *año
HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE	La humedad relativa es la relación con la humedad presente en el aire, sobre la humedad del aire a máxima saturación.	Humedad relativa del aire	HR de 0 a 100%
VELOCIDAD EL VIENTO	Relación entre longitud y tiempo e indica cuanto demora un elemento en recorrer una distancia.	Velocidad convectivo del aire	m/s

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación

a) Tipo de Investigación

El tipo de la investigación en el proyecto es cuantitativa secuencial y probatorio, que describe y caracteriza la dinámica de cada una de las variables, asimismo es una investigación experimental porque el investigador participa de manera activa y conforme a un plan preconcebido, introduce cambios que modifican sistemáticamente el comportamiento del fenómeno (Deza, 2012).

b) Nivel de Investigación

La investigación es, con un nivel exploratorio correlacional debido que en un primer momento se debe describir y caracterizar la dinámica de cada una de las variables de estudio. Asimismo, es una investigación explicativa dado que se ha añadido datos que profundizan cada vez más los conocimientos ya existentes en la

realidad y podrá generar, criterios nuevos en las hipótesis, teorías y leyes.

1.6.2. Método y Diseño de la Investigación

a) Método de Investigación

En esta investigación, se aplicará el método deductivo, al analizar el proceso de la energía solar como una tecnología emergente (aspecto general), llegando al caso concreto la propuesta de secadores solares (particular), analizando desde el concepto de tecnología emergente para deshidratar las frutas en el Distrito de Baños del Inca-Cajamarca.

b) Diseño de Investigación

Se utilizará el diseño experimental. Lo que se desea es conocer, de manera amplia de qué forma se puede lograr El análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca. Se utilizará, el diseño exploratorio, porque es el más indicado para poder determinar el grado de optimización del proceso.

Este estudio experimental va ayudar a esclarecer y delimitar los problemas y va permitir, conocer las variables de interés, determinando su procedimiento, dentro de los cánones que desarrolla la teoría.

1.6.3. Población y Muestra de la Investigación

a) Población

Frutos naturales del distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca.

b) Muestra

Frutos de Aguaymanto del distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca.

1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

a) Técnicas

Se utilizará la Técnica de revisión documental, que consiste en el análisis de toda la información escrita sobre el tema seleccionado. Esta investigación es de corte documental y práctica (revisión de documentos y construcción de un secador solar) y su aporte es valioso para contrastar la realidad y la teoría.

Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos

Categoría	Disciplinas relacionadas	Recolección Documentaria	Procedimiento de exanimación de la muestra
Energía solar.	Antecedentes Concepto Definiciones Teorías Características	Tesis nacional Tesis Extranjeras Libros Artículos Revistas Otros	Se revisa la literatura, guiándonos por el título, seguidamente, revisión de la contraportada para las respectivas, luego se prosigue a ver el sumario e índice, y se procedió a la lectura - sistematización, análisis, etc.
Secadores Solares	Antecedentes Concepto Definiciones Teorías Características	Tesis nacional Tesis Extranjeras Libros Artículos Revistas Otros	Aplicando el mismo método a toda la información documental recogida.

Fuente: Elaboración propia, 2017

b) Instrumentos

Par la presente investigación se utilizara los Protocolos de Medición Durante tiempos, con el fin de recoger información de incremento de temperatura, disminución de humedad con lecturas de tiempo cada una hora.

1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

a) Justificación

Está investigación análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca, busca resolver el problema que se presenta para muchos productos como el aguaymanto. En la medida que se conoce, que “existen [...] muchos productos perecederos excedentes temporarios en épocas de cosecha, que generan millonarias pérdidas para los productores y por otro lado, nuestro país dispone de una oferta abundante de radiación solar para ser aprovechada a fines energéticos, entre otros para la deshidratación de estos excedentes” (unesco, 2015). De esta forma aprovechamos la energía solar, para conservar nuestros alimentos a nivel doméstico, pero también puede ser usado a nivel de productores para una masiva comercialización de productos secados, además debemos tener en cuenta que: “el secado de plantas medicinales, granos y carnes ha sido una práctica habitual de conservación en el campo para asegurar la disponibilidad de los productos alimenticios y medicinales durante todo el año. Hoy en día el secado de vegetales y carne no tiene solamente una función de auto-abastecimiento como antes, sino que ofrecen una alternativa productiva y comercial para el mercado nacional e internacional” (unesco, 2015)

b) Importancia

Esta investigación, permitirá que la ingeniería contribuya a conservar los alimentos durante meses, asegurar la calidad de la alimentación, aprovechar la energía gratis y limpia del sol y también es un espacio que va generar trabajo en el proceso de secado, guardar el producto, y preparar para la venta. Teniendo en cuenta que: “La energía del Sol, se puede utilizar correctamente para beneficio de la salud y para la economía familiar. Para ello, [hacer uso de los] métodos o procedimientos que aseguran un buen proceso a través de aparatos especialmente diseñados. En el secadero solar los rayos luminosos del Sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un llamado colector solar, que tiene los siguientes elementos”.

c) Limitaciones

Se usó polietileno negro en vez de pacas de aluminio para la captación de la radiación solar por reducir costos en la construcción del secador solar.

Se usó madera, tecnopor por la facilidad de adquisición siendo lo más recomendable usar estructuras metálicas y papel aluminio.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacional

(Javier & Fernando., 2013, págs. 3-29). Titulada, instalación y automatización del laboratorio de transferencia de calor. Que desarrolla. La física define la transferencia de calor como el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distintas temperaturas. El calor se transfiere mediante convección, radiación y conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos sobre los otros dos.

La radiación térmica, (...) es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita, y esta radiación se puede atribuir a cambios en la configuración electrónica de los átomos o moléculas. Sin embargo, mientras la radiación emita y absorbida aumenta y disminuye, respectivamente la energía térmica de la materia, la radiación reflejada y transmitida no tiene ningún efecto sobre esta energía

Pérez Gonzales Eduardo (2014), titulada; Diseño de un sistema deshidratador de alimentos geotérmico de baja entalpia. El agua contenida en los alimentos permite la proliferación de microorganismos o el desarrollo de reacciones químicas que los deterioran, por ello cuando es necesario conservarlos por algún tiempo, una alternativa es secarlos o deshidratarlos; es decir, remover el agua contenida en su interior. (...) exponer los alimentos a una corriente de aire, con determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad.

No se sabe cuándo el hombre descubrió que la eliminación parcial de agua aumentaba la vida útil de los alimentos, pero ya la biblia menciona a las uvas, higos secos y maíz tostado. Incluso antes de los registros históricos encontrados, el hombre probablemente utilizaba el secado, ahumado, salado y encurtido como medios de conservación, a menudo en forma combinada; descubriendo que se puede prevenir la alteración de los alimentos mediante un proceso de secado con sal (...)

(Jimenez Garcia, 2012) Titulado; estudio de la transferencia de calor en ventanas mexicanas en condiciones de clima frio mediante una cámara de ambiente controlado. La transferencia de calor mediante radiación térmica no requiere materia. Considera a un sólido que inicialmente está a una temperatura más alta que la de los alrededores, en el entorno existe el vacío; el cual evita la pérdida de energía desde la superficie del sólido por convección o conducción, la intuición nos dice que el sólido se enfriará y finalmente alcanzará el equilibrio termodinámico con sus alrededores. Este enfriamiento está asociado con una reducción en la energía interna almacenada por el sólido y es una consecuencia directa de la emisión de radiación térmica desde la superficie. A su vez, la superficie interceptará y absorberá la radiación originada desde los alrededores. Asimismo, señala, que Se asocia la radiación térmica a la intensidad con que la materia emite energía.

Cuando la radiación solar incide sobre una ventana, en el vidrio, una parte de esta energía se transmite (τG), otra se absorbe (αG) y el resto se refleja (ρG).

2.1.2. Nacional

(Sanchez Ayte, 2009, pág. 5) Titulada, Diseño y Construcción de un secador solar para cochinilla de 300kg/mes de capacidad de producción. El secado de un producto evita la proliferación de microorganismos que puedan afectar su calidad y consiste en que el aire absorba la humedad que pierde el producto al ser rociado por un aire caliente de flujo constante o por incidencia del sol en forma directa.

El autor menciona sobre la energía requerida, en esta parte revisaremos la cantidad de energía que se necesita para evaporar el agua del producto manteniendo relativamente bajo la humedad del aire, (...) previamente algunas propiedades del aire húmedo y procesos de la transferencia de calor.

Ronald Iván Nazario Herrera Prado (2011) 5, titulada; diseño de una cama calefactora para regiones frías. En la sierra del Perú existen muchos pobladores indígenas que viven en regiones donde la temperatura es muy cercana a cero grados centígrados. El objetivo de este trabajo es diseñar una cama calefactora, mediante el uso de la energía solar, para proporcionar confort térmico al campesino de la sierra durante las noches.

Finalmente, la cama debe ser una tecnología fácilmente asequible, económica y contar con una instalación y un mantenimiento sencillos. Esto permitiría la fácil difusión de esta nueva tecnología.

Carlos Sixto Martínez Carrera (2014) titulada; Definir el efecto de los colectores solares con tubos de vacío en el ahorro de energía eléctrica en zonas alto andinas. Determinar la radiación

solar durante los días de evaluación. • Obtener datos de temperaturas de las termas solares durante un día, cada hora durante 24 horas, construir el comportamiento térmico de los colectores solares, definir la energía entregada en un día por colector solar a los beneficiarios. El efecto causado por los colectores solares en el ahorro de energía eléctrica en las zonas alto andinas es positivo y significativo. Aun cuando la radiación solar en los días que hubo evaluación fueron coincidentes con los días de menor brillo solar por culpa de la aleatoriedad del tiempo y que fue en promedio de $4.76 \text{ kWh/m}^2 / \text{día}$, se ha obtenido una ganancia energética gracias a los colectores solares de 125.9 kWh/día en toda la comunidad, que representa el consumo eléctrico de dos o más hogares de una familia promedio de la ciudad de Huancayo.

2.1.3. Local

(**Dianilter Mamani, 2015**), La presente investigación buscan analizar y evaluar la eficiencia de un prototipo de secador solar mixto en la ciudad de Cajamarca, analizando los parámetros de operación, instalación y geometría solar de acuerdo con la zona de estudio; así logrando diseñar y construir un prototipo de secador solar mixto bajo ciertos requerimientos teniendo una correcta instalación, operación y secado. La investigación tecnológica – experimental tiene 2 etapas: la primera, diseño y construcción del prototipo; es decir, el estudio tiene un carácter analítico y sintético; la segunda etapa, el análisis y discusión de resultados usando como técnica la observación usando instrumentos como; un termómetro digital, un anemómetro, una brújula, un inclinómetro y una balanza de mano digital; todo ello recolectado en la ficha de recolección de datos, que se exhiben en tablas y figuras, determinando la eficiencia del prototipo en mención. La efectividad del prototipo de secador solar mixto, muestra que el tiempo de secado es de 30 horas para el respectivo deshidratado y una

pérdida de humedad de 75%, cuyas evidencias se muestra en el resultado del deshidratado, el cual es de buena calidad. (Mamani,2015)

Ocas Gutiérrez, Alex (2015) titulado; Diseño de un mecanismo para un colector solar de placa plana e incrementar la capacidad solar en la ciudad de Cajamarca, 2015. El objetivo del presente trabajo de investigación fue diseñar un mecanismo para un colector solar de placa plana y la capacidad de captación solar en la ciudad de Cajamarca, desarrollado en el laboratorio de CIPEN de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para los resultados obtenidos, se utilizó un programa de simulación de radiación solar que sirvió de guía e inicio del presente trabajo, a base a indicadores donde se analiza la capacidad solar de un 26.4% de radiación global y el 44.21% radiación directa, radiación difusa en 28.13%. Se logró diseñar el mecanismo para un colector solar de placa plana durante todo el día durante los meses de enero hasta diciembre en un total de 98.67% de radiación solar. Se diseñó el circuito de control que consiste en detectar variación de luz ohmios lux, 60 Hz, la cual es detectada por el sensor llamado fotorresistencia de su variación de 0.1%, que sirve para enviar información al motor del colector solar de placa plana.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Energía solar

La energía solar ha sido motivo de múltiples investigaciones debido al costo cada vez más elevado y la escasez de combustibles fósiles. Por su gran abundancia, (...), la energía solar ha encontrado sin necesidad de técnicas complejas aplicaciones muy prometedoras en el acondicionamiento de agua de consumo, la calefacción y el enfriamiento de edificios residenciales. (Manrique, 2002, pág. 284)

En primer lugar, no se requiere materia para la transferencia de calor radiante; por lo contrario, la presencia de un medio impedirá la transferencia por radiación entre ambas superficies. Se observa que la bruma reduce la temperatura máxima diurna e incrementa las temperaturas mínimas por la tarde, las cuales dependen de la transferencia de energía radiante entre la tierra y el espacio. (Welty, Wicks, & Wilson, s/f, pág. 513)

2.2.2. Energía Solar en el Perú

Salcedo Cuenca, considera que: “La energía solar es aquella energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, la cual ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar por conversión térmica (energía solar térmica) y por conversión fotovoltaica (energía solar fotovoltaica) (Salcedo, 2016). Asimismo, cita a Miliarium, quién sostiene que: “La energía solar térmica consiste en aprovechar la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de energía. Mientras que la energía solar fotovoltaica se basa en la captación de la energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de modulo fotovoltaicos”. Se precisa que: “El uso de la energía solar tiene un doble objetivo, por un lado es la de ahorrar en energías no renovables como la energía y por otro lado tiene el objetivo de a reducir el impacto ambiental generado por las energías no renovables” (Jutglar, 2004). La energía solar en Perú, es un recurso energético que se tiene en gran cantidad, en todo nuestro territorio, es una energía uniforme (Horn, 2006).

Destacamos que la energía solar, su utilización es gratuita, pero falta desarrollar los medios para emplearla de manera económica (Burghardt, 1984, pág. 6).

2.2.3. Energía Solar en la Zona de Investigación

El Sol es la principal fuente de energía renovable en la Tierra, la energía proveniente de esta es conocida como energía solar, la cual llega a nosotros en forma de ondas electromagnéticas. La emisión o transferencia de energía en forma ondas electromagnéticas provenientes del Sol que llegan hasta la atmósfera de la Tierra es conocida como radiación solar y las ondas que llegan hasta la superficie terrestre, luego de sufrir considerables interacciones con la atmósfera es conocida como radiación atmosférica (Salcedo, 2016, pág. 12).

Es importante tener en cuenta que la radiación solar sobre una superficie está condicionada por factores como el período del año latitud, longitud del lugar, orientación e inclinación de la superficie, condiciones climáticas del lugar. Dada una ubicación, la condición óptima de inclinación y orientación de una superficie para conseguir una mayor ganancia de radiación solar es aquella que sigue la trayectoria del Sol, de manera que la superficie se mantiene perpendicular al Sol en cada instante. La medición de este valor siempre teniendo la superficie de manera perpendicular a la incidencia de la radiación es muy complicada (Salcedo, 2016, pág. 6). En consecuencia, lo que generalmente se recurre a medir es la radiación solar sobre superficie horizontal y mediante métodos numéricos se estima la radiación sobre superficies con una determinada inclinación y orientación.

El lugar donde se sitúa el proyecto es en el norte del Perú, está ubicado en el distrito de Baños del Inca, departamento de Cajamarca, en ese sentido es importante tener en cuenta las condiciones ambientales de la zona, para establecer la temperatura y la radiación solar del lugar. La radiación solar sobre una superficie está condicionada por factores como el periodo del año, latitud, longitud del lugar, orientación e inclinación de la superficie, condiciones climáticas del lugar, etc. En la región de Cajamarca, existe una

demanda de generar un mecanismo, para la conservación de la fruta en especial, la fruta del aguaymanto, que se produce en los meses de enero y febrero; generándose una demanda de frutos secos que tengan sus nutrientes, aptos para el consumo humano. Estos frutos, serán expuestos a una temperatura de 60-65°C.

La energía solar en Cajamarca es propicia para generar un consumo masivo de secadores solares, y de esta forma conservarán los productos de consumo, por un tiempo prolongado. El año 2013, en Cajamarca se instalaron paneles solares para dar energía a las familias de zonas rurales, que comprendió a 126 localidades con 1601 familias, beneficiando a un total de 8000 (elcomercio.pe/sociedad).

En ese sentido, la energía proveniente del Sol es una buena opción porque el Sol emite energía 24 horas al día, 365 días al año a nuestro planeta. Todos lugares reciben esta energía según la ubicación (latitud), - es abundante y gratuita, no es contaminante, como el petróleo y el carbón, no tiene desechos radioactivos, como la nuclear, etc. Nadie puede aumentar su precio, no necesita algún tipo de cables o tanques, para su transportación. No se puede secuestrar esta gran fuente (doctornandwanisolarcook.files.wordpress., 2016).

2.2.4. Transferencia de Calor

La Transferencia de Calor es una Ciencia de la Ingeniería, que tiene como objetivo cuantificar los flujos de calor en procesos naturales y de Ingeniería, el calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción (Bravo & Guevara, 2013)

La transferencia de energía siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja y esa transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura (...) el calor, que es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones

de esa transferencia es la transferencia de calor. (Cengel, 2007, pág. 2).

Existen tres formas de transferencia de energía: conducción, convección y radiación. Todos los procesos de transferencia de calor involucran a una o más de estas formas (Díaz, 2007, pág. 279). En ese sentido entendemos por:

a) Conducción

La energía calorífica se transmite durante el contacto directo entre cuerpos (o partes de los mismos) a distintas temperaturas y tiene lugar mediante choques o acoplamientos entre las moléculas del sistema (unas en zonas más calientes, con mayor energía térmica y otras en las zonas más frías, con menor energía térmica), aunque no haya un movimiento macroscópico de las moléculas, o el material sea transparente a la radiación. Este proceso es de gran importancia en sólidos, pero de menor importancia en líquidos y gases, donde normalmente aparece combinado con la convección y es prácticamente enmascarado por ésta.

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Donde la siguiente ecuación es más generalizada para el flujo de calor.

$$\frac{q}{A} = -k \nabla T \quad (2)$$



FIGURA 1 Transferencia de Calor por Conducción,
<https://didactalia.net/comunidad/materiaeducativo/recurso/transferencia-del-calor-por-conduccion/762bddb0-4c29-4d17-bcab-e8f77f17385a>

b) Convección

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas “calientes” de las zonas de alta temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas. Este proceso tiene gran importancia en fluidos y también es denominado conducción superficial, ya que el flujo de calor entre la superficie de un material y un fluido está relacionado con la conducción a través de una fina capa del fluido que se encuentra junto a la superficie. Además, es este proceso de conducción superficial el que provoca, en un fluido inicialmente en reposo en contacto con una superficie a distinta temperatura, una diferencia de temperaturas en el fluido, originándose diferencias de densidad en el mismo que producirán a su vez un desplazamiento físico de materia a distintas temperaturas de unas zonas a otras, teniéndose convección (en este caso natural).

$$Q_c = h_c A \Delta T \quad (3)$$

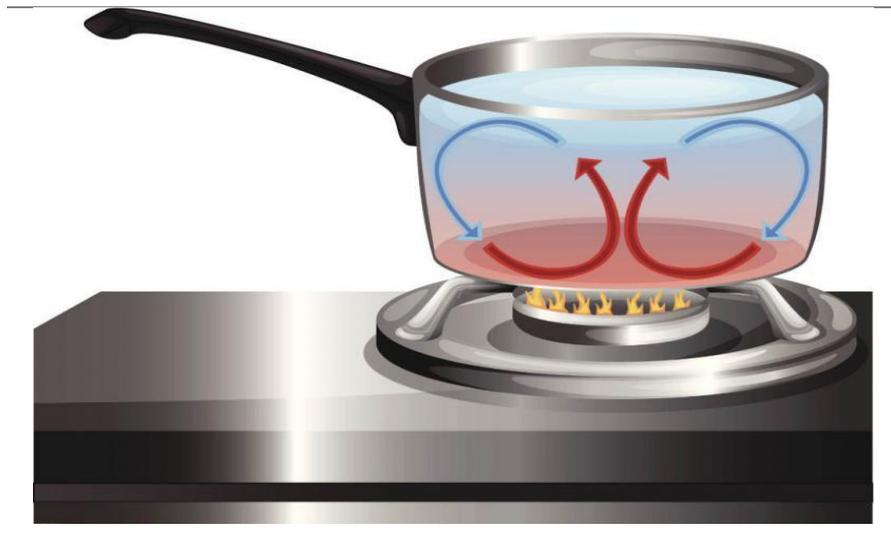


FIGURA 2 Transferencia de Calor por Convección,
<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5074/que-es-la-conveccion>

c) Radiación

La energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T , y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura. La radiación es el único medio de transmisión del calor cuando ésta tiene lugar a través del vacío, y puede ser muy importante para altas temperaturas.

$$Q_r = \sigma AT^4 \quad (4)$$

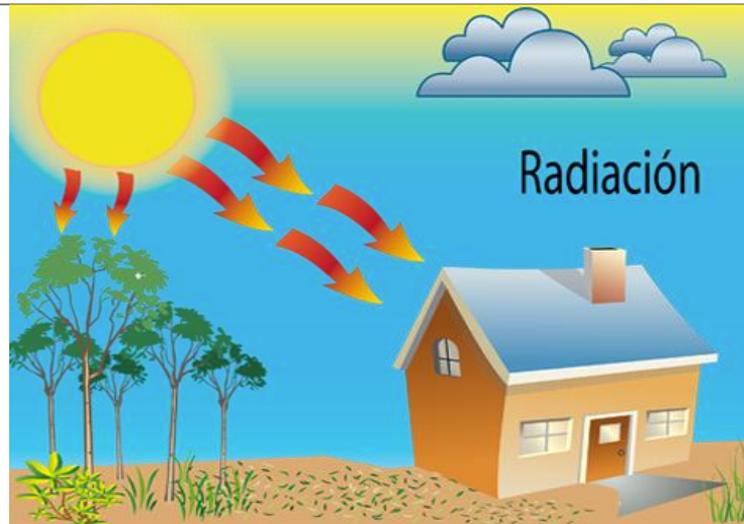


FIGURA 3 Transferencia de Calor por Radiación,
<http://primaria5.blogspot.pe/2014/02/transferecia-de-calor.html>

2.2.5. Aspectos Generales de la Transferencia de Calor

La transferencia de calor radiante difiere de la conducción, y de la convección en que no se requiere ningún medio para la propagación; de hecho, la transferencia de energía por radiación es máxima cuando las dos superficies que intercambian energía se encuentran separadas por un vacío perfecto. El exacto mecanismo de transferencia de calor por radiación aún no se comprende por completo. Existe evidencia que apoya tanto los razonamientos que la consideran ondulatoria como los que la explican cómo corpuscular. Sin embargo, un hecho notable es que un proceso tan complejo como la transferencia de calor por radiación puede describirse mediante una expresión analítica razonablemente simple (Welty, Wicks, & Wilson, s/f).

Para esta investigación sólo nos centraremos en estudiar la transferencia de calor por radiación, que es “La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados también fuente y receptor”. En este proceso tiene lugar el transporte de energía, que es la Transferencia de Calor, y esta energía en tránsito se denomina

calor. Esta energía en tránsito no puede ser medida ni observada directamente, pero sus efectos que produce son susceptibles a ser medidos y observados mediante una cantidad mensurable llamada temperatura. Por otra parte señala que: “Desde el punto de vista de ingeniería la determinación de la rapidez de transferencia de calor a una diferencia específica de temperatura constituye el problema principal” (Díaz, 2007).

Cengel, (2007), señala que la transferencia de calor en la ingeniería se manifiesta, en: Los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, los calentadores, los hornos, los refrigeradores y los colectores solares, están diseñados tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor. En ese sentido, un aparato o proceso de ingeniería puede estudiarse en forma experimental (realización de pruebas y toma de mediciones) o en forma analítica (mediante el análisis o la elaboración de cálculos); presentando problemas (p. 5)

2.2.6. Transferencia de Calor por Radiación

La radiación es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura, cuando estos están separados por un espacio, inclusive el vacío absoluto. El mecanismo físico de la radiación no está completamente entendido, en cuanto así estas se transmiten por ondas electromagnéticas o por fotones, pero se sabe que la radiación viaja en el vacío a la velocidad de la luz es decir a 300 000km/s. (Díaz, 2007, pág. 309)

El autor señala, que para estudiar a profundidad el transporte de calor por radiación, es importante recurrir a la teoría electromagnética de Maxwell, que describe la naturaleza ondulatoria de la radiación y sustenta que las ondas viajan a la velocidad de la luz (Díaz, 2007). Describe detalladamente los procesos at (cdna.labioguia.com) (Welty, s.a)ómicos y moleculares que tienen lugar cuando la radiación se produce en el interior de la materia o bien es absorbida por ella y

sustenta que la energía se transporta mediante fotones que viajan a la velocidad de la luz, recurriendo a la mecánica cuántica (Díaz, 2007). Considera que el origen de la energía radiante es:

“La energía radiante se origina dentro de las moléculas del cuerpo radiante, los átomos de cuyas moléculas vibran en un movimiento armónico simple como osciladores lineales” (Díaz, 2007, pág. 309). De igual manera señala que: “Según la Teoría Electromagnética de Maxwell se puede considerar como un campo eléctrico oscilante acompañado de un campo magnético oscilante, la variación de la intensidad con el tiempo, del campo eléctrico pasando por un punto dado, puede representarse por una onda senoidal que tiene longitud finita” (Díaz, 2007, pág. 310).

Díaz Bravo (2007), señala que el esquema atómico propuesto por Bohr es útil para tener una comprensión más clara del posible origen de la energía radiante.

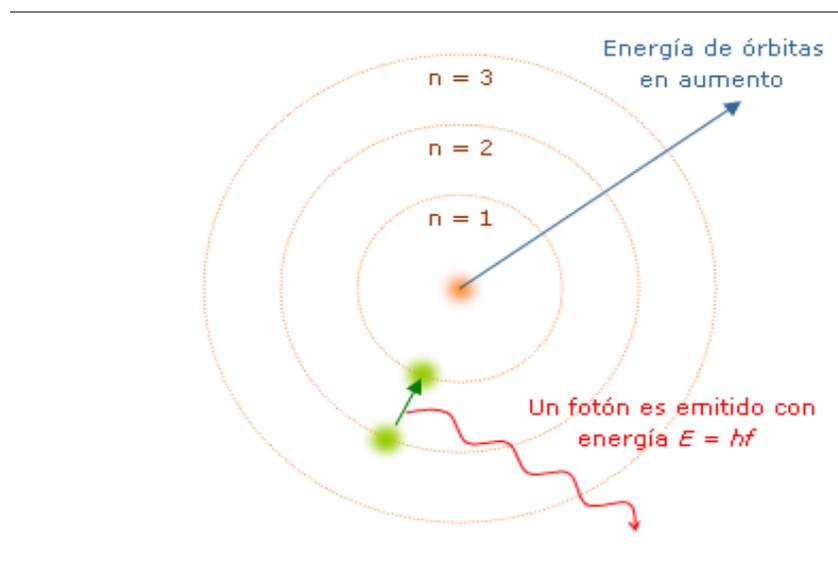


FIGURA 4 Modelo Atómico de Bohr,
https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B3mico_de_Bohr

Puesto que los electrones viajan alrededor del núcleo de un átomo, en órbitas elípticas a distancias variables del núcleo, y los electrones de la órbita exterior poseen energía definida que

comprenden sus energías cinéticas y potenciales en virtud de su rotación alrededor del núcleo. Asimismo, se refiere a la energía potencial, que es la energía requerida para remover un electrón de su órbita a una distancia infinita del núcleo. Y señala que un electrón dado en una órbita a una distancia del núcleo tendrá una determinada energía, si ocurre una perturbación tal como una colisión de un átomo con otro o con un electrón, el electrón en cuestión podría, ser desplazado de su órbita y volver a su órbita, y pasar a otra órbita cuyos electrones poseen diferencia de energía o dejar el sistema influido por el núcleo. (p. 310). El autor agrega que:

A este respecto, “si la transición es de una órbita de mayor energía a una de menor energía, el reajuste se realiza emitiendo el exceso. Puesto que la temperatura es una medida del promedio de energía cinética, promedio tanto de traslación como vibración, y puede esperarse por lo tanto que a mayor temperatura mayor cantidad de energía radiante emitida por una sustancia. Agrega que, para que la energía radiante se emita desde el interior de un sólido debe penetrar la superficie del sólido sin ser disipada en producir otros cambios de energía dentro de las moléculas. Hay pocas probabilidades de que la energía radiante genere en el interior un sólido alcance, en su superficie sin encontrar otras moléculas. Por lo tanto, toda la energía radiante emitida de la superficie de los cuerpos sólidos es generado por cambios en los niveles de energía de las moléculas cercadas a la superficie, por lo que cantidad de energía emitida por un sólido es función de la superficie del cuerpo y recíprocamente, la radiación incidente en un cuerpo se absorbe en su superficie. La probabilidad de que la energía interna generada alcance la superficie es mucho mayor para los gases calientes radiantes que para los sólidos y líquidos (Díaz, 2007, pág. 311)

Se presenta el siguiente cuadro que es propuesta nuestra, con la información identificada en la obra de Díaz Bravo.

Tabla 3. Origen de la Radiación

Transferencia de Calor por Radiación	Origen	Teorías	Propuestas
Origen de la energía radiante.	La energía radiante se origina dentro de las moléculas del cuerpo radiante, los átomos de cuyas moléculas vibran en un movimiento armónico simple como osciladores lineales.	<p>*La Teoría electromagnética de Maxwell, se puede considerar como un campo eléctrico oscilante acompañado de un campo magnético oscilante.</p> <p>*La teoría cuántica postula que para frecuencia de radiación hay una pulsación mínima de energía</p>	Esquema atómico propuesto por Bohr, que es útil para tener una comprensión más clara del posible origen de la energía radiante
Radiación de un cuerpo negro.	Es un cuerpo que emite y absorbe la cantidad máxima posible de radiación con cualquier longitud de onda dada, a cualquier temperatura.	<p>Segunda Ley de termodinámica: Impone un límite superior para la emisión de radiación. Se usa como patrón con el que se comparan las características de radiación de otros medios.</p>	Si se coloca un cuerpo negro a la misma temperatura que la superficie interna de la cavidad recibe radiación de manera uniforme.
a) Incidencia de la energía radiante.	Cuando la radiación índice sobre un cuerpo es parcialmente absorbida, parcialmente reflejada y parcialmente transmitida a través del cuerpo.	<p>Max Planck: Teoría Cuántica: Relación cuántica de cómo se distribuye la potencia emisora de un cuerpo negro entre las diferentes longitudes de onda.</p>	El cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente.
b) Ley de Kirchhoff.	Las propiedades de radiación total pueden obtenerse a partir de las propiedades monocromáticas las cuales se aplican sólo con una longitud de onda única.		
Cuerpos grises	Son superficies con emitancia y absortancia monocromática cuyos valores son independientes de la longitud de onda.		
Características de las superficies reales	<p>La radiación emanada de superficies reales difiere en varios aspectos de la radiación emanada de un cuerpo negro o uno gris. Cualquier superficie real irradia menos que un cuerpo negro a la misma temperatura.</p> <p>La superficie gris irradia una fracción constante de la potencia emisora monocromática de una superficie opaca con la misma</p>		

	temperatura a lo largo del espectro completo.		
Factor de forma en la radiación	La fracción de radiación difusamente distribuida que sale de una superficie y llega a una superficie se llama factor de forma para la radiación.	Primer Subíndice: En el factor denota la superficie de la cual emana la radiación. Segundo Subíndice: Denota la superficie que la recibe.	El factor de forma a veces también se denomina factor división.
Intercambio de energía radiante	Para determinar la transferencia de calor por radiación hacia o desde una superficie, hay que tener en cuenta la radiación proveniente de todas las direcciones. Consideraremos el intercambio de calor radiante entre superficies, en un medio que no absorbe, emite ni disperse la radiación, que puede ser el vacío o aire a baja temperatura.		

Fuente: elaboración propia 2017

Toda la vida en la Tierra depende de la transferencia de energía desde del Sol, y esta energía se transfiere hacia la Tierra a través del espacio vacío (o casi vacío). Esta forma de transferencia de energía es calor - dado que la temperatura de la superficie del Sol es mucho mayor (6000 K) que la de la Tierra - y se le conoce como radiación- El calor que se recibe de una fogata es principalmente energía radiante. (La mayor parte del aire calentado por el fuego en un hogar se eleva por convección hacia la chimenea y no llega a las personas que se encuentran cerca). La radiación consiste esencialmente en ondas electromagnéticas (Welty, Wicks, & Wilson, s/f, pág. 399)

2.2.7. Naturaleza de la Radiación

La transferencia de energía por radiación tiene varias características únicas en contraste con la conducción o la convección.

En primer lugar, no se requiere materia para la transferencia de calor radiante; por lo contrario, la presencia de un medio impedirá la transferencia por radiación entre ambas superficies. Se observa que la bruma reduce la temperatura máxima diurna e incrementa las temperaturas mínimas por la tarde, las cuales dependen de la transferencia de energía radiante entre la Tierra y el espacio.

Un segundo aspecto único de la radiación es que ambas, la cantidad y la calidad de la radiación, dependen de la temperatura. En la conducción y la convección se encontró que la cantidad de calor transferido depende de la diferencia de temperaturas; en la radiación, la cantidad de transferencia de calor depende tanto de la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos como del nivel de la temperatura (Welty, Wicks, & Wilson, s/f, pág. 513). Agregan los autores que: “La radiación viaja a la velocidad de la luz y ambas tienen propiedades tanto de onda como de partícula”.

La radiación de longitud de onda corta, como los rayos gama y los rayos X, se asocian con energías muy altas. Para producir radiación de este tipo debe perturbarse el núcleo o los electrones de las capas interiores de un átomo los rayos gama y los rayos X también tienen una mayor capacidad de penetración; las superficies que son opacas a la radiación visible son fácilmente permeables a los rayos gama y a los rayos X. Las radiaciones con longitudes de onda muy largas, como las ondas de radio, también pueden pasar a través de los sólidos: sin embargo, la energía asociada con tales ondas es mucho menor que la radiación de longitud de onda corta (Welty, Wicks, & Wilson, s/f, pág. 514)

2.2.8. Características de la Radiación

Dentro de las características que definen a la transferencia de calor por radiación está, “La radiación electromagnética que es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. Sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión

$\lambda\nu = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío con una rapidez constante $c = 299792 \text{ km/s}$, llamada "velocidad de la luz" (old.dgeo.udec.cl, 2017). En ese sentido presenta las siguientes formulas y explicaciones:

Los fotones son emitidos o absorbidos por la materia. La longitud de onda de la radiación está relacionada con la energía de los fotones, por una ecuación desarrollada por Planck:

$$c = \lambda\nu \quad (5)$$

Puesto que las energías viajan a la velocidad de la luz, entonces tenemos

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (6)$$

$$E = h\nu \quad (7)$$

Donde h se llama constante de Planck, su valor es $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J/s}$.

La radiación electromagnética consiste en una perturbación armónica de los campos eléctrico y magnético que se propaga por el espacio. La radiación electromagnética se caracteriza bien por su longitud de onda λ , bien por su frecuencia de oscilación ν , relacionadas ambas por la expresión $\nu = c/\lambda$. Todos los tipos de radiación electromagnética no son en el fondo más que ondas electromagnéticas de distintas longitudes de onda. Así, la diferencia fundamental entre los rayos γ , los rayos X, la radiación ultravioleta, la radiación visible, la radiación infrarroja, la radiación de microondas o las radiofrecuencias no está en su naturaleza, sino en sus distintas energías (Martín, 2011).

En las siguientes imágenes se puede observar los diferentes rangos correspondientes a los distintos tipos de radiación

electromagnética que muestran el espectro de la radiación electromagnética:

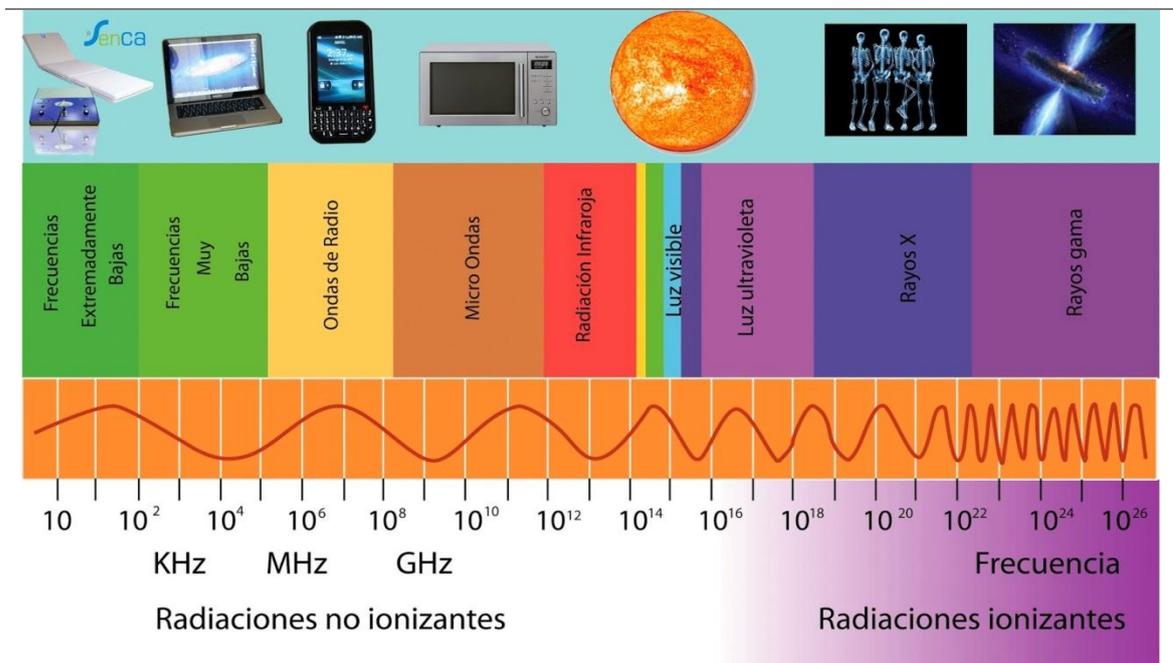


FIGURA 5 Tipos de Radiación Electromagnética, <https://gigantesencasa.com/2016/11/25/mi-cuerpo-emite-radiaciones-electromagneticas-y-el-tuyo-tambien/>

2.2.9. Radiación Espectro magnética

Atendiendo a su longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres, y varía desde los energéticos rayos gamma, con una longitud de onda muy corta del orden de picómetros (frecuencias muy altas) hasta las ondas de radio con longitudes de onda muy largas del orden de kilómetros (frecuencias muy bajas), pasando por la luz visible, cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micrómetro. El rango completo de longitudes de onda es lo que se denomina el espectro electromagnético. Esta variación es porque las fuentes que producen las ondas son completamente diferentes. El espectro electromagnético no tiene definidos límites superior ni inferior (old.dgeo.udec.cl, 2017). Agrega que: La luz, llamada también luz visible o luz blanca, es uno de los componentes del espectro electromagnético, y se define como aquella parte del espectro de

radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano. La luz visible es un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al color violeta (aproximadamente 400 nm) hasta la longitud de onda correspondiente al color rojo (aproximadamente 700 nm) (old.dgeo.udec.cl, 2017).

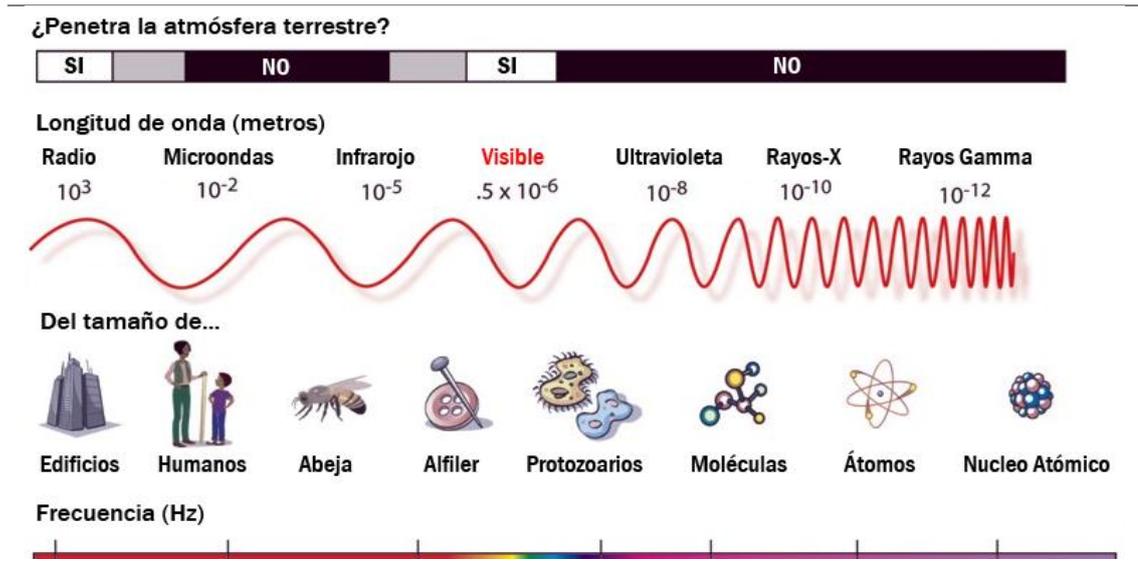


FIGURA 6 Espectro Electromagnético y Región Visible, <http://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>

El espectro electromagnético está compuesto por rayos gamma, rayos X duros y blandos, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio (old.dgeo.udec.cl, 2017), y estos a su vez están compuestos por:

Los rayos gamma y los rayos X duros, que tienen una longitud de onda de entre 5×10^{-6} y 5×10^{-4} micrómetros (un micrómetro, símbolo μm , es una millonésima de metro).

Los rayos X blandos se superponen con la radiación ultravioleta en longitudes de onda próximas a los 5×10^{-2} μm . La región ultravioleta, a su vez, da paso a la luz visible, que va aproximadamente desde 0.4 hasta 0.8 μm .

Los rayos infrarrojos se mezclan con las frecuencias de microondas, entre los 100 y 400 μm . Desde esta longitud de onda hasta unos 15.000 m, el espectro está ocupado por las diferentes

ondas de radio; más allá de la zona de radio, el espectro entra en las bajas frecuencias, cuyas longitudes de onda llegan a medirse en decenas de miles de kilómetros.

Tabla 4 Tipos de Radiación

	Longitud de onda	Frecuencia	Energía (J)
Rayos Gamma	<10pm	>30.0 EHz	>19.9 * 10 ⁻¹⁵
Rayos X	<10nm	>30.0 PHz	>19.9 * 10 ⁻¹⁸
Ultravioleta Extremo	<200nm	>1.5PHz	>993 * 10 ⁻²¹
Ultravioleta Cercano	<380nm	>789THz	>523 * 10 ⁻²¹
Luz Visible	<780nm	>384THz	>255 * 10 ⁻²¹
Infrarrojo Cercano	<2.5 µm	>120THz	>79.5 * 10 ⁻²¹
Infrarrojo Medio	<50µm	>6.00THz	>3.98 * 10 ⁻²¹
Infrarrojo Lejano	<1mm	>300 GHz	>199 * 10 ⁻²⁴
Microondas	<30cm	>1.0 GHz	>1.99 * 10 ⁻²⁴
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1m	>300 MHz	>1.99 * 10 ⁻²⁵
Muy Alta Frecuencia Radio	<10m	>30MHz	>2.05 * 10 ⁻²⁶
Onda Corta Radio	<180m	>1.7MHz	>1.13 * 10 ⁻²⁷
Onda Media (AM) Radio	<650m	>650kHz	>4.31 * 10 ⁻²⁸
Onda Larga Radio	<10Km	>30kHz	>1.98 * 10 ⁻²⁹
Muy Baja Frecuencia Radio	>10Km	<30kHz	<1.99 * 10 ⁻²⁹

Fuente: (old.dgeo.cl, 2017)

La radiación del Sol es emitida en todas las longitudes de onda, pero tiene un máximo en la región de luz visible. La luz visible está compuesta por varios colores, que cuando se mezclan forman la luz blanca. Cada uno de los colores tiene una longitud de onda específica, con límites entre 0.4 y 0.7 µm. Considerando desde las longitudes de onda más cortas a las más largas, los diferentes colores tienen los valores centrales de longitudes de onda. Estos colores están dentro de un rango de longitudes de onda, por ejemplo, el

violeta está en el rango entre 0.4 y 0.45 μm . Son los colores que forman el arcoíris. En sus extremos se tienen el ultravioleta y el infrarrojo. La mayor cantidad de energía radiante del Sol se concentra en el rango de longitudes de onda del visible y visible cercano del espectro, con las siguientes proporciones: luz visible 43%, infrarrojo cercano 49%, ultravioleta 7%, y el 1% restante en otros rangos (old.dgeo.udec.cl, 2017).

2.2.10. Penetración de la Radiación Electromagnética

Cuando la frecuencia es inferior a la frecuencia de la radiación ultravioleta, los fotones no tienen suficiente energía para romper enlaces atómicos. Se dice entonces que la radiación es radiación no ionizante. A partir de los rayos ultravioleta, vienen los Rayos X y los Rayos gamma, muy energéticos y capaces de romper moléculas, dicha radiación se denomina radiación ionizante (old.dgeo.udec.cl, 2017). De igual manera agrega que:

La radiación electromagnética reacciona de manera desigual en función de su frecuencia y del material con el que entra en contacto. El nivel de penetración de la radiación electromagnética es inversamente proporcional a su frecuencia. Cuando la radiación electromagnética es de baja frecuencia, atraviesa limpia mente las barreras a su paso. Cuando la radiación electromagnética es de alta frecuencia reacciona más con los materiales que tiene a su paso. En función de la frecuencia, las ondas electromagnéticas pueden no atravesar medios conductores. Esta es la razón por la cual las transmisiones de radio no funcionan bajo el mar y los teléfonos móviles se quedan sin cobertura dentro de una caja de metal. Sin embargo, como la energía ni se crea ni se destruye, sino que se transforma, cuando una onda electromagnética choca con un conductor pueden suceder dos cosas. La primera es que se transformen en calor: este efecto tiene aplicación en los hornos de

microondas (old.dgeo.udec.cl, 2017). Se puede ejemplificar de la siguiente manera:

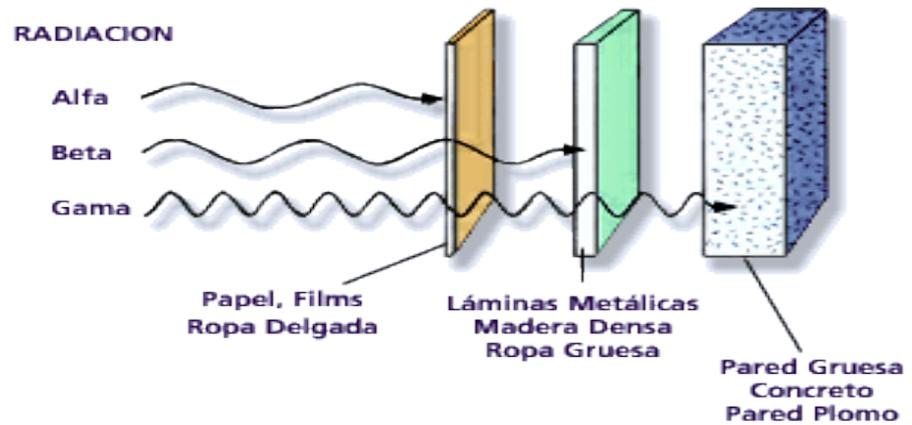


FIGURA 7 Penetración de la Radiación Electromagnética, (www.google.pe/q=poder+de+penetraci%C3%B3n+de+la+radiaci%C3%b3n)

La radiación de partículas también puede ser ionizante si tiene suficiente energía. Algunos ejemplos de radiación de partículas son los rayos cósmicos, los rayos alfa o los rayos beta (old.dgeo.udec.cl, 2017). Que son:

Tabla 5 Radiación de las partículas

Los rayos cósmicos	Son chorros de núcleos cargados positivamente, en su mayoría núcleos de hidrógeno (protones). También pueden estar formados por electrones, rayos gamma, piones y muones.
Los rayos alfa	Son chorros de núcleos de helio positivamente cargados, generalmente procedentes de materiales radiactivos.
Los rayos beta	Son corrientes de electrones, también procedentes de fuentes radiactivas. La radiación ionizante tiene propiedades penetrantes, importantes en el estudio y utilización de materiales radiactivos. Los rayos beta son detenidos por unos pocos centímetros de madera.
Los rayos alfa	De origen natural son frenados por un par de hojas de papel o unos guantes de goma.
Los rayos gamma y los rayos X.	Según sus energías, exigen un blindaje grueso de material pesado como hierro, plomo u hormigón,

Fuente: (old.dgeo.udec.cl, 2017)

También existe la radiación mecánica, que corresponde a ondas que sólo se transmiten a través de la materia, como las ondas de sonido.

2.2.11. Leyes de Radiación

2.2.11.1. Ley de Stefan Boltzmann

Todos los objetos emiten energía radiante, cualquiera sea su temperatura, por ejemplo, el Sol, la Tierra, la atmósfera, los Polos, las personas, etc. La energía radiada por el Sol a diario afecta nuestra existencia en diferentes formas. Esta influye en la temperatura promedio de la tierra, las corrientes oceánicas, la agricultura, el comportamiento de la lluvia, etc.

Considerar la transferencia de radiación por una superficie de área A , que se encuentra a una temperatura T . La radiación que emite la superficie, se produce a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie. La rapidez a la cual se libera energía se llama potencia de radiación H , su valor es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

Esto se conoce como la ley de Stefan (Joseph Stefan, austriaco, 1835-1893), que se escribe como:

$$Q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (8)$$

Donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ se llama constante de Stefan-Boltzmann (Ludwing Boltzmann, austriaco, 1844-1906) y ε es una propiedad radiativa de la superficie llamada emisividad, sus valores varían en el rango $0 < \varepsilon < 1$, es una medida de la eficiencia con que la superficie emite energía radiante, depende del material.

2.2.11.2. Radiación en El Interior de una Cavidad

Denomina cavidad a un recinto hueco, cerrado, de paredes isoterma. Se conoce por experiencia que la radiación emitida por el exterior de la cavidad hacia fuera depende tanto de la temperatura

como de la naturaleza de las paredes de la cavidad. Por ejemplo, una cavidad de paredes externas rojas tendrá un aspecto muy diferente al de una cavidad de paredes externas verdes o azules. Sin embargo, hay una característica muy especial de la radiación dentro de la cavidad. Se puede demostrar que, en dicha cavidad, cuando todo el sistema está en equilibrio (Martín Domingo Agustín, s/a).

Cualquiera que sea la naturaleza de los materiales de las paredes interiores de la cavidad, la densidad de energía de la radiación en el interior de la cavidad depende exclusivamente de la temperatura de las paredes, mientras que la densidad espectral de energía depende exclusivamente de la temperatura y de la longitud de onda. Esto contradeciría el segundo principio de la termodinámica, ya que una cavidad se enfriaría y la otra se calentaría sin que se realizara trabajo sobre el sistema, luego las intensidades de radiación son iguales independientemente de la naturaleza de las paredes.

Para extender este argumento a la densidad de energía espectral u_λ bastaría con colocar en el agujero de comunicación entre las dos cavidades un filtro que dejara pasar solamente la radiación en el estrecho rango entre λ y $\lambda + d\lambda$. De este modo, las densidades espectrales de energía de ambas cavidades deberían de ser iguales por la misma razón que antes.

$$u = u(T) \quad (9)$$

$$u_\lambda = u_\lambda(\lambda, T) \quad (10)$$

2.2.11.3. Ley de Wien

De acuerdo a la teoría cuántica, se encuentra que los cuerpos a una temperatura determinada, emiten radiación con un valor máximo para una longitud de onda λ dada. Al aumentar la temperatura de un cuerpo negro, la cantidad de energía que emite se incrementa. También, al subir la temperatura, el máximo de la distribución de energía se desplaza hacia las longitudes de onda más cortas.

Se encontró que este corrimiento obedece a la siguiente relación, llamada ley del desplazamiento de Wien (Wilhelm Wien, alemán, 1864-1928):

$$\lambda_{\max}T = 2897 \quad (11)$$

2.2.11.4. Ley de Planck

Los objetos con mayor temperatura radian más energía total por unidad de área que los objetos más fríos. Por ejemplo el Sol con una temperatura media de 6000 K en su superficie, emite 1.6×10^5 $(6000/300)^4$ veces más energía que la Tierra con una temperatura media en superficie de 289 K = 16° C. La cantidad de energía emitida por un cuerpo negro está únicamente determinada por su temperatura y su valor lo da la Ley de Planck. En 1900, Max Planck (alemán, 1858-1947), descubrió una fórmula para la radiación de cuerpo negro en todas las longitudes de onda.

Este también emite la máxima cantidad de energía a una temperatura dada. La función empírica propuesta por Planck afirma que la intensidad de radiación $I(\lambda, T)$, esto es, la energía por unidad de tiempo por unidad de área emitida en un intervalo de longitud de onda, por un cuerpo negro a la temperatura absoluta T, está dada por:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc\lambda}{e^{\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right)} - 1} \quad (12)$$

Donde λ_{\max} es la longitud de onda que corresponde al máximo de la curva de radiación, en μm , y T es la temperatura absoluta del objeto que emite la radiación. La ley de Wien afirma que para la radiación de un cuerpo negro la longitud de onda de máxima emisión es inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

La ley que corresponde a la transferencia de calor por radiación fue descubierta por dos investigadores: J. Stefan, quien la determinó en

forma experimental, y L. Boltzmann, quien la dedujo desde el punto de vista teórico, con base en la mecánica estadística. La ley establece que el flujo de calor radiante, correspondiente a un cuerpo negro, es proporcional al área de la superficie, A , multiplicada por la temperatura absoluta de la superficie, elevada a la cuarta potencia T^4 . Una constante, la llamada constante de Stefan-Boltzmann (Burghardt, 1984, pág. 461).

2.2.12. Factor de Visión

La transferencia de calor por radiación entre las superficies depende de la orientación de unas en relación con las otras, así como de sus propiedades con respecto a la radiación y de las temperaturas. Por ejemplo, una excursionista hará el mejor uso de una fogata en una noche fría colocándose tan cerca del fuego como le sea posible y bloqueando el máximo de radiación que provenga de éste poniéndose de frente hacia ésta y no de lado. Del mismo modo, una persona aprovechará la mayor cantidad de radiación solar que incide sobre ella y tomará un baño de sol tendiéndose sobre su espalda en lugar de permanecer de pie (Cengel, 2007). A este respecto, se precisa que:

“Para tomar en cuenta los efectos de la orientación sobre la transferencia de calor por radiación entre dos superficies, definimos un nuevo parámetro llamado factor de visión, el cual es una cantidad puramente geométrica independiente de las propiedades de la superficie y de la temperatura. También se llama factor de forma, factor de configuración y factor de ángulo. El factor de visión de una superficie i hacia una superficie j se denota por $F_{i \rightarrow j}$, o sólo F_{ij} , y se define como F_{ij} la fracción de la radiación que sale de la superficie i y choca directamente contra la superficie j . La notación $F_{i \rightarrow j}$ resulta instructiva para los principiantes, ya que hace resaltar que el factor de visión es para la radiación que viaja de la superficie i hacia la j . Sin embargo, esta notación se vuelve un tanto incómoda cuando tiene que usarse muchas veces en un problema (Cengel, 2007)”.

2.2.13. Relaciones de Factor de Visión

El análisis de radiación sobre un recinto cerrado que consta de N superficies requiere la evaluación de N^2 factores de visión y este proceso de evaluación quizá sea la parte que requiere más tiempo en ese tipo de análisis. Una vez que se dispone de un número suficiente de ellos, el resto se puede determinar utilizando algunas relaciones fundamentales que existen entre los mismos, como son:

Tabla 6 Factor de Visión

a. La relación de reciprocidad	A esta relación se le menciona como relación de reciprocidad o regla de reciprocidad, y permite determinar la contraparte de un factor de visión a partir del conocimiento del propio factor y de las áreas de las dos superficies. Cuando se determina la pareja de factores de visión $F_{i \rightarrow j}$ y $F_{j \rightarrow i}$, tiene sentido evaluar en forma directa el más fácil de ellos y, enseguida, el más difícil mediante la aplicación de la relación de reciprocidad. $j \rightarrow i$
b. Regla de la Suma	El principio de conservación de la energía requiere que toda la radiación que sale de cualquier superficie i de un recinto cerrado sea interceptada por las superficies del propio recinto. Por lo tanto, la suma de los factores de visión desde la superficie i de un recinto cerrado hacia todas las superficies del propio recinto, incluso hacia sí misma, debe ser igual a la unidad. Esto se conoce como regla de la suma para un recinto cerrado.
c. La Regla de Superposición	La cual se expresa como: el factor de visión desde una superficie i hacia una superficie j que es igual a la suma de los factores de visión desde la superficie i hacia las partes de la superficie j . Es decir, el factor de visión desde una superficie j hacia una superficie i no es igual a la suma de los factores de visión desde las partes de la superficie j hacia la superficie i .
d. La Regla de simetría	La presencia de la simetría se puede determinar por inspección, teniendo presente la definición de factor de visión. Superficies idénticas que están orientadas de una manera idéntica con respecto a una tercera interceptarán cantidades idénticas de la radiación que salga de dicha superficie. Por lo tanto, la regla de simetría se puede expresar como: Dos (o más) superficies que poseen simetría con respecto a una tercera tendrán factores de visión idénticos desde esa superficie.

Fuente: (Cengel, 2007)

2.2.14. Equipos Utilizados en la Transferencia de Calor

Para la transferencia de calor, se requiere el siguiente equipo de transferencia de calor y desempeña la siguiente función:

Tabla 7 Equipos de Transferencia de Calor.

Los intercambiadores	Recuperan calor entre dos corrientes de un proceso. El vapor y el agua de enfriamiento son servicios y no se consideran en el mismo sentido que las corrientes de proceso recuperables.
Los calentadores	Se usan primariamente para calentar fluidos de proceso, y generalmente se usa vapor con este fin.
Los enfriadores	Se emplean para enfriar fluidos en proceso, el agua es el medio enfriador principal.
Los condensadores	Son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor en los procesos de destilación como calor latente.
Los hervidores	Tienen el propósito de suplir los requerimientos de calor en los procesos de destilación como calor latente.
Los evaporadores	Se emplean para la concentración de soluciones por evaporación de agua o si en lugar de agua se vaporiza cualquier otro fluido, la unidad es un vaporizador.

Fuente: (tesis.uson.mx; tesis.uson.mx)

2.2.15. Procesos de Transferencia de Radiación

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente o receptor independiente es, sin embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la condensación (Kern, 1999, pág. 15). En consecuencia, los mecanismos de la transferencia de calor, son de tres formas diferentes en las que puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación. Agrega el autor que:

“Respecto a la transferencia de calor de la radiación, esta involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor.

Cuando la radiación emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann estableció que la velocidad a la cual es una fuente de calor. La transferencia de calor es descrita como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipo de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el receptor, lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente del receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema” (Kern, 1999, págs. 16 - 17).

2.3. Secadores Solares

El secar las frutas, u otro tipo de alimentos, como: carne vacuna, granos de maíz, maní y poroto, almidón de mandioca, plantas medicinales, etc. Se colocaban sobre una manta, lona o tablas de madera o se cuelgan por un hilo al aire libre, en el Sol o en la sombra -según el producto- aprovechando el calor ambiental (unesco.org/new/fileadmin/). Por otra parte, el proceso es: a) lento debido a la elevada humedad en el ambiente, b) los alimentos se secan mal, sobre todo los que contienen un alto porcentaje de agua, y se pudren o se enmohecen, c) los productos están expuestos al polvo, a insectos y otros animales que pueden deteriorar los alimentos y causar enfermedades al consumirlos, etc (unesco, 2015).

Para mantener en óptimas condiciones algunos productos como son frutas hortalizas es necesario garantizar un correcto proceso de secado. Algunos productores utilizan técnicas de secado sencillas: como la exposición directa a la luz solar sobre planchas de metal o láminas de plástico negro, pero este proceso es muy lento. El aprovechamiento de la energía solar para el secado solar de frutas y hortalizas mediante el uso de secadores solares, tiene antecedentes concretos en nuestro país (feriadelasciencias.unam.mx)

2.3.1. Definición del Secado

Se entiende por secado de los alimentos a la extracción deliberada del agua que contienen. El contenido original del agua de los productos agrícolas varía entre el 30% y el 90% de la masa; mediante los procesos de deshidratado, el contenido de agua es reducido a un porcentaje entre el 8% y el 16% (energetica.org.bo/energetica).

El deshidratado de alimentos, trata de la remoción del agua hasta un punto donde se inhiben el deterioro microbiano y la actividad enzimática. El deshidratado se diferencia de otros procesos de extracción del agua, que utilizan calor, especialmente en que durante el mismo no se da un proceso de cocción o sobre calentamiento, y de esta manera el producto final conserva sus cualidades nutritivas (energetica.org.bo/energetica).

2.3.2. Principio de Secado

El secador solar elimina la humedad de los alimentos por medio de absorción de la humedad al circular un flujo de aire caliente a través de los alimentos. Existen varios tipos de secadores solares, el que nosotros implementamos es de tipo indirecto, donde el colector solar y la cámara de secado están separados (cdna.labioguia.com). Agrega que:

Su principio de funcionamiento es el siguiente: el aire entra a temperatura ambiente al colector solar y es calentado en él por efecto invernadero, una vez calentado el aire en el colector éste tiende a circular por efecto de una diferencia de presión, circulando hacia la

cámara de secado, el aire caliente con la humedad extraída de los alimentos es expulsado por una chimenea, este proceso continúa cíclicamente mientras el colector solar se encuentre expuesto a la radiación solar (cdna.labioguia.com). Ver la siguiente figura.

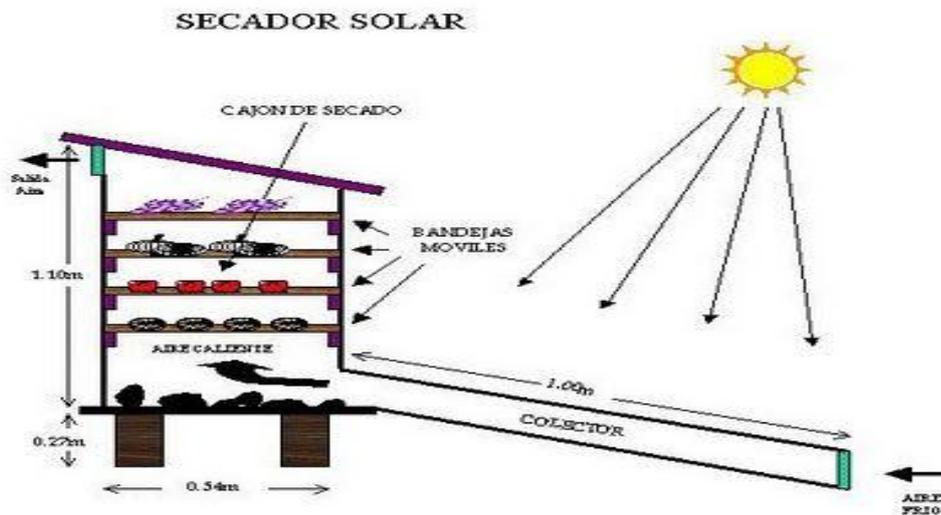


FIGURA 8 Secador Solar de Tipo Indirecto, (cdns.labioguia.com, s.f)

2.3.3. Posicionamiento del Secador

La energía del Sol, se puede utilizar correctamente para beneficio de la salud y para la economía familiar, y tiene la finalidad de:

Aprovechar la energía gratis y limpia del sol. Generar trabajo a nivel de las amas de casa (frutas secas, etc)

Busca conservar las frutas en especial el aguaymanto, para que pueda durar durante muchos meses, y se pueda consumir en diferentes periodos de escasez o fuera de temporada. Busca asegurar la calidad de la alimentación de la familia durante todo el año (unesco, 2015).

Las técnicas de secado solar tienen muchas ventajas y pueden ser fácilmente entendidas y dominadas por cualquier individuo. Ayudan a incrementar la eficiencia porque utiliza fuentes de energía que no necesitan comprarse porque se encuentran libremente en la naturaleza, tales como el sol y el viento. Asimismo, un secador solar se puede

construir utilizando materiales disponibles localmente (de madera y otros), y además requiere menos tiempo de operación que otros métodos tradicionales de secado.

La posición de un secador solar depende de la incidencia de los rayos solares. Por ello, en primera instancia deben orientarse de sur a norte, para el caso de Perú, pues el país se ubica en el Hemisferio Sur. En ese sentido, la caída o inclinación del techo, en el caso de Perú, debe ser hacia el norte, de tal forma que se asegure la incidencia de los rayos solares lo más perpendicularmente posible, a lo largo del año. El grado de inclinación va a corresponder con la latitud del país. Para el caso de Perú es inclinación de (13° 30' 45" latitud Sur y a 71° 58' 33" longitud Oeste a partir del meridiano de Greenwich). Esta inclinación permite que la variación en el ángulo de incidencia de los rayos solares en las diferentes épocas del año, no afecte la eficiencia en la captación de la energía sobre el techo y el colector de la secadora, ver figura:

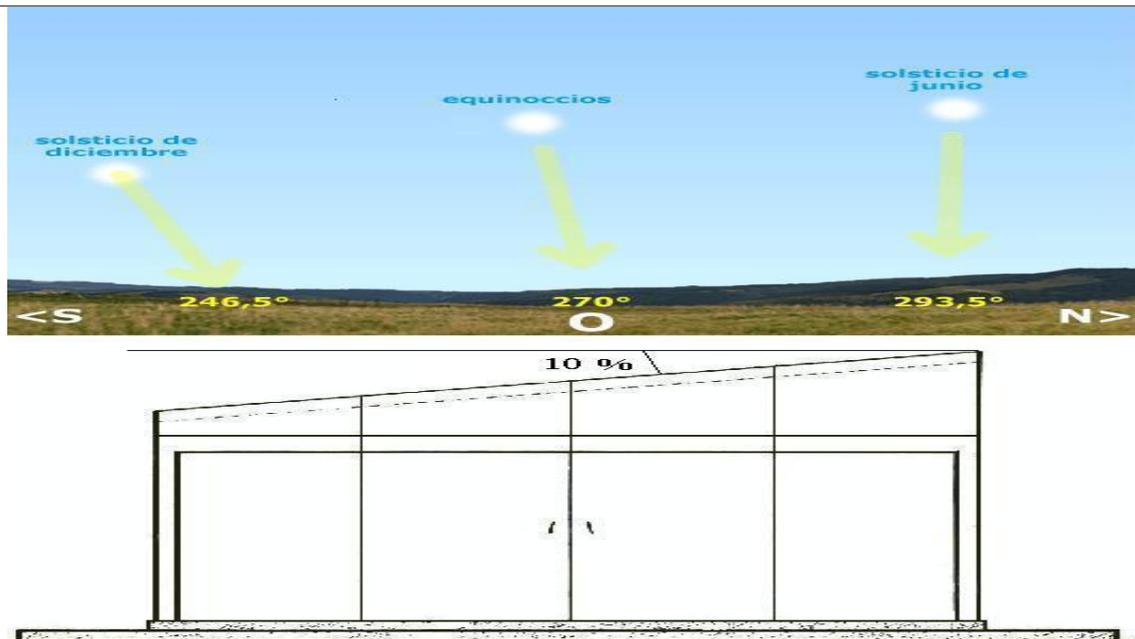


FIGURA 9 Captación de la Energía sobre el techo y el Colector Solar, (cdns.labioguia.com/wp-content/, s.f)

2.3.4. Procesos de Secado

El secado es el proceso comercial más utilizado para la preservación de la calidad de los productos agrícolas/ forestal o marino. La finalidad del secado es la separación parcial del agua contenida en la materia sólida. Cuando los productos se secan (deshidratan) hasta el 14-20%, mediante alguna técnica adecuada, se disminuye sensiblemente su actividad respiratoria y se controlan los microorganismos asociados, lo que permite el almacenamiento del producto (bien cerradas) en el ambiente por un período de uno hasta dos años, sin que pierda sus propiedades nutricionales y organolépticas. Secado inhibe casi totalmente los procesos metabólicos en el producto y crea condiciones desfavorables para el desarrollo de microorganismos (doctornandwanisolarcook.files.wordpress., 2016).

$$\Delta H = \frac{H_0 - H_f}{100 - H_f} * 100 \quad (13)$$

Donde;

ΔH = Disminución de la humedad (%)

H_0 = Humedad inicial, (%)

H_f = Humedad final, (%)

El proceso de secado puede ser aplicado a todo tipo de alimentos, desde vegetales y hortalizas hasta carnes y pescados, pasando por frutas, especias, hierbas aromáticas, setas (emison.com/5154.htm). Al calentar aire, que está a la temperatura del ambiente y con un cierto porcentaje de humedad, aumenta su capacidad de absorber vapor de agua. Por cada 20°C de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio. Para eliminar la humedad de los alimentos, es necesario que el aire que pasa por los productos esté en constante movimiento y renovación (unesco, 2015). Los factores claves para un buen secado son entonces:

La masa que se debe evaporar es

$$M_{H2O} = \frac{M_S * \Delta H}{100 - \Delta H} \quad (14)$$

Donde;

M_{H2O} = Masa de agua a evaporar **(Kg)**

M_S = Masa del producto seco al final del proceso **(Kg)**

La masa del producto húmedo que se debe poner en el secador solar está determinado por

$$M_h = M_s + M_{H2O} \quad (15)$$

Tabla 8 Flujo de Aire Caliente a Temperatura de 40°C a 70°C

Aire caliente	A una temperatura de 40 a 70°C
Aire con bajo contenido de humedad	bajo contenido de humedad
Movimiento constante del aire	Al calentar aire, que está a la temperatura del ambiente y con un cierto porcentaje de humedad, aumenta su capacidad de absorber vapor de agua. Por cada 20°C de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio.

Fuente: (unesco, 2015)

Para obtener un buen secado, los productos tienen que ser colocados de tal forma que haya suficiente espacio entre las partes que los componen.

2.3.5. Tipos de Secadores Solares

Existen tres tipos de secadores solares, entre los que tenemos a) Secadores solares indirectos, b) secadores solares directos, y c) secadores solares mixtos. En sus descripciones se tiene:

Tabla 9 Tipos de Secadores

Secador Solar indirecto	Los dos elementos están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Esta secadora es esencialmente de carácter convencional en la que el sol actúa de fuente energética.
Secador Solar directo	Los dos elementos pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.
Secador solar mixto	Finalmente puede darse el caso en que la colección de radiación se realice tanto en un colector solar previo a la cámara como en la misma cámara.

Fuente: (sustainabilityxchange.info)

Dentro de este tipo de secadores, existen modelos diferentes, como: tipo carpa, tipo armario, tipo túnel, entre otros, como podemos observar:

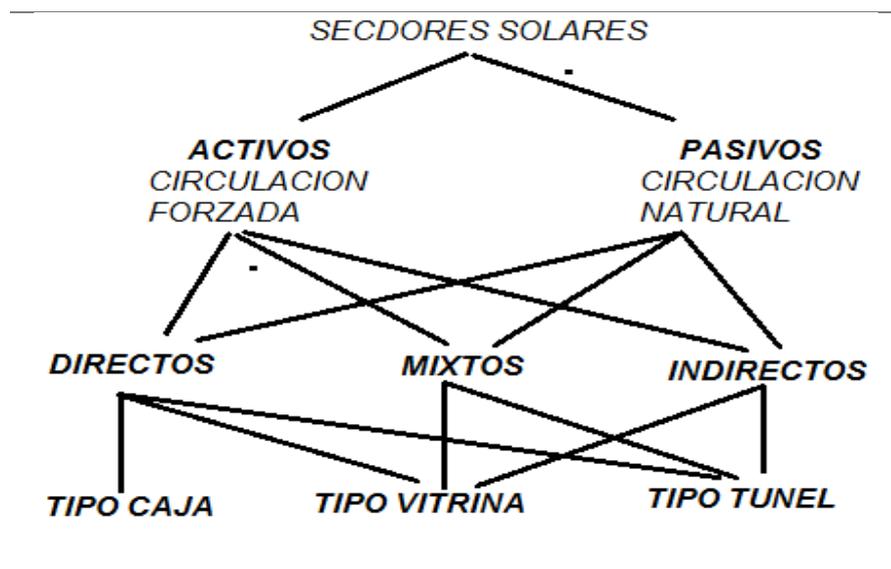


FIGURA 10 Clasificación de Tipos de Secadores., (Chan Gonzales, 2010)

2.3.6. Secador Propuesto en la Investigación

La construcción de un secador solar se basa en la aplicación de una tecnología sencilla y apropiada para ser aplicada a nivel doméstico. Su aplicación permite la conservación de alimentos, como son las frutas y legumbres, que al ser deshidratados mantienen una gran proporción de su valor nutritivo original (feriadelasciencias.unam.mx).

El secador domestico propuesto es fabricado en Cajamarca, y tiene tecnología propia, propuesta en la investigación, es un aporte de los meses de trabajo, con la finalidad de secar productos, y en especial el fruto de aguaymanto, pero también puede servir para secar hierbas medicinales o aromáticas, frutas, hortalizas y otros. El diseño está pensado para uso exclusivo doméstico, y va permitir conservar los productos del huerto o la recolección de forma natural (emison.com/5154.htm). Este equipo es un modelo estándar que tiene las siguientes particularidades:

Consideramos que la utilización de un secador solar para el deshidratado de frutas proporciona varias ventajas desde el punto de vista práctico y económico. Además, podemos promover la utilización de

energía renovable (solar) la cual tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales (feriadelasciencias.unam.mx)

2.3.7. Tiempos de Secado

El tiempo de secado de las frutas y hortalizas depende de varios factores tales como: tipo de producto, tamaño de los trozos, temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad del aire (feriadelasciencias.unam.mx). Etapas para el secado.

Tabla 10 Etapas del Proceso de Secado

La etapa inicial de secado del producto.	En la cual la rapidez con la cual se elimina humedad en función del tiempo aumenta.
La rapidez del secado permanece constante y es independiente del sólido.	De modo que, para las mismas condiciones externas, el proceso es similar al que se daría en la superficie de una masa de agua.
Una vez que la humedad superficial ha sido eliminada	La humedad interna comienza a ser eliminada pero, en consecuencia, la rapidez del secado disminuye a medida que se va perdiendo humedad interna por evaporación en la superficie.

Fuente: (feriadelasciencias.unam.mx)

La optimización del flujo del aire es importante, ya que es el aire en contacto con el producto el encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial y la corriente de aire descienden conforme avanza en el secado. En un proceso eficiente y dado que la circulación de aire lleva un costo, es necesario determinar el flujo másico de aire óptimo para secar el producto en el menor tiempo posible, el cual va a depender de la naturaleza del producto, tipo de secador, etc. Si se conocen las temperaturas existentes en diversos puntos del secado, se puede determinar aproximadamente que tan correctamente está trabajando la corriente de aire de entrada (Moreno, 2012)

2.3.8. Humedad en el Producto

Tabla 11 Humedad del Producto

Contenido de la Humedad	Existen diferentes métodos para medir el contenido de humedad de un producto. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa del producto y la masa seca correspondiente. Para medir la masa seca de un alimento generalmente se le somete a 104°C , hasta que llegue a un peso constante.
Contenido de Humedad de Equilibrio	Una variable importante en el secado de materiales es la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad. Supóngase que a un sólido húmedo se le aplica una corriente de aire con humedad y temperatura constantes. Supóngase, también, que se usa una gran cantidad de aire, por lo que las condiciones permanecen invariables.
Humedad inicial óptima	Es de particular interés el efecto que ejerce el ambiente sobre el producto a secar durante el almacenamiento previo al secado; si el producto es almacenado en un ambiente húmedo, se recomienda acomodarlo de tal manera que se propicie un secado natural, para que favorezca un nivel óptimo de humedad inicial.
Humedad Final Optima	El secado puede considerarse como exitoso cuando el contenido de humedad del sólido que sale del secador se ha reducido lo suficiente para que pueda pasar a otros procesos o para que pueda salir a la venta inmediatamente. La importancia del contenido de humedad con el uso eficiente de la energía, no puede pasar desapercibido.

Fuente: (feriadelasciencias.unam.mx)

2.3.9. El Calor Latente de Evaporación

La demanda de la radiación térmica para secar un producto se denomina calor latente de vaporización L_w , y es la cantidad de energía que se debe absorber para vaporizar la humedad del producto, la energía necesaria para evaporar 1Kg de agua.

El valor del calor latente se puede determinar mediante la función de la temperatura y se expresa de la siguiente manera.

$$L_w = \frac{R}{M_w} (6547.1 - 4.23(T_a + 273)) \quad (16)$$

Donde;

L_w = Calor latente (J/Kg)

R = Constantes de los gases (8314J/kmol.K)

M_w = Peso molecular del agua (18,01Kg/Kmol)

2.3.10. Pasos Principal Para Secar

a) Seleccionar

La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos. El secadero se calienta a una temperatura de **20 a 25°C** superior a la temperatura ambiental. Para un mejor aprovechamiento del secadero, se puede agregar un sistema de calefacción auxiliar.

b) Lavar

Primera Vez: Con agua limpia para limpiar la suciedad de la superficie de los productos a secar.

c) Secar

Colocar los productos preparados sobre los tamices de secado en capas delgadas y regulares. Es preferible poner los productos a secar bien temprano a la mañana, para extraer la mayor cantidad de agua durante el primer día. Durante el secado se debe controlar regularmente los productos. Al finalizar el secado, retirar los productos del secadero.

d) Almacenar

Para la buena conservación de los productos secos, debe almacenarlos en buenas condiciones.

2.4. EL AGUAYMANTO

Physalis Peruviana conocida Como capulí, aguaymanto, tomate silvestre, tomate de la sierra, topotopo (quechua) uchuva, amor en bolsa, cereza del Perú, motojobobo embolsado, sacabuche, es una planta herbácea cultivada desde la época prehispánica y nativa en el Perú. (*Brack Egg 1999*)

La planta de Aguaymanto fue descrita por primera vez por Linnaeus en 1753. Este arbusto ha sido cultivado por muchas décadas a lo largo de los Andes Americano. Se trata de una planta herbácea erecta, perenne en zonas tropicales y anual en zonas templadas. (Anónimo, s/a)

La característica más importante del género es el cáliz, el que se desarrolla durante la fructificación, se elonga rodeando la baya completamente, y cuelga hacia abajo como una lámpara. (Peru, 2015)

Esta fruta nativa peruana constituye una parte importante de la dieta alimenticia del sector rural donde crece y se propaga en forma silvestre, especialmente en las áreas calientes y secas cerca de los Andes. Sin embargo, últimamente la demanda local, nacional y extranjera de Este fruto se encuentra en estado creciente, tanto en frutos frescos como en productos transformados. (*Araujo E. 2007*)

Actualmente se cultiva fuera del Perú con otros nombres, donde esta planta ha proliferado exitosamente. (Peru, 2015, pág. 2)

Su consumo es como fruto fresco y deshidratado como pasas. Crece como planta silvestre y semi-silvestre en zonas altas entre 1500 y 3000 metros sobre el nivel del mar (*Velezmoro, 2004*).

A nivel mundial, Colombia es el primer productor de aguaymanto y ha logrado posicionarse en el mercado europeo como el primer proveedor de esta fruta en estado fresco, seguido por Zimbabue. Perú es uno de los principales productores en América Latina (*FAO, 2014*), la región de

Cajamarca, ocupa el primer lugar el ranking nacional de producción de aguaymanto. Otras regiones productoras son Ancash, Huánuco y Huancayo, ubicadas en la sierra central y Cuzco en la zona sur (*MINAGRI 2014*)

2.4.1. COMPOSICION NUTRICIONAL

El fruto de Aguaymanto ha sido usado como una buena fuente de provitamina A, mineral, vitamina C y complejo B compleja. La fruta contiene 15% de sólidos solubles (principalmente azúcares) y su alto nivel de fructosa hace que sea muy útil para personas con diabetes. El nivel de fósforo es muy alto (ver Tabla 1) y su alto contenido de fibra dietética permite que la pectina de fruta actúe como un regulador intestinal (*Ramadán y Mörsel 2004*).

Tabla 12 Niveles de nutrientes, minerales y bioactivos solubles en agua en la pulpa de *Physalis Peruviana*.

AGUAYMANTO		
Humedad	(g/100g)	78.9
Proteína	(g/100g)	0.06-0.3
Lípido	(g/100g)	0.15-0.2
Carbohidrato	(g/100g)	19.6
Fibra	(g/100g)	4.9
Ceniza	(g/100g)	1.0
Calcio	(mg/100g)	8.0
Fosforo	(mg/100g)	55.3
Hierro	(mg/100g)	1.2
Caroteno	(mg/100g)	1.6
Tiamina	(mg/100g)	0.1
Riboflavina	(mg/100g)	0.03
Niacina	(mg/100g)	1.70
Ácido Ascórbico	(mg/100g)	43.0

FUENTE: Indecopi, Ramadan y Mörsel (2004)

2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Temperatura: La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia.

Calor: El calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia.

Conductividad térmica. Es una propiedad física que describe la capacidad de un material de transferir calor por conducción, esto es, por contacto directo y sin intercambio de materia. Es una magnitud intensiva que no depende de la cantidad de materia.

Conducción. Es un proceso mediante el cual fluye calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico (Javier & Fernando., 2013).

Convección Transmisión de calor en un fluido por movimiento de capas desigualmente calientes. Movimiento de una masa gaseosa o de un fluido, en especial el aire o las corrientes magmáticas que ascienden al aumentar su temperatura.

Emitancia y absortancia. Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura.

Energía Solar. Es aquella que se obtiene de la radiación **solar** que llega a la Tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Es un tipo de **energía** limpia y renovable, pues su fuente, el Sol, es un recurso ilimitado.

Energía Renovable. Energía que utiliza los recursos inagotables de la naturaleza, como la biomasa, las radiaciones solares o el viento.

Deshidratación. Extracción del agua que contiene una sustancia, un organismo o un tejido orgánico. Pérdida del agua que contiene una sustancia, un organismo o un tejido orgánico.

Ingeniería Mecánica. es una rama de la **ingeniería** que aplica las ciencias exactas, especialmente en los principios físicos de la termodinámica, la **mecánica**, las ciencias de materiales, la **mecánica** de fluidos y el análisis estructural que se encarga de diseñar, construir y mejorar el análisis de nuevos elementos.

Intensidad de la radiación. En ese sentido, la intensidad de la radiación se define como el flujo de energía que se emite dentro de un ángulo sólido centrado alrededor de la dirección del haz y por la unidad de área proyectada de la superficie emisora normal a la dirección (Manrique, 2002)

Transferencia de calor por condensación. La condensación se produce cuando un vapor saturado que se pone en contacto con una superficie a menor temperatura, se enfría hasta que la temperatura se hace inferior a su temperatura de saturación. (Javier & Fernando., 2013).

Transferencia de masa. Encargada de llevar la humedad del interior del producto hacia la superficie y de la superficie al aire de los alrededores. Que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de moléculas.

Radiación. Emisión de radiaciones luminosas, térmicas, magnéticas o de otro tipo. Emisión de energía o de partículas que producen algunos cuerpos y que se propaga a través del espacio.

Radiación de un Cuerpo Negro. Es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del **cuerpo negro**.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Ubicación Geográfica

El experimento del secador solar se ha realizado en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca, su ubicación geográfica $78^{\circ} 26' 51.7''$ W; $7^{\circ} 7' 13.5''$ S, a una altitud de 2950 m.s.n.m. el estudio se hizo en los meses de julio y agosto del 2017, se realizó esta investigación en el distrito debido a que en este lugar se ha instalado el secador solar durante la investigación. En el estudio del secador solar se ha generado la temperatura sobre los 60°C , lo cual nos ha permitido reducir la cantidad de agua que contenía el aguaymanto.



FIGURA 11 Colector Solar de Tipo Indirecto, elaboración acoplada

3.1.1. Aislamiento del secador solar

El colector solar se reviste con tecnopor en la parte interior ya que es un buen aislante para evitar la pérdida de calor generado por la radiación durante el día, por ello este calor generado es trasladado hacia la cámara de secado por medio de convección natural (aire caliente) para con el poder reducir la humedad del aguaymanto, quedando el producto en su calidad de deshidratado sin perder sus propiedades nutritivas.

La cámara de secado está revestido con tecnopor por la parte interior para evitar la pérdida de calor generado por el colector solar, también está revestido con papel de aluminio porque es un material que atrae la radiación, por ende en la cámara de secado se disminuye la temperatura a un aproximado de 47 °C por el aumento de la humedad que genera el producto, pero siendo lo suficiente para poder reducir el contenido de humedad del aguaymanto.

El secador solar está construido en dos partes, colector solar y cámara de secado, las cuales están instaladas tal como se muestra en la imagen.

3.1.2. Recolección de datos durante el estudio

La temperatura se mide considerándose en todos los puntos del secador solar indirecto. El aguaymanto se pesa cada día para poder verificar la pérdida del contenido de humedad del producto.

3.1.3. Medio Experimental

Para el experimento se ha considerado el aguaymanto porque tiene una forma de esfera para poder calcular su volumen y densidad durante el estudio, logrando los siguientes resultados.

Tabla 13 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento.

PRODUCTO AGUAYMANTO (08:00-16:00)						FECHA: 01-07-2017			
Tiempo	Velocidad del aire entrada (m/s)	COLECTOR SOLAR				CAMARA DE SECADO			Velocidad del aire salida (m/s)
		Humedad (%)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura de salida (°C) Chimenea	
08:00	1.3	88%	14	34	23%	31	35%	29	0.8
09:00	1.5	79%	24	40	19%	37.2	31%	35	1.3
10:00	1.8	36%	28	45	27%	42	39%	40	1.3
11:00	2	34%	27	49	18%	46	30%	44	1.6
12:00	1.5	32%	29	66	16%	63	28%	61	1.2
13:00	0.8	50%	25	60	15%	57	27%	55	0.6
14:00	0.7	48%	23	46	17%	43	29%	41	0.5
15:00	1.5	48%	23	60	17%	57	29%	55	1.2
16:00	2.5	52%	21	46	23%	43	35%	41	2.2

FUENTE: recopilación de dato de la prueba experimental, 2017

Tabla 14 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento

PRODUCTO AGUAYMANTO (08:00-16:00) FECHA: 10-07-2017									
Tiempo	Velocidad del aire entrada (m/s)	COLECTOR SOLAR				CAMARA DE SECADO			Velocidad del aire salida (m/s)
		Humedad (%)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura de salida (°C) chimenea	
08:00	1.4	84%	15	35	23%	30	33.0%	25.7	1
09:00	1.7	76%	17	43	18%	38	28.0%	33.7	1.3
10:00	1.3	63%	20	47	17%	39	26.7%	34.7	0.9
11:00	2	52%	21	48	24%	40	34.0%	35.7	1.6
12:00	1.5	48%	23	62	17%	50	26.8%	45.7	1.1
13:00	1.1	50%	22	56	16%	48	26.0%	43.7	0.7
14:00	0.9	63%	20	54	15%	45	25.0%	40.7	0.5
15:00	1.5	73%	18	43	17%	42	27.0%	37.7	1.1
16:00	2.5	76%	17	40	16%	35	26.2%	30.7	2.1

FUENTE: recopilación de dato de la prueba experimental, 2017

Tabla 15 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento

PRODUCTO AGUAYMANTO (08:00-16:00) FECHA: 02-08-2017									
Tiempo	Velocidad del aire entrada (m/s)	COLECTOR SOLAR				CAMARA DE SECADO			Velocidad del aire salida (m/s)
		Humedad (%)	Temperatur a entrada (°C)	Temperatur a salida (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura de salida (°C) chimenea	
08:00	1	84%	18	38	23	33.4	24%	29.1	0.6
09:00	1.5	76%	16	36	18	40	19%	35.7	1.1
10:00	1.2	63%	21	64	17	40.8	18%	36.5	0.8
11:00	2.3	52%	21	34	17.5	41	18%	36.7	1.9
12:00	1.6	48%	25	42	16.8	54.1	17.8%	49.8	1.2
13:00	2.4	50%	23	37	16	50	17%	45.7	2
14:00	1.8	63%	20	58	15	48	16%	43.7	1.4
15:00	1.5	73%	22	60	17	41.3	18%	37	1.1
16:00	2	76%	19	40	16.2	35	17.2%	30.7	1.6

FUENTE: recopilación de dato de la prueba experimental, 2017

Tabla 16 Datos experimentales de la Temperatura, humedad y velocidad del viento

PRODUCTO AGUAYMANTO (08:00-16:00)						FECHA: 20-08-2017			
Tiempo	Velocidad del aire entrada (m/s)	COLECTOR SOLAR				CAMARA DE SECADO			Velocidad del aire salida (m/s)
		Humedad (%)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura de salida (°C) chimenea	
08:00	1.2	88%	15	36	21%	34	26%	32	0.9
09:00	1.5	79%	17	39	18%	40	18%	37	1.2
10:00	1.8	60%	23	62	17%	41	17%	38	1.5
11:00	2.3	52%	22	58	18%	41	19%	39	1.9
12:00	1.8	46%	25	60	16%	54	18%	51	1.3
13:00	2.4	43%	24	56	16%	50	17%	48	2
14:00	1.9	63%	20	47	15%	48	18%	44	1.5
15:00	1.5	73%	19	45	17%	42	19%	38	1.1
16:00	2	76%	18	40	19%	35	17 %	33	1.7

FUENTE: recopilación de dato de la prueba experimental, 2017

3.1.4. Análisis del Resultado

A continuación se presenta los siguientes resultados del proceso de secado del aguaymanto, la variación de la masa, humedad y eficiencias tanto del colector solar y la cámara de secado durante el estudio.

3.1.5. Humedad del aguaymanto.

Como podemos apreciar en la figura (12) el aguaymanto reduce su humedad, iniciando con un 80% y finalmente llegando con una humedad de 15% durante 7 días de proceso de secado. Donde la velocidad de secado se relaciona con el flujo de aire y el aumento de la temperatura que genera la radiación.

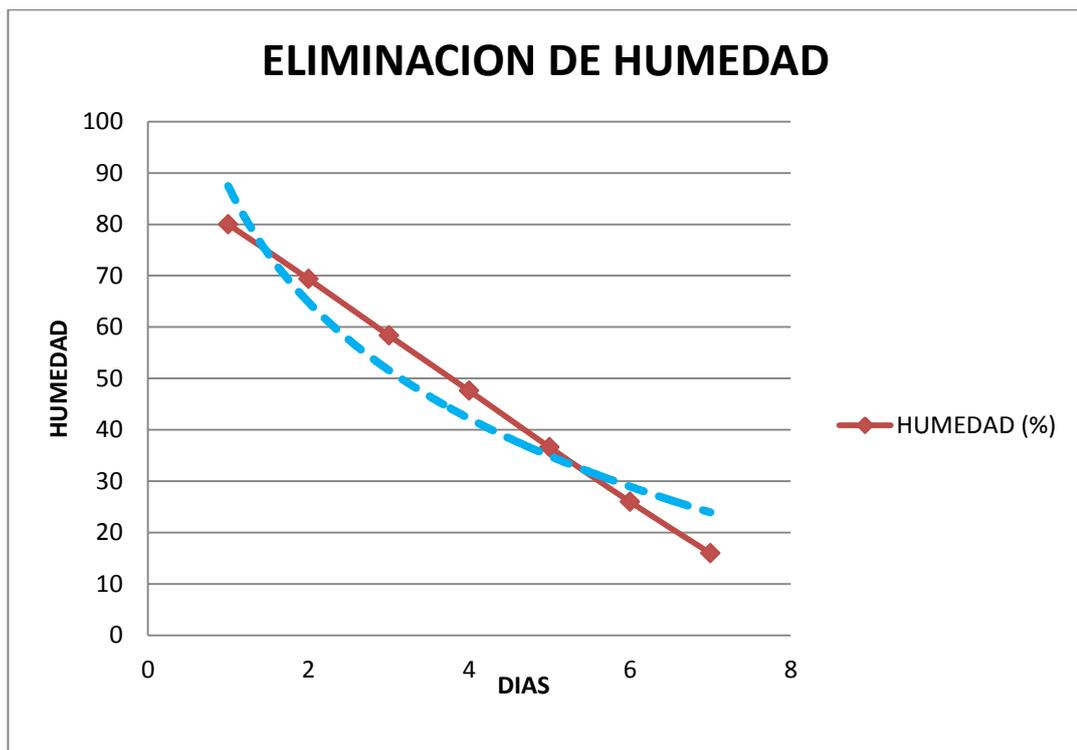


FIGURA 12 Variación del contenido de Humedad

3.1.6. Variación de masa del aguaymanto

El flujo de aire y el aumento de la temperatura que genera la radiación son dos agente de mucha importancia para su variación de la masa del aguaymanto. En la figura podemos apreciar que la masa del aguaymanto varía con respecto al tiempo.

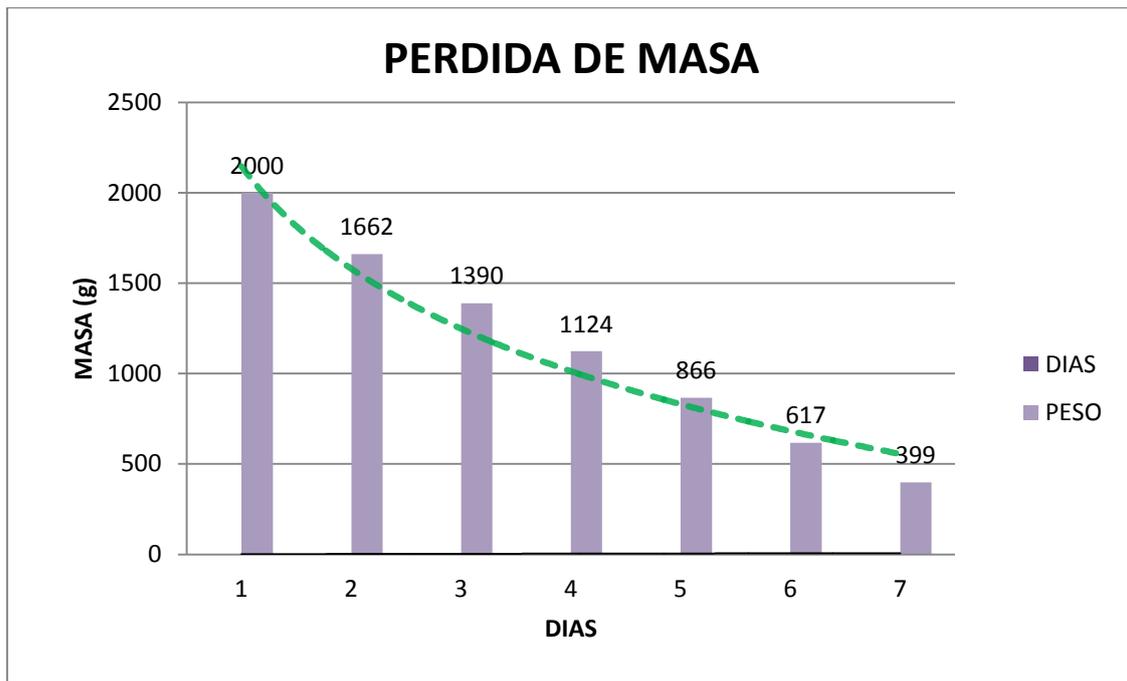


FIGURA 13 Variación de Masa del Aguaymanto

3.1.7. Eficiencia del secador solar indirecto

Como podemos apreciar en la figura (14) la eficiencia del colector solar durante el experimento para el deshidratado del aguaymanto es eficiente, esto se debe a que en la parte del colector se dio el mayor lucro de la energía solar durante el día del ensayo (radiación y rapidez del viento fueron) óptimos para la deshidratación.

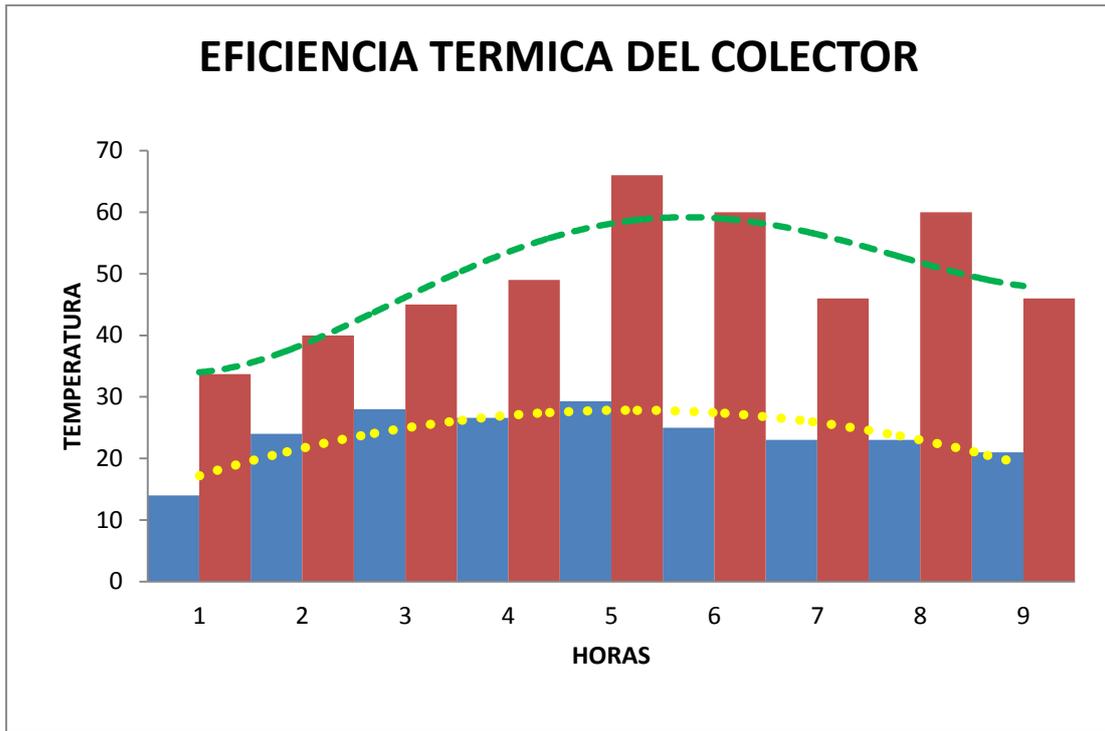


FIGURA 14 Eficiencia del Colector Solar

3.1.8. Eficiencia de la cámara de secado

Se puede apreciar en la cámara de secado que el calor generado es óptima para el deshidratado del aguaymanto con una temperatura y velocidad del viento son respectivamente apropiados, para implementar los secadores solares en el Distrito de Baños del Inca.

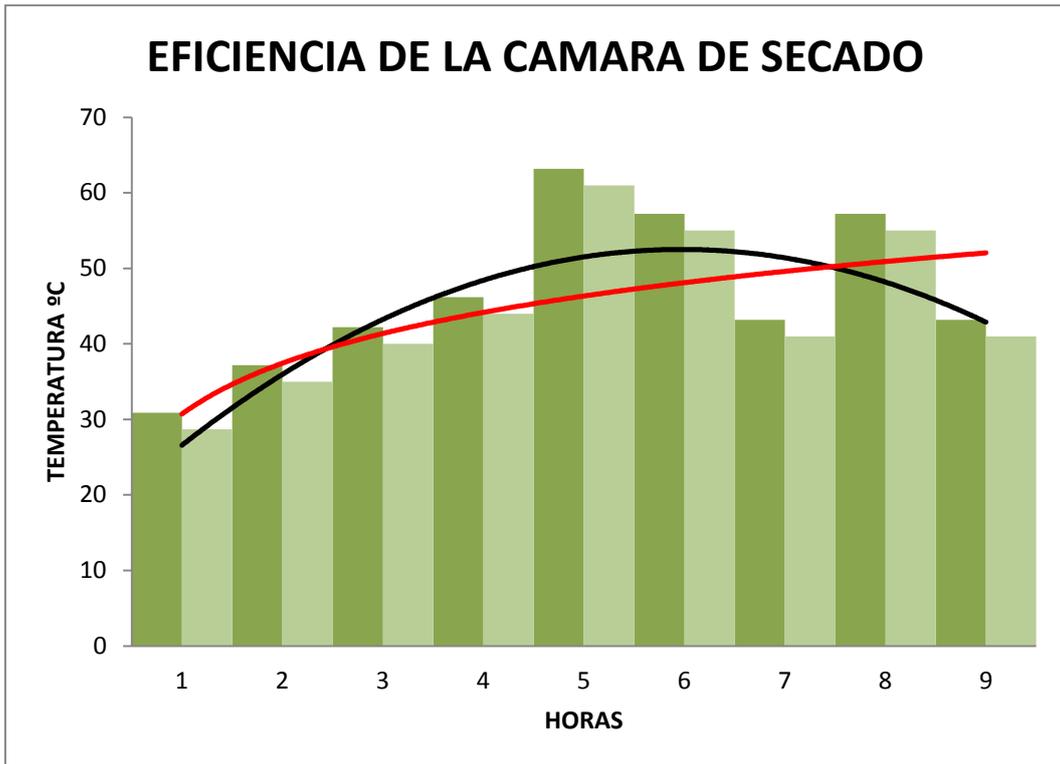


FIGURA 15 Eficiencia de la Cámara de Secado

La pérdida de humedad durante el estudio del aguaymanto es simultáneamente a la pérdida de la masa. Manteniendo así el producto con sus propiedades nutritivas, color, olor y su sabor original.

CONCLUSIONES

Es vital reiterar que el uso de los secadores solares está limitado por la temperatura que logra conseguir la placa absorbente, a medida que la diferencia de temperatura entre la placa y el ambiente reduce, crece la eficiencia del colector.

El cálculo para la calefacción del secador solar y del aire que transita sobre él obedece a las condiciones ambientales promedio como son la radiación solar en la zona que es de 656 W/m², con una temperatura ambiente de 20°C, el flujo de aire, y las propiedades de transferencia de calor del aire.

La variación de masa del agua, cogida en el aguaymanto con dependencia al tiempo presenta una actuación similar a la cámara de secado obteniendo el secado en 54 horas, con una variación de humedad de 15% al final del secado.

Durante la investigación del deshidratado de frutas se pudo verificar la mejora de alimentación y la economía. Además, es una manera de ayudar al planeta al no manipular combustibles fósiles. Se invita realizar experimentos posteriores con otro tipo de frutas.

Para el secado del aguaymanto de forma óptima, durante el experimento se sedujo a la conclusión que es de 50°C a una velocidad promedio de viento de 1.8 m/s. asimismo, se observó que los sabores se intensificaron, esto se debe a que se concentraron mediante la eliminación del agua. Manteniéndose su color y sus propiedades nutritivas puesto que la fruta se encuentra protegida de los rayos solares. La cámara de secado cuenta con condiciones de higiene suculentas.

RECOMENDACIONES

- El proceso de aislamiento del deshidratador solar, se debe cerrar con precisión las rendijas para evitar la pérdida de calor.
- Antes de colocar las frutas al deshidratador se debe de seleccionar y lavarlo para un secado adecuado.
- Se recomienda que para obtener un secado homogéneo en todas las bandejas, que la radiación incida directamente sobre el producto y para el movimiento del aire debe ser por convección forzada, así evitando la proliferación del producto.
- Promocionar el proyecto para llevar a una escala más grande.
- Sobre la cámara de secado se recomienda cubrirla con calamina para que no se deteriore en épocas lluvias.

FUENTES DE INFORMACION

(s.f.). Obtenido de elcomercio.pe/sociedad:

<http://archivo.elcomercio.pe/sociedad/lima/ministerio-energia-inauguras-600-paneles-solares-cajamarca-noticia-1601155>

(s.f.). Obtenido de tesis.uson.mx:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4122/Capitulo3.pdf>

(s.f.). Obtenido de unesco.org/new/fileadmin/:

<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>

(s.f.). Obtenido de feriadelasciencias.unam.mx:

http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria22/feria327_01_dise%20no_y_construccion_de_un_secador_solar_de_fruta.pdf

(s.f.). Obtenido de energetica.org.bo:

http://www.energetica.org.bo/energetica/pdf/publicaciones/libro_secado_solar.pdf

(s.f.). Obtenido de cdna.labioguia.com: https://cdna.labioguia.com/wp-content/uploads/2012/08/ReporteGCC_DS_final.pdf

(s.f.). Obtenido de emison.com/5154.htm: <http://www.emison.com/5154.htm>

(s.f.). Obtenido de sustainabilityxchange.info:

<https://www.sustainabilityxchange.info/filesagri/secaderos%20solares%20h%20uehuetenango.pdf>

(s.f.). Obtenido de feriadelasciencias.unam.mx:

http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria22/feria327_01_dise%20no_y_construccion_de_un_secador_solar_de_fruta.pdf

(s.f.). Obtenido de

<https://www.google.com.pe/search?q=Poder+de+penetraci%C3%B3n+de+la+radiaci%C3%B3n.&source:>

https://www.google.com.pe/search?q=Poder+de+penetraci%C3%B3n+de+la+radiaci%C3%B3n.&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjxw8e16tnVAhWM5yYKHZnpBjIQ_AUICigB&biw=1138&bih=515#imgsrc=ftmnA6eWGrRI-M:

(s.f.). Obtenido de cdna.labioguia.com/wp-content/uploads/2012/08/ReporteGCC_DS_final.pdf

unesco. (2015). Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>

doctornandwanisolarcook.files.wordpress. (2016). Obtenido de <https://doctornandwanisolarcook.files.wordpress.com/2013/07/fsecadosol0713.pdf>

Anonimo. (s/a). *Aguaymanto*. anonimo: no.

Bravo, C. C., & Guevara, G. A. (2013). *Instalación y Automatización del laboratorio de transferencia de calor*. Ecuador: Escuela Superior Tecnica de Chimborazo.

Burghardt, D. (1984). *Ingeniería termodinámica*. Harla: U.S Merchant Marine Academy.

Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico*. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANAEDITORES, S.A. DE C.V.

Chan Gonzalez, G. E. (2010). *Construcción de un secador solar de tipo indirecto para la deshidratación de productos agrícolas*. Chetumal Quintana Roo: Universidad Quintana Roo.

Defilippi, B. (marzo de 2009). *Postcosecha de Frutas y Hortalizas*. Recuperado el 2 de marzo de 2009, de Postcosecha de Frutas y Hortalizas: www2.inia.cl

Deza, R. J. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Lima: UAP.

Diaz, B. P. (2007). *Tranferencia de Calor. Teoría y problemas resueltos*. Lima: Arcangel.

- Díaz, B. P. (2007). *Transferencia de Calor - Teoría y problemas resueltos*. Lima: Arcángel.
- FAO. (2017). <http://www.fao.org/3/a-i3942s.pdf>. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3942s.pdf>
- Garzón Cuji, M. F. (2010). *Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Horn, M. (2006). *El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Los retos energéticos del Perú*. Lima.
- Javier, B. C., & Fernando, .. G. (2013). Instalación y automatización del laboratorio de transferencia de calor. *Tesis de Doctorado*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Jimenez Garcia, I. P. (22 de FEBRERO de 2012). Estudio de l transferencia de calor en ventanas mexicanas en condiciones de clima frio mediante una camara de ambiente controlado. *Tesis de Maestria*. Morelos, Cuernavaca, Mexico: Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnologico.
- Jutglar, L. (2004). *Energía Solar: Energías Alternativas y medio ambiente*. Barcelona: Primera Edición.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. México: Mc Graw Hill.
- Manrique, V. J. (2002). *Transferencia de Calor*. México: Alfaomega.
- Martín Domingo Agustín. (s/a). *Apuntes de Transmisión de calor*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Martín, D. A. (2011). *Apuntes de Transmisión del Calor*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Mendoza, A. B. (2017). *Gastronomía Solar*. Obtenido de <https://gastronomiasolar.com/blog/>

Moreno, G. (2012). *Manual de construcción y operación de una secadora solar*.

old.dgeo.udec.cl. (15 de junio de 2017). <http://old.dgeo.udec.cl>. Obtenido de

<http://old.dgeo.udec.cl>:

<http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/fisica/cap14.pdf>

Peru, B. (2015). *Aguaymanto*. Peru: Indecopi.

Salcedo, J. P. (2016). Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua sanitaria que aproveche la energía solar y eléctrica para una capacidad de 4500 litros por día para la ciudad de Puno Región Puno en Perú. *Tesis de grado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Sanchez Ayte, J. A. (2009). Diseño y Construcción de un secador solar para cochinilla de 300kg/mes de capacidad de producción. *Tesis de Grado*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería-peru.

Welty. (s.a). *Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa*. México: Limusa.

Welty, J. R., Wicks, C. E., & Wilson, R. E. (s/f). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. México: Limusa.

ANEXOS 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tema: análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar en el Distrito de los Baños del Inca-Cajamarca

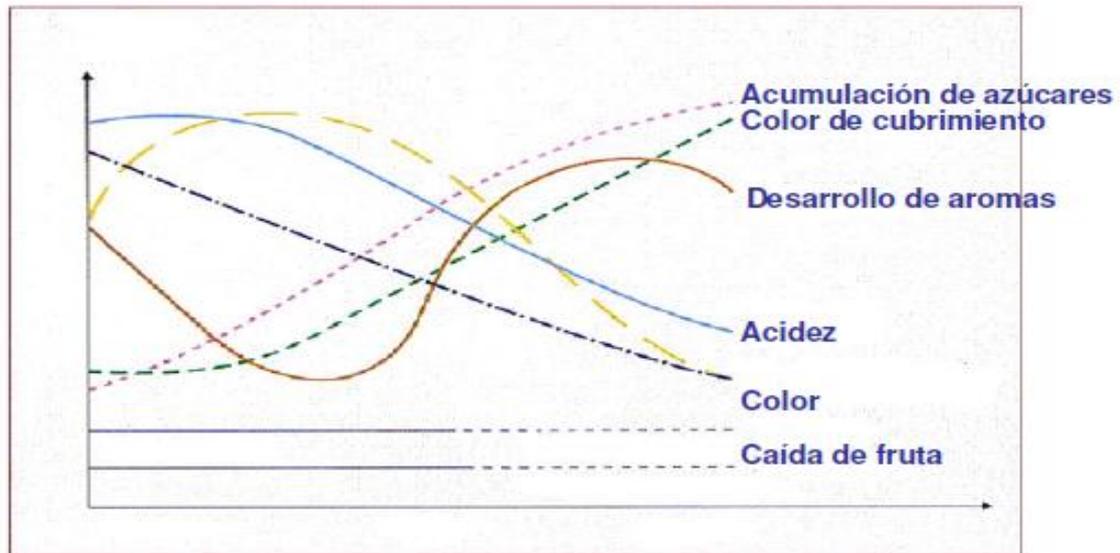
Problemas General	Objetivos General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
¿Cuál será el análisis y evaluación de la energía solar para el deshidratado de aguaymanto usando un secador solar?	Analizar y evaluar la energía solar para el deshidratado del aguaymanto usando un secador solar.	La energía radiante con la ayuda de un secador solar producirá la deshidratación del aguaymanto.	La energía solar.	Tecnología emergente sencilla, rápida, y económica.	✓ Ahorro económico.	✓ Análisis
					✓ Conservación de la Fruta.	✓ Evaluación
					✓ Cuidado del Medio Ambiente.	✓ Fotografías
Secundario	Secundario	Secundario				
¿Cuál sería la eficiencia del colector solar propuesto para deshidratar las frutas?	Determinar la eficiencia del secador solar indirecto.	La eficiencia producida por el secador solar propuesto para el deshidratado del aguaymanto, será suficiente.	Secadores solares.		Difusión	Análisis y Evaluación
¿Cómo se aprovecharía la radiación solar para el deshidratado de frutos?	Evaluar el efecto de la radiación solar en la variación de temperatura del secador solar.	El secador solar producirá una variación significativa de humedad en el aguaymanto.			Capacitación	
¿Cuál sería el tiempo óptimo para el secado de los frutos?	Determinar el tiempo óptimo de secado.	El tiempo para el secado del aguaymanto estará dentro los estudios preestablecidos.			Financiación	
					Subvención	

ANEXO 2

Los cambios en frutas y hortalizas son dinámicos durante todo el desarrollo.

(Defilippi, 2009)

Gráfico de tiempo de vida de las frutas

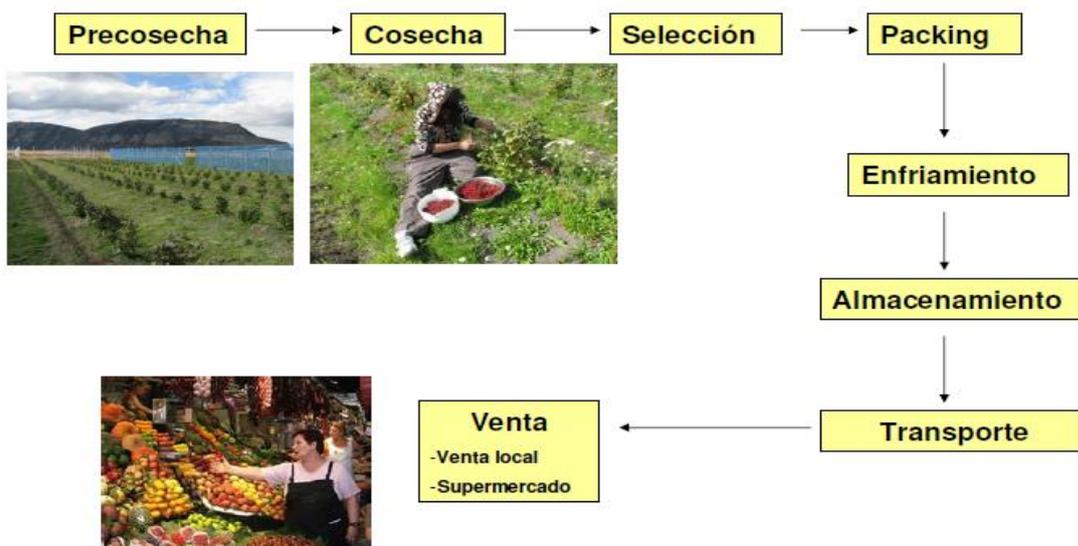


Fuente (Defilippi, 2009, pág. 4)

Sin embargo hay un largo camino para llegar del campo al consumidor.

(Defilippi,

2009)



Fuente (Defilippi, 2009, pág. 8)

¿Dónde ocurre el problema?

Nivel de pérdida... solo un ejemplo

Etapa	% de pérdida
Cosecha	16
Almacenamiento	7
Transporte	1
Proceso	2
Venta	20
Consumidor	54

Fuente (Defilippi, 2009, pág. 11)

ANEXO 3

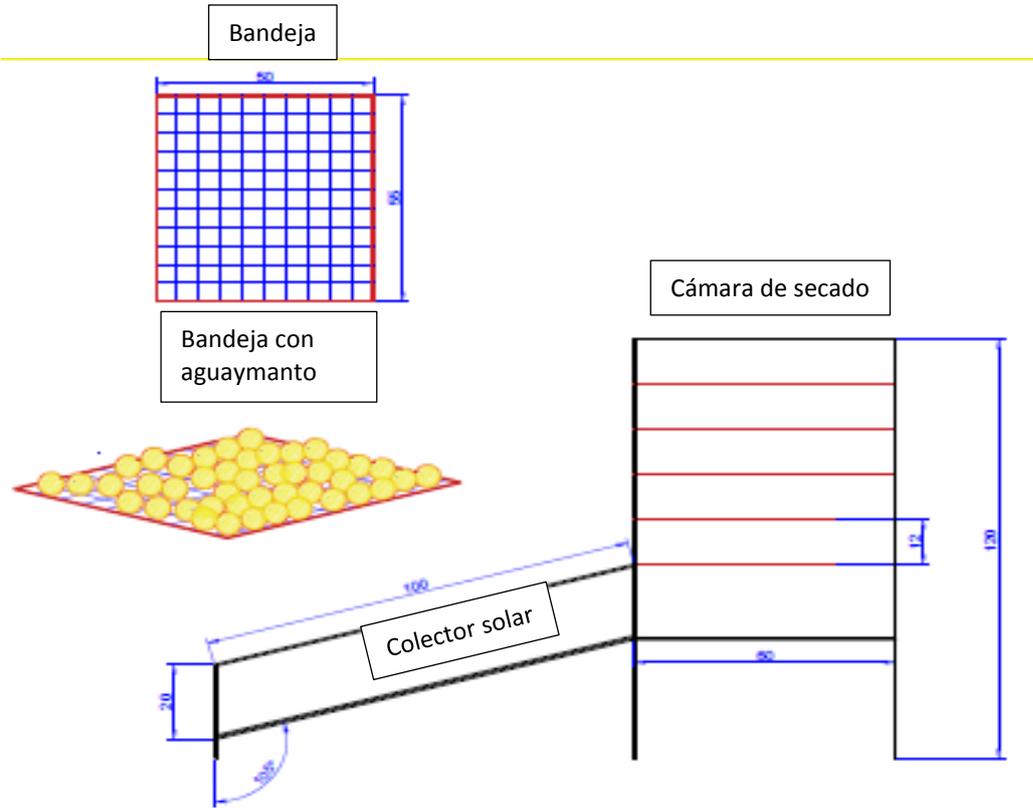
Tabla 17 Principales Causas de las Pérdidas

Principales causas de las pérdidas	
Deterioro fisiológico	<p>Las pérdidas causadas por los cambios fisiológicos normales se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, como temperaturas elevadas, baja humedad atmosférica y daños físicos. Cuando el producto se expone a temperaturas extremas, a modificaciones de la composición de la atmósfera o a contaminación, sufre un deterioro fisiológico anormal, que puede causar sabores desagradables, la detención del proceso de maduración u otras modificaciones de los procesos vitales, y puede dejar de ser apto para el consumo.</p>
Daños mecánicos (lesiones físicas)	<p>La manipulación negligente del producto fresco es causa de magulladuras internas que dan lugar a un deterioro fisiológico anormal o a hendiduras y grietas de la piel, que aumentan rápidamente la pérdida de agua y aceleran el proceso normal de modificaciones fisiológicas. Las grietas en la piel también propician las infecciones por los organismos patógenos causantes de la descomposición.</p>
Enfermedades y plagas	<p>Toda materia viva está expuesta a ataques de parásitos. El producto fresco puede quedar infectado, antes o después de la cosecha, por enfermedades difundidas por el aire, el suelo y el agua. Algunas enfermedades pueden atravesar la piel intacta del producto, mientras que otras sólo pueden producir infecciones cuando ya existe una lesión. Ese tipo de daños es probablemente la causa principal de pérdidas del producto fresco.</p> <p>Las operaciones posteriores a la cosecha, que se examinan más adelante, influyen considerablemente en la incidencia de esas tres causas, que, a su vez, afectan en forma determinante a la comerciabilidad del producto y al precio que por él se paga.</p>

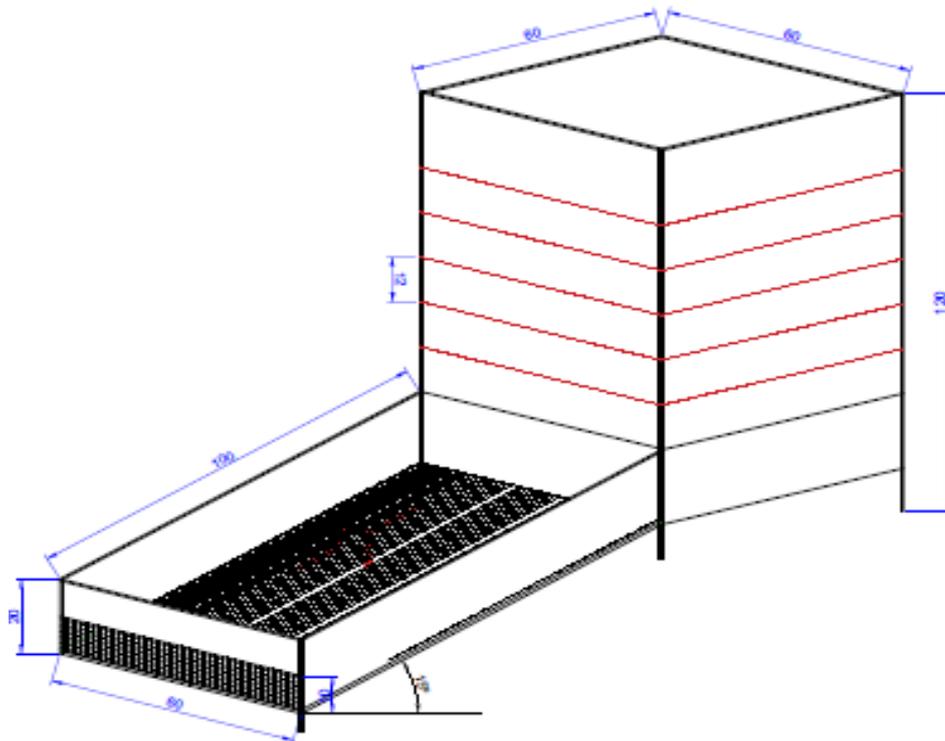
FUENTE: Elaboración nuestra, 2017

ANEXO 4

Diseño del secador solar de tipo indirecto



Secador solar de tipo indirecto



ANEXO 5

PROTOCOLO DE MEDICIÓN DURANTE EL ESTUDIO

Experimentación del análisis al secador solar para deshidratar el aguaymanto

Durante el estudio se recolecto los datos donde se indica las variables y operaciones del experimento.

Paso	Operación	Variable	Datos
1	Medición de la humedad relativa de aire (%) -Medir la HR (%) en el colector solar. -Medir la HR (%) en la cámara de secado.	Aire	Sensor de humedad (%)
2	Medición de temperatura ambiente (°C) -Medir la temperatura (°C) del ambiente. -Medir la temperatura (°C) del colector solar. -Medir la temperatura (°C) de la cámara de secado.	Temperatura	Sensor de temperatura (°C)
3	Medición del viento (m/s) -Medir la velocidad (m/s) del viento.	Aire	Anemómetro (m/s)
4	Preparación del producto (Kg) -selección del producto.	aguaymanto	Balanza electrónica(Kg)
5	Introducción del producto en cámara de secado -Colocar el aguaymanto en la cámara de secado para deshidratar.		
6	Medición de la masa del aguaymanto al final del día -Peso del producto. -Variación de contenido de agua -Variación de humedad en la cámara de secado.	Aguaymanto	Horas

MUESTRA:										FECHA:														
DIAS	GRUPO	PESO	VELOCIDAD DEL VIENTO	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)							TEMPERATURA DEL COLECTOR SOLAR (°C)							TEMPERATURA DE LA CAMARA DE SECADO (°C)						
				1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	HUMEDAD RELTIVA (%)																							
	HUMEDAD DEL COLECTOR SOLAR (%)																							
	HUMEDAD DE LA CAMARA DE SECADO (%)																							
2	HUMEDAD RELTIVA (%)																							
	HUMEDAD DEL COLECTOR SOLAR (%)																							
	HUMEDAD DE LA CAMARA DE SECADO (%)																							
3	HUMEDAD RELTIVA (%)																							
	HUMEDAD DEL COLECTOR SOLAR (%)																							
	HUMEDAD DE LA CAMARA DE SECADO (%)																							