UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TÍTULO: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet),* PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI AREA CEASA"

CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet)

Autores:

German Pila Juan Fernando

Tipán Defaz Edgar Fabián

Tutor:

PhD. Torres Tamayo Enrique

Latacunga – Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **German Pila Juan Fernando**, con cédula de ciudadanía **Nº 172063615-6**, y **Tipán Defaz Edgar Fabián,** con cédula de ciudadanía Nº **050335291-6** estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet*) PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI AREA CEASA",** siendo el **PhD. Enrique Torres Tamayo**, tutor (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

German Pila Juan Fernando
C.I.: 172063615-6

Tipán Defaz Edgar Fabián
C.I.: 050335291-6

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet*) PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI AREA CEASA", de **German Pila Juan Fernando**, con cédula de ciudadanía Nº **172063615-6**, Y **Tipán Defaz Edgar Fabián,** con cédula de ciudadanía Nº **050335291-6,** estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la **Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la **Universidad Técnica de Cotopaxi** designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio, 2018

El Tutor

Dr.C. Enrique Torres Tamayo.
C.I.:175712194-0

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **Facultad en Ciencias De La Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto, los postulantes: **German Pila Juan Fernando**, con cédula de ciudadanía Nº **172063615-6**, Y **Tipán Defaz Edgar Fabián,** con cédula de ciudadanía Nº **050335291-6** estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** con el título de Proyecto de titulación: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet*) PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI AREA CEASA",** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio, 2018

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.
CC: 050259517-6

Lector 2
Ing. Andrés German Arévalo Zabala; M.Sc
CC: 171032684-2

Lector 3 (Secretario)
Ing. Byron Paul Corrales Bastidas; M.Sc.
CC: 050234776-8

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.

En mi calidad de Decana de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en legal y debida forma CERTIFICO: Que los señores German Pila Juan Fernando y Tipán Defaz Edgar Fabián, Estudiantes de la carrera de Ingeniera Electromecánica conjuntamente con el direccionamiento como tutor del Dr. C Enrique Torres Tamayo, realizaron la propuesta tecnología sobre el tema:

"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (Lupinus Mutabulis Sweet), PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI AREA CEASA"

Una vez verificado el trabajo, considero que dicha propuesta tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos técnicos, por lo que la maquina es aceptada en Granos Andinos, para desarrollar actividades académicas.

Este aval lo otorgo, en razón del tiempo que han trabajado los estudiantes en el desarrollo de su proyecto de investigación, por lo tanto pueden dar el presente documento el uso que estime conveniente.

Latacunga mayo 9, 2018

Atentamente,

"POR LA VINCULACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CON EL PUEBLO"

Ing. Mg. Giovana Paulina Parra Gallardo
Decana de la Facultad de CAREN

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
CAREN
Unidad Académica
LATACUNGA - ECUADOR

GPPG

Lili P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, la salud y haber guiado mi camino paso a paso para así permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida profesional.

A mis padres por todo el esfuerzo que han realizado para verme realizado como profesional y hacer de mí una persona de bien. Gracias por haberme brindado su apoyo incondicional, por todos los sacrificios y la paciencia que demostraron durante todos estos años.

A mi familia, amigos, y a todas aquellas personas que con sus palabras de aliento me impulsaron a conseguir mi sueño.

A mis profesores por inculcar sus conocimientos día a día y que de una u otra manera con sus consejos me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

Finalmente un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de estudiar y formarme como profesional dentro de sus aulas.

Juan

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado y acompañado en el transcurso de mi pregrado, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, errores, experiencias y sobre todo a no rendirme.

A mis padres Gerardo & Norma, por los valores inculcados, el apoyo moral, económico y por brindarme la oportunidad de ser un profesional.

A mis hermanas por ser parte fundamental, y representan la unión familiar.

En parte esencial a la Universidad Técnica De Cotopaxi, a la Unidad Académica De Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas, a la carrera de Ing. Electromecánica, y a sus docentes que impartieron la catedra y experiencias para poder formar mi perfil profesional.

Al tutor del proyecto de innovación tecnología al Dr.C. Enrique Torres Tamayo, y al tribunal de lectores que gracias a su direccionamiento y sus experiencias supieron guiar cada una de los capítulos que conforma esta tesis.

Edgar

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres Juan y Norma quienes con su amor y apoyo incondicional supieron llenarme de fortaleza e inspiración en todo momento y se convirtieron en el pilar fundamental dentro de mi vida y etapa estudiantil.

A mi hermana Tania que me ha brindado su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mis tíos Fabián, Juan, Vicente, Julia y Ángel quienes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi abuelita María Luisa que con su ternura y cariño ha sabido llenar de alegría mi vida y que en aquellos momentos difíciles ha sabido darme palabras de aliento para seguir adelante.

A Dios por haberme demostrado que con paciencia, fortaleza y sobre todo con fe se puede alcanzar las metas propuestas.

Juan

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres.

A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Edgar

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN. v
AGRADECIMIENTO vi
DEDICATORIA viii
ÍNDICE DE CONTENIDO x
ÍNDICE TABLAS. xv
ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS xvi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES xvi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ANEXOS xviii
GLOSARIO xix
RESUMEN xxvi
ABSTRACT xxvii
AVAL DE TRADUCCIÓN ..... **¡Error! Marcador no definido.**
1 INFORMACIÓN BÁSICA 1
2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA 2
2.1 Título de la propuesta tecnológica 2
2.2 Tipo de propuesta y alcance 3
2.3 Área del conocimiento 3
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica 3
2.5 Objeto de estudio y campo de acción 4
2.5.1 Objeto de estudio 4
2.5.2 Campo de acción 4

2.6 Situación problémica y problema 4
2.6.1 Situación problémica: 4
2.6.2 Problema 5
2.7 Hipótesis o formulación de preguntas directrices 5
2.8 Objetivo(s) 5
2.8.1 Objetivo general 5
2.8.2 Objetivos específicos 5
2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS 6
3 MARCO TEÓRICO 7
3.1 Características del chocho 7
3.1.1 Frutos y semillas del chocho 7
3.1.2 Propiedades físicas del chocho 7
3.1.3 Propiedades químicas del chocho 7
3.1.4 Granología del chocho 8
3.1.5 Secado de grano amargo 8
3.2 Secado de granos desamargado 9
3.3 Proceso de deshidratación de granos 12
3.4 Descripción del ciclo del secado 12
3.5 Partes de un deshidratador solar 13
3.6 Sistema de circulación del aire 14
3.7 Tipos de secadores solares 15
3.8 Tipos de paneles solares 16
3.9 Tiempo de secado 16
4 METODOLOGÍA 17
4.1 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Latacunga. 17
4.2 Radiación solar en la ciudad de Latacunga 18

4.3 Constante solar ($\boldsymbol{GSC}$) 18
4.4 Ángulos de la radiación directa 18
4.5 Latitud ($\emptyset$) 18
4.6 Declinación solar ($\boldsymbol{\delta}$) 19
4.7 Ángulo de acimut de la superficie ($\boldsymbol{\gamma}$) 19
4.8 Inclinación de la superficie ($\boldsymbol{\beta}$) 19
4.9 Ángulo de incidencia 20
4.10 Ángulo horario ($\boldsymbol{ws}$) 20
4.11 Número de horas de sol teóricas ($\boldsymbol{N}$) 21
4.12 Heliofanía 21
4.13 Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal ($\boldsymbol{Ho}$) 22
4.14 Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal ($\boldsymbol{Hab}$) ... 22
4.15 Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal ($\boldsymbol{Hd}$) 23
4.16 Índice de claridad ($\boldsymbol{KT}$) 23
4.17 Radiación solar directa en una superficie horizontal ($\boldsymbol{Hb}$) 24
4.18 Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día ($\boldsymbol{Rb}$) 24
4.19 Ángulo de incidencia con respecto a la horizontal para la cubierta de un secador solar $\boldsymbol{\beta}$ 25
4.20 Representación del posicionamiento de captadores 25
4.21 La radiación solar incidente o radiación total ($\boldsymbol{HT}$) 25
4.22 Radiación directa sobre una superficie inclinada ($\boldsymbol{HbT}$) 26
4.23 Radiación difusa sobre una superficie inclinada ($\boldsymbol{HdT}$) 26
4.24 Radiación reflejada por el suelo ($\boldsymbol{HrT}$) 27
4.25 Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa $\boldsymbol{Gs}$ 27
4.26 La radiación que entra en el secador es $\boldsymbol{Grg}$: 28
4.27 Transferencia de calor por conducción $\boldsymbol{qc}$: 28
4.28 Coeficiente de calor convectivo ($\boldsymbol{hct}$) 29

4.29 Resistencia térmica del aislante ($\boldsymbol{Kb}$) 29
4.30 Transferencia de calor por radiación en el vidrio ($\boldsymbol{qrg}$) 30
4.31 Temperatura del cielo ($\boldsymbol{Ts}$) 30
4.32 Calor perdido por convección del vidrio$\boldsymbol{qcg}$: 31
4.33 Calor perdido por radiación del grano ($\boldsymbol{qrc}$) 32
4.34 Balance global de energía del sistema 32
4.35 Cálculo del calor absorbido por el grano $\boldsymbol{qa'}$ 34
4.36 Cálculo del calor absorbido por el sistema$\boldsymbol{qt}$ 35
4.37 Calculando la capacidad del calor almacenado $\boldsymbol{QT}$ 35
4.38 Cantidad de calor necesario para calentar y evaporar 35
4.39 Calor necesario para calentar el grano $\boldsymbol{Qcc}$ 36
4.40 Calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano$\boldsymbol{Qev}$ 37
4.41 Calculando la energía total almacenada ($\boldsymbol{Q}$) 37
4.42 Eficiencia teórica $\boldsymbol{\eta}$: 38
4.43 Calculo de la carga a soportar de las bandejas. 38
4.43.1 Momento flector máximo. 40
5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 40
5.1 Métodos 41
5.2 Cubierta transparente 54
5.3 Aislamiento 55
5.4 Placa absorbente 55
5.5 Entrada de aire al colector solar 56
5.6 Cálculo de la carga a soportar de las bandejas. 57
5.7 Análisis momento flector y momento cortante. 59
5.8 Bandejas 60
5.9 Estructura del deshidratador. 60
5.10 Panel solar fotovoltaico 61

5.11 Controlador de carga del panel solar 62
5.12 Controlador digital de temperatura termostato de 12V serial W1209WK 62
5.13 Ventilador de 12 V 63
5.14 Eficiencia del equipo de deshidratación a base de energía solar. 64
5.15 Análisis del proceso de secado del Chocho 77
5.16 Curvas del secado del chocho. 79
6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS 83
6.1 Costos directos 83
6.1.1 Materiales 83
6.2 Mano de obra directa. 84
6.3 Costos indirectos 85
6.4 Materiales fungibles 85
6.5 Imprevistos 86
6.6 Costo total del proyecto 86
6.7 Análisis de impactos 87
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 88
7.1 Conclusiones 88
7.2 Recomendaciones 88
8 REFERENCIAS 90
9 Anexos 94
I. Anexos 94
II. Anexos 2
III. Anexos 6
IV. Anexo 7
V. Anexo 9
VI. Anexo 9
VII. Anexo 10

VIII. Anexo 11
IX. Anexo 14

ÍNDICE TABLAS.

Tabla 2-1 Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. 6
Tabla 3-1 Análisis bromatológico de chocho amargo y desamargado. 8
Tabla 4-1 Día promedio para cada mes y valor de (n) por meses. 17
Tabla 4-2 Constantes de Ångström-Prescott 17
Tabla 4-3 Coordenadas geográficas de la ubicación ciudad de Latacunga 18
Tabla 4-4 Coeficiente de reflexión. 34
Tabla 5-1 Comparación y selección de diversos tipos de cubiertas 54
Tabla 5-2 Propiedades físicas del poliuretano. 55
Tabla 5-3 Características técnicas panel fotovoltaico 61
Tabla 5-4 Características técnicas controlador de carga del panel solar 62
Tabla 5-5 Especificaciones del controlador digital de temperatura de 12V serial W1209WK 63
Tabla 5-6 Especificaciones técnicas del ventilador de 12V CC 64
Tabla 5-7 Dato Experimentación Martes 08 / Mayo/ 2018 68
Tabla 5-8 Dato Experimentación Miércoles 09 /Mayo/ 2018 69
Tabla 5-9 Dato Experimentación Jueves 10 /Mayo/ 2018 70
Tabla 5-10 Dato Experimentación Viernes 11 /Mayo/ 2018 71
Tabla 5-11 Variables necesarias para determinación de la eficiencia. 72
Tabla 5-12 Eficiencia del Colector. 73
Tabla 5-13 Eficiencia de la cámara de deshidratado. 74
Tabla 5-14 Eficiencia total del sistema 75
Tabla 6-1 Elementos Mecánicos 83
Tabla 6-2 Elementos Eléctricos y Electrónicos 84
Tabla 6-3 Costos totales de los materiales utilizados en la construcción del deshidratador solar. 84
Tabla 6-4 Costo de mano de obra directa. 85

Tabla 6-5 Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto. 85
Tabla 6-6 Costo de materiales fungibles. 85
Tabla 6-7 Costo de Imprevistos. 86
Tabla 6-8 Costo total. 86

ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS

Tabla III-1 Datos De Heliofanía Horas Luz 6
Tabla IV-1 Temperatura ambiente 2017 7
Tabla IV-2 Temperatura ambiente 2017 7
Tabla V-1 Velocidad del viento en la ciudad de Latacunga INAMHI 2014 9
Tabla VI-1 Humedad relativa % INAMHI 2014 9
Tabla VII-1 Punto De Roció De La Ciudad D Latacunga INAMHI (°C) 2014 10
Tabla IX-1 Granulometría ± 12 14
Tabla IX-2 Granulometría ± 14 15
Tabla IX-3 Granulometría ± 16. 16
Tabla IX-4 Granulometría Variable de ±12; ±14; ±16. 17

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1 Secador indirecto. 10
Ilustración 3-2 Secador indirecto. 10
Ilustración 3-3 Secador mixto 11
Ilustración 3-4 Proceso de deshidratación. 13
Ilustración 3-5 Descripción de las partes del deshidratador. 14
Ilustración 4-1 La declinación que tienen los rayos solares sobre el plano ecuatorial. 19
Ilustración 4-2 Posiciones de los ángulos solares. 20
Ilustración 4-3 Ángulo de incidencia de la radiación directa. 21
Ilustración 4-4 Inclinación de captadores solares. 25
Ilustración 4-5 La representación del balance de energía. 33
Ilustración 4-6 Reacciones 39
Ilustración 5-1 Colector solar. 56
Ilustración 5-2 Colector solar. 56
Ilustración 5-3 Reacciones 57
Ilustración 5-4 Diagramas de esfuerzos cortantes y momento flector de la bandeja. 59

Ilustración 5-5 Bandejas. 60
Ilustración 5-6 Estructura general del deshidratador. 60
Ilustración 5-7 Panel fotovoltaico 61
Ilustración 5-8 Controlador de carga del panel solar 62
Ilustración 5-9 Controlador digital de temperatura termostato de 12V serial W1209WK 63
Ilustración 5-10 Ventilador de 12V CC y 0.12A 64
Ilustración 5-11 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo 68
Ilustración 5-12 Curvas de las temperaturas en función del tiempo 68
Ilustración 5-13 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo 69
Ilustración 5-14 Curvas de las temperaturas en función del tiempo 69
Ilustración 5-15 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo 70
Ilustración 5-16 Curvas de las temperaturas en función del tiempo 70
Ilustración 5-17 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo 71
Ilustración 5-18 Curvas de las temperaturas en función del tiempo 71
Ilustración 5-19 Comportamiento de la eficiencia en el colector en funcion del tiempo. 73
Ilustración 5-20 Curva de la eficiencia en el colector en función del tiempo. 73
Ilustración 5-21 Comportamiento de la eficiencia en la cámara en función del tiempo. 74
Ilustración 5-22 Curva de eficiencia de la camara en funcion del tiempo 74
Ilustración 5-23 Comportamiento de la eficiencia del sistema en funcion del tiempo 75
Ilustración 5-24 Curva de la eficiencia del sistema en función del tiempo. 75
Ilustración 5-25 Comportamiento de las eficiencias, en el colector en la cámara y en el sistema. 76
Ilustración 5-26 Curvas de las eficiencias en el colector en la camara y en el sistema. 76
Ilustración 5-27 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 12 mm de diámetro. 79
Ilustración 5-28 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 14 mm de diámetro. 80
Ilustración 5-29 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 16 mm de diámetro. 81

Ilustración 5-30 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria variavle de ± 12; ± 14; ± 16 entre otros mm de diámetro. 82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ANEXOS

Ilustración II-1 Deshidratador a base de energía solar. 2
Ilustración III-1 Datos De Heliofanía Horas Luz desde el año 2012 al 2017. 6
Ilustración IV-1 Datos de estudios precedentes de temperatura ambiente en °C del año 2017, representando temperatura máx., temperatura min y la temperatura promedio. 7
Ilustración IV-2 Datos de estudios precedentes de temperatura ambiente en °F del año 2017, representando temperatura máx., temperatura min y la temperatura promedio. 8
Ilustración IV-3 Datos de la Precipitación del año 2017. 8
Ilustración V-1 Velocidad media km/h del año 2017. 9
Ilustración VI-1 % Humedad en la ciudad de Latacunga año 2017. 9
Ilustración VII-1 Punto De Roció De La Ciudad De Latacunga INAMHI 2014 10
Ilustración VIII-1 Especificaciones técnicas de Acero Inoxidable 304. 11
Ilustración VIII-2 Especificaciones técnicas del tubo negro de 1 ¼ * 1 ¼ 12
Ilustración VIII-3 Especificaciones técnicas del Acero galvanizado. 13

GLOSARIO

Símbolo	Descripción	Unidad
n	*Número del día del año*	
i	*Día representativo del año*	
G_{SC}	*Constante solar*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$ø$	*Latitud*	$[Grados]$
δ	*Declinación solar*	$[Grados]$
γ	*Ángulo de acimut de la superficie*	$[Grados]$
β	*Inclinación de la superficie*	$[Grados]$
w_s	*Ángulo horario*	$[Grados]$
θ	*Latitud del lugar donde se hace de la prueba*	$[Grados]$
N	*Número de horas de sol teóricas*	$[h]$
$n - Heliofania$	*Heliofanía mes de estudio*	
Gs	*Heliofanía mensual del día de estudio*	
$n.r$	*Heliofanía media del mes*	
H_O	*Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal*	$\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$
$a\ y\ b$	*Constate angtrom-prescott*	
H_{ab}	*Irradiación diaria solar promedio sobre una superficie horizontal*	$\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

H_d	*Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$
KT	*Índice de claridad*	
R_b	*Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día*	
t_1	*Tiempo inicial desde las 24 horas o 12 de la noche hasta las 9 horas*	
t_2	*Tiempo final desde las 24 horas o 12 de la noche hasta las 16 horas*	
β	*Ángulo de inclinación de la cubierta del vidrio*	
H_T	*La radiación solar incidente o radiación total*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$
Hb_T	*Radiación directa sobre una superficie inclinada*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$
Hd_T	*Radiación difusa sobre una superficie inclinada*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$
Hr_T	*Radiación reflejada por el suelo*	$\left[\frac{W*h}{m^2}\right]$
H_b	*Radiación solar directa en una superficie horizontal*	$\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$
$H_d{}'$	*Existe variación entre la radiación difusa*	
β	*Ángulo de incidencia*	$[grados]$
ρ	*0.2 constante de albedo*	
G_s	*Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

G_{rg}	*La radiación que entra en el secador*	$\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$
$\propto_g$	*0.1 factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.*	
q_c	*Transferencia de calor por conducción*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
K_b	*Resistencia térmica del aislante*	$\left[\frac{m^2.K}{w}\right]$
T_c	*Temperatura del grano*	$[K]$
T_a	*Temperatura ambiente*	$[K]$
R_{eq}	*Resistencia térmica*	$\left[\frac{m^2.K}{w}\right]$
x_1	*Espesor plancha de poliuretano*	$[m]$
x_2	*Espesor plancha de acero inoxidable*	$[m]$
x_3	*Espesor plancha del tol*	$[m]$
k_1	*Coeficiente de conductividad térmica de la plancha de poliuretano*	$\left[\frac{W}{m.K}\right]$
k_2	*Coeficiente de conductividad térmica del acero inoxidable*	$\left[\frac{W}{m.K}\right]$
k_3	*Coeficiente de conductividad térmica de la plancha de acero al carbono*	$\left[\frac{W}{m.K}\right]$
h_{ct}	*Coeficiente de calor convectivo*	$\left[\frac{W}{m.K}\right]$
v	*Velocidad del viento*	$\left[\frac{m}{s}\right]$

q_{rg}	*Transferencia de calor por radiación en el vidrio*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
ε_g	*0.8 emisividad del vidrio*	
σ	*5.67*10-8 constante de stefan boltzman*	$\left[\frac{W}{m^2.K^4}\right]$
T_g	*Temperatura del vidrio*	$[K]$
T_s	*Temperatura del cielo*	$[K]$
T_{dp}	*Temperatura de rocío*	$[K]$
q_{cg}	*Calor perdido por convección del vidrio*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
h_{cv}	*Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio*	$\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$
q_{rc}	*Calor perdido por radiación del grano*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
ε_c	*0.98 emisividad del grano*	
q'_c	*Calor almacenado por la cubierta*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\propto_g$	*0,3 factor de reflexión de la radiación sobré una superficie obscuro*	
q'_a	*Cálculo del calor absorbido por el grano*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
q_t	*Calor absorbido por el sistema*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
Q_T	*Calculando la capacidad del calor almacenado*	$[W]$
A_c	*Área del colector*	$[m^2]$

m_d	*Masa del acero a36*	$[kg]$
A_d	*Área del acero a36*	$[m^2]$
ρ_d	*Densidad del acero a36*	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
E_d	*Espesor del acero a36*	$[m]$
Q_d	*Calor necesario para calentar el vidrio*	$[W]$
m_d	*Masa del acero a36*	$[kg]$
C_{pd}	*Capacidad calorífica del acero a36*	$\left[\frac{Jkg}{K}\right]$
T_d	*Temperatura del acero a36*	$[K]$
Q_{cc}	*Calor necesario para calentar el grano*	$[W]$
m_c	*Masa del grano*	$[kg]$
C_{pc}	*Capacidad calorífica del chocho*	$\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]$
Q_{ev}	*Calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano*	$[W]$
x'	*Humedad del grano*	[%]
γ	*Calor latente del agua evaporada*	$\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
Q_N	*Calor necesaria para calentar el panel*	$[W]$
Q	*Energía total almacenada*	$[W]$
η	*Eficiencia teórica*	
q	*Carga distribuida*	$\left[\frac{kgf}{m}\right]$

$P_{Bandeja}$	*Peso de la bandeja*	$[kg]$
P_{chocho}	*Peso del producto a secar (chocho)*	$[kg]$
lb	*Longitud de la bandeja*	$[m]$
R_A	*Reacción en a*	
R_B	*Reacción en b*	
l	*Longitud*	$[m\ ]$
M_f	*Momento flector máximo*	$[kgf.m]$
$\eta_{Sistema}$	*Eficiencia del sistema*	$[\%]$
$\eta_{Colector}$	*Eficiencia en el colector*	$[\%]$
η_{Camara}	*Eficiencia en la cámara*	$[\%]$
$Q_{Colector}$	*Flujo de calor en el colector*	$[kW]$
W_{solar}	*Radiación solar incidente en el lugar*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
Q_{Camara}	*Flujo de calor en la cámara*	$[kW]$
m_{aire}	*Masa del aire*	$\left[\frac{kg}{s}\right]$
Cp_{aire}	*Propiedad termofísico del aire en base, temperatura de entrada*	$\left[\frac{kJ}{kg} * K\right]$
$T_{colector}$	*Temperatura del colector*	$[K]$
$T_{ambiente}$	*Temperatura ambiente en los días de experimentación*	$[K]$
V_{aire}	*Volumen del aire*	$\left[\frac{m^3}{s}\right]$

ρ	*Densidad del aire*	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
H	*Contenido de humedad*	[%]
P_I	*Peso inicial*	$[kg]$
P_F	*Peso final*	$[kg]$

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Facultad En Ciencias De La Ingeniería y Aplicadas

TÍTULO: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet),* PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI AREA CEASA"

*CHOCHO (*Lupinus, mutabulis, Sweet)*

Autor/es:

German Pila Juan Fernando

Tipán Defaz Edgar Fabián

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tuvo como objetivo implementar un deshidratador de chocho, a base de energía solar para su funcionamiento, en la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI** área **CEASA** (Campus Experimental Salache) y de esta manera mejorar el proceso de secado y la calidad de harina de dicho producto.

La máquina consta con tres partes principales, el colector donde se capta la energía solar, la cámara de secado donde se encuentra el producto a secar y el sistema de control que permite controlar la temperatura.

En el diseño del deshidratador se realizó una investigación previa para encontrar los parámetros óptimos de trabajo. Como primera parte se detalla toda la información del marco teórico y el análisis de alternativas. Se determinaron las propiedades, características del producto a secar, a partir de lo cual se exponen las alternativas, posteriormente se realizó la elección, cálculos y selección de los elementos constitutivos de la máquina. Se incluye las respectivas hojas de procesos para cada uno de los elementos, además de los planos respectivos necesarios para la fabricación y montaje del mismo.

En base al diseño se ha construido un prototipo de deshidratador solar y se realizaron ensayos con chocho, con un área de captación solar de $2m^2$, y 8 kg de chocho, se ha obtenido resultados de: temperatura promedio en la cámara de secado de 30 °C, temperatura promedio en el colector de 41,5 °C, radiación solar global promedio diaria de 686 W/m^2, velocidad del viento forzado promedio de 2 m^3/s, la reducción del contenido de humedad es notable al transcurrir los 1680 min (28 h), teniendo como consecuente la reducción del contenido de humedad promedio hasta un 0.4 % de contenido de humedad final, teniendo en cuenta que el tiempo de secado depende de la cantidad de producto qué desea secar el productor y la radiación solar incidente en el lugar donde se procederá con el proceso de secado de la materia prima.

Se presenta el análisis experimental de secado del chocho, con una eficiencia de la máquina de un 24 %, además se detallan los costos relacionados con el diseño y construcción de la máquina llegando a tener un costo económico total de $ 2202.70 dólares.

PALABRAS CLAVE: Energía renovable, energía solar, deshidratador, chochó

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES ACADEMIC UNIT

TITLE: "DESING AND IMPLEMENTATION OF CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet)* SOLAR DRIER, FOR agro-industrial USE AT TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXY IN CEASA AREA"

Authors

German Pila Juan Fernando

Tipán Defaz Edgar Fabián

ABSTRACT

The following research is aimed to implement a chocho drier, it is powered by solar energy at Technical University of Cotopaxi in CEASA area (Campus Experimental Salache). It is developed to improve the way of drying and the quality of chocho's flour. The drier has three main parts, the manifold where solar energy is gathered, the drier chamber where the product is dried, and the control system which manage the temperature. The drier design was developed by previous research to find optic work parameters. In the first part, it is described the theoretical framework, analysis and alternatives. It was determined the features of the product to dry it. Based on the alternatives presented was made the choices, calculations and selections of the elements which take part of the drier. Furthermore, building plans for the manufacturing of the machine. Based on the design, a solar drier prototype was built and test with chochos were developed with a catchment solar area of $2m^2$ and amount of 8 kg of chocho. It gathered results as: dry average temperature of 30 °C, manifold average temperature of 41, 5 °C, average daily global solar radiation of 686 W/m^2, average of forced wind speed 2 m^3/s, wet reduction content is remarkable after 1680 min (28 h). As result, it got an average of moisture content reduction of 0.4 %. It has to take into account that the drier process depends on the amount and the solar radiation. The experimental analysis of drying chocho presented its efficacy of 24%. Moreover, it is detailed the costs of design and manufacture of the machine in $ 2202.70 dollars.

Keywords: Renewable energy, solar energy, dehydrator, chocho.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **GERMAN PILA JUAN FERNANDO Y TIPAN DEFAZ EDGAR FABIÁN**, cuyo título versa **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE CHOCHO (*Lupinus mutabulis Sweet)*, PARA EL USO AGROINDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI ÁREA CEASA"**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio, del 2018

Atentamente,

Lic. M. Sc. Pacheco Pruna Edison Marcelo

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

C.C. 0502617350

CENTRO DE IDIOMAS

TITULACIÓN II

1 INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

German Pila Juan Fernando

Tipán Defaz Edgar Fabián

TEMA APROBADO:

Diseño e Implementación de un deshidratador solar de chocho *(Lupinus, mutabulis, Sweet),* para uso agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi área CEASA (Campus Experimental Salache).

CARRERA:

Ingeniería Electromecánica.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:

Dr.C. Laurencio Alfonso Héctor Luis

EQUIPO DE TRABAJO:

Tutor: PhD. TORRES TAMAYO ENRIQUE

Lector 1: Ing. Cruz Panchi Luis Rolando; M.Sc.

Lector 2: Ing. Andrés German Arévalo Zabala; M.Sc.

Lector 3: Ing. Corrales Bastidas Byron Paul; M.Sc.

LUGAR DE EJECUCIÓN:

El proyecto de propuesta tecnológica a desarrollar se encuentra ubicado específicamente en la Universidad Técnica De Cotopaxi Área CEASA (Campus Experimental Salache).

Región: Centro Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Parroquia: Eloy Alfaro

Barrio: Salache Bajo

TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:

12 meses

FECHA DE ENTREGA:

Julio 2018

LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN

Línea de investigación.

Línea 5.- Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Esta línea de investigación abarca tres grandes ejes para su accionar investigativo, que están en correspondencia con los objetivos nacionales e internacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en esta área. Se integran todas aquellas investigaciones que busquen promover el aprovechamiento de las energías alternativas y renovables, fomentar y promocionar el uso eficiente de la energía (Eficiencia Energética) en los diferentes sectores (Industrial, Residencial, Publico, Transporte y Agrícola), y reducir el impacto medioambiental derivado de la utilización de los recursos energéticos.

Sub líneas de investigación de la Carrera.

Línea 3.- Eficiencia energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

En el presente documento se redacta cómo llegar a obtener un deshidratador de chocho a base de energía solar calorífica y fotovoltaica el cual es un producto de innovación tecnológica que nace a base de dar solución a una necesidad como es la deshidratación del producto, para prolongar el tiempo de consumo de la harina de chocho.

2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Diseño e Implementación de un deshidratador solar de chocho *(Lupinus, mutabulis, Sweet),* para uso agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi áreas CEASA (Campus Experimental Salache).

2.2 Tipo de propuesta y alcance

Desarrollo:

La ejecución de la presente propuesta tecnológica será de gran ayuda para el desarrollo práctico de los estudiantes y de la comunidad de granos andinos, realizarán los diferentes ensayos de secado de chocho. A su vez este proyecto será un aporte y un complemento en lo que se refiere a la parte de maquinaria agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi área CEASA.

Integrador:

Mediante este proyecto todas las personas involucradas en el área CEASA pasarán a ser parte de la utilización del equipo tecnológico, en especial los estudiantes quienes son los principales involucrados al momento de adquirir conocimientos prácticos. De esta forma se genera lazos de cooperación para el desarrollo académico tanto de la Carrera de Ingeniería Electromecánica como del área de proyecto de granos andinos, de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3 Área del conocimiento

Área: Ingeniería, industria y construcción

Sub área: 52.- Ingeniería y profesiones afines

Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, ingeniería energética y química, mantenimiento de vehículos, topografía.

54.- Industria y producción

Alimentación y bebidas, textiles, confección, calzado, cuero, materiales (madera, papel, plástico, vidrio, etc.), minería e industrias extractivas.

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

La propuesta de innovación tecnológica está ligada al diseño e implementación de un deshidratador solar de chocho para uso agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi área CEASA.

Mediante los conocimientos y habilidades adquiridas en la Carrera de Ingeniería Electromecánica, en las ramas de electricidad, mecánica y electrónica, estamos en la capacidad de diseñar e implementar un equipo de deshidratación a base de energía solar calorífica y

fotovoltaica, la cual mediante el proceso de deshidratado nos lleva a adquirir un producto derivado del chocho que es la harina.

Los beneficiarios directos son la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI área CEASA (Campus Experimental Salache) y los productores de chocho en la provincia de Cotopaxi, ya que ellos son los encargados de realizar el procedimiento de deshidratación del chocho para posteriormente obtener su harina.

Los beneficiarios indirectos son la ciudadanía en general, ya que son los consumidores finales de la harina de chocho y de esta manera mejoran el consumo de la canasta productiva.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

Implementar un equipo de deshidratado de chocho a base de energía solar para su funcionamiento.

2.5.2 Campo de acción

Diseño e implementación de un deshidratador solar de chocho para uso agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi área CEASA.

2.6 Situación problémica y problema

2.6.1 Situación problémica:

El proyecto de innovación tecnológica, ayudará a crear un proceso de secado del chocho óptimo, para obtener harina de dicho producto, y de esta manera poder prolongar el tiempo de consumo de esta harina, ya que, si no se realiza un proceso adecuado de tratamiento del secado, el tiempo de consumo de la harina de chocho se reduce.

Por lo cual el secado solar comparado con otras técnicas de preservación como la refrigeración, tratamientos químicos y enlatados tiene una enorme ventaja en cuanto a costo y simplicidad de operación y se consigue una reducción en cuanto a gastos energéticos [1].

Considerando la calidad del derivado del chocho en este caso que es la harina depende de la deshidratación del chocho, en la UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI área CEASA, nuestro proyecto está vinculado directamente con proporcionar un deshidratador solar de

chocho para mejorar el proceso de deshidratado y también de esta manera prolongar el tiempo de consumo de la harina.

2.6.2 Problema

¿Cómo mejorar el proceso de secado de chocho mediante el diseño e implementación de un deshidratador solar, para obtener una deshidratación del producto de mejor calidad, y de esta manera mejorar la harina de chocho con fines industriales en La UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI área CEASA en el periodo académico Octubre 2017- Agosto2018?

2.7 Hipótesis o formulación de preguntas directrices

Si se Implementa un deshidratador solar de chocho en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI área CEASA, con fines industriales, se reducirá el tiempo en el proceso de secado tomando en consideración las propiedades del material (contenido de humedad, granulometría y densidad) y el consumo de energía del proceso, de esta manera se obtendrá harina de chocho de una mejor calidad.

2.8 Objetivo(s)

2.8.1 Objetivo general

Implementar un deshidratador de chocho a base de energía solar para su funcionamiento, en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI área CEASA y de esta manera mejorar el proceso de secado y la calidad de harina del dicho producto.

2.8.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar los referentes teóricos del proceso de secado solar.
- ✓ Establecer los parámetros de diseño del deshidratador de chocho que garantice la eficiencia de la máquina.
- ✓ Diseñar los planos constructivos del deshidratador de chocho a base de energía solar (*Ver I Anexo).*
- ✓ Elaborar un manual de funcionamiento y mantenimiento del deshidratador de chocho a base de energía solar (*Ver II Anexo).*

2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2-1 Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos específicos	**Actividades**	**Resultado de las actividades**	**Descripción de la metodología**
Identificar los referentes teóricos del proceso de secado solar.	Investigación bibliográfica en el diseño de un secador, tanto en la parte eléctrica, electrónica y mecánica basándonos en prototipos ya diseñados.	La elección de los materiales apropiados para la implementación de la máquina.	Buscar información en las diferentes fuentes a nivel virtual y bibliográficamente.
Establecer los parámetros de diseño del deshidratador de chocho que garantice la eficiencia de la máquina.	Búsqueda de información relacionada a la deshidratación mediante el uso de la energía solar.	La obtención de la información teórica.	Buscar información en las diferentes fuentes a nivel virtual y bibliográficamente.
Diseñar los planos constructivos del deshidratador de chocho a base de energía solar (Ver I Anexo).	Indagación de los distintos softwares que nos permitan realizar modelados y simulación para nuestro respectivo diseño. Selección de un software de modelamiento simulación y análisis para un buen diseño de nuestro prototipo.	La elaboración de los planos constructivos con sus respectivos detalles y medidas de construcción que aseguren la viabilidad de nuestro deshidratador.	Buscar información de los diferentes softwares de modelación y simulación en los sitios de Autodesk y elegir el más óptimo para nuestras necesidades.
Elaborar un manual de operaciones y mantenimiento del deshidratador de chocho a base de energía solar.	Mediante información de los equipos implementados en el diseño del secador para realizar un manual detallado.	La elaboración del manual de operación del deshidratador con sus respectivas partes y su operación.	Buscar información de los parámetros para realizar manuales, acorde al contenido y rigiéndonos estrictamente en las normas que debe cumplir el deshidratador.

Nota: Esta tabla contiene los resultados de las actividades, descripción de la metodología usada para cumplir las actividades, con respecto a los objetivos específicos.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Características del chocho

3.1.1 Frutos y semillas del chocho

El fruto es una vaina alargada de 5 a 12 cm, que contiene de 3 a 8 granos, éstos son ovalados, comprimidos en la superficie y con una amplia variabilidad en cuanto al color, el mismo que va desde blanco puro hasta el negro [2]

3.1.2 Propiedades físicas del chocho

La variación en tamaño depende tanto de las condiciones de crecimiento como de la variedad. La semilla está recubierta por un tegumento endurecido que puede constituir hasta el 10% del peso total. Los colores del grano incluyen blanco, amarillo, gris, ocre, pardo, castaño, marrón y colores combinados como marmoleado, media luna, ceja y salpicado. La genética en la herencia del color de la semilla es bastante compleja y existen genes tanto para el color principal, como para cada una de las combinaciones [3].

El diámetro promedio ortogonal varía entre 7.50 mm, con una desviación estándar de 0.44 mm. La semilla de lupino posee un 17% más de diámetro en comparación con la semilla de soya (6.3 mm). Un kilogramo tiene 3500 a 5000 semillas. La variación en tamaño depende tanto de las condiciones de crecimiento como de la variedad [4]. El mayor tamaño del lupino frente a otras semillas es un indicador de la mayor capacidad de nutrientes que puede almacenar. Su espesor, promedio, es de 2.405 mm. El 11.03 % de la semilla está compuesta por un tegumento blanco de textura plástica y resistente. Se estima que su espesor es de 0.20 mm, no obstante varía de acuerdo con la zona cubierta. El tegumento que cubre el borde longitudinal de los cotiledones tiene un espesor de 0.27 mm, el del borde transversal de los cotiledones 0.18 mm [5].

3.1.3 Propiedades químicas del chocho

El chocho (*Lupinus mutabulis Sweet*), es una leguminosa que tiene un alto contenido de alcaloides que le confieren un sabor amargo y afecta su biodisponibilidad de nutrientes si se le consume directamente sin extraer los alcaloides. El grano de chocho es rico en proteínas y grasa, como puede observarse en la Tabla.3.1 [4].

Tabla 3-1 Análisis bromatológico de chocho amargo y desamargado.

Componente	Chocho	
	Amargo	**Desamargado**
Proteína (%)	47.80	54.05
Grasa (%)	18.90	21.22
Fibra (%)	11.07	10.37
Cenizas (%)	4.52	2.54
Humedad (%)	10.13	77.05
ELN (%)	17.62	11.82
Alcaloides (%)	3.26	0.03
Azúcares totales (%)	1.95	0.73
Azúcares reductores (%)	0.42	0.61
Almidón total (%)	4.34	2.88
K (%)	1.22	0.02
Mg (%)	0.24	0.07
Ca (%)	0.12	0.48
P (%)	0.60	0.43
Fe (ppm)	78.45	74.25
Zn (ppm)	42.84	63.21
Mn (ppm)	36.72	18.47
Cu (ppm)	12.65	7.99

Nota: Esta tabla contiene las componentes moleculares en forma porcentual del chocho.

Fuente: [6]

3.1.4 Granología del chocho

Para el proceso de Deshidratado debemos partir principalmente de la obtención del producto en bruto para su respectivo proceso de desamargado hasta llegar al proceso de deshidratado.

Para saber el tipo y calidad del grano se hace una referencia en base a 45 kg de materia prima, se obtiene 33,5 kg de grano de primera, con el método semi-manual se presentará mayor cantidad de grano de segunda y con el método manual se obtuvo una mayor cantidad de desperdicio [7].

3.1.5 Secado de grano amargo

Una vez que el grano o semilla ha quedado libre de impurezas, ya sea en forma manual o con máquinas limpiadoras, se procede al secado del mismo. El secado se realiza considerando el destino final del producto (semilla o comercial).

Si el grano es para semilla se recomienda secar en la sombra y si el grano es comercial, se puede hacerlo mediante dos métodos que están en función de volúmenes, el natural y el artificial.

El secado natural, se fundamenta en la utilización de la energía solar, para esto se puede disponer el grano en bandejas, tendales, entre otros. Mediante exposición solar se puede bajar los contenidos de humedad a niveles entre 12 y 14%, con 6 a 8 horas de exposición diarias por un rango de tiempo prolongable dependiendo de la radicación solar y su contenido de humedad [7].

3.2 Secado de granos desamargado

Una vez que el producto pase por el proceso de desamargado se puede proceder con el proceso de secado que es un tratamiento térmico, las técnicas que se utilizan sirven para mejorar las características físicas y químicas, disminuir la humedad y así incrementar el tiempo de almacenamiento.

El proceso de secado depende de varios factores que deben ser tomados en cuenta:

- ✓ Humedad del grano
- ✓ Temperatura de secado
- ✓ Temperatura ambiente
- ✓ Entre otros

En el secado existen tres tipos de mecanismo de secado:

- ✓ Indirecto
- ✓ Directo
- ✓ Mixto.

Mecanismo del secado indirecto

Se llama secado indirecto porque el colector se ubica a cierta distancia de la cámara. El aire en el ingreso se calienta en el colector, de esta forma el producto no es afectado por la radiación de forma directa ya que este se encuentra en la cámara del secado, el calor pasa al producto húmedo por medio de la conducción a través de una pared de retención de sólidos, la pared es de naturaleza metálica. [8].

Para caracterizar el método de funcionamientos de agitación se aumenta el contacto entre el material húmedo y la superficie caliente, con este método se logra un cambio continuo entre el material húmedo y la superficie caliente [8].

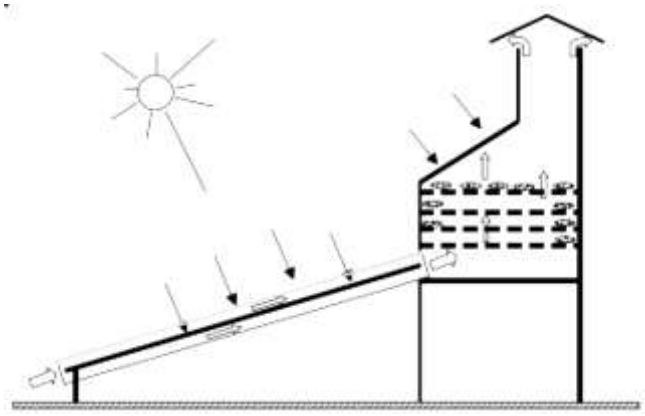


Ilustración 3-1 Secador indirecto.

Fuente: [8]

Principio de funcionamiento del secado indirecto

El secador solar indirecto, donde el colector solar y la cámara de secado están separados, 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.

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 [9].

Mecanismo de secado directo

En este modelo de secador se tiene que el colector y la cámara se encuentran en el mismo lugar, la cámara y el colector cumplen la misma función la cual es recibir la radiación solar. En este tipo de secadores el producto absorbe la radiación solar directa, esto quiere decir que no existe ninguna resistencia u obstáculo entre los rayos del Sol y el producto.

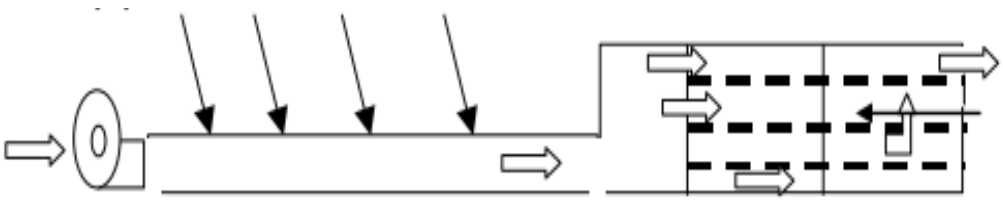


Ilustración 3-2 Secador indirecto.

Fuente: [8]

Mecanismo secador 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.

En el secador solar indirecto-directo la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de aire por convección natural, pero también se puede utilizar ventiladores para la renovación del aire, acelerando el tiempo de secado.

Ilustración 3-3 Secador mixto.

En el secador solar mixto se observan varias ventajas; una de ellas es que el proceso es más simple, permite el ingreso de la radiación solar, para que el secado del producto sea de forma conveniente para ahorrar tiempo en el proceso de secado [8].

Selección del tipo de Mecanismo más adecuado para el proceso de secado

El mecanismo más óptimo para el proceso de deshidratado del chocho, es el mecanismo de secado indirecto, el cual cuenta con un colector donde se capta y se genera el aire caliente, y está separado de la cámara de deshidratado donde va a estar ubicado el producto a deshidratar y cuenta con un desfogue del aire húmedo.

El secador solar indirecto presenta varias ventajas.

- ✓ Es a base de energía solar.
- ✓ El control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire).
- ✓ El tener una cámara de secado como tal facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga.

3.3 Proceso de deshidratación de granos

Existen diversos procesos para retirar la humedad de los productos. En realidad es posible emplear cualquier fuente energética para producir el calor necesario para la deshidratación. Entre estas fuentes se encuentra la energía solar, la cual es ideal para este cometido, ya que es gratuita y se puede trabajar con ella en un rango de temperaturas muy adecuado para la deshidratación con un muy buen rendimiento.

La deshidratación envuelve el producto a deshidratar de un ambiente que favorezca la evaporación de la humedad que contiene en su interior. Esto se debe a que los productos tienden a establecer una relación de equilibrio entre su humedad interna y la del ambiente que les rodea. Si el ambiente es los suficientemente cálido y seco el producto tiende a perder su humedad interna hasta un punto en el que ya no lo pueda recuperar totalmente aunque se encuentre en un ambiente húmedo, por tanto las condiciones ideales para lograr la deshidratación son una masa de aire que envuelva al producto con una alta temperatura y una humedad relativa baja [10].

3.4 Descripción del ciclo del secado

El aire entra fresco y con una humedad relativa media en el colector. El calor proporcionado por el sol hace que la temperatura del aire suba y que este adquiera la capacidad de contener más humedad. Como no hay aporte externo de humedad, su humedad relativa baja.

El aire caliente y con baja humedad relativa proveniente del colector solar eleva la temperatura de los productos y hace que en estos se evapore el agua que contienen. El aire cálido y seco absorbe con facilidad la humedad que ha soltado el producto y en el proceso aumenta su humedad relativa bajando su temperatura.

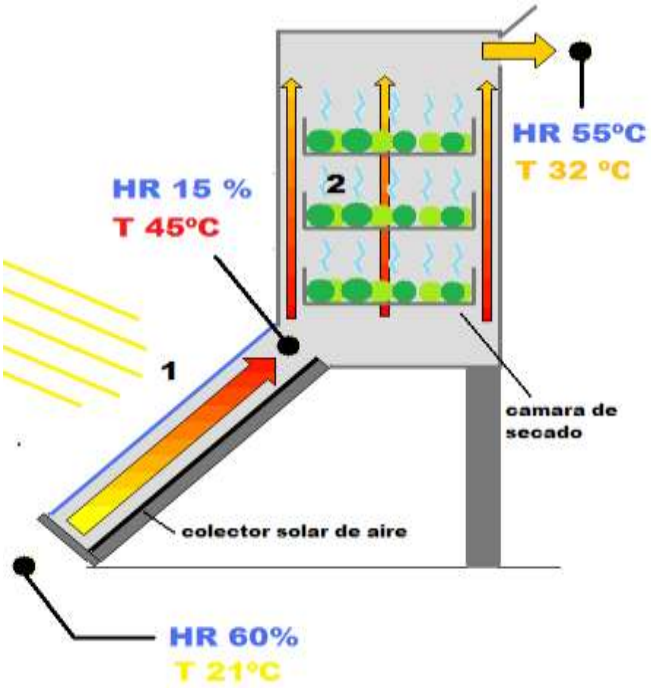


Ilustración 3-4 Proceso de deshidratación.

Fuente: [10]

3.5 Partes de un deshidratador solar

Los deshidratadores solares cuentan todos con unas áreas esenciales para que el proceso de secado de los productos sea eficaz. La forma y ubicación de cada una de estas áreas es distinta en función del modelo de que se trate.

Las áreas fundamentales son:

Área de captación.- Es el área que recibe la radiación solar y la transforma en el calor con el cual se van a deshidratar los productos

Área de desecado.- Donde se encuentra el producto a desecar

Área de evacuación de la humedad.- Lugar donde el aire cargado de humedad se pierde en la atmósfera

Área de entrada de aire fresco.- Punto por el que entra el aire en sustitución del que se ha evacuado.

3.6 Sistema de circulación del aire

La circulación de aire en torno al producto a deshidratar es muy importante, ya que evacua la humedad ya extraída manteniendo un ambiente seco lo que acelera la deshidratación.

Circulación natural por convección

En esta parte de la circulación natural hacemos referencia al efecto termosifón, efecto termosifónico o tiro térmico es un fenómeno que se produce en los fluidos cuando se calientan. Las sustancias, al calentarse se dilatan y entonces disminuye su densidad. Si se considera la masa de un fluido, la porción más caliente tiene menos densidad, de modo que asciende sobre la porción de fluido más fría.

Circulación forzada

El aire que se encuentra circulando es generado por un equipo impulsado por energía eléctrica, la ventaja que provee este tipo, radica en la construcción de secadores de mayor tamaño, alcanzado velocidades de aire entre 0.5 y 1 m/s. Una desventaja es que se debe tener suministro de energía eléctrica para su funcionamiento [11].

Empleando medios eléctricos como un extractor o un ventilador se puede forzar el movimiento del aire. Este sistema es adecuado para sistemas más grandes y complejos [10].

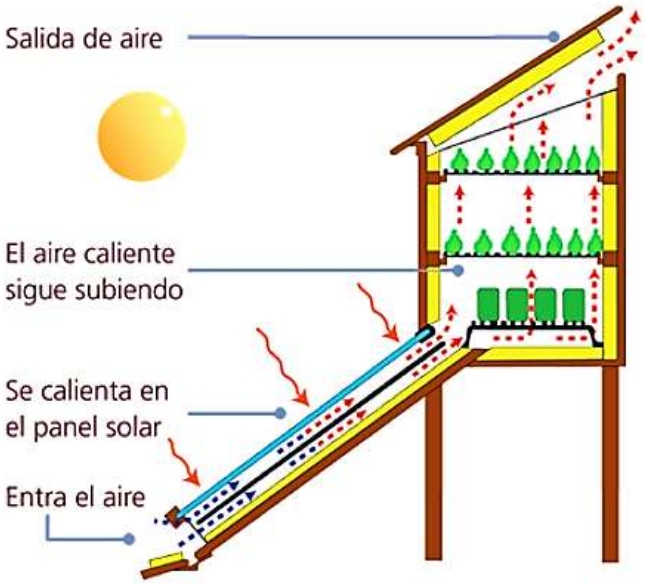


Ilustración 3-5 Descripción de las partes del deshidratador.

Fuente: [10]

3.7 Tipos de secadores solares

Los secadores pueden tener diferentes tipos de clasificaciones, lo más importante es que a la hora de la selección se debe considerar el rendimiento y la economía de cada uno de ellos.

Secadores continuos

El secador continuo el producto, el cual va a ser secado ingresa en una tasa de alimentación, es decir kg/h o kg/día y con ello se tiene producciones elevadas, pero a elevados costos.

Secadores discontinuos

Los secadores discontinuos, se lotizan a los alimentos que se van a secar, los cuales ingresan y se realiza el respectivo secado a determinados tiempos, con ello se permite un control máximo de producto pero producciones muy bajas.

El secado se clasifica en base a la energía térmica que ocupan para trabajar.

- ✓ Directo o por conducción
- ✓ Indirecto o por convección
- ✓ Por radiación

Secadores por conducción

En el secador por conducción el aire caliente debe circular a través del alimento, para que el flujo del aire caliente pase absorbiendo la humedad del alimento de esta forma se produzca la deshidratación hasta llegar a las condiciones de almacenamiento.

Secadores por convección

El calor de evaporación que se genera en superficies calentadas colocadas directamente en el material a secar. El agua evaporada se elimina mediante una operación de vacío o a través de una corriente de gas, la función principal es eliminar el agua [8].

Secadores por radiación

Es la denominación a la transmisión de la energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Se basa en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. La energía es absorbida selectivamente por las moléculas de agua, por ende mientras el producto se seca, se requiere menos energía. Incluye varias fuentes de radiación electromagnética con longitudes de onda desde el espectro solar hasta microondas (0,2 m – 0,2 mm).

3.8 Tipos de paneles solares

Paneles solares fotovoltaicos

El funcionamiento se basa en la incidencia de los rayos del sol en el panel, dicho panel es aquel que la luz solar transmite energía a los electrones, los cuales se separan en neutrones y protones permitiendo generar electricidad [8].

Paneles solares térmicos

El panel solar térmico es el encargado de absorber la energía contenida en la radiación solar y transferir dicha energía en forma de calor al aire en contacto. Los sistemas de placa plana o placa absolvedora tienen mayor resistencia que los de tubo vacío, los cuales son muy frágiles, estos paneles mientras mayor sea la placa absolvedora tienen mayor eficiencia, también deben estar ubicados en lugares que tengan recepción directa de los rayos solares [8].

Paneles solares termodinámicos

Los paneles solares termodinámicos son una alternativa a los paneles solares convencionales. La diferencia que existe entre ellos es que no solo captan la energía solar también captan la energía del ambiente exterior, esto se origina por los principios termodinámicos del panel, siempre y cuando la temperatura exterior no baje de los 0º [8].

3.9 Tiempo de secado

El tiempo de secado depende de varios factores como:

- ✓ Tipo de producto.
- ✓ Temperatura del aire.
- ✓ Velocidad del aire.
- ✓ Tamaño.
- ✓ Humedad relativa.

Para el secado se deben tomar en cuenta 3 etapas distintas:

- ✓ Etapa inicial, la rapidez con la cual se elimina humedad en función del tiempo.
- ✓ 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. [11].

4 METODOLOGÍA

En la metodología se describe el diseño experimental propuesto, incluyendo factores y niveles de estudio y las respuestas experimentales. Estos aspectos se desarrollan de acuerdo a la naturaleza del problema y el área del saber que implica la propuesta.

4.1 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Latacunga.

La Tabla 4-1, mediante la cual se puede determinar el día promedio recomendado para cada mes. Donde, (i) es el día del año a analizar, (n) es el valor que toma por cada mes.

Tabla 4-1 Día promedio para cada mes y valor de (n) por meses.

Mes	n Para i Día Del Mes	Para El Día Promedio Del Mes		
		Fecha	n; Día Del Año	δ Declinación
Enero	i	17	17	-20.9
Febrero	$31 + i$	16	47	-13.0
Marzo	$59 + i$	16	75	-2.4
Abril	$90 + i$	15	105	9.4
Mayo	$120 + i$	15	135	18.8
Junio	$151 + i$	11	162	23.1
Julio	$181 + i$	17	198	21.2
Agosto	$212 + i$	16	228	13.5
Septiembre	$243 + i$	15	258	2.2
Octubre	$273 + i$	15	288	-9.6
Noviembre	$304 + i$	14	318	-18.9
Diciembre	$334 + i$	10	344	-23.0

Nota: En la tabla se muestra el promedio de cada mes.

Fuente: [8]

Tabla 4-2 Constantes de Ångström-Prescott

CONSTANTES DE ÅNGSTRÖM		
REGIÓN	COSTA	SIERRA
a	0,28	0,25
b	0,54	0,45

Nota: Constantes para el cálculo de las Heliofanía en distintas regiones.

Fuente: [12]

4.2 Radiación solar en la ciudad de Latacunga

A continuación se muestran la fórmula para determinar la radiación mensual promedio en la ciudad de Latacunga. Tomando como referencia la Tabla 4-1 para el análisis de energía solar.

$$\mathrm{n} = \mathrm{Dia} + \mathrm{i}$$

(Ecuación 4-1)

Donde:

$n =$ valor asignado a cada mes de acuerdo a la Tabla $4 - 1$.
$i =$ día representativo para el mes de Noviembre Tabla $4 - 1$.

4.3 Constante solar (G_{SC})

La constante solar es la energía que el Sol emite por unidad de tiempo a una superficie de forma perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar [8].

$$\mathrm{G_{SC}} = 1367 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2}}\right]$$

4.4 Ángulos de la radiación directa

La radiación directa se define como la trayectoria lineal que llega a la superficie de la Tierra sin que se presente cambios en su trayectoria. Entre un plano de cualquier orientación relativa a la Tierra y la radiación directa del sol, se presentan relaciones geométricas, relaciones que son descritas por varios ángulos, sus definiciones se detallan a continuación.

4.5 Latitud (Ø)

Es la posición angular Norte o Sur de un punto en la Tierra respecto al Ecuador, es positiva al norte y negativa al Sur; $-90° \leq \leq 90°$ [13].

Tabla 4-3 Coordenadas geográficas de la ubicación ciudad de Latacunga

Latitud	00° 59´ 57´´ N
Longitud	78° 37´ 14´´ W
Altitud	2725msnm

Nota. Ubicación de la ciudad de Latacunga.

Fuente: [13]

4.6 Declinación solar (δ)

Es el ángulo formado por la declinación del sol en el mediodía con respecto al plano ecuatorial. Siendo positiva al Norte y negativa al Sur; $-23.5° \leq \delta \leq 23.5°$

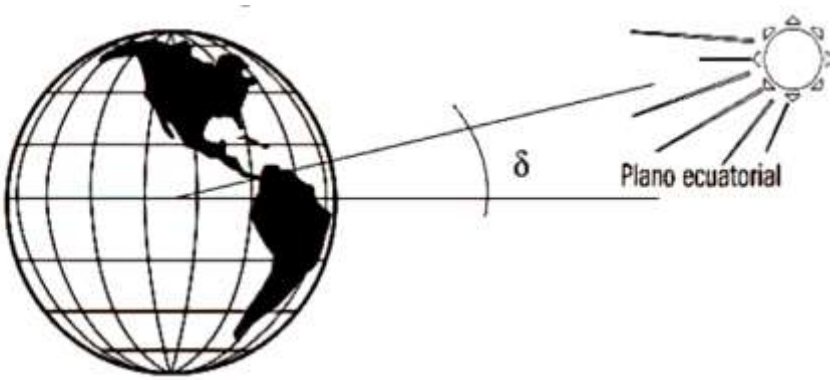


Ilustración 4-1 La declinación que tienen los rayos solares sobre el plano ecuatorial.

Fuente: [14]

Con la ecuación de Cooper (1969), se puede calcular declinación solar (δ) en forma mensual con el número de día del año.

$$\delta = 23{,}45 * \text{sen}\left[\frac{360 * (284 + \text{n})}{365}\right]$$

(Ecuación 4-2)

Donde:

$\delta =$ ángulo de declinación solar[grados]

$\text{n} =$ número del día del año

4.7 Ángulo de acimut de la superficie (γ)

Se define como la desviación de la proyección de la normal a una superficie en el plano horizontal, la desviación de esta proyección respecto al meridiano local, se denomina ángulo de acimut de la superficie, adopta un valor de cero al Sur, siendo negativo al Este y positivo al Oeste; $-180° \leq \gamma \leq 180°$

4.8 Inclinación de la superficie (β)

Es el ángulo formado entre el plano de la superficie en análisis y la horizontal; $-\ 0° \leq \beta \leq 180°$, si $\beta \geq 90°$ el plano está mirando hacia abajo.

4.9 Ángulo de incidencia

Es el ángulo entre la radicación directa del sol que incide sobre una superficie y la normal a esa superficie.

4.10 Ángulo horario (w_s)

El sol se desplaza de forma angular en dirección Este u Oeste, respecto al meridiano local, el desplazamiento es generado debido a la rotación de la tierra, su velocidad es de 15° por hora, en horas de las mañana es negativo mientras que en horas de la tarde es positivo.

Se observa la Ilustración 4-2 donde se muestra la representación de los ángulos del sol hasta llegar al Cénit.

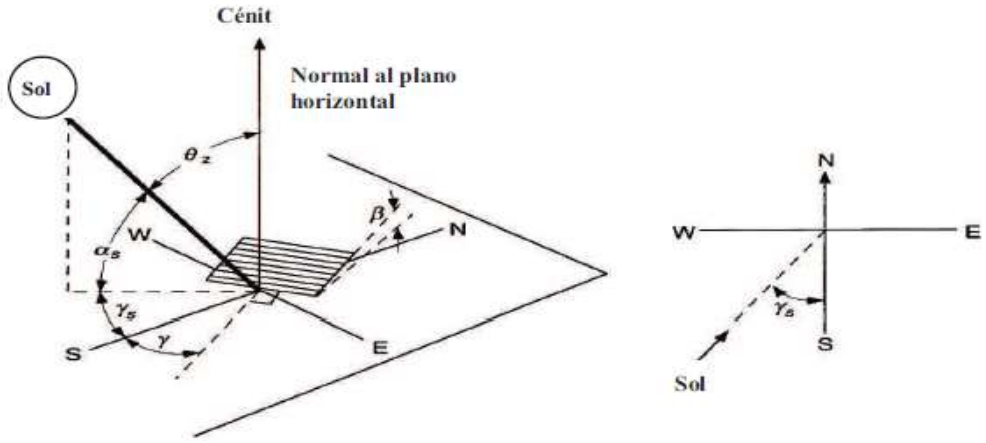


Ilustración 4-2 Posiciones de los ángulos solares.

Fuente: [14]

El ángulo horario representado en la Ilustración 4-2 como se define de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\omega_S = \arccos[-\tan(\delta) * \tan(\theta)]$$

(Ecuación 4-3)

Donde:

$\omega_S =$ ángulo del ocaso [grados]

$\delta =$ declinacion solar [grados]

$\theta =$ latitud del lugar donde se hace de la prueba [grados]

Se observa en la Ilustración 4-3 la representación gráfica del ángulo de incidencia con respecto a una superficie.

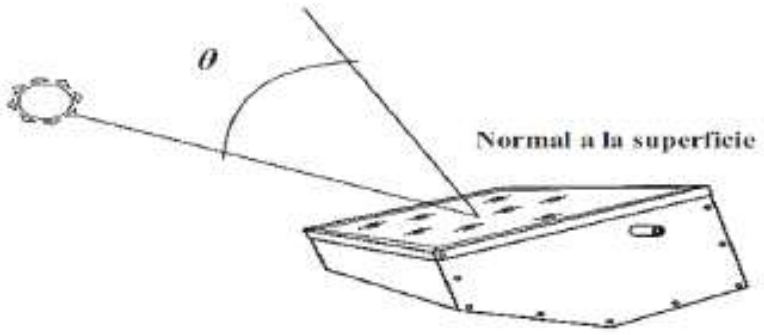


Ilustración 4-3 Ángulo de incidencia de la radiación directa.

Fuente: [14]

4.11 Número de horas de sol teóricas (N)

En el diseño de equipos que emplean energía solar para su funcionamiento, es de gran importancia las horas efectivas de sol durante el día, las que son calculadas en base al ocaso, desde que sale el Sol hasta que se esconde ver III Anexo.

$$\mathrm{N} = \frac{2}{15} * \omega_S$$

(Ecuación 4-4)

Donde:

$\mathrm{N} =$ numero de horas de sol teoricas; [h]

$\omega_S =$ angulo del ocaso; [grados]

4.12 Heliofanía

Heliofanía o duración de brillo solar, se define como el tiempo de duración de brillo solar u horas de Sol. Los instrumentos empleados para su medición se denominan Helifanógrafo, encargado de registrar las horas que recibe radiación solar directa.

$$\mathrm{n} - \mathrm{heliofania} = \mathrm{Gs}$$

(Ecuación 4-5)

$$\mathrm{n.r} = \frac{\mathrm{Gs}}{31\ \mathrm{dias}}$$

(Ecuación 4-6)

Donde:

$n - \text{heliofania} = \text{heliofania mes de estudio}$

$Gs = \text{helofanía mensual del dia de estudio}$

$n.r = \text{heliofania Media del mes}$

4.13 Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal (H_o)

Con esta ecuación se puede obtener la radiación que extraterrestre para cada día mes del año:

$$H_O = \frac{24 * 3600 * G_{SC}}{\pi}\left[1 + 0{,}33\cos\frac{360 * n}{365}\right]\left[\cos\emptyset * \cos\delta * \sin\omega_S + \frac{2\pi * \omega_S}{360}\sin\emptyset * \sin\delta\right]$$

(Ecuación 4-7)

Donde:

$H_O = \text{radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal;} \left[\frac{W * h}{m^2 dia}\right]$

$G_{SC} = \text{constante Solar}$

$\emptyset = \text{latitud; [grados]}$

$\delta = \text{declinacion solar; [grados]}$

$n = \text{valor asignado a cada mes de acuerdo a la Tabla } 4 - 1$

4.14 Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (H_{ab})

Para establecer la radiación solar promedio se debe relacionar las horas de sol con la radiación solar, donde se incorpora la relación de las constantes de Angstrom-Prescott expresada con la siguiente ecuación:

$$H_{ab} = a + b * \frac{n * r}{N} * H_o$$

(Ecuación 4-8)

Donde:

$H_{ab} = \text{irradiacion diaria solar promedio sobre una superficie horizontal} \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

$N = \text{numero de horas de sol teoricas}$

$n * r = \text{Heliofania media del mes}$

a y b = constate Angtrom − prescott Tabla 4 − 2.

$H_o =$ radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

4.15 Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal (H_d)

La radiación emitida por el sol al llegar a la Tierra atraviesa la atmósfera, reflejándose y difundiendo en la atmósfera, cambiando su dirección original.

Se calcula en base al valor de KT (índice de claridad), mediante la siguiente ecuación:

$$H_d = H_{ab} * [1{,}39 - 4{,}03 * KT + 5.53 * KT^2 - 3{,}11 * KT^3]$$

(Ecuación 4-9)

Donde:

$H_d =$ radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal ; $\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

$H_{ab} =$ irradiacion diaria solar promedio sobre una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2 dia}\right]$

$KT =$ índice de claridad

4.16 Índice de claridad (KT)

Se puede definir el índice de claridad diaria como la relación de la radiación de un día en particular a la radiación extraterrestre se define por la siguiente ecuación:

$$K_T = \frac{H_{ab}}{H_O}$$

(Ecuación 4-10)

Donde:

$H_{ab} =$ irradiacion diaria solar promedio sobre una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

$H_o =$ radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

Con el valor de KT determinado, se remplaza en la (Ecuación 4-10) y se obtiene la radiación difusa H_d.

4.17 Radiación solar directa en una superficie horizontal (H_b)

No toda la radiación solar que atraviesa la atmosfera cambia de dirección, a esta radiación se define como radiación solar directa en una superficie horizontal. Depende de la radiación difusa:

$$H_b = H_{ab} - H_d$$

(Ecuación 4-11)

Donde:

$H_b =$ radiación solar directa en una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

$H_{ab} =$ irradiacion diaria solar promedio sobre una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

$H_d =$ radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal; $\left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$

4.18 Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día (R_b)

Es la razón del promedio diario para cada mes de la radiación directa sobre una superficie inclinada al promedio de la misma magnitud pero sobre una superficie horizontal.

$$R_b = \frac{\sin\delta * \sin(\emptyset - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos\delta * \cos(\emptyset - \beta) * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}{\sin\delta * \sin\emptyset * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos\delta * \cos\emptyset * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}$$

(Ecuación 4-12)

Donde:

$R_b =$ factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

$\emptyset =$ latitud; [grados]

$\delta =$ declinacion solar; [grados] [15]

$\beta =$ ángulo de inclinacion de la cubierta del vidrio

$t_1 =$ tiempo inicial desde las 24 horas o 12 de la noche hasta las 9 horas

$t_2 =$ tiempo final desde las 24 horas o 12 de la noche hasta las 16 horas

4.19 Ángulo de incidencia con respecto a la horizontal para la cubierta de un secador solar ($\boldsymbol{\beta}$)

Se requiere de un captador de energía para establecer los ángulos de incidencia, el cual ocupa una posición en la superficie terrestre.

4.20 Representación del posicionamiento de captadores

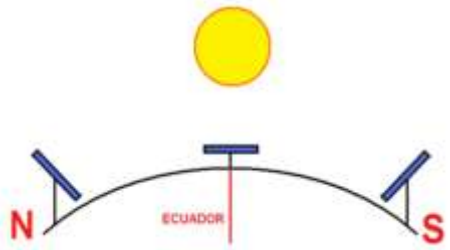


Ilustración 4-4 Inclinación de captadores solares.

Fuente: [8]

El ángulo de inclinación del colector para aprovechar la mayor cantidad de energía solar durante el año, y por labores de limpieza; en el Ecuador, éste ángulo puede ser hasta 15º. Lo que quiere decir que se debe dar una inclinación con respecto a la horizontal de 15º, la difusión es mayor y permite que el aire circule adecuadamente por el sistema [16].

4.21 La radiación solar incidente o radiación total ($\boldsymbol{H_T}$)

Es la radiación solar sobre una superficie con una inclinación β respecto a la horizontal, siendo así la suma de sus componentes, radiación directa, radiación difusa y reflejada por el suelo, se expresa de acuerdo a la ecuación:

$$\mathrm{H_T} = \mathrm{Hb_T} + \mathrm{Hd_T} + \mathrm{Hr_T}$$

(Ecuación 4-13)

Donde:

$\mathrm{H_T}$ = radiación solar incidente o radiación total; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

$\mathrm{Hb_T}$ = radiación directa sobre una superficie inclinada; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

$\mathrm{Hd_T}$ = radiación difusa sobre una superficie inclinada; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

$\mathrm{Hr_T}$ = radiación reflejada por el suelo; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

4.22 Radiación directa sobre una superficie inclinada (Hb_T)

Se calcula relacionando la radiación directa sobe una superficie horizontal (H_b) con el factor de cambio de ángulo (R_b)

$$\mathrm{Hb_T} = \mathrm{H_b} * \mathrm{R_b}$$

(Ecuación 4-14)

Donde:

$\mathrm{Hb_T}$ = radiación directa sobre una superficie inclinada ; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

$\mathrm{H_b}$ = radiación solar directa en una superficie horizontal; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2.dia}}\right]$

$\mathrm{R_b}$ = factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

4.23 Radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T)

Existe variación entre la radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T) y la que incide sobre una superficie horizontal (H_d) ya que (Hd_T) no mira hacia todo domo del cielo que es el origen de la radiación difusa, mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{H_d}' = \frac{1 + \cos\beta}{2}$$

(Ecuación 4-15)

Donde:

$\mathrm{H_d}'$ = existe variación entre la radiación difusa

β = ángulo de incidencia; [grados]

Quedando la ecuación para la radiación difusa en una superficie inclinada de la siguiente forma:

$$\mathrm{Hd_T} = \mathrm{H_d} * \mathrm{H_d}'$$

(Ecuación 4-16)

Donde:

$\mathrm{Hd_T}$ = radiación difusa sobre una superficie inclinada; $\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$

H_d = radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal

H_d' = existe variación entre la radiación difusa

4.24 Radiación reflejada por el suelo (Hr_T)

Al ser ubicado el sistema en el suelo, recibe radiación directa y difusa Reflejada por el terreno circundante. Se calcula su valor en la siguiente ecuación:

$$Hr_T = \rho * H_{ab} * \left[\frac{1 - \cos\beta}{2}\right]$$

(Ecuación 4-17)

Donde:

Hr_T = radiación reflejada por el suelo; $\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

H_{ab} = radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal

$\rho = 0.2$ constante de Albedo

Con los valores obtenidos, se reemplaza los valores en la (Ecuación 4-13) de la radiación total que incide en una superficie inclinada.

4.25 Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa (G_s)

Uno de los factores más importantes en el diseño de máquinas solares es la energía solar disponible en el lugar donde se ubicará, Una vez que se ha obtenido la energía incidente que llega a la superficie del secador (H_T), parte de dicha energía se refleja, otra parte de la energía solar es absorbida y una parte final es transmitida al secador, compuesto principalmente por el vidrio (g) y el grano (c). Para el proceso de transferencia de calor el secador recibe la radiación difusa y la radiación directa, en la transferencia térmica de calor y masa.

$$G_s = H_b + H_d$$

(Ecuación 4-18)

Donde:

G_s = energía solar disponible para la transferencia de calor y masa; $\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

H_b = radiación solar directa en una superficie horizontal

H_d = radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal

4.26 La radiación que entra en el secador es (G_{rg}):

$$G_{rg} = G_s * (1 - \propto_g)$$

(Ecuación 4-19)

Donde:

G_{rg} = la radiación que entra en el secador; $\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

G_s = energía solar disponible para la transferencia de calor y masa; $\left[\frac{W.h}{m^2}\right]$

$\propto_g$= 0.1 factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.

4.27 Transferencia de calor por conducción (q_c):

En la pared plana inferior del secador es donde se realiza la transferencia de calor por convección y es donde se debe enfocar el estudio, para el análisis se empela la siguiente fórmula:

$$q_c = K_b * (T_c - T_a)$$

(Ecuación 4-20)

Donde:

q_c = transferencia de calor por conducción; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

K_b = resistencia térmica del aislante; $\left[\frac{m^2.k}{w}\right]$

T_c = temperatura del grano: [K]

T_a = temperatura ambiente; [K] (Ver IV Anexo)

T_a = 287,15 [K]dato Meteorológico [17]

T_c = temperatura del grano 40 a 50 °C: [K] [18]

Es necesario calcular la resistencia térmica del aislante en este caso para el acero inoxidable y el acero A36 que forman parte de la base del colector, la plancha de poliuretano como aislante térmico que evita la pérdida de calor.

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

(Ecuación 4-21)

Donde:

$R_{eq} =$ resistencia térmica; $\left[\frac{m^2.K}{W}\right]$

$x_1 =$ espesor plancha de poliuretano; [m]

$x_2 =$ espesor plancha de acero inoxidable; [m]

$x_3 =$ espesor plancha del tol; [m]

$k_1 =$ coeficiente de conductividad térmica de la plancha de poliuretano; $\left[\frac{W}{m.K}\right]$

$k_2 =$ coeficiente de conductividad térmica del acero inoxidable; $\left[\frac{W}{m.K}\right]$

$k_3 =$ coeficiente de conductividad térmica de la plancha de acero galvanizado; 4 100 $\left[\frac{W}{m.K}\right]$ [19]

4.28 Coeficiente de calor convectivo (h_{ct})

Se aplica para determinar las pérdidas de calor por convección, depende de la velocidad del viento.

$$0 \leq v \leq 5 \left[\frac{m}{s}\right]$$

La fórmula para calcular el (h_{ct}) es:

$$h_{ct} = 5{,}7 + 3{,}8 * (v)$$

(Ecuación 4-22)

Donde:

$h_{ct} =$ coeficiente de calor convectivo; $\left[\frac{W}{m.K}\right]$

$v =$ velocidad del viento; $\left[\frac{m}{s}\right]$ [13] (Ver V Anexo)

4.29 Resistencia térmica del aislante (K_b)

Se requiere conocer la resistencia térmica de la plancha de poliuretano como aislante térmico, es decir la oposición que muestra al paso del calor, y del coeficiente convectivo de calor h_{ct}.

$$K_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{h_{ct}}}$$

(Ecuación 4-23)

Donde:

$K_b =$ resistencia térmica del aislante; $\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$

$R_{eq} =$ resistencia térmica de las paredes aislantes; $\left[\frac{m^2.K}{W}\right]$

$h_{ct} =$ coeficiente de calor convectivo; $\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$

Con el valor de la resistencia térmica del aislante y el valor de las temperaturas del grano y del ambiente, se tienen las variables requeridas para calcular el calor perdido por conducción (q_c) de la (Ecuación 4-20).

4.30 Transferencia de calor por radiación en el vidrio (q_{rg})

Calor perdido por la radiación del vidrio, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$q_{rg} = \varepsilon_g * \sigma * (T_g^4 - T_s^4)$$

(Ecuación 4-24)

Donde:

$q_{rg} =$ transferencia de calor por radiación en el vidrio; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\varepsilon_g = 0.8$ emisividad del vidrio

$\sigma = 5.67 * 10 - 8$ constante de Stefan Boltzman; $\left[\frac{W}{m^2.K^4}\right]$

$T_g = 34.7$ [°C] tremperatura del vidrio; [K]

$T_s =$ temperatura del cielo; [K]

4.31 Temperatura del cielo (T_s)

El aire caliente al estar en contacto con una superficie con diferencial de temperatura inferior, se produce un cambio de estado, es decir se condensa sobre una superficie, a esta temperatura

se denomina temperatura de rocío. La que se gradúa en la misma escala que la temperatura de bulbo húmedo.

Se calcula la temperatura del cielo mediante la siguiente fórmula:

$$T_s = Ta * \left(0{,}8 + \frac{Tdp - 273}{250}\right)^{0{,}25}$$

(Ecuación 4-25)

Donde:

$T_s =$ temperatura del cielo ; [K]

$T_{dp} =$ temperatura de rocío; [K] (Ver VII Anexo)

$T_a =$ temperatura ambiente; [K] (Ver IV Anexo)

$T_{dp} = 282{,}11[k];$ dato metereologico [13]

4.32 Calor perdido por convección del vidrio(q_{cg}):

El calor perdido por transferencia de calor por convección en la cubierta de vidrio del secador solar, se detalla a continuación:

$$q_{cg} = h_{cv} * (T_g - T_a)$$

(Ecuación 4-26)

Donde:

$q_{cg} =$ calor perdido por convección del vidrio; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$h_{cv} =$ coefíciente de transferencia de calor convectivo del vidrio; $\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$

$h_{ct} =$ coeficiente de calor convectivo; $\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$

$T_g =$ temperatura del vidrio; $[K]$

$T_a =$ temperatura ambiente; [K] (Ver IV Anexo)

$h_{cv} = h_{ct}$

4.33 Calor perdido por radiación del grano (q_{rc})

Para el cálculo de transferencia de calor por radiación entre el grano y la cubierta de vidrio del secador solar, el intercambio se lo realiza entre dos superficies paralelas infinitas, donde se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_{rc} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * (T_c^4 - T_a^4)$$

(Ecuación 4-27)

Donde:

$q_{rc} =$ calor perdido por radiación del grano; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\sigma = 5.67 * 10 - 8;$ constante de Stefan Boltzman; $\left[\frac{W}{m^2 . K^4}\right]$

$\varepsilon_c = 0.98$ emisividad del grano

$\varepsilon_g = 0.8$ emisividad del vidrio

$T_c =$ temperatura del grano: [K]

$T_a =$ temperatura ambiente; [K] (Ver IV Anexo)

4.34 Balance global de energía del sistema

Para el análisis global del sistema se considera el conjunto, formado por la tapa transparente y placa absolvedora, para dicho balance se toman los valores representativos que inducen la pérdida de calor en el sistema. Los valores de pérdida de calor se presentan por la radiación directa y la radiación del vidrio. De acuerdo con [8] se observa en la Ilustración 4-5 la representación del balance de energías.

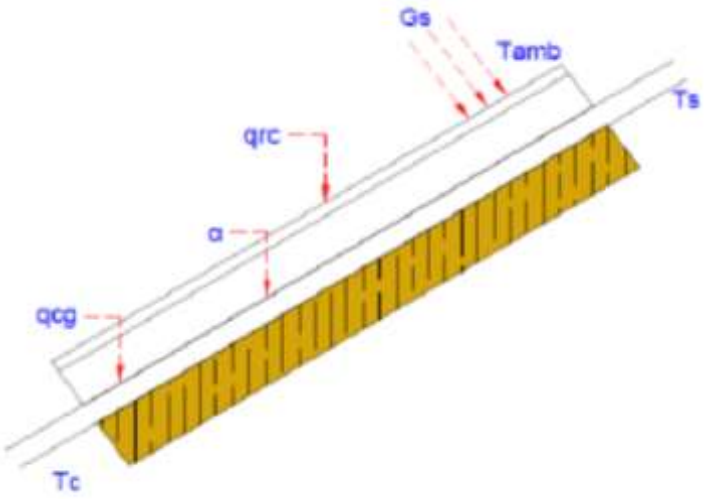


Ilustración 4-5 La representación del balance de energía.

Fuente: [8]

De acuerdo con la Ilustración 4-5 se toma en consideración el principio de Conservación de la energía:

$$q_c{}' = q_{rc} + (\propto_g * G_s) - (q_{cg} - q_{rg})$$

(Ecuación 4-28)

Donde:

$q'_c =$ calor almacenado por la cubierta; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$q_{rc} =$ calor perdido por la radiacion: $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\propto_g =$ 0,3 factor de reflexión de la radiación suelo obscuro; $\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right]$

$G_s =$ radiacion directa sobre una superficie inclinada; $\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right]$

$q_{rg} =$ calor perdido por la radiación del vidrio; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$q_{cg} =$ coefíciente de transferencia de calor convectivo del vidrio: $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Tabla 4-4 Coeficiente de reflexión.

Coeficiente de reflexión.		
Partes	Color	Factor de reflexión α_g
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Nota: Tabla referente para los cálculos de los factores de reflexión claro y obscuro.

Fuente: [20]

4.35 Cálculo del calor absorbido por el grano (q'_a)

En la siguiente ecuación se realiza el balance de calor sobre el grano:

$$q'_a = G_s * (1 - \propto_g) * (1 - \propto_a) - (q_{rc} + q_c)$$

(Ecuación 4-29)

Donde:

q'_a = cálculo del calor absorbido por el grano; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

G_s = radiacion directa sobre una superficie inclinada; $\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right]$

q_c = calor perdido por evaporacion; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\propto_g$= factor de reflexión de la radiación

$\propto_a$= coeficiente de reflexción suelo claro

q_{rc} = calor perdido por la radiacion; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

En las primeras horas de la mañana el sol proporciona calor suficiente para que el sistema se caliente, la radiación solar es intensa al medio día, por lo que el secador en su operación será

efectivo, aportando 7 horas de trabajo de secado efectivo y al finalizar el día la temperatura desciende.

4.36 Cálculo del calor absorbido por el sistema(q_t)

Para encontrar el calor absorbido se emplea la siguiente ecuación, es necesario conocer las variables de calor absorbido por el grano y almacenado por la cubierta.

$$q_t = q'_c + q'_a$$

(Ecuación 4-30)

Donde:

$q_t =$ calor absorbido por el sistema; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$q'_c =$ calor abasorbido por el grano; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$q'_a =$ calor absorbido por la cubierta; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

4.37 Calculando la capacidad del calor almacenado (Q_T)

$$Q_T = q_t * A_{colector}$$

(Ecuación 4-31)

Donde:

$Q_T =$ calculando la capacidad del calor almacenado; [W]

$q_t =$ calor absorbido por el sistema; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$A_c =$ áre del colector; $[m^2]$

4.38 Cantidad de calor necesario para calentar y evaporar

Se encuentra el calor necesario para calentar y evaporar la humedad del grano mediante la siguiente ecuación.

$$m_d = \rho_d * A_d * E_d$$

(Ecuación 4-32)

Donde:

$m_d =$ masa del acero A36: [kg]

$A_d =$ área del acero A36; $[m^2]$

$\rho_d =$ densidad del acero A36; $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$E_d =$ espesor del acero A36; [m]

Con la ayuda de la masa de la plancha del acero A36 y haciendo uso de la siguiente ecuación se determina el calor necesario para calentar la plancha del acero A36:

$$Q_d = m_d * C_{pd} * (T_d - T_a)$$

(Ecuación 4-33)

Donde:

$Q_d =$ calor necesario para calentar el vidrio; [W]

$m_d =$ masa del acero A36: [kg]

$C_{pd} =$ capacidad calorifica del acero A36; $\left[\frac{J.kg}{K}\right]$

$T_d =$ temperatura del acero A36; [K]

$T_a =$ temperatura ambiente; [K]

4.39 Calor necesario para calentar el grano (Q_{cc})

Para la determinación del calor necesario para calentar el agua se hace uso de la ecuación:

$$Q_{cc} = m_c * C_{pc} * (T_c - T_a)$$

(Ecuación 4-34)

Donde:

$Q_{cc} =$ calor necesario para calentar el grano; [W]

$m_c =$ masa del grano; [kg]

$C_{pc} =$ capacidad calorifica del Chocho; $\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]$ [21]

$T_c =$ temperatura del grano; [K]

T_a = temperatura ambiente; [K] (Ver IV Anexo)

4.40 Calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano(Q_{ev})

Cálculo de calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del grano.

$$Q_{ev} = x' * m_c * \gamma$$

(Ecuación 4-35)

Donde:

Q_{ev} = Calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano; [W]

x' = humedad del grano [%] Tabla$3-1$

m_c = masa del grano; [kg]

γ = calor latente del agua evaporada: $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

La cantidad necesaria para calentar el panel viene dada de la siguiente ecuación:

$$Q_N = Q_{cd} + Q_{cc} + Q_{ev}$$

(Ecuación 4-36)

Donde:

Q_N = calor necesaria para calentar el panel; [W]

Q_d = calor necesario para calentar el vidrio; [W]

Q_{cc} = calor necesario para calentar el grano; [W]

Q_{ev} = calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano; [W]

4.41 Calculando la energía total almacenada (Q)

$$Q = Q_T + Q_N$$

(Ecuación 4-37)

Donde:

Q = energía total almacenada ; [W]

$Q_T =$ calculando la capacidad del calor almacenado; [W]

4.42 Eficiencia teórica (η):

Para el cálculo de la eficiencia teórica utilizamos la siguiente ecuación.

$$\text{Eficienciateorica } \eta = \frac{Q}{A_c\ G_s}$$

(Ecuación 4-38)

Donde:

$\eta =$ eficiencia teórica

$A_c =$ área del colector; $[m^2]$

$G_s =$ radiacion directa; $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

4.43 Calculo de la carga a soportar de las bandejas.

Las cargas que se aplican sobre la bandeja "q", son conocidas, por lo tanto que procede a calcular el borde más largo de la bandeja como viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida. Las unidades de los pesos son en $[kgf]$.

$$q = \frac{P_{Bandeja} + P_{chocho}}{lb}$$

(Ecuación 4-39)

Dónde:

$q =$ carga distribuida; $\left[\frac{kgf}{m}\right]$

$P_{Bandeja} =$ peso de la bandej; [kg]

$P_{chocho} =$ peso del producto a secar (chocho); [kg]

$lb =$ longitud de la bandeja; [m]

Para realizar los cálculos de fuerzas y momentos se toma en cuenta la carga distribuida y las reacciones representadas en la Ilustración 4-9.

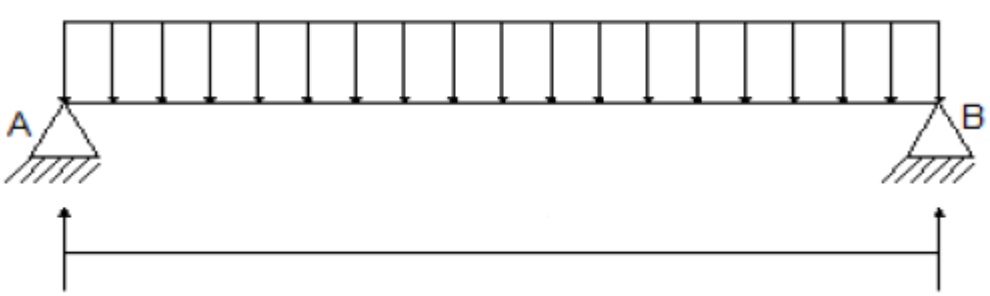


Ilustración 4-6 Reacciones.

Fuente: [8]

Para determinar la carga a soportar debemos hacer el análisis de esfuerzos para lo cual debemos calcular las respectivas reacciones que genera el cuerpo a estudiar. Para lo cual tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\sum \mathrm{F_x} = 0$$

(Ecuación 4-40)

Sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a cero porque no existe ninguna fuerza que actué sobre el mismo.

$$(\uparrow^{+}) \sum \mathrm{F_y} = 0$$

(Ecuación 4-41)

$$R_A + R_B - q * l = 0$$

$$R_A + R_B = q * l$$

(Ecuación 4-42)

Dónde:

$\mathrm{R_A} = \text{reacción en A}$

$\mathrm{R_B} = \text{reacción en B}$

$\mathrm{q} = \text{carga distribuida;} \left[\frac{\mathrm{kgf}}{\mathrm{m}}\right]$

$l = longitud$

Para encontrar las reacciones realizaremos sumatoria de momentos en el punto "*A*".

$$(\circlearrowleft^{+}) \sum \mathrm{M_A} = 0$$

(Ecuación 4-43)

$$R_b * l - \left(q * \frac{l}{2}\right) * l = 0$$

(Ecuación 4-44)

Donde:

$R_A = \text{reacción en A}$

$R_B = \text{reacción en B}$

$q = \text{carga distribuida; } \left[\frac{kgf}{m}\right]$

$l = \text{longitud}$

4.43.1 Momento flector máximo.

Para cada sección transversal se manifiestan momentos internos, que reciben el nombre de acuerdo a la dirección de la fuerza. Si la barra se somete a esfuerzos transversales se hablará de momentos flectores.

El momento flector máximo $M_A$es igual a la reacción en A.

$$R_A = \frac{Lb}{2} R_b$$

(Ecuación 4-45)

Donde:

$M_f = \text{momento flector máximo; [kgf. m]}$

$lb = \text{longitud de la bandeja}$

$R_A = \text{reacción en A}$

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el deshidratador solar indirecto por convección forzada de aire, se revisó libros y páginas web relacionadas con el tema, logrando así obtener los conocimientos suficientes y proceder al diseño del sistema.

Mediante el diseño se llevó a cabo la construcción del secador solar, por lo que para la elaboración del colector solar de placa plana, se utilizó Acero Galvanizado e = 1/32 para la carcasa, poliuretano para el aislamiento, vidrio claro para la cubierta y una placa de acero Galvanizado e = 1/32 para la placa de absorción. Para la cámara de secado se utilizó acero Inoxidable 304 e= 1/40 para su interior, tubos cuadrado negro de 1 ¼ x 1 ¼ pulg para la

estructura y acero Inoxidable 304 para los marcos de las bandejas y malla de acero Inoxidable. *Ver (I Anexo)*

Lo primero que se realizo fue los cálculos y dimensionamiento del deshidratador como se detalla a continuación.

5.1 Métodos

Radiación solar en la ciudad de Latacunga

Tomando como referencia la Tabla 4-1 para el análisis de energía solar en el mes de noviembre, siendo el día 23 el más representativo para dicho mes, dato que será empleado para el cálculo de la helofanía y empleando la (Ecuación 4-1) tenemos:

$$\mathrm{i} = 23$$

$$\mathrm{n} = \mathrm{Dia} + \mathrm{i}$$

(Ecuación 4-1)

$$\mathrm{n} = 304 + 23$$

$$\mathrm{n} = 327$$

Constante solar (G_{SC})

$$\mathrm{G_{SC}} = 1367\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2}}$$

Declinación solar $(\boldsymbol{\delta})$

Empleando la (Ecuación 4-2) calculamos la declinación solar.

$$\delta = 23{,}45 * \mathrm{sen}\left[\frac{360 * (284 + \mathrm{n})}{365}\right]$$

(Ecuación 4-2)

$$\delta = 23{,}45 * \mathrm{sen}\left[\frac{360 * (284 + 327)}{365}\right]$$

$$\delta = -20{,}82°$$

Ángulo del ocaso $\boldsymbol{\omega_S}$

Para obtener el ángulo del ocaso utilizamos la (Ecuación 4-3)

$$\omega_S = \arccos[-\tan(\delta) * \tan(\theta)]$$

(Ecuación 4-3)

$$\omega_S = \arccos[-\tan(-20{,}8249°) * \tan(0{,}9991°)]$$

$$\omega_S = 89{,}6199°$$

Número de horas de sol teóricas $(\boldsymbol{N})$

Para determinar el número de horas de sol teóricas utilizamos la (Ecuación 4-4).

$$N = \frac{2}{15} * \omega_S$$

(Ecuación 4-4).

$$N = \frac{2}{15} * 89{,}6199°$$

$$N = 11{,}9493 \cong 12[h]$$

Heliofanía

Mediante la (Ecuación 4-5) y (Ecuación 4-6), se calcula la helofanía para el mes en análisis la que en nuestro caso es el mes de Noviembre, considerando la media equivalente para todo el mes, haciendo referencia a los datos facilitados [13]

$$n - Heliofania = Gs$$

(Ecuación 4-5)

$$n - Heliofania = 160$$

$$n.r = \frac{Gs}{31\ dias}$$

(Ecuación 4-6)

$$n.r = \frac{162}{31\ dias}$$

$$n.r = 5{,}22$$

Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal $(\boldsymbol{H_o})$

Con esta (Ecuación 4-7) se puede obtener la radiación que extraterrestre para cada día mes del año:

$$H_O = \frac{24 * 3600 * G_{SC}}{\pi}\left[1 + 0{,}33\cos\frac{360 * n}{365}\right] * \left[\cos\emptyset * \cos\delta * \sin\omega_S + \frac{2\pi * \omega_S}{360}\sin\emptyset * \sin\delta\right]$$

(Ecuación 4-7)

$$H_O = \frac{24 * 3600 * 1367}{3{,}1416}\left[1 + 0{,}33\cos\frac{360 * 327}{365}\right]$$

$$* \left[\cos(0{,}9991) * \cos(-20{,}8249) * \sin(89{,}6199) + \frac{2(3{,}1416) * 89{,}6199}{360}\sin(0{,}9991) * \sin(-20{,}8249)\right]$$

$$H_0 = 37595110{,}736261487\left[\frac{J}{m^2}\right]$$

$$H_o = 10443{,}0861\left[\frac{W.h}{m^2 . dia}\right]$$

Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (H_{ab})

Para establecer la radiación solar promedio se debe relacionar las horas de sol con la radiación solar, donde se incorpora la relación Angstrom-Prescott que está en la Tabla 4-2 y expresada con la siguiente (Ecuación 4-8):

$$H_{ab} = a + b * \frac{n * r}{N} * H_o$$

(Ecuación 4-8)

$$H_{ab} = 0{,}25 + 0{,}45 * \frac{5{,}22}{12} * 10443{,}0861\left[\frac{W.h}{m^2 . dia}\right]$$

$$H_{ab} = 3179{,}9197\left[\frac{W.h}{m^2 . dia}\right]$$

Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal (H_d)

Se calcula en base al valor de KT (índice de claridad), mediante la siguiente ecuación (Ecuación 4-9):

:

$$H_d = H_{ab} * [1{,}39 - 4{,}03 * KT + 5.53 * KT^2 - 3{,}11 * KT^3]$$

(Ecuación 4-9)

Índice de claridad (KT)

Se puede definir el índice de claridad diaria como la relación de la radiación de un día en particular a la radiación extraterrestre para el día en análisis 23 de Noviembre. A continuación mediante la (Ecuación 4-10) se calcula el índice de claridad:

$$K_T = \frac{H_{ab}}{H_O}$$

(Ecuación 4-10)

$$K_T = \frac{3179{,}9197 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]}{10443{,}0861 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]}$$

$$K_T = 0{,}3044$$

Con el valor de KT determinado, se remplaza en la (Ecuación 4-09) y se obtiene la radiación difusa H_d.

$$H_d = 3179{,}9197 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right] * [1{,}39 - 4{,}03 * 0{,}3044 + 5{,}53 * 0{,}3044^2 - 3{,}11 * 0{,}3044^3]$$

$$H_d = 1869{,}6500 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$$

Radiación solar directa en una superficie horizontal (H_b)

Se optime la radiación solar directa que depende de la radiación difusa mediante la (Ecuación 4-11):

$$H_b = H_{ab} - H_d$$

(Ecuación 4-11)

$$H_b = 3179{,}9197 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right] - 1869{,}6500 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$$

$$H_b = 1310{,}2697 \left[\frac{W.h}{m^2.dia}\right]$$

Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día (Rb)

Se calcula el factor de cambio de ángulo mediante la (Ecuación 4-12):

$$R_b = \frac{\sin\delta * \sin(\emptyset - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos\delta * \cos(\emptyset - \beta) * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}{\sin\delta * \sin\emptyset * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos\delta * \cos\emptyset * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}$$

(Ecuación 4-12)

$$R_b = \frac{\sin(-20{,}8249) * \sin(0{,}9991) - 0{,}9991 * 16 - 9 + \frac{12}{3{,}1416} * \cos(-20{,}8249) * \cos(0{,}9991) + 0{,}9991 * [\sin 15 * 9 - \sin 15 * 16]}{\sin(-20{,}8249) * \sin(0{,}9991) * 16 - 9 + \frac{12}{3{,}1416} * \cos(-20{,}8249) * \cos(0{,}9991) * [\sin 15 * 9 - \sin 15 * 16]}$$

$$R_b = 1{,}0074$$

La radiación solar incidente o radiación total (H_T)

Es la suma de sus componentes, radiación directa, radiación difusa y reflejada por el suelo, se expresa de acuerdo a la (Ecuación 4-13):

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$

(Ecuación 4-13)

Radiación directa sobre una superficie inclinada (Hb_T)

Se calcula relacionando la radiación directa sobe una superficie horizontal (H_b) con el factor de cambio de ángulo (R_b) mediante la (Ecuación 4-14):

$$Hb_T = H_b * R_b$$

(Ecuación 4-14).

$$Hb_T = 1310{,}2697 \left[\frac{W.h}{m^2.día}\right] * 1{,}0074$$

$$Hb_T = 1319{,}9656 \left[\frac{W.h}{m^2}\right]$$

Radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T)

Existe variación entre la radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T) y la que incide sobre una superficie horizontal (H_d) ya que (Hd_T) no mira hacia todo domo del cielo que es el origen de la radiación difusa, mediante la siguiente (Ecuación 4- 15):

$$H_d{}' = \frac{1 + \cos\beta}{2}$$

(Ecuación 4- 15)

$$H_d{}' = \frac{1 + \cos(15)}{2}$$

$$H_d{}' = 0{,}9829$$

Quedando la (Ecuación 4-15) para la radiación difusa en una superficie inclinada de la siguiente forma:

$$Hd_T = H_d * H_d{}'$$

(Ecuación 4-16)

$$\mathrm{Hd_T} = 1869{,}6500\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right] * 0{,}9829$$

$$\mathrm{Hd_T} = 1837{,}7966\ \left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$$

Radiación reflejada por el suelo (Hr_T)

Al ser ubicado el sistema en el suelo, recibe radiación directa y difusa Reflejada por el terreno circundante. Se calcula su valor en la siguiente (Ecuación 4-16):

$$\mathrm{Hr_T} = \rho * \mathrm{H_{ab}} * \left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

(Ecuación 4-17)

$$\mathrm{HrT} = \ 0{,}2 * 3179{,}9197\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2.día}}\right] * \left[\frac{1-\cos\ (15)}{2}\right]$$

$$\mathrm{HrT} = \ 10{,}8353\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$$

Con los valores obtenidos, se reemplaza los valores en la (Ecuación 4-13) de la radiación total que incide en una superficie inclinada.

$$\mathrm{H_T} = 1319.9656\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right] + 1837.7966\ \left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right] + 4{,}8310\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$$

$$\mathrm{HT} = \ 1396{,}6037\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2}}\right]$$

Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa

Se obtiene la energía solar disponible mediante la (Ecuación 4-18):

$$G_s = H_b + H_d$$

(Ecuación 4-18)

$$\mathrm{G_s} = 1310{,}2697\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2.día}}\right] + 1869{,}6500\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2.día}}\right]$$

$$\mathrm{G_s} = 3179{,}9197\left[\frac{\mathrm{W.h}}{\mathrm{m^2.día}}\right]$$

La radiación que entra en el secador es $(\boldsymbol{G_{rg}})$**:**

Se obtiene la energía solar disponible mediante la (Ecuación 4-19):

$$\mathrm{G_{rg}} = \mathrm{G_s} * (1 - \propto_{\mathrm{g}})$$

(Ecuación 4-19)

$$G_s = 1310{,}2697\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right] + 1869{,}6500\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right]$$

$$G_s = 3179{,}9197\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right]$$

Transferencia de calor por conducción (q_c):

En la pared plana inferior del secador es donde se realiza la transferencia de calor por convección y es donde se debe enfocar el estudio, para el análisis se empela la siguiente (Ecuación 4-20):

$$q_c = K_b * (T_c - T_a)$$

(Ecuación 4-20)

Es necesario calcular la resistencia térmica del aislante en este caso para el acero inoxidable y el acero A36 que forman parte de la base del colector, la plancha de poliuretano como aislante térmico que evita la pérdida de calor.

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

(Ecuación 4-21)

$$R_{eq} = \frac{0{,}0508[m]}{0{,}026\left[\frac{W}{m.K}\right]} + \frac{0{,}006[m]}{60{,}5\left[\frac{W}{m.K}\right]} + \frac{0{,}007[m]}{14{,}9\left[\frac{W}{m.K}\right]}$$

$$R_{eq} = 1{,}9544\left[\frac{m^2.K}{w}\right]$$

Coeficiente de calor convectivo (h_{ct})

Se aplica para determinar las pérdidas de calor por convección, depende de la velocidad del viento.

$$0 \leq v \leq 5\left[\frac{m}{s}\right]$$

La velocidad del viento en la ciudad de Latacunga área de estudio es $1.32175\left[\frac{m}{s}\right]$ de información obtenida del (INAMHI, 2014) y mediante la (Ecuación 4-22):

$$h_{ct} = 5{,}7 + 3{,}8 * (v)$$

(Ecuación 4-22)

$$h_{ct} = 5{,}7 + 3{,}8 * \left(1{,}32175 \left[\frac{m}{s}\right]\right)$$

$$h_{ct} = 10{,}7226 \left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

Resistencia térmica del aislante (K_b)

Se obtiene la oposición que muestra al paso del calor, y del coeficiente convectivo de calor h_{ct} mediante la (Ecuación 4-23):

$$K_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{h_{ct}}}$$

(Ecuación 4-23)

$$K_b = \frac{1}{1{,}9617 \left[\frac{m^2.K}{w}\right] + \frac{1}{10{,}7226 \left[\frac{W}{m^2.K}\right]}}$$

$$K_b = 0{,}4866 \left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

Con el valor de la resistencia térmica del aislante y el valor de las temperaturas del grano y del ambiente, se tienen las variables requeridas para calcular el calor perdido por conducción (q_c) de la (Ecuación 4-20).

$$q_c = 0{,}4866 \left[\frac{W}{m^2.K}\right] * (313.15[K] - 287{,}15[K])$$

$$q_c = 12{,}6516 \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Transferencia de calor por radiación en el vidrio (q_{rg})

Calor perdido por la radiación del vidrio, se calcula mediante la siguiente (Ecuación 4-24)

$$q_{rg} = \varepsilon_g * \sigma * (T_g^4 - T_s^4)$$

(Ecuación 4-24)

Temperatura del cielo (T_s)

Se calcula la temperatura del cielo mediante la siguiente (Ecuación 4-25)

$$:T_s = \ Ta * \left(0{,}8 + \frac{Tdp - 273}{250}\right)^{0{,}25}$$

(Ecuación 4-25)

$$T_s = Ta * \left(0{,}8 + \frac{Tdp - 273}{250}\right)^{0{,}25}$$

$$Ts = 287{,}15[K] * \left(0{,}8 + \frac{282{,}11[K] - 273}{250}\right)^{0{,}25}$$

$$Ts = 274{,}6107[K]$$

Calor perdido por la radiación del vidrio, se calcula mediante la siguiente (Ecuación 4-24):

$$q_{rg} = 0{,}8 * 5.67 * 10 - 8\left[\frac{W}{m^2.K^4}\right] * ((307{,}85[K])^4 - (274{,}6107[K])^4)$$

$$q_{rg} = 149{,}4537\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Calor perdido por convección del vidrio(q_{cg}):

El calor perdido por transferencia de calor por convección en la cubierta de vidrio del secador solar, mediante la (Ecuación 4-26):

$$q_{cg} = h_{cv} * (T_g - T_a)$$

(Ecuación 4-26)

$$h_{cv} = h_{ct} = 10.7226\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

$$q_{cg} = 10{,}7226\left[\frac{W}{m^2.K}\right] * (307.85[K] - 287{,}15[K])$$

$$q_{cg} = 221{,}9578\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Calor perdido por radiación del grano (q_{rc})

Para el cálculo de transferencia de calor por radiación entre el grano y la cubierta de vidrio del secador solar, el intercambio se lo realiza entre dos superficies paralelas infinitas, donde se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_{rc} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * (T_c^4 - T_a^4)$$

(Ecuación 4-27)

$$q_{rc} = \frac{5{,}67 * 10 - 8\left[\frac{W}{m^2.K^4}\right]}{\frac{1}{0{,}98} + \frac{1}{0{,}8} - 1} * [(313{,}15[K])^4 - (287{,}15[K])^4]$$

$$q_{rc} = 125{,}7482\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Balance global de energía del sistema

$$q_c{}' = q_{rc} + (\propto_g * G_s) - (q_{cg} - q_{rg})$$

(Ecuación 4-28)

$$G_s = 3179{,}9197\left[\frac{W.h}{m^2.día}\right] * \frac{día}{7h}$$

$$G_s = 454{,}2742\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$\propto_g * G_s = 0{,}1 * 454.2742\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$\propto_g * G_s = 45{,}4274\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$q_c' = 125{,}7482\left[\frac{W}{m^2}\right] + 45.4274\left[\frac{W}{m^2}\right] - \left(221{,}9578\left[\frac{W}{m^2}\right] - 149{,}4537\left[\frac{W}{m^2}\right]\right)$$

$$q_c' = 98{,}6615\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$\propto_g$= Factor de reflexión de la radiación suelo obscuro; Tabla 4-5

Cálculo del calor absorbido por el grano

En la siguiente (Ecuación 4-29) se realiza el balance de calor sobre el grano:

$$q_a' = G_s * (1 - \propto_g) * (1 - \propto_a) - (q_{rc} + q_c)$$

(Ecuación 4-29)

$$q_a' = 454{,}2742\left[\frac{W}{m^2}\right] * (1 - 0{,}1) * (1 - 0{,}3) - \left(125{,}7482\left[\frac{W}{m^2}\right] + 12{,}6516\left[\frac{W}{m^2}\right]\right)$$

$$q_a' = 147{,}7929\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

En las primeras horas de la mañana el sol proporciona calor suficiente para que el sistema se caliente, la radiación solar es intensa al medio día, por lo que el secador en su operación será efectivo, aportando 7 horas de trabajo de secado efectivo y al finalizar el día la temperatura desciende.

Cálculo del calor absorbido por el sistema(q_t)

Para encontrar el calor absorbido se emplea la siguiente (Ecuación 4-30):

$$q_t = q'_c + q'_a$$

(Ecuación 4-30)

$$q_t = 98{,}6615 \left[\frac{W}{m^2}\right] + 147{,}7929 \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$q_t = 246{,}5905 \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Calculando la capacidad del calor almacenado (Q_T)

$$Q_T = q_t * A_{colector}$$

(Ecuación 4-31)

$$Q_T = 246{,}5905 \left[\frac{W}{m^2}\right] * 1m^2$$

$$Q_T = 246{,}5905 \text{ [W]}$$

Cantidad de calor necesario para calentar y evaporar

Se encuentra el calor necesario para calentar y evaporar la humedad del grano mediante la siguiente (Ecuación 4-32):

$$m_d = \rho_d * A_d * E_d$$

(Ecuación 4-32)

Para realizar el cálculo se toma como referencia el espesor del acero A36 de 2 mm. Sustituyendo en la (Ecuación 4-32) el valor de la densidad del acero A36 $7854 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$, se obtiene la masa en función de la longitud:

$$m_d = 7854 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 1[m^2] * 0{,}002[m]$$

$$m_d = 15{,}7080[kg]$$

Con la ayuda de la masa de la plancha del acero A36 y haciendo uso de la siguiente ecuación se determina el calor necesario para calentar la plancha del acero A36:

$$Q_d = m_d * C_{pd} * (T_d - T_a)$$

(Ecuación 4-33)

$$Qd = 15{,}7080[Kg] * 434\left[\frac{J.kg}{K}\right] * (308{,}65[K] - 287{,}15[K])$$

$$Qd = 146571{,}3480\ [J] = 146571{,}3480\ * 3600 = 40{,}7142\left[\frac{W.h}{día}\right]$$

$$Qd = 81{,}3870\ \left[\frac{W.h}{día}\right] * \frac{día}{7h}$$

$$Qd = 5{,}8163[W]$$

Calor necesario para calentar el grano (Q_{cc})

Para la determinación del calor necesario para calentar el agua se hace uso de la (Ecuación 4-34):

$$Q_{cc} = m_c * C_{pc} * (T_c - T_a)$$

(Ecuación 4-34)

$$Q_{cc} = 25[Kg] * 1835{,}9118\left[\frac{kJ}{kg.K}\right] * (313{,}15[K] - 28715[K])$$

$$Q_{cc} = 1193342{,}670\frac{[kJ]}{3600}$$

$$Q_{cc} = 331{,}4840\left[\frac{W.h}{día}\right]$$

Se debe considerar las horas de sol efectivo de trabajo que tiene el día. Para el presente trabajo se han considerado 7 horas.

El calor obtenido se transforma a vatios hora y esta transformación se considera por día.

$$Q_{cc} = 1193342{,}670\ [kJ]3600 = \ 331{,}4840\left[\frac{W.h}{día}\right]$$

$$Q_{cc} = \ 331{,}4840\ \left[\frac{W.h}{día}\right] * \frac{día}{7h} = \ 47{,}3548[W]$$

Calor necesario para evaporar el porcentaje de humedad del grano(Q_{ev})

Cálculo de calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del grano. La humedad inicial del chocho se encuentra determinada por la en un rango promedio del 77.05%

$$Q_{ev} = x' * m_c * \gamma$$

(Ecuación 4-35)

$$Q_{ev} = 0{,}7705 \ * 25[kg] * 2253{,}4380 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$Q_{ev} = \frac{43406{,}8494[kJ]}{3{,}6} = 12057{,}4581 \left[\frac{W.h}{día}\right]$$

$$Q_{ev} = \ 12057{,}4581 \ \left[\frac{W.h}{día}\right]$$

Para expresar el calor obtenido en Watts se considera las horas efectivas de secado al día, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_{ev} = \ 12057{,}45814 \ \left[\frac{W.h}{día}\right] * \frac{día}{7h} = \ 1722{,}4940 \ [W]$$

La cantidad necesaria para calentar el panel viene dada de la siguiente (Ecuación 4-36):

$$Q_N = Q_{cd} + Q_{cc} + Q_{ev}$$

(Ecuación 4-36)

$$Q_{cd} = q_{cg} + A_{colector} + Q_d$$

(Ecuación 4-37)

$$Q_{cd} = 221{,}9578 \ \left[\frac{W}{m2}\right] + 1[m^2] + 11{,}6267[W]$$

$$Q_{cd} = 234{,}5845[W]$$

Sustituyendo en la (Ecuación 10-36) se tiene el siguiente resultado:

$$Q_N = Q_{cd} + Q_{cc} + Q_{ev}$$

$$Q_N = 234{,}5845[W] + 47{,}3548[W] + \ 1722{,}4940 \ [W]$$

$$Q_N = 2004{,}4333[W]$$

Calculando la energía total almacenada ($\boldsymbol{Q}$)

Calculando la energía total almacenada el sistema según la ecuación:

$$Q = Q_T + Q_N$$

(Ecuación 4-38)

$$Q = 246{,}5905[W] + 2004{,}4333[W]$$

$$Q = 2251{,}0238[W]$$

Eficiencia teórica ($\boldsymbol{\eta}$):

$$\text{Eficienciateorica } \eta = \frac{Q}{A_c\, G_s}$$

(Ecuación 4-39)

$$\text{Eficienciateorica } \eta = \frac{2251{,}0238[W]}{2[m^2] * 3179{,}9197\ \left[\frac{W}{m^2}\right]}$$

$$\text{Eficienciateorica } \eta = 0{,}3539$$

$$\text{Eficienciateorica } \eta = 35\%$$

5.2 Cubierta transparente

La absorción depende del espesor del cristal, debido a esto el cristal debe ser tan delgado como sea posible tomando en cuenta que este espesor sea compatible con la resistencia mecánica del material. Existen varios materiales empleados en los secadores solares para cubiertas, indicando las principales características se ha formulado la Tabla 5-1.

Se seleccionó la lámina de vidrio claro ya que presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Retiene las ondas electromagnéticas, permitiendo que el calor permanezca dentro.
- ✓ Disminuye las pérdidas de calor por convección hacia el exterior.
- ✓ Tiene un buen comportamiento a choques térmicos, alta resistencia y bajo costo.

Tabla 5-1 Comparación y selección de diversos tipos de cubiertas

	Porcentaje de Transmitancia		Índice de refracción	Durabilidad y Resistencia al clima
	Energía solar (onda corta)	Infrarroja (onda larga)		
Vidrio blanco				Excelente
Vidrio templado con bajo contenido de hierro.	91,5	2	1,5	Excelente
	87,5	2	1,51	
Láminas de vidrio con bajo contenido de hierro.	87,5	2	1,51	Excelente
Vidrio flotado y templado.	84,3	2	1,52	Aceptable a bueno
	77 a 87	0,1 a 0,3	1,54	Regular a bueno
Fibra de vidrio	80 a 90	2	1,59	Deficiente a bueno
Laminas acliricas	73 a 84	2	1,34	Aceptable a bueno
Laminas policarbonato	90 a 92	25 a 26	1,64 a 1,67	Aceptable a bueno
	80 a 87	20 a 21		
Teflón FEP				Aceptable a bueno
Película de poliéster				Aceptable a bueno

Nota: La anterior tabla hace referencia a los tipos de cubierta para el colector.

5.3 Aislamiento

Como aislamiento térmico tenemos al poliuretano termoestable, muy utilizado como aislante térmico, siendo un aislante adecuado para las aplicaciones de colectores solares.

Los poliuretanos rígidos

Su densidad 30-60 kg/m³, son muy utilizados como aislantes térmicos. Sus principales aplicaciones son la aislación térmica de heladeras, freezers, cámaras frigoríficas y chapas para galpones y techos industriales (espuma moldeada dentro de una matriz). También se utilizan como aislación térmica proyectada, para galpones industriales ya construidos (por ejemplo para aislar granjas donde se crían pollos, cerdos, entre otros.) [23].

Características

- ✓ Rango de temperatura de trabajo -40°C +90°C
- ✓ Alta resistencia mecánica.
- ✓ Alto poder amortiguador.
- ✓ Se puede fabricar en distintas durezas y colores.

Tabla 5-2 Propiedades físicas del poliuretano.

Densidad	D-1622	$^{kg}/_{m^3}$	32	40	48
Resistencia compresión	D-1621	$^{kg}/_{cm^2}$	1.7	3.0	3.5
Módulo compresión	D-1621	$^{kg}/_{cm^2}$	50	6.5	100
Resistencia tracción	D-1623	$^{kg}/_{cm^2}$	2.5	4.5	6
Resistencia cizallamiento	C-273	$^{kg}/_{cm^2}$	1.5	2.5	3
Coeficiente conductividad	C-177	$^{kg}/_{cm^2}$	0.015	0.017	0.02
Celdas cerradas	D-1940	%	90/95	90/95	90/95
Absorción de agua	D-2842	$^{kg}/_{m^2}$	520	490	450

Nota: Tabla de equivalente de las propiedades físicas del aislante.

Fuente: [22]

5.4 Placa absorbente

La placa de absorción debe estar construida de material ferroso con contenido de zinc y carbono, se recomienda que la placa absorbente tenga una capa de recubrimiento de color negro mate

para que exista mayor captación y retención de energía, con el objetivo de mejorar el sistema del colector. Se encarga de recolectar la energía que se transmite a través de la cubierta, además debe tener la capacidad de transferir la energía al fluido de trabajo el cual es el aire.

La placa absorbedora cumple con las siguientes funciones:

- ✓ Capta y remite la radiación solar
- ✓ Transmite a un fluido de trabajo (aire), el calor generado por la radiación solar.

5.5 Entrada de aire al colector solar

El ingreso de la cantidad adecuada de aire en un colector debe ser la apropiada, cada abertura tiene un área igual al 1% del área total de la base, el cual tiene un corte para la entrada del aire y en la parte inferior del colector están ubicados 5 ventiladores que garantizan la circulación del aire hacia la cámara de deshidratado dimensiones 1000 x 2000 mm.

Ilustración 5-1 Colector solar.

La placa de absorción se coloca sobre el aislante térmico, con una separación aceptable, de tal forma que el fluido de trabajo fluya entre estos dos componentes, otra forma en la que puede fluir el aire es por el espacio vacío existente entre la placa absorbedora y la cubierta de vidrio.

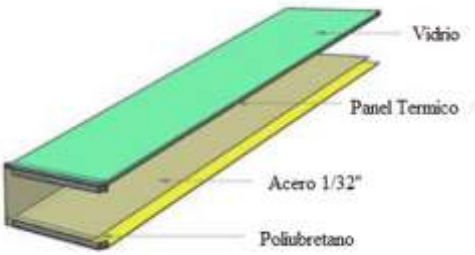


Ilustración 5-2 Colector solar.

Fuente: [8]

5.6 Cálculo de la carga a soportar de las bandejas.

Las cargas que se aplican sobre la bandeja "q", son conocidas, por lo tanto que procede a calcular el borde más largo de la bandeja como viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida. Las unidades de los pesos son en $[kgf]$.

$$q = \frac{P_{Bandeja} + P_{chocho}}{lb}$$

(Ecuación 4-40)

$$q = \frac{6.372[\text{kgf}] + 2{,}5[\text{kgf}]}{0.85[\text{m}]}$$

$$q = 10{,}4376[\text{kgf/m}]$$

Para realizar los cálculos de fuerzas y momentos se toma en cuenta la carga distribuida y las reacciones representadas en la Ilustración 4-9.

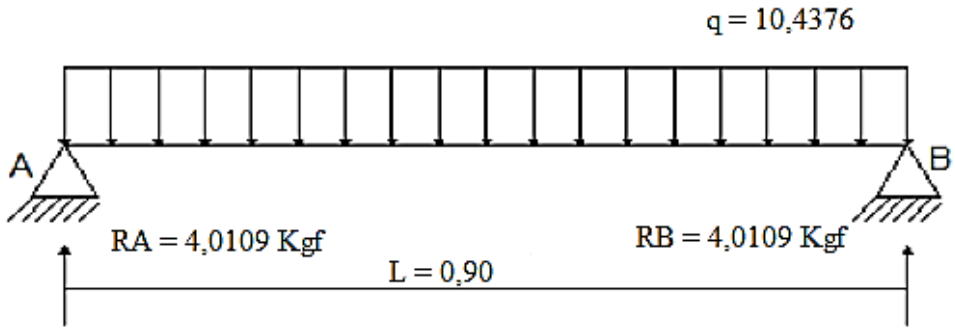


Ilustración 5-3 Reacciones.

Fuente: [8]

Para determinar la carga a soportar debemos hacer el análisis de esfuerzos para lo cual debemos calcular las respectivas reacciones que genera el cuerpo a estudiar. Para lo cual tenemos las siguientes ecuaciones:

$$(\uparrow^{+}) \sum F_y = 0 \qquad \sum F_x = 0$$

(Ecuación 4-41)

$$R_A + R_B - q * l$$

(Ecuación 4-42)

$$R_A + R_B = 10{,}4376 \left[\frac{kgf}{m}\right] * 0.85\ m$$

$$R_A + R_B = 8{,}8719\ kg$$

Para encontrar las reacciones realizaremos sumatoria de momentos en el punto "*A*"

$$(\circlearrowleft^{+}) \sum M_A = 0$$

(Ecuación 4-43)

$$R_b * 0.85m - \left(8{,}8719 \left[\frac{kgf}{m}\right] * \frac{0.85m}{2}\right) * 0.85\ m = 0$$

$$3{,}4093\ KgF.\ m = R_b * 0.85m$$

$$\mathbf{R_b = 4{,}0109\ kgf}$$

Se reemplaza el valor en la (Ecuación 4-43) para obtener R_A

$$R_A + R_B = 8{,}8719\ kgf$$

$$R_A + 4{,}0109\ Kgf = 8{,}8719\ kgf$$

$$R_A = 8{,}8719\ Kgf - 4{,}40kgf$$

$$\mathbf{R_A = 4{,}0109\ kgf}$$

Momento flector máximo.

Para cada sección transversal se manifiestan momentos internos, que reciben el nombre de acuerdo a la dirección de la fuerza. Si la barra se somete a esfuerzos transversales se hablará de momentos flectores, el momento flector máximo $M_A$es igual a la reacción en A.

$$R_A = \frac{Lb}{2} R_b$$

(Ecuación 4-44)

$$+\downarrow \sum Fy = 0$$

$$\rightarrow v + x - 4{,}0109 \left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow v = -x + 4{,}0109 \left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow v = -0\ m + 4{,}0109 \left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow v = 4{,}0109(Kgf)$$

$$\rightarrow v = -0.85\ m + 4{,}0109 \left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow v = 3{,}1609(Kgf)$$

$$\circlearrowleft \sum M_{oSi} = 0$$

$$\rightarrow M + x * \frac{x}{2} - 4{,}0109 \left(\frac{kgf}{m}\right) * x = 0$$

$$\rightarrow M = -\frac{x^2}{2} + 4{,}0109\left(\frac{kgf}{m}\right) * x$$

$$\rightarrow M = -\frac{0m^2}{2} + 4{,}0109\left(\frac{kgf}{m}\right) * 0m$$

$$\rightarrow M = 0\left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow M = 3{,}0480\left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow M = \frac{0{,}425m^2}{2} + 4{,}0109\left(\frac{kgf}{m}\right) * 0{,}425m$$

$$\rightarrow M = 1{,}7949\left(\frac{kgf}{m}\right)$$

$$\rightarrow M = -\frac{0{,}85m^2}{2} + 4{,}0109\left(\frac{kgf}{m}\right) * 0{,}85m$$

5.7 Análisis momento flector y momento cortante.

Con la ayuda del Mechanics Of Deformable Solids Software tenemos que la magnitud total de la carga distribuida en esta región es 10,43 N/m, actuando hacia abajo, y observamos el diagrama de momento flector y esfuerzo cortante.

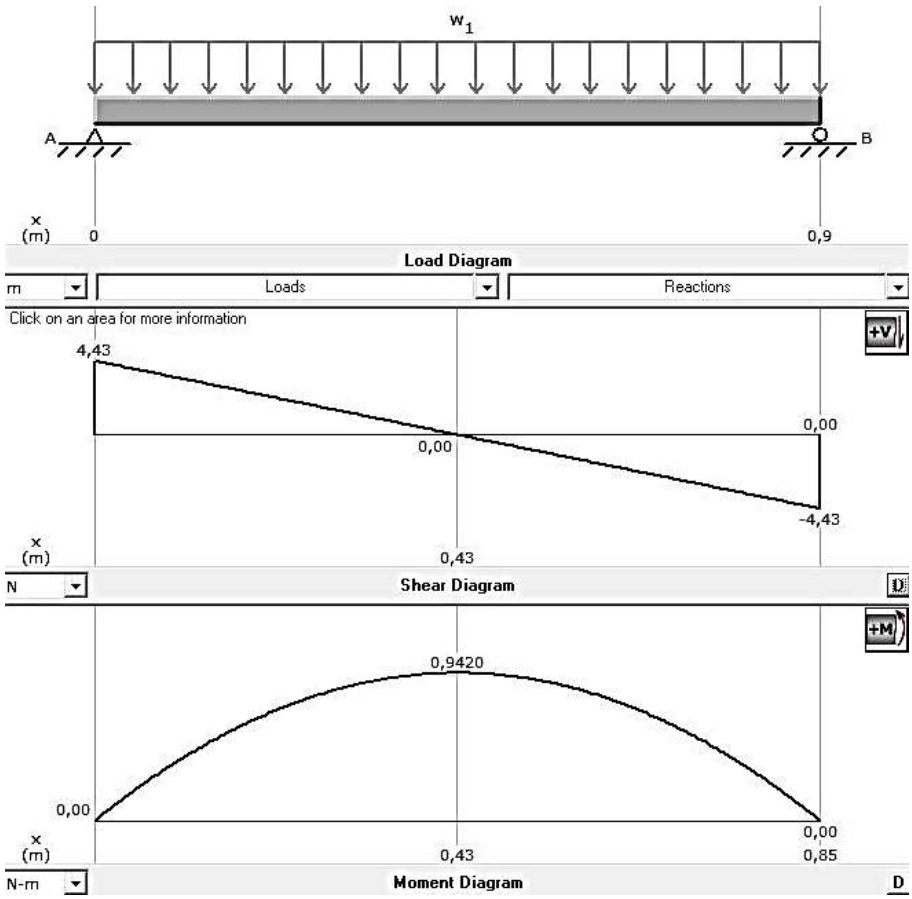


Ilustración 5-4 Diagramas de esfuerzos cortantes y momento flector de la bandeja.

5.8 Bandejas

Las bandejas están montadas sobre Acero Inoxidable 304 de 1/40 [$Pulg$] doblado tipo L de acero, que fue elegido gracias a sus buenas propiedades mecánicas y composiciones químicas que posee este material anticorrosivo.

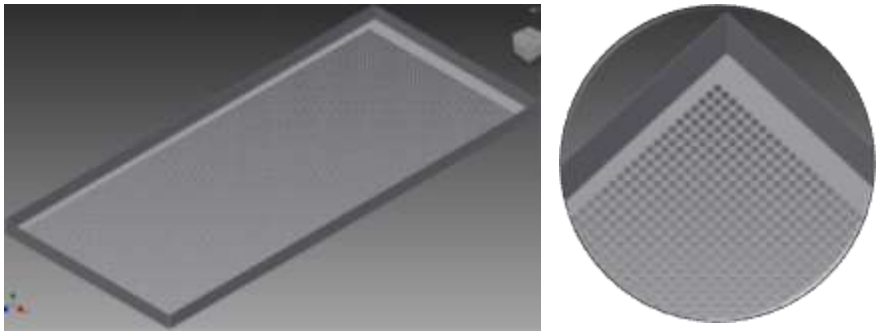


Ilustración 5-5 Bandejas.

Las bandejas están diseñadas para soportar la carga generada por el peso de los granos de chocho, cada bandeja ha sido diseñada para soportar el volumen de chocho contenido en 2,5 kg por bandeja.

Se ha escogido planchas de acero inoxidable 304 para su construcción lateral y su base estará construida de malla de acero inoxidable mate 304.

5.9 Estructura del deshidratador.

La estructura del deshidratador está construida de tubo cuadrado negro de 1 ¼ x 1 ¼ [$Pulg$]

Ilustración 5-6 Estructura general del deshidratador.

5.10 Panel solar fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un tipo de panel solar diseñado para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica emitida por la radiación solar incidente en un lugar específico. Su función es transformar la energía solar en electricidad mediante su composición cristalina o mono cristalina. Los paneles fotovoltaicos se pueden utilizar para generar energía eléctrica tanto en aplicaciones domésticas o en aplicaciones comerciales e aplicaciones industriales en diversos proyectos de generación que requieran la generación de energía eléctrica para su funcionamiento [24]. Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. El panel fotovoltaico es el encargado de transformar de una manera directa la energía de la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua.

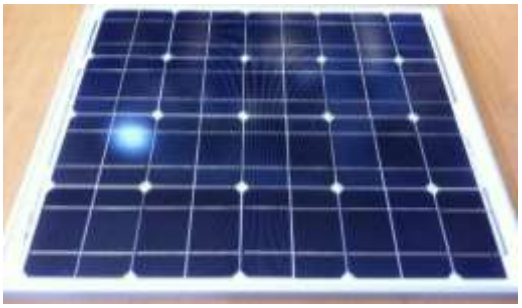


Ilustración 5-7 Panel fotovoltaico.

Fuente: [24]

Tabla 5-3 Características técnicas panel fotovoltaico

Características Técnicas		
Descripción	**Unidad**	**Capacidad**
Modelo		SP050P
Potencia máxima	Pmax	50 Watts
Corriente máxima de potencia	Imp	2,778 A
Voltaje máximo de potencia	Vmp	18 V
Corriente de cortocircuito	Isc	3.006 A
Voltaje de cortocircuito	Vcc	22.10 V
Tolerancia de potencia		±5 %
Clase de aplicación		A
Peso	kg	1
Dimensiones	mm	670*535*30
Voltaje máximo del sistema	V	750

Nota: Tabla de características técnicas de fabricación del panel solar fotovoltaico.

Fuente: [24]

5.11 Controlador de carga del panel solar

Este controlador puede funcionar con panel solar de 12 o 24 voltios y batería de 12 o 24 voltios, es automático para diferenciar el funcionamiento con sistemas de 12 o 24 voltios [25].

Tabla 5-4 Características técnicas controlador de carga del panel solar

Máx. corriente de carga	20 A
Corte de carga completa	13,7 V ara baterías 12V
	27,4 V Pr baterías 24 V
Corte bajo voltaje	10,5 V para Baterías 12V
	21 V para baterías 24V
Tensión de salida	12 o 24 V
Sistema de protección	Contra c.c., contra baja tensión y contra alto voltaje
Caída de tensión	210V
Peso	150 g

Nota: Características técnicas controlador de carga del panel solar.

Fuente: [26]

Ilustración 5-8 Controlador de carga del panel solar

Fuente: [25].

5.12 Controlador digital de temperatura termostato de 12V serial W1209WK

El control de temperatura es de bajo costo pero altamente funcional diseñado para mantener la temperatura requerida en incubadoras, invernaderos, acuarios, piscinas, congeladores, etc. es comúnmente utilizado en proyectos hechos en casa así como para proyectos más profesionales [27].

Ilustración 5-9 Controlador digital de temperatura termostato de 12V serial W1209WK

Fuente: [27].

El microcontrolador es el encargado de controlar todo el proceso de control de temperatura, el cual lee el sensor digital de temperatura de alta precisión incluido en el paquete y lo compara con un valor predeterminado, y en base a lo que se le ha programado realiza la activación/desactivación de un relevador. A pesar de contar con un microcontrolador no se requiere de ningún tipo de conocimiento de programación, pues su configuración es relativamente sencilla, con solo dos botones o micros interruptores se pueden configurar diversos parámetros.

Tabla 5-5 Especificaciones del controlador digital de temperatura de 12V serial W1209WK

Rango de medición de temperatura	-50 ~ 110 ° C
Temperatura	0.1 ° C, otro párrafo 1 ° C
Exactitud	0.1 ° C
Exactitud de la diferencia de retorno	0.1 ° C
Frecuencia de actualización	0.5 s
Protección de alta temperatura	0-110 ° C
El voltaje de entrada	DC12V
Entrada de medición	Sensor de agua NTC (10K 0.5%)
Salida	10 un relé todo el camino
Requisitos ambientales	-10 ° C, -60 ° C de humedad 20% -85%
Tamaño	L= 48 mm x A= 29 mm x h= mm
Tamaño del agujero	46 x 26.5 mm

Nota: Especificaciones del controlador digital de temperatura termostato de 12V serial W1209WK

Fuente: [26]

5.13 Ventilador de 12 V

Aparato giratorio que tiene por misión crear una corriente de aire o bien un flujo forzado en un conducto. Está constituido por una serie de palas con formas y disposiciones diversas según que el flujo sea axil (ventilador de hélice) se emplea normalmente cuando se requieren grandes caudales o radial (ventilador centrífugo) se emplea para caudales menores [28].

Ilustración 5-10 Ventilador de 12V CC y 0.12A

Fuente: [29]

Tabla 5-6 Especificaciones técnicas del ventilador de 12V CC

General	
Material	ABS
Compatibilidad	Adecuado Para La Refrigeración De Hdd
Tamaño Del Ventilador	2.5 X 2.5 X 1.0cm
Rpm	12000
Ruido	28dba
Peso	0,25 Oz (7.2 G)
Tensión nominal	12 V CC
Voltaje de la operación	6V ~ 14V
Corriente clasificada	0.12A
Potencia nominal (Max):	1.44W
Voltaje de salida	6V
Bloqueado corriente	0.16A
Tipo de aislamiento	UL: Clase A
Flujo de aire máximo	8.34CFM
Presión statis máxima	2.17mm-H2O
Tiempo medio entre fallos (MTBF) media	30.000 horas

Nota: Tabla de especificaciones técnicas del ventilador de 12V CC

Fuente: [29]

5.14 Eficiencia del equipo de deshidratación a base de energía solar.

Para llegar a determinar la eficiencia total del equipo de deshidratado a base de energía solar, se procede con el método experimental el cual con una buena planificación se logró establecer la eficiencia del sistema de deshidratado. Los experimentos se realizaron en La Universidad Técnica De Cotopaxi, Área CEASA (Campus Experimental Salache), y los equipos empleados para la experimentación fueron los siguientes:

- ✓ Un Termómetro.
- ✓ Un Piranometro.
- ✓ Un Equipo de deshidratador a base de energía solar.

Técnica experimental.

1. Tomar lecturas de temperatura en rangos de tiempo de 30 min en el colector, se anota los datos obtenidos.
2. Tomar lecturas de temperatura en rangos de tiempo de 30 min en la cama de deshidratado, se anota los datos obtenidos.
3. Tomar lecturas de la radiación directa que afecta en el lugar en rangos de tiempo de 30 min, donde está ubicado el equipo de deshidratación a base de energía solar, se anota los datos obtenidos.
4. Unas ves obtenidas los datos de la radiación directa, temperatura en el colector y la temperatura en la cama de deshidratado en rangos de tiempo de 30 min, se procede a realizar los cálculos de la eficiencia de la cámara, eficiencia de Colector y la eficiencia del sistema.
5. Con los datos obtenidos de la temperatura en el colector y la temperatura de la cámara de deshidratado, se procede hacer los cálculos para posteriormente realizar las curvas temperatura-tiempo donde podemos observar el comportamiento total de la temperaturas del colector y la cámara al transcurso del día.

Calculo de la eficiencia del sistema.

Para llegar a determinar la eficiencia del sistema nos basamos en la ecuación 5-1.

$$\eta_{\text{sistema}} = \eta_{\text{colector}} * \eta_{\text{Camara}}$$

(Ecuación 5-1)

Donde

$\eta_{\text{sistema}} =$ eficiencia del sistema

$\eta_{\text{colector}} =$ eficiencia del colector

$\eta_{\text{Camara}} =$ eficiencia de la camara

Primeramente para determinar la eficiencia del sistema se debe llegar a determinar:

La eficiencia del colector

La eficiencia de la cámara

Eficiencia del colector

Para determinar la eficiencia en el colector hacemos uso de la ecuación 5-2.

$$\eta_{\text{colector}} = \frac{\text{Q}_{\text{Colector}}}{\text{W}_{\text{solar}}}$$

(Ecuación 5-2)

Donde

$\eta_{colector} = eficiencia\ del\ colector$

$Q_{Colector} = flujo\ de\ calor\ en\ el\ colector;\ [kW]$

$W_{solar} = radiacion\ solar\ insidente\ en\ el\ lugar;\ \left[\frac{W}{m^2}\right]$

Eficiencia de la cámara

Para determinar la eficiencia en la cámara de deshidratado hacemos uso de la ecuación 5-3.

$$\eta_{\text{Camara}} = \left(\frac{\text{Q}_{\text{Camara}}}{\text{Q}_{\text{Colector}}}\right) * 100$$

(Ecuación 5-3)

Donde

η_{Camara} = eficiencia de la camara

Q_{Camara} = flujo de calor en la camara; $[kW]$

$\text{Q}_{\text{Colector}}$ = flujo de calor en el colector; [kW]

Flujo de calor en el colector ($\boldsymbol{Q_{Colector}}$)

Se utiliza la ecuación 5-4 para determinar el flujo de calor en el colector:

$$\text{Q}_{\text{Colector}} = \text{m}_{\text{aire}} * \text{Cp}_{\text{aire}} * (\text{T}_{\text{colector}} - \text{T}_{\text{ambiente}})$$

(Ecuación 5-4)

Donde

$\text{Q}_{\text{Colector}}$ = flujo de calor en el colector; [kW]

m_{aire} = masa del aire; $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$

Cp_{aire} = propiedad termofisicas del aire en base, temperatura de entrada; $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \text{K}\right]$ [30]

$\text{T}_{\text{colector}}$ = temperatura del colector; [K]

$T_{ambiente}$ temperatura Ambiente en los dias de Experimentacion; [K]

Flujo de calor en la cámara $(\boldsymbol{Q_{Camara}})$

Se utiliza la ecuación 5-5 para determinar el flujo de calor en la cámara de deshidrato:

$$Q_{Camara} = m_{aire} * Cp_{aire} * (T_{colector} - T_{ambiente})$$

(Ecuación 5-5)

Donde

Q_{Camara} = flujo de calor en la camara; [kW]

m_{aire} = masa del aire; $\left[\frac{kg}{S}\right]$

Cp_{aire} = propiedad termofisicas del aire en base, temperatura de entrada; $\left[\frac{kJ}{kg} * K\right]$

$T_{colector}$ = temperatura del colector; [K]

$T_{ambiente}$ temperatura Ambiente en los dias de Experimentacion; [K]

Masa de Aire $(\boldsymbol{m_{aire}})$

Para determinar la masa del aire empleamos la ecuación 5-6:

$$m_{aire} = V_{aire} * \rho$$

(Ecuación 5-6)

Donde

$m_{aire} = masa\ del\ aire;\ \left[\frac{kg}{s}\right]$

$V_{aire} = volumen\ del\ aire;\ \left[\frac{m^3}{s}\right]$

$\rho = densidad\ del\ aire;\ \left[\frac{kg}{m^3}\right]$ [30]

Una vez que los experimentos llegaron a concluir, con la información obtenida y utilizando las ecuaciones anteriormente establecidas para el cálculo de la eficiencia en el equipo, se realiza tablas con ayuda de Microsoft Excel, para poder interpretar los resultados obtenidos, posteriormente se realizaron graficas de curvas de comportamiento de la temperatura – tiempo, la eficiencia en la cámara, la eficiencia en el colector y la eficiencia del sistema como se muestra en las Tabla 5-12; Tabla 5-13; Tabla 5-14 y Tabla 5-16.

Datos obtenidos del proceso experimental de secado.

Tabla 5-7 Dato Experimentación Martes 08 / Mayo/ 2018

Dato Experimentación Martes 08 / Mayo/ 2018														
Hora	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Media
w/m^2	375	893	470	752	446	726	375	472	429	1181	987	1200	244	658
T. Cámara °C	26,5	26	27	26	27	27	26	23	22	24	25	24	24	25
T. Colector °C	37	47	40	41	45	42	38	30	34	38	32	33	32	38

Nota: La anterior tabla contiene datos reales de la experimentación del día Martes 8 de mayo del 2018 del proceso de secado del chocho, como son: la radiación directa incidente en el lugar en (w/m^2), la temperatura de la cámara y la temperatura del colector en (°C).

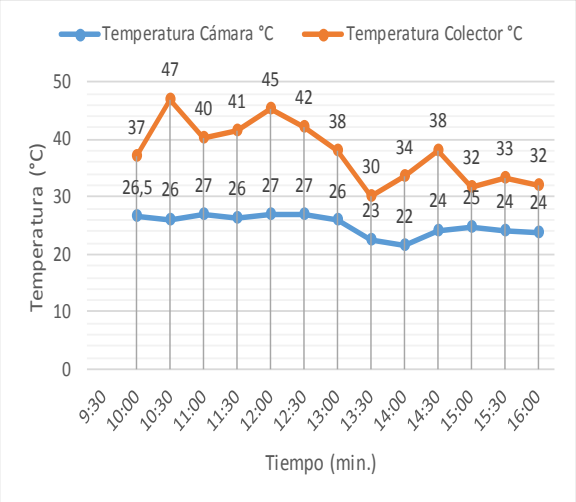


Ilustración 5-11 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo

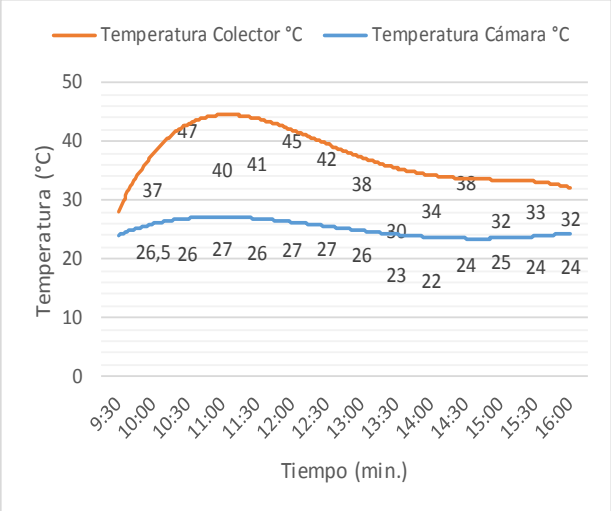


Ilustración 5-12 Curvas de las temperaturas en función del tiempo

Interpretación.

En el análisis de los datos obtenidos en el día Martes 08 de mayo del 2018, se puede observar que la temperatura más alta obtenida en el colector es 47 (°C), y la mínima es 39 (°C), con un promedio de 38 (°C), por 6 horas al día de exposición solar. Y de la misma manera en la cámara de deshidratado la temperatura más alta es 27 (°C), y la mínima es 22 (°C), con un promedio de temperatura de 25 (°C), los cuales son aprovechados para el proceso de secado.

Tabla 5-8 Dato Experimentación Miércoles 09 /Mayo/ 2018

Dato Experimentación Miércoles 09 /Mayo/ 2018														
Hora	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Media
w/m^2	119	632	525	303	186	220	200	663	1288	666	370	231	200	431
T. Cámara °C	26	29	28	19	21	21	21	25	27	28	29	23	20	24
T. Colector °C	31	50	48	28	28	30	34	49	49	45	42	29	27	38

Nota: La anterior tabla contiene datos reales de la experimentación del día Miércoles 09 de mayo del 2018 del proceso de secado del chocho, como son: la radiación directa incidente en el lugar en (w/m^2), la temperatura de la cámara y la temperatura del colector en (°C).

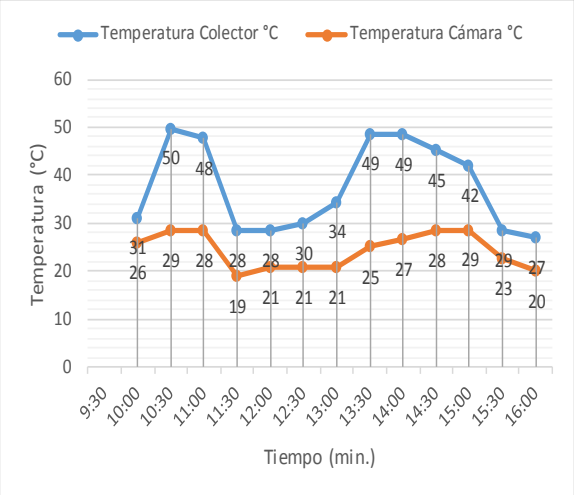


Ilustración 5-13 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo

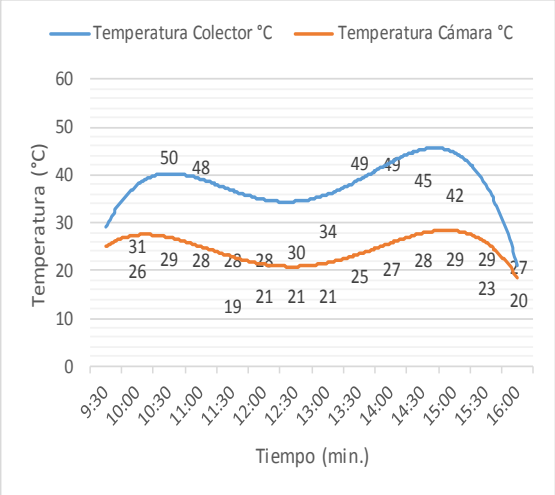


Ilustración 5-14 Curvas de las temperaturas en función del tiempo

Interpretación.

En el análisis de los datos obtenidos en el día Miércoles 09 de mayo del 2018, se puede observar que la temperatura más alta obtenida en el colector es 50 (°C), y la mínima es 27 (°C), con un promedio de 38 (°C), por 6 horas al día de exposición solar. Y de la misma manera en la cámara de deshidratado la temperatura más alta es 28 (°C), y la mínima es 19 (°C), con un promedio de temperatura de 24 (°C), los cuales son aprovechados para el proceso de secado. Mediante los datos obtenidos de la radiación solar y la temperatura en el transcurso de las 6 horas de experimentación se pudo apreciar el comportamiento de dicha temperatura en el colector y en la cámara con respectó a la radiación y el tiempo.

Tabla 5-9 Dato Experimentación Jueves 10 /Mayo/ 2018

Dato Experimentación Jueves 10 /Mayo/ 2018														
Hora	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Media
w/m^2	522	1154	835	557	500	1133	466	570	266	574	349	119	119	551
T. Cámara °C	24	26	33	31	34	31	35	31	29	27	31	28	28	30
T. Colector °C	37	46	48	39	45	43	46	41	31	38	39	26	26	39

Nota: La anterior tabla contiene datos reales de la experimentación del día Jueves 10 de mayo del 2018 del proceso de secado del chocho, como son: la radiación directa incidente en el lugar en (w/m^2), la temperatura de la cámara y la temperatura del colector en (°C).

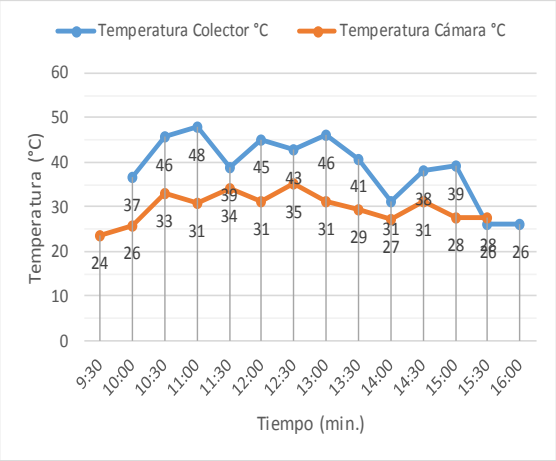


Ilustración 5-15 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo

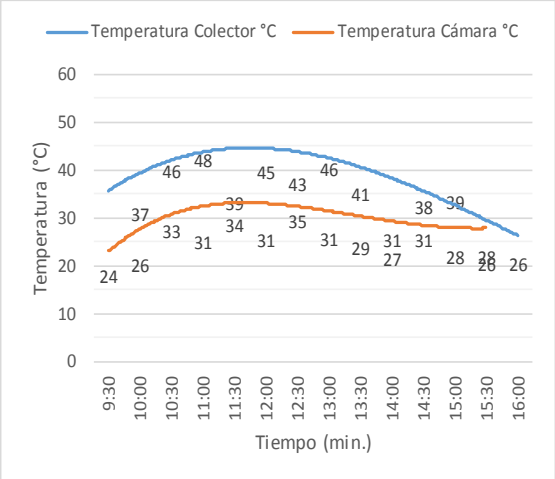


Ilustración 5-16 Curvas de las temperaturas en función del tiempo

Interpretación.

En el análisis de los datos obtenidos en el día Jueves 10 de mayo del 2018, se puede observar que la temperatura más alta obtenida en el colector es 48 (°C), y la mínima es 26 (°C), con un promedio de 39 (°C), por 6 horas al día de exposición solar. Y de la misma manera en la cámara de deshidratado la temperatura más alta es 35 (°C), y la mínima es 24 (°C), con un promedio de temperatura de 30 (°C), los cuales son aprovechados para el proceso de secado. Mediante los datos obtenidos de la radiación solar y la temperatura en el transcurso de las 6 horas de experimentación se pudo apreciar el comportamiento de dicha temperatura en el colector y en la cámara con respectó a la radiación y el tiempo.

Tabla 5-10 Dato Experimentación Viernes 11 /Mayo/ 2018

Dato Experimentación Viernes 11 /Mayo/ 2018																
Hora	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Media
w/m^2	1373	1485	1367	588	937	1612	1602	1147	1130	405	315	1497	1346	818	776	1104
T. Cámara °C	28	31	36	42	45	47	43	44	45	42	41	34	36	35	33	38
T. Colector °C	44	46	54	59	57	61	59	60	56	48	58	42	52	44	40	51

Nota: La anterior tabla contiene datos reales de la experimentación del día Viernes 11 de mayo del 2018 del proceso de secado del chocho, como son: la radiación directa incidente en el lugar en (w/m^2), la temperatura de la cámara y la temperatura del colector en (°C).

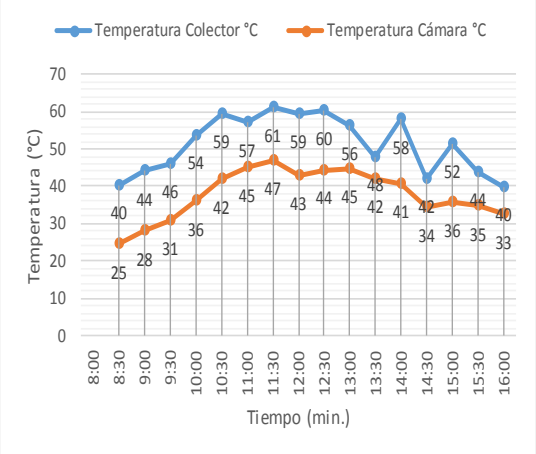


Ilustración 5-17 Comportamiento de la temperatura en el colector y en la cámara en función del tiempo

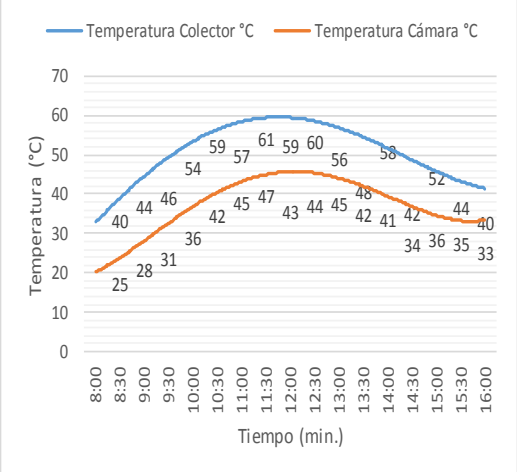


Ilustración 5-18 Curvas de las temperaturas en función del tiempo

Interpretación.

En el análisis de los datos obtenidos en el día viernes 11 de mayo del 2018, se puede observar que la temperatura más alta obtenida en el colector es 60 (°C), y la mínima es 40 (°C), con un promedio de 51 (°C), por 6 horas al día de exposición solar. Y de la misma manera en la cámara de deshidratado la temperatura más alta es 45 (°C), y la mínima es 28 (°C), con un promedio de temperatura de 38 (°C), los cuales son aprovechados para el proceso de secado.

Mediante los datos obtenidos de la radiación solar y la temperatura en el transcurso de las 6 horas de experimentación se pudo apreciar el comportamiento de dicha temperatura en el colector y en la cámara con respectó a la radiación y el tiempo.

Tabla 5-11 Variables necesarias para determinación de la eficiencia.

Datos Experimentación							Datos Experimentación							Datos Experimentación						
Hora	08/05/2018 Radiación (w/m2) D1	09/05/2018 Radiación (w/m2) D2	10/05/2018 Radiación (w/m2) D3	11/05/2018 Radiación (w/m2) D4	Total	Media	Radiación (W)	08/05/2018 Temperatura Colector (°c) D1	09/05/2018 Temperatura Colector (°c) D2	10/05/2018 Temperatura Colector (°c) D3	11/05/2018 Temperatura Colector (°c) D4	Total	Media	08/05/2018 Temperatura Cámara (°c) D1	09/05/2018 Temperatura Cámara (°c) D2	10/05/2018 Temperatura Cámara (°c) D3	11/05/2018 Temperatura Cámara (°c) D4	Total	Media	Temperatura Ambiente (°K)
10:00	900	750	1133	1200	3983	996	1992	37	28	37	54	156	39	27	26	24	36	112	28	292
10:30	752	525	835	1110	3222	806	1611	38	28	39	56	162	40	26	29	26	42	122	31	293
11:00	726	303	574	1100	2703,3	676	1352	40	30	43	57	170	43	26	19	31	47	123	31	294
11:30	470	220	557	1047	2294	574	1147	41	31	45	59	177	44	27	21	31	44	123	31	295
12:00	446	200	522	1030	2198	550	1099	42	34	46	59	182	45	27	21	34	43	125	31	296
12:30	375	200	500	937	2012	503	1006	45	48	46	60	199	50	26	21	35	45	127	32	298
13:00	375	186	466	900	1927	482	964	47	50	48	61	206	51	27	28	33	45	133	33	299
13:30	364	250	119	400	1133	283	567	38	49	41	58	185	46	23	25	31	42	121	30	296
14:00	429	300	200	450	1379	345	690	34	49	39	52	173	43	25	29	31	36	120	30	295
14:30	472	370	266	588	1696	424	848	33	45	38	48	164	41	22	27	29	41	118	30	294
15:00	893	632	349	776	2650	663	1325	32	42	31	44	149	37	24	28	27	34	114	29	292
15:30	987	663	570	818	3038	760	1519	32	29	26	42	129	32	24	23	28	35	109	27	289
16:00	1200	1288	1154	1046	4688	1172	2344	30	27	26	40	123	31	24	20	28	33	104	26	288
Media	645	453	557	877	2533	633	1266	38	38	39	53	167	42	25	24	30	40	119	30	294

Nota: La anterior tabla muestra datos reales tomados de la experimentación del proceso de deshidratación del chocho, como son la radiación directa (kW/m^2), en el lugar donde se implementó el equipo de deshidratado, el nivel de temperaturas (°C), alcanzadas en el colector, en la cámara de deshidratado y la temperatura ambiente de los días de experimentación.

Empleando las ecuaciones para determinar la eficiencia del sistema y con la ayuda de Microsoft Excel se realizó la Tabla 5-12; Tabla 5-13: Tabla 5-14 y la Tabla 5-15, para posteriormente realizar su respectivo análisis.

Tabla 5-12 Eficiencia del Colector.

Eficiencia del Colector									
Hora	Temperatura Promedio Colector (°K)	Cp Colector (KJ/Kg.°K)	ρ Colector (Kg/m3)	Flujo Aire (m3/s)	M Aire (Kg/s)	Q Colector (KW)	Q Colector (W)	η Colector	η Colector (%)
10:00	312	1,007480	1,121464	0,01968	0,02	0,43	433,04	0,22	22
10:30	313	1,007520	1,118136	0,01968	0,02	0,45	447,84	0,28	28
11:00	316	1,007640	1,108152	0,01968	0,02	0,47	466,97	0,35	35
11:30	317	1,007680	1,104824	0,01968	0,02	0,49	485,30	0,42	42
12:00	318	1,007720	1,101496	0,01968	0,02	0,50	495,88	0,45	45
12:30	323	1,007900	1,084800	0,01968	0,02	0,54	536,32	0,53	53
13:00	324	1,007960	1,081528	0,01968	0,02	0,55	552,17	0,57	57
13:30	319	1,007760	1,098168	0,01968	0,02	0,50	504,74	0,89	89
14:00	316	1,007640	1,108152	0,01968	0,02	0,47	474,11	0,69	69
14:30	314	1,007560	1,114808	0,01968	0,02	0,45	453,99	0,54	54
15:00	310	1,007400	1,148000	0,01968	0,02	0,42	424,19	0,32	32
15:30	305	1,007200	1,144700	0,01968	0,02	0,36	364,46	0,24	24
16:00	304	1,007040	1,158000	0,01968	0,02	0,35	353,14	0,15	15
Total	4093	13,09850	14,49223	0,25584	0,28521	5,9921	5992	5,65	565
Media	315	1,007577	1,114787	0,01968	0,02194	0,4609	461	0,43	43

Nota: En la tabla anterior contiene las variables y constantes que están involucradas para realizar el cálculo de la eficiencia del colector del sistema de captación de la energía solar en el equipo de deshidratación solar.

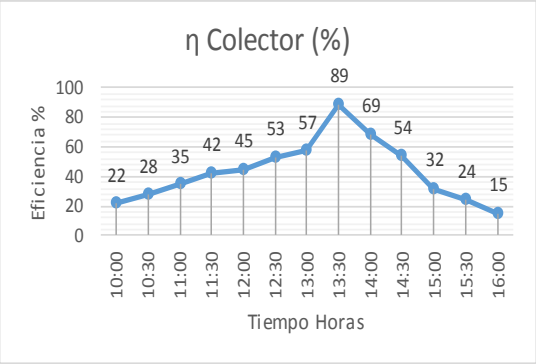


Ilustración 5-19 Comportamiento de la eficiencia en el colector en funcion del tiempo.

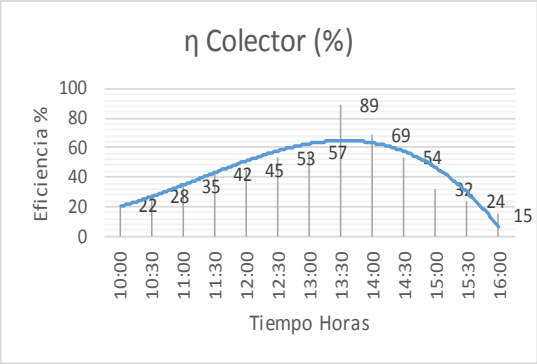


Ilustración 5-20 Curva de la eficiencia en el colector en función del tiempo.

Interpretación.

Procediendo con el análisis de los datos obtenidos mediante el proceso experimental y realizando la depuración de datos, se calculó la eficiencia en el colector, se observa el comportamiento de la eficiencia en el colector al transcurso de las 6 h experimentales , obteniendo una eficiencia al inicio del día del 22%, mientras trascurre el día se tuvo una eficiencia del 89 % al medio día y finalizando con una eficiencia del 15% al final de la jornada, con una media de 43% de eficiencia la cual posteriormente es aprovechada por la cámara de deshidratado.

Tabla 5-13 Eficiencia de la cámara de deshidratado.

Eficiencia De La Cámara									
Hora	Temperatura Promedio Cámara (°K)	Cp Cámara (KJ/Kg.°K)	ρ Cámara (Kg/m3)	Flujo Aire (m3/s)	M Aire (Kg/s)	Q Cámara (KW)	Q Cámara (W)	η Cámara	η Cámara (%)
10:00	301	1,007040	1,158000	0,01968	0,02	0,45	446,95	0,22	22
10:30	304	1,007100	1,148000	0,01968	0,02	0,46	459,61	0,29	29
11:00	304	1,007100	1,148000	0,01968	0,02	0,48	483,50	0,36	36
11:30	304	1,007100	1,148000	0,01968	0,02	0,50	503,98	0,44	44
12:00	304	1,007100	1,148000	0,01968	0,02	0,52	516,49	0,47	47
12:30	305	1,007200	1,144700	0,01968	0,02	0,57	565,55	0,56	56
13:00	306	1,007240	1,141432	0,01968	0,02	0,58	582,34	0,60	60
13:30	303	1,007120	1,151400	0,01968	0,02	0,53	528,87	0,93	93
14:00	303	1,007120	1,151400	0,01968	0,02	0,49	492,36	0,71	71
14:30	303	1,007120	1,151400	0,01968	0,02	0,47	468,68	0,55	55
15:00	302	1,007080	1,154700	0,01968	0,02	0,43	426,53	0,32	32
15:30	300	1,007000	1,161400	0,01968	0,02	0,37	369,70	0,24	24
16:00	299	1,00698	1,16600	0,01968	0,02	0,36	355,56	0,15	15
Total	3937	13,09230	14,97243	0,25584	0,29466	6,20	6200	5,86	586
Media	303	1,00710	1,15173	0,01968	0,02267	0,48	477	0,45	45

Nota: En la tabla anterior contiene las variables y constantes que están involucradas para realizar el cálculo de la eficiencia de la cámara de deshidratado en el equipo de deshidratación solar

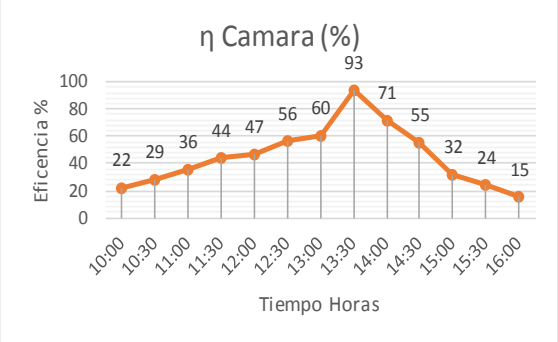


Ilustración 5-21 Comportamiento de la eficiencia en la cámara en función del tiempo.

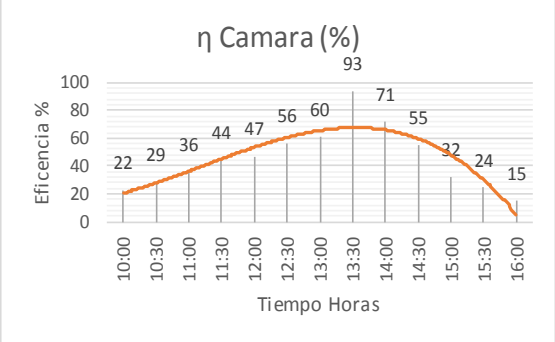


Ilustración 5-22 Curva de eficiencia de la camara en funcion del tiempo

Interpretación.

Procediendo con el análisis de los datos obtenidos mediante el proceso experimental y realizando la depuración de datos, se calculó la eficiencia en la cama, se observa el comportamiento de la eficiencia en la cámara al transcurso de las 6 h experimentales , obteniendo una eficiencia al inicio del día del 22%, mientras trascurre el día tenemos una eficiencia del 93 % al medio día y finalizando con una eficiencia del 15% al final de la jornada, con una media de 45% de eficiencia la cual es aprovechada por la cámara de deshidratado.

Tabla 5-14 Eficiencia total del sistema

η Sistema														
Hora	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	Media
η Colector	0,22	0,28	0,35	0,42	0,45	0,53	0,57	0,89	0,69	0,54	0,32	0,24	0,25	0,442
η Cámara	0,22	0,29	0,36	0,44	0,47	0,56	0,6	0,93	0,71	0,55	0,32	0,24	0,25	0,457
η Sistema	0,05	0,08	0,13	0,18	0,21	0,30	0,34	0,83	0,49	0,30	0,10	0,06	0,06	0,241
	5%	8%	13%	18%	21%	30%	34%	83%	49%	30%	10%	6%	6%	24%

Nota: En la tabla anterior se observa los datos de la eficiencia del colector y de la cámara para posteriormente obtener la eficiencia total del sistema en el equipo de deshidratación solar

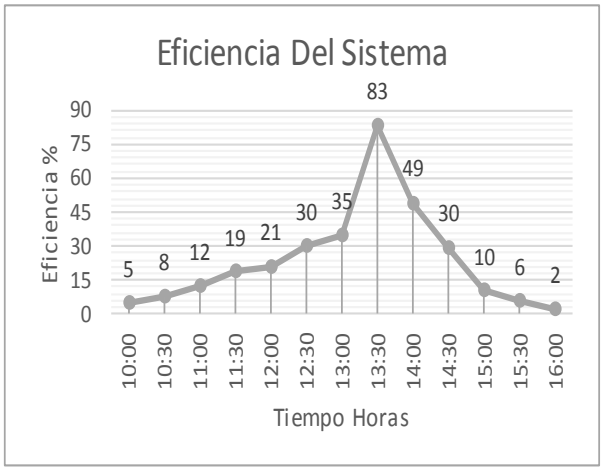


Ilustración 5-23 Comportamiento de la eficiencia del sistema en funcion del tiempo.

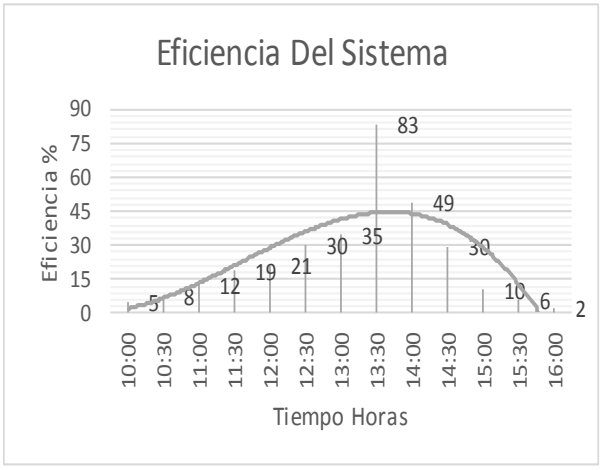


Ilustración 5-24 Curva de la eficiencia del sistema en función del tiempo.

Interpretación.

Procediendo con el análisis de los datos obtenidos mediante el proceso experimental y realizando la respectiva depuración de datos, se calculó la eficiencia total del sistema, se observa el comportamiento de la eficiencia del sistema al transcurso de las 6 h experimentales, obteniendo una eficiencia al inicio del día del 5%, mientras trascurre el día tenemos una eficiencia del 83 % al medio día y finalizando con una eficiencia del 15% al final de la jornada, con una media de 24% de eficiencia total aprovechada por el sistema.

Grafico del comportamiento de la eficiencia en el colector, en la cámara y del sistema.

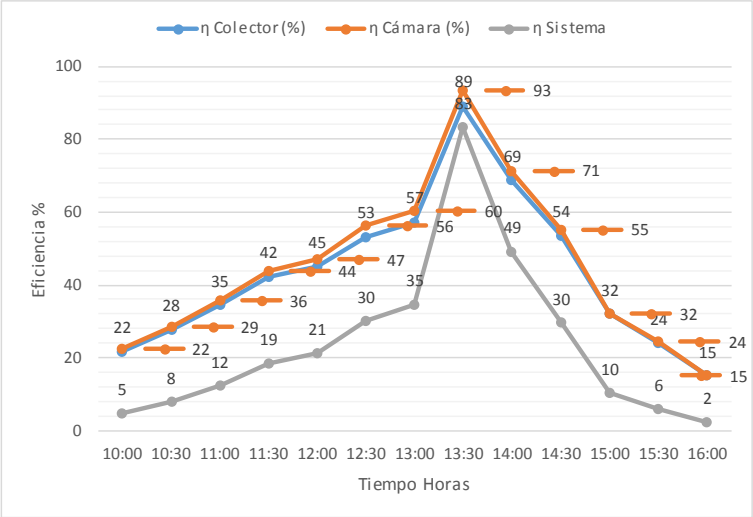
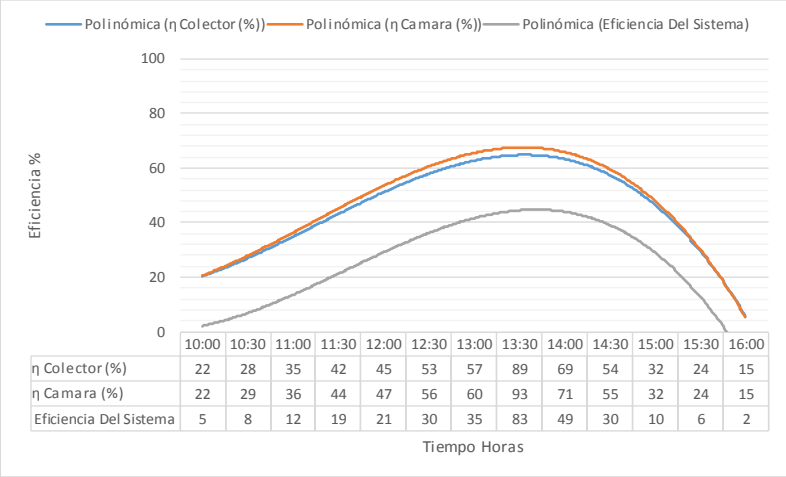


Ilustración 5-25 Comportamiento de las eficiencias, en el colector en la cámara y en el sistema.



	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00
η Colector (%)	22	28	35	42	45	53	57	89	69	54	32	24	15
η Camara (%)	22	29	36	44	47	56	60	93	71	55	32	24	15
Eficiencia Del Sistema	5	8	12	19	21	30	35	83	49	30	10	6	2

Ilustración 5-26 Curvas de las eficiencias en el colector en la camara y en el sistema.

Interpretación.

Procediendo con el análisis de los datos obtenidos mediante el proceso experimental y realizando la depuración de datos, se calculó la eficiencia en el colector, en la cámara y en el sistema, se observa el comportamiento de la eficiencia en el colector, en la cámara y en todo el sistema, al transcurso de las 6 h experimentales, las cuales tienen una eficiencia inicial en el rango del 5% al 22%, tendiendo a tener la más alta eficiencia al medio día en un rango del 80% al 95%, y cerrando la jornada laboral con un rango del eficiencia del 15% al 45%, y teniendo como dato referencial un aprovechamiento de la eficiencia total del sistema en un 24%, la eficiencia del sistema depende totalmente de la radiación solar y del tiempo meteorológico.

5.15 Análisis del proceso de secado del Chocho

El proceso de secado se puede analizar como un proceso termofísico y físico – químico, en el cual se produce el intercambio de calor y de humedad entre la superficie del material que se somete al secado y el medio gaseoso que lo rodea, cuando se produce el intercambio del calor y de la humedad en el interior del material [31]. Muchos factores influyen sobre el resultado del secado: la naturaleza del material, su estructura, composición química, carácter de enlace con la humedad, grosor (dimensiones y componentes granulométricas) y la cantidad de humedad del material sometido al tratamiento de secado.

Materiales y método

Para el proceso de secado del chocho se llevó acabo por convección forzada, pasando aire caliente sobre todo el producto, el aire es enfriado al momento que atraviesa el producto y la humedad es transferida hacia el aire, en este caso la presión del vapor y de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica y se presenta el efecto de deshidratación.

Para la experimentación se empleó chocho previamente pasado por el proceso de desamargado y homogenizado, tomado a la entrada del deshidratador a base de energía solar, la Humedad inicial del producto según estudios realizados debe ser del 77,05%, y la granulometría debe comportase como lo indica el *IX Anexo* en las Tabla IX-1, Tabla IX-2, Tabla IX-3, y Tabla IX-4. Los experimentos se realizaron en La Universidad Técnica De Cotopaxi, Área CEASA (Campus Experimental Salache), y los equipos empleados para la experimentación fueron los siguientes:

- ✓ Un Termómetro.
- ✓ Un Piranometro.
- ✓ Una Balanza analítica de precisión hasta las cuatro cifras decimales.
- ✓ Un Equipo de deshidratador a base de energía solar.
- ✓ 8 Bandejas de Acero inoxidable 304.
- ✓ 8 Kg de chocho desamargado.

Técnica experimental.

1. Se obtiene la materia prima a secar, según la cantidad deseada a ser secada y tomando en cuenta la capacidad total del equipo de deshidratación a base de energía solar.

2. Una vez determinada la cantidad de chocho deseada a ser secar, Introducir las 8 bandejas con las muestras dentro de la cámara de deshidratado teniendo en cuenta la temperatura inicial y su peso inicial por bandeja, durante un tiempo estimado de 1680 min (28 h).
3. Tomar lecturas de temperatura en rangos de tiempo de 30 min, tanto en la cama como en colector, se anota los datos obtenidos.
4. Tomar lecturas de la radiación directa que afecta en el lugar en rangos de tiempo de 30 min, donde está ubicado el equipo de deshidratación a base de energía solar, anotamos los datos obtenidos.
5. Pesar la cantidad de producto por bandeja sometido al proceso de secado en rango de tiempo de 10 min, anotando los datos obtenidos.
6. Una vez obtenida todos los datos requeridos del proceso de secado del chocho como es el peso inicial, y su peso moderado en rangos de tiempo de 10 min se procede hacer los cálculos para realizar las curvas de secado en razón del tiempo que le toma llegar al porcentaje de humedad deseado Ver el IX Anexo en las Tabla IX-4, Tabla IX-5, Tabla IX-6, y Tabla IX-7.
7. Repetimos este proceso 4 veces con los distintos tamaños de la granulometría del chocho que son de granulometría ± 12, granulometría ± 14, granulometría ± 16 y la granulometría variable que se conforma de ± 12, ± 14, ± 16 entre otros.

Determinación del porcentaje de humedad del chocho.

Para llegar a determinar el contenido de humedad que posee el producto a ser sometido al proceso de secado empleamos la siguiente ecuación.

$$H = \left(\frac{P_I - P_F}{P_I}\right) * 100\%$$

(Ecuación 5-7)

Donde:

$H = \text{contenido de humedad; } [\%]$

$P_I = \text{peso inicial; } [\text{kg}]$

$P_F = \text{peso Final; } [\text{kg}]$

Una vez que los experimentos llegaron a concluir, con la información obtenida y utilizando la ecuación anteriormente establecida para determinar el contenido de húmeda (%), se realizan las tablas con ayuda de Microsoft Excel para poder interpretar los resultados obtenidos, como se

muestra en el *IX Anexo* en las Tabla IX-1, Tabla IX-2, Tabla IX-3, y Tabla IX-4, posteriormente se realizaron Ilustraciones de las curvas de secado donde podemos observar el comportamiento del contenido de humedad (%) en función del tiempo.

5.16 Curvas del secado del chocho.

Granulometría ± 12 mm de diámetro

Para la réplica de granulometría ± 12 mm de diámetro tenemos la tabla de valores establecidos en el IX Anexo, Tabla IX-4.

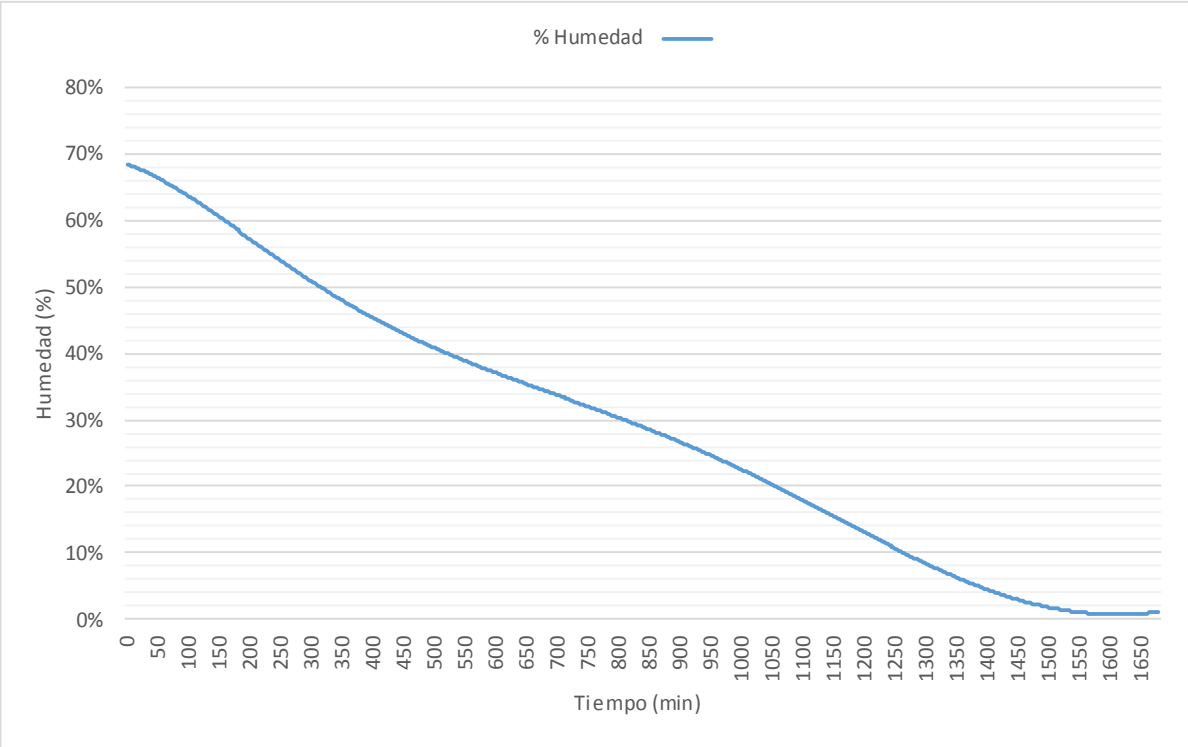


Ilustración 5-27 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 12 mm de diámetro.

Interpretación.

Según la curva de secado de la primera replica de experimentación con granulometría de ± 12 mm de diámetro de chocho, desamargado con cascara, el contenido de humedad tiende a bajar mientras transcurre el tiempo, teniendo un contenido de humedad inicial del 69 %, la reducción del contenido de humedad es notable al transcurrir los 1680 min (28 h), teniendo como consecuente la reducción del contenido de humedad en un 0.4 % de contenido de humedad final, teniendo en cuenta que la velocidad de secado depende de la cantidad de producto que

desee secar el productor y la radiación incidente en el lugar donde se procederá con el proceso de secado de la materia prima.

Granulometría ± 14 mm de diámetro

Para la réplica de granulometría ± 14 mm de diámetro tenemos la tabla de valores establecidos en el IX Anexo, Tabla IX-5.

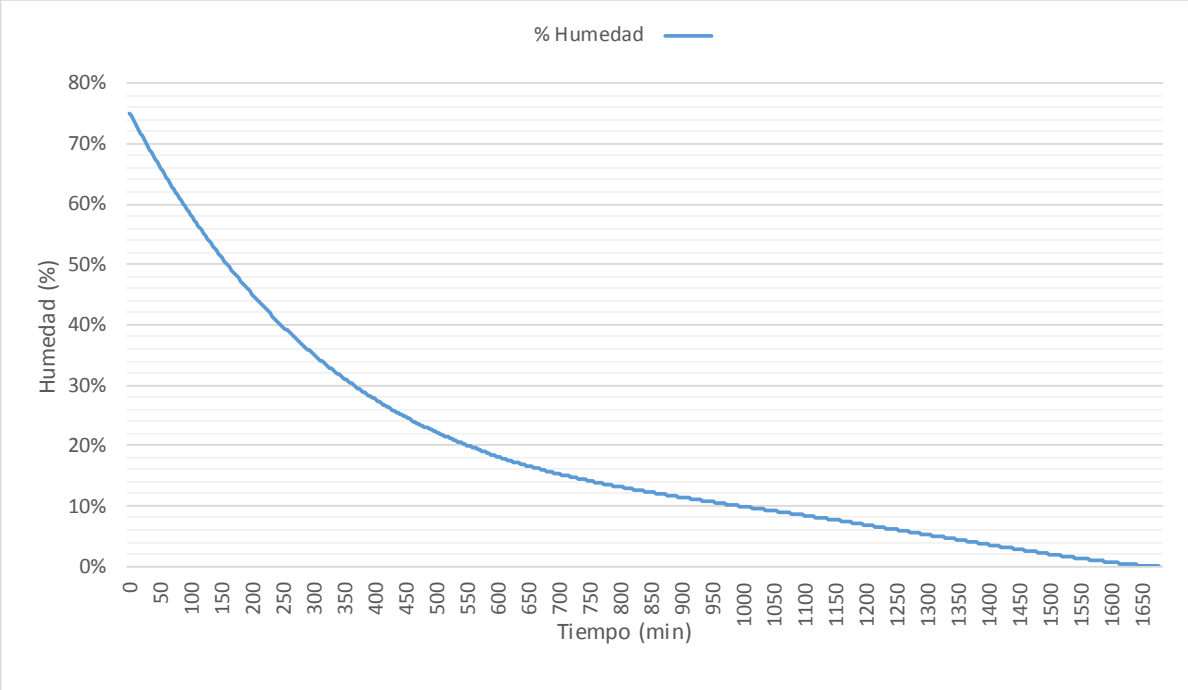


Ilustración 5-28 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 14 mm de diámetro.

Interpretación.

Según la curva de secado de la segunda replica de experimentación con granulometría de ± 14 mm de diámetro de chocho, desamargado con cascara, el contenido de humedad tiende a bajar mientras transcurre el tiempo, teniendo un contenido de humedad inicial del 71 %, la reducción del contenido de humedad es notable al transcurrir los 1680 min (28 h), teniendo como consecuente la reducción del contenido de humedad en un 0.4 % de contenido de humedad final, teniendo en cuenta que la velocidad de secado depende de la cantidad de producto que desee secar el productor y la radiación incidente en el lugar donde se procederá con el proceso de secado de la materia prima.

Granulometría ± 16 mm de diámetro

Para la réplica de granulometría ± 16 mm de diámetro tenemos la tabla de valores establecidos en el IX Anexo, Tabla IX-6.

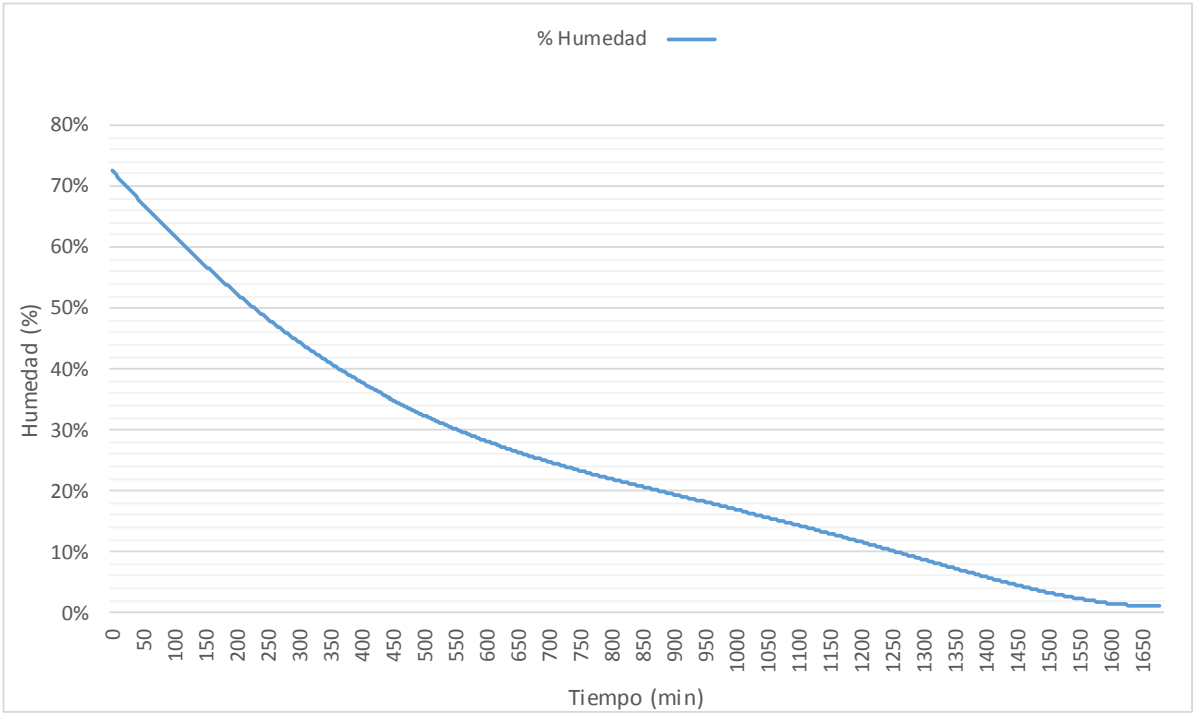


Ilustración 5-29 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria ± 16 mm de diámetro.

Interpretación.

Según la curva de secado de la tercera replica de experimentación con granulometría de ± 16 mm de diámetro de chocho, desamargado con cascara, el contenido de humedad tiende a bajar mientras transcurre el tiempo, teniendo un contenido de humedad inicial del 71 %, la reducción del contenido de humedad es notable al transcurrir los 1680 min (28 h), teniendo como consecuente la reducción del contenido de humedad en un 0.4 % de contenido de humedad final, teniendo en cuenta que la velocidad de secado depende de la cantidad de producto que desee secar el productor y la radiación incidente en el lugar donde se procederá con el proceso de secado de la materia prima.

Granulometría variable de ±12 ±14 ±16 entre otros mm de diámetro

Para la réplica de granulometría variable de ±12 ±14 ±16 entre otros mm de diámetro tenemos la tabla de valores establecidos en el IX Anexo, Tabla IX-7.

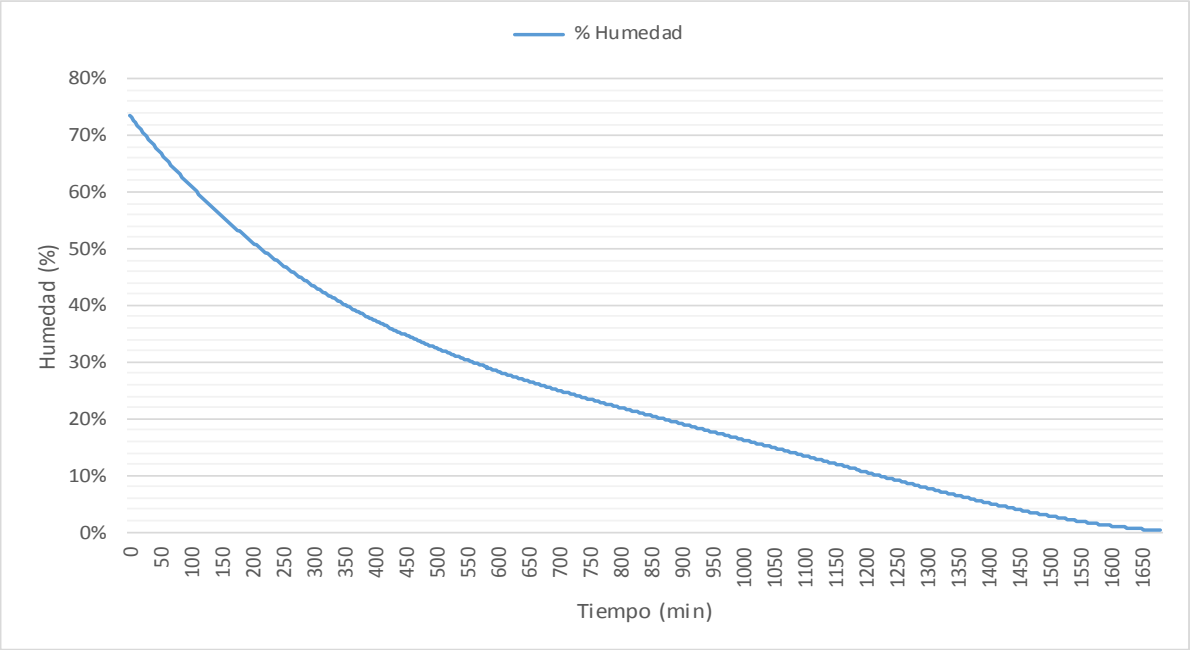


Ilustración 5-30 Curva del comportamiento del contenido de humedad en funcion del tiempo de secado granulometria variavle de ± 12; ± 14; ± 16 entre otros mm de diámetro.

Interpretación.

Según la curva de secado de la primera replica de experimentación con granulometría granulometria variavle de ± 12; ± 14; ± 16 entre otros mm de diámetro de chocho, desamargado con cascara, el contenido de humedad tiende a bajar mientras transcurre el tiempo, teniendo un contenido de humedad inicial del 70 %, la reducción del contenido de humedad es notable al transcurrir los 1680 min (28 h), teniendo como consecuente la reducción del contenido de humedad en un 0.5 % de contenido de humedad final, teniendo en cuenta que la velocidad de secado depende de la cantidad de producto que desee secar el productor y la radiación incidente en el lugar donde se procederá con el proceso de secado de la materia prima.

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1 Costos directos

Aquí se encuentran involucrados los desembolsos de aquellas materias primas, materiales, equipos o accesorios que intervienen directamente en la elaboración del Deshidratador.

6.1.1 Materiales

Para el sistema de deshidratador de chocho se requiere de un colector solar de placa plana apara calentamiento de aire, un horno tipo invernadero y de una parte electrónica que está encargada del ambiente controlado dentro de la cámara de deshidratación.

Tabla 6-1 Elementos Mecánicos

Ítems	Cant	Descripción	V. Unitario	V. Total
1	3	Tubo Negro 1 1/4″ X 1 1/4″X 1/8″	35,00	105,00
2	4	Planchas De Acero Galvanizado 1/32″	33,00	132,00
3	3	Planchas De Acero Inoxidable 304 1/40″	55,00	165,00
4	1	Vidrio Claro Flotado Americano 200x91 E = 0,6 mm	30,00	30,00
5	1	Vidrio Claro Flotado Americano200x91 E = 0,8 mm	38,00	38,00
6	5 lb.	Rubinatte	15,00	75,00
7	5 lb.	Rubiterre	15,00	75,00
8	8	Bandejas Malla 900x40x40	25,00	200,00
9	1	Silicón Transparente	14,50	14,50
10	1 Caja	Tornillos Auto-Perforantes 8x1/2	6,00	6,00
11	1 Caja	Remaches Pop 1/2x1/8	5,00	5,00
12	1 Lb.	Electrodos 6011	3,00	3,00
13	1	Aldaba 1/2 Lumax	2,50	2,50
14	1	Jaladera Steven Para Puerta Acero Inoxidable	2,50	2,50
15	1	Bisagra Tipo Piano	8,00	8,00
16	1/2 Lit	Pintura Esmalte Mate Negro	6,50	6,50
17	1	Imán Tipo Rollo 1/4x1/8	5,00	5,00
18	1	Disco De Corte	7,00	7,00
			Neto	880,00
			I.V.A 12%	105,60
			Total	985,60

Nota: Tabla de presupuestos de materiales para la construcción de las partes mecánica del Deshidratador.

Tabla 6-2 Elementos Eléctricos y Electrónicos

Ítems	Cant	Descripción	V. Unitario	V. Total
1	1	Caja De Paso 30x30x20 Doble Fondo	42,00	42,00
2	3	Switch Ojo De Cangrejo T/Cooper	1,75	5,25
3	3	Cinta de aislar 3M Azul & Rojo & Negro	0,50	1,50
4	40	Borneras # 4 M & H	0,04	1,60
5	2	Citan De Embalaje	2,50	2,50
6	5	Ventiladores	5	25,00
7	20 M	Cable Flexible #22	0,15	3,00
8	1	Batería Tipo Seca	70,00	70,00
9	20	Tornillos Con Tuerca 1/4x/1/8	0,70	0,70
10	1	Panel Fotovoltaico	130,00	130,00
11	1	Controlador De Carga Del Panel Solar	50,00	50,00
12	2	Controlador Digital De Temperatura	30,00	60,00
			Neto	391,55
			I.V.A 12%	46,98
			Total	438,53

Nota: Tabla de presupuestos de materiales para la Implementación Eléctrica y Electrónica.

Tabla 6-3 Costos totales de los materiales utilizados en la construcción del deshidratador solar.

Ítems	Descripción	V. Unitario	V. Total
1	Elementos Mecánicos	880	880
2	Elementos Eléctricos y Electrónicos	438,53	438,53
		Neto	1318,53
		I.V.A 12%	158,22
		TOTAL	1476.75

Nota: Tabla de inversión global empleada en la construcción del deshidratador solar.

6.2 Mano de obra directa.

La mano de obra directa es aquella que interviene personalmente en el proceso de producción, refiriéndose específicamente a los técnicos, maestros y obreros empleados en la construcción del Deshidratador solar.

Tabla 6-4 Costo de mano de obra directa.

Ítem	Cantidad	Descripción	Días	C. Día	C. Total
1	1	Maestro Metal Mecánico	4	60	240
2	2	Personal Instalación Sitio De Prueba	2	15	30
				Neto	270
				I.V.A 12%	32,4
				Total	302,4

Nota: Tabla representativa de los gastos en el factor de mano de obra directa.

6.3 Costos indirectos

Comprende personal, materias primas, equipos, materiales o accesorios utilizados dentro de la investigación, pero que no se considera directo en el sistema de deshidratado solar.

Tabla 6-5 Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	C. Unitario	C. Total
1	Producto A Ser Secado	25kg	50	50
2	Fundas Plásticas Negras	10	0,15	1,5
3	Piranometro	1	135	135
			Neto	186,5
			I.V.A. 12%	22,38
			Total	208,88

Nota: Tabla representativa de los gastos experimentales.

6.4 Materiales fungibles

Comprende aquellos materiales que se consumen con el uso, y que son utilizados dentro de la elaboración del proyecto.

Tabla 6-6 Costo de materiales fungibles.

Ítem	Descripción	Cantidad	C. Unitario	C. Total
1	Gasolina	3 Gal.	1,46	5
2	Maskin	3 U.	1,5	4,5
3	Thinner	1 Gal.	4	4
			Neto	13,5
			I.V.A. 12%	1,62
			Total	15,12

Nota: Tabla representativa de los gastos de materiales fungibles.

6.5 Imprevistos

Se considera aquellos costos urgentes no programados, y se asume un 10% del costo del proyecto.

Tabla 6-7 Costo de Imprevistos.

Ítem	Descripción	Cantidad	C. Unitario	C. Total CON EL 10%
1	Costo Proyecto	1	1787,91	178,79
			Neto	178,79
			I.V.A 12%	21,45
			Total	200,24

Nota: Tabla de gastos representativos de gastos imprevistos.

6.6 Costo total del proyecto

Tabla 6-8 Costo total.

Ítem	Descripción	C. Unitario	C. Total
1	Materiales Directos	1318,53	1318,53
2	Mano De Obra Directa	270	270
3	Materiales Indirectos	186,5	186,5
4	Materiales Fungibles	12,88	12,88
5	Imprevistos	178,79	178,79
		Neto	1966,70
		I.V.A. 12%	236
		Total	2202,70

Nota: Tabla representativa del costo total del deshidratador.

6.7 Análisis de impactos

Impacto práctico:

El deshidratador a base de energía solar generar aire caliente para el proceso de deshidratado (secado) y de esta manera reducir la cantidad de humedad de los diferentes productos a secar y prolonga la vida útil de los mismos productos sin alterar sus nutrientes.

Impacto tecnológico:

La aportación tecnológica del proyecto se basa en el aprovechamiento de la energía solar que es captada mediante un colector solar para calentamiento de aire y los fenómenos de transferencia de calor que se presentan en el sistema, con el objetivo de buscar la mayor eficiencia posible, se busca además que los futuros estudiantes tomen como iniciativa la realización de estos proyectos ya que es innovador y verificar la eficiencia del uso de este recurso, para con el tiempo no depender de energías no renovables, contaminantes que se utilizan con mayor magnitud en la actualidad.

Impacto ambiental:

El deshidratador a base de energía solar, utiliza en toda su capacidad energía solar renovable, transformando la radiación solar en energía fotovoltaica y en energía térmica calorífica, disminuyendo el consumo de energía eléctrica, produciendo gases de efecto invernadero en bajos porcentajes de emanaciones a la atmosfera del planeta en comparación a otros equipos y procedimientos de deshidratados, y sin causar ningún daño a la vida animal y vegetal de la zona donde se implementó el equipo de deshidratado.

Impacto ético:

El deshidratador a base de energía solar está implementado para el proceso de deshidratado y de esta manera mejorar el habito del consumo de productos de la canasta básica en la población en general, produciendo productos de alta calidad, y fomentando la construcción de equipos a base de energía solar cien por ciento renovables, y de esta manera llegar con estos equipos a lugares donde no se pensaba que podríamos ubicarnos con un micro emprendimiento.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- ✓ Mediante los referentes teóricos se pudo diseñar, construir e implementar el equipo de deshidratación a base de energía solar, siendo sus componentes principales un panel solar fotovoltaico de 50 W el encargado del suministro de energía eléctrica a nuestro equipo, un panel solar termodinámico de placa plana de Acero galvanizado pintado de negro mate con un área captación y recepción de la energía solar de 2 m^2, y la cámara de deshidratado con una capacidad máxima de 20 kg, que es donde se va a llevar a cabo el proceso de secado sin ningún tipo de contaminación.
- ✓ Se determinó mediante el método experimental la eficiencia del equipo de deshidratado a base de energía solar, que es de un 24 %, teniendo como referencia la eficiencia en el área del colector que es de 43%, y en la cámara de deshidratado con una eficiencia de 45 %, es aprovechado para el proceso de secado, teniendo en consideración que la eficiencia depende de la radiación solar, y el tiempo meteorológico en el punto que está ubicado el equipo.
- ✓ Mediante el método experimental se determinó las curvas de secado del chocho *(Lupinus, mutabulis, Sweet),* estableciendo que para una cantidad ± 8 Kg, con un contenido de humedad inicial del 77,05 % es necesario someter el producto a 1680 min (28 h), con una temperatura promedio en la cámara de deshidratado de 30°C, temperatura promedio en el colector de 41,5 °C y con una radiación solar global incidente en el lugar de 686 W/m^2.
- ✓ Una vez finalizado el proceso de secado, no se tuvo ningún tipo de contaminación de la materia prima utilizada en dicho proceso y de esta manera se comprobó la eficiencia de utilizar Acero Inoxidable 304, para la construcción del interior de la cámara y las bandejas, basándonos según las normas de manejo alimenticio.

7.2 Recomendaciones

- ✓ En cuanto a la limpieza es necesario mantener siempre libre de polvo la superficie del colector y del panel fotovoltaico ya que la suciedad impide la recepción de la energía solar y es recomendable tener en cuenta y aplicar las especificaciones y el riguroso plan de mantenimiento de dicho equipo.

- ✓ Para garantizar un buen funcionamiento del equipo de deshidratado a base de energía solar, no solo puede ser empleado para el proceso de secado del chocho, también se pueden someter al proceso de secado diversos productos como son: Frutas, Plantas, Hortalizas, Granos entre otros, ya que contamos con las bandejas y el interior de la cámara de deshidratado que está construidos de Acero Inoxidable 304, bajo la normativa de manejo de alimentos.
- ✓ Para que tengamos una mayor eficiencia en el deshidratador a base de energía solar se recomienda ubicar en un lugar con mayor recepción de radiación solar, y tomando la referencia que el equipo debe estar situado en las coordenadas de Norte a Sur.
- ✓ Mediante la implementación de una fuente de compensación de calor, se puede incrementar la eficiencia del equipo, pero teniendo en consideración el redimensionamiento del panel solar fotovoltaico y la implementación de resistencias generadoras de calor, un inversor para obtener corriente alterna para el suministro energético del consumo de las resistencias y sin descartar su elevado costo de implementación.

8 REFERENCIAS

[1] E. S. Reinoso, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR EXPERIMENTAL DE HIERBAS AROMÁTICAS CON EL EMPLEO DE ENERGÍA SOLAR, CAPACIDAD DE 5 Kg.", Sangolqui, Pichincha: E.S.P.E. FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, 2006.

[2] E. Villacres, A. Rubio, L. Egas y G. Segovia, «Disfrute cocinando con chocho. Recetario. Programa Nacional de Leguminosas. Estación Experimental Santa Catalina.,» 2015. [En línea].

[3] INIAP, «Chocho,» 2017. [En línea]. Available: http://www.fondoindigena.org/wp-content/uploads/2011/08/USOS-ALTERNATIVOS-DEL-CHOCHO.pdf.

[4] M. Suquilanda, «Producción orgánica de cultivos andinos,» 2015. [En línea]. Available: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf.

[5] E. Ortega, A. Rodríguez y Á. Zamora, «Caracterización de semillas de lupino (Lupinus mutabilis) sembrado en los Andes,» UNAL, pp. 111-118, 2010.

[6] INIAP, «Chocho (Lupinus mutabilis Sweet) alimento andino redescubierto,» 2006. [En línea]. Available: http://www.fondoindigena.org/wp-content/uploads/2011/08/USOS-ALTERNATIVOS-DEL-CHOCHO.pdf.

[7] INIAP, «Poscosecha y mercado de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador,» 2017. [En línea]. Available: http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Poscosecha%20_mercado_chocho.pdf.

[8] M. Cevallos y J. Ulloa , DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR PARA GRANOS DE MAÍZ DURO (MOROCHILLO), EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR PARA SU FUNCIONAMIENTO, Quito: UPS, 2016.

[9] H. Torres, «Scribd,» 2010. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/105188054/Secador-Solar-de-Frutas-y-Verduras.

[10] Sitiosolar.com, «Sitiosolar.com,» 2014. [En línea]. Available: http://www.sitiosolar.com/los-deshidratadores-solares/.

[11] G. Moreno, MANUAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UNA SECADORA SOLAR, Seminario de Proyectos II, 2000.

[12] E. S. BENAVIDES SALCEDO, de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA SOLAR EXPERIMENTAL, DE TIPO CILÍNDRICO PARABÓLICO CON APLICACIÓN AL SECTOR RURAL MARGINAL, Sangolqui, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA, 2006 , p. 76.

[13] INAMHI, Latacunga, Cotopaxi: INSTITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA E HIDROLOGIA, 2017.

[14] E. F. URRESTA SUÁREZ, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UN DESALINIZADOR SOLAR TÉRMICO MODULAR DE AGUA DE MAR PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA, CON UNA CAPACIDAD DIARIA PROMEDIO DE 4 LITROS.,» Quito, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, 2013, p. 61.

[15] INAMHI, 2014.

[16] N. E. D. C. NEC10, «ENERGIAS RENOVABLES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR,» de ENERGIAS RENOVABLES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR, M. d. d. u. y. vivienda, Ed., Ecuador, Comite ejecutivo del codigo ecuatoriano de la construccion, 1996, p. 19;20.

[17] climate-data.org, «climate-data.org,» 10 12 2017. [En línea]. Available: https://es.climate-data.org/location/2966/. [Último acceso: 20 12 2017].

[18] F. Guato, «Comparacion de las mezclas de harina de trigo (triticum spp) y chocho (lupinus mutabilis) en la evaluacion sensorial de pasta,» Universidad Tecnica De Ambato, p. 35.

[19] P. I. Frank y P. D. W. David , de Fundamentos de la transmicion de calor 4ta edicion, Mexico, Person Education , 1999, p. 827.

[20] J. B. CALVIÑO, D. N. CORBO y T. F. SCARPAT, de INSTALACIONES INDUTRIALES, LUMINOTECNIA, 2007, p. 33.

[21] C. A. d. Perú, «Cereales Andinos del Perú,» 19 06 2014. [En línea]. Available: https://cereales-andinos-peru.blogspot.com/. [Último acceso: 25 11 2017].

[22] WIKIPEDIA, «Wikipedia inciclopedia libre,» 19 01 2017. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano. [Último acceso: 25 01 2018].

[23] uringenieria, «uringenieria,» 12 10 2016. [En línea]. Available: http://www.uringenieria.com.mx/espuma-de-poliuretano.html. [Último acceso: 23 11 2017].

[24] E. Solar, «Energia Solar,» 13 04 2017. [En línea]. Available: https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico. [Último acceso: 25 01 2018].

[25] L. Electronic, 15 10 2017. [En línea]. Available: http://luxury-electronic.co/producto/controlador-solar-pwm-carga-bateria-panel-20a-12-24vdc-bsv20/. [Último acceso: 25 01 2018].

[26] T. Mac, «Mactrinica Desarollo Tecnoligico,» 12 10 2017. [En línea]. Available: http://www.mactronica.com.co/termostato-digital-w1209-control-temperatura-75925090xJM. [Último acceso: 25 01 2018].

[27] N. T. F. Electronica Tecnologia y Mas, «NEXTIA FENIX,» 12 09 2016. [En línea]. Available: https://www.nextiafenix.com/producto/control-de-temperatura-digital-xh-w1209/. [Último acceso: 25 01 2018].

[28] G. MOTOR, «MOTORGIGA,» 15 10 2017. [En línea]. Available: https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/ventilador-definicion-significado/gmx-niv15-con195909.htm. [Último acceso: 25 01 2018].

[29] EBAY, «EBAY Compras on line,» Ebay, 15 10 2017. [En línea]. Available: http://www.ebay.es/itm/Ventilador-de-refrigeracion-50X50X10mm-12V-0-12A-3-pines-ordenador-sobremesa-/271705795263. [Último acceso: 25 01 2018].

[30] T. L. BERGMAN, A. S. LAVINE, F. P. INCROPERA y D. P. DEWITT, Fundamentals of heat and mass transfer, vol. seventh edition, 2. 2. b. j. w. &. s. i. a. r. r. Copyright 2011, Ed., 2011, 2007, 2002, p. 995.

[31] E. Torres Tamayo, R. Glano Milhet y E. E. Guzman, «Análisis de la influencia del régimen de temperatura en el secado del mineral lateritico.,» Minería y Geologia Nos 1-2, 2003, Vols. %1 de %21-2, nº 1-2, p. 119, 2003.

[32] C. Osorio, «Procedimiento de frutas y verduras a nivel casero.,» SAGARPA, 2010.

9 ANEXOS

I. ANEXOS

Planos Constructivos Del Deshidratador Solar De Chocho.

II. ANEXOS

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE LA MAQUINA DESHIDRATADORA SOLAR DE GRANOS.

Ilustración II-1 Deshidratador a base de energía solar.

Introducción.

En el presente manual se describe la manera en que puede ser utilizada la maquina deshidratadora de granos alimentada con energía solar implementada en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Se pretende que los operadores conozcan el funcionamiento del equipo de secado para que no incurran en fallas que interrumpan innecesariamente el proceso, degraden aceleradamente la vida del equipo o sufran daños en su persona.

El documento consta de unas especificaciones del secador Así como también se suministra información de las partes del deshidratador y cada uno de sus componentes.

Por último se entregan aspectos que tienen en cuenta las precauciones que se deben tener con el secador, instrucciones para su durabilidad y las de operación del equipo en general.

Descripción

Esta máquina es un deshidratador solar que utiliza la radiación solar como fuente de energía para disminuir la humedad del producto o material a secar.

Tipo de deshidratador

Deshidratador solar indirecto

Energía utilizada para su funcionamiento

Buen nivel de energía solar y flujo de aire.

Componentes

1. Colector
2. Cámara de secado
3. Sistema de control del proceso (panel solar, controlador, microcontroladores y visualizadores)

Fabricante

Equipo de trabajo previo a la obtención del título de ingenieros electromecánicos

Fecha de implementación

15 de mayo del 2018

Especificaciones:

Las especificaciones del secador comprenden varios aspectos tales como:

- ✓ Área del colector $2m^2$
- ✓ Área de la cámara
- ✓ Capacidad de secado 8 kg

Principio de funcionamiento

En el secador solar modelo "indirecto" el calor se transmite principalmente por el movimiento del aire caliente (convección); en este tipo de instalación la radiación solar es captada por colector y mediante un flujo de aire forzado o natural, pasa por la cámara arrastrando la humedad del producto hacia la superficie produciendo su secado.

Secador 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. Este secador es esencialmente un secador por convección forzada, en que el sol actúa de fuente energética.

Equipo de secado.

Los tres elementos básicos de equipo de secado solar son: el colector donde captamos la energía solar, sistema de control para controlar la temperatura y el flujo de aire y la cámara de secado, donde el aire que pasa remueve la humedad del producto.

Tipo de Circulación.

El aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación se logra por circulación forzada.

Circulación forzada:

El aire es movido por un ventilador que consume energía eléctrica. Este tipo de circulación facilita el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se tienen velocidades de circulación de aire de 2 m/s .La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica.

El uso de secadores con aire caliente y forzado acelera y controla el proceso de secado. Los productos (granos, frutas, hojas) se secan adecuadamente con este tipo de secadores. Las temperaturas recomendadas son en el intervalo de 20 a 30ºC.

Manual de operación de secador solar

Objetivos.

- ✓ Permitir operar la máquina de manera correcta y segura.
- ✓ Reducir el número de interrupciones en el proceso de secado por fallas debidas a una mala operación.
- ✓ Dar las habilidades para que la maquina trabaje de manera eficiente.
- ✓ Disminuir las acciones inseguras que pueden propiciar accidentes.

Operación del secador solar.

Procedimiento para el uso

1. Antes de encender la maquina se debe verificar cada uno de los elementos del sistema de control estén correctamente conectados para su funcionamiento.
2. Limpiar cada bandeja, la parte interna de la cámara, el vidrio del colector y el panel solar para remover la suciedad presente.
3. Pesar las bandejas con y sin producto (frutas, granos, hojas) para conocer la cantidad que se deshidratara por bandeja.
4. Encender la máquina y establecer en los controladores las condiciones de temperatura para la circulación de aire mediante los ventiladores y la temperatura de la cámara.
5. Esperar 15 minutos para estabilizar las condiciones dentro del equipo.
6. Introducir las bandejas con el producto a secar.
7. Dejar las bandejas dentro del equipo por 7 horas.
8. Retirar las bandejas del deshidratador.
9. Retirar el producto de las bandejas.
10. Pesar la cantidad de producto deshidratado para cada bandeja.

Recomendaciones:

1. Realizar una limpieza adecuada de cada bandeja, antes de comenzar a operar.
2. Verificar constantemente las lecturas del controlador para la corrección de temperatura de ser necesario.
3. Tener precaución al finalizar el proceso y retirar las bandejas, debido a que estas se encuentran a una alta temperatura.

MANTENIMIENTO DEL DESHIDRATADOR SOLAR

Mantenimiento preventivo

Rutina Diaria

1. Limpiar el vidrio de la parte del colector
2. Limpiar el panel fotovoltaico que es encuentra en la parte superior de la cámara de secado.
3. Limpiar la parte interna de la cámara de secado.

Rutina Periódica (cada de seis meses)

1. Realice una limpieza general del equipo, para eliminar posibles impurezas dentro del colector y en la maquina en su totalidad, esto realice desmontando la malla que se encuentra en la parte superior e inferior del colector.
2. Limpiar los bornes de la batería para evitar la acumulación de sarro, para realizar esta maniobra destornille los pines de los bornes de la batería.
3. Realizar una visualización y ajuste de los tornillos de cada uno de los componentes electrónicos, además revisar cada una de las conexiones eléctricas que se encuentran dentro de la caja eléctrica.

III. ANEXOS

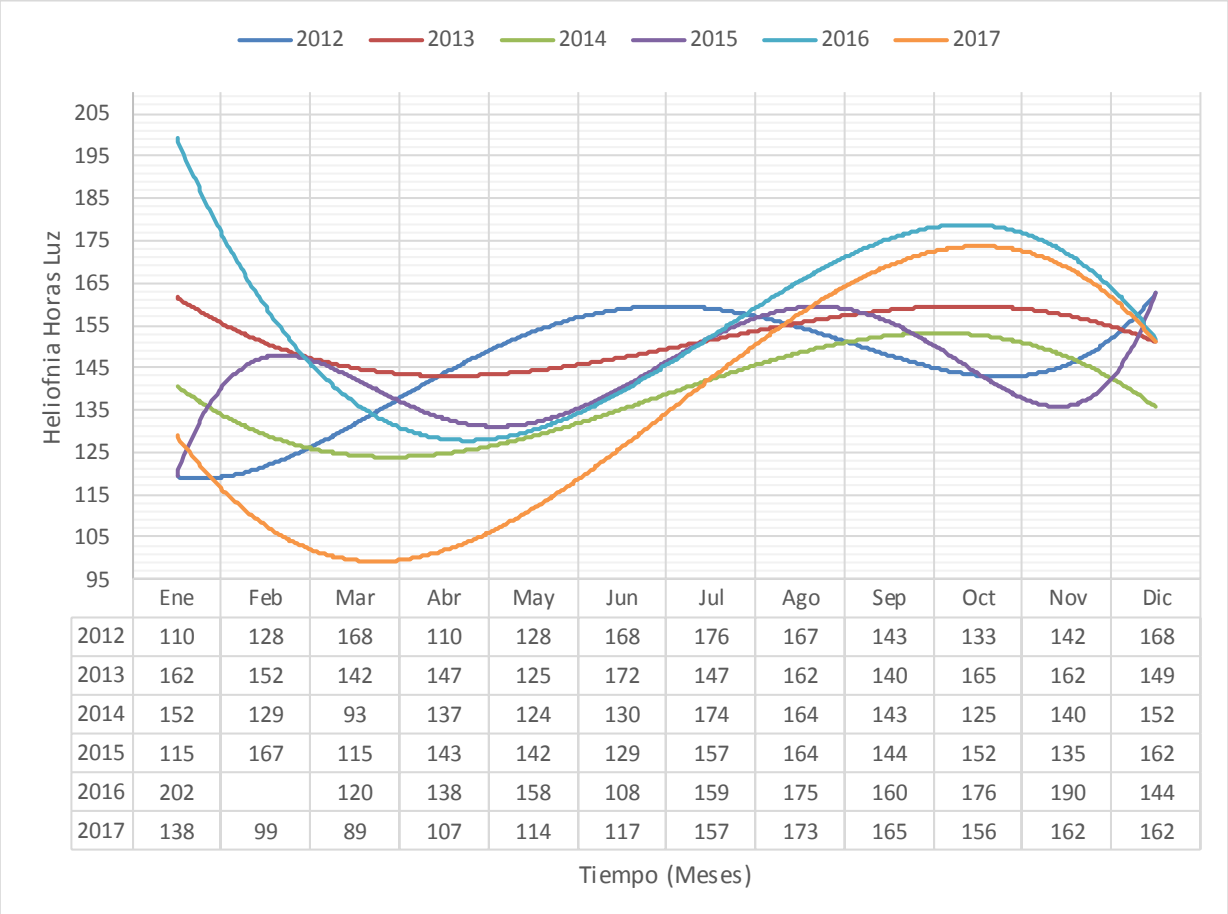
ESTACIÓN CLIMÁTICA DE CEASA-SALACHE-UTC

Período 2012-2017

Tabla III-1 Datos De Heliofanía Horas Luz

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL	Media
2012				110,3	128,2	168,0	176,1	166,6	142,6	133,1	142,3	167,5	**1334,70**	**111,23**
2013	162,4	151,7	142,1	147,0	124,6	171,9	147,4	162,4	139,7	165,0	162,0	149,3	**1825,50**	**152,13**
2014	152,2	128,6	93,1	137,0	123,5	129,8	173,9	164,0	142,9	124,7	140,2	151,8	**1661,70**	**138,48**
2015	114,9	166,6	115,4	142,6	142,1	129,1	156,9	163,6	143,8	151,8	134,7	162,1	**1723,60**	**143,63**
2016	202,0		119,5	137,6	158,4	108,0	159,3	174,9	159,5	176,4	189,8	143,8	**1729,20**	**144,10**
2017	138,4	99,1	88,5	106,8	113,6	117,4	156,6	173,0	164,5	156,3	162,0	162,0	**1638,20**	**136,52**
Total	**769,9**	**546,0**	**558,6**	**781,3**	**790,4**	**824,2**	**970,2**	**1004,5**	**893,0**	**907,3**	**931,0**	**936,5**		
Media	**128,3**	**91,0**	**93,1**	**130,2**	**131,7**	**137,3**	**161,7**	**167,4**	**148,8**	**151,2**	**155,1**	**156,0**		

Nota: Tabla de Heliofanía horas luz desde al año 2012 al 2017 utilizado como estudios precedentes para realizar el presente proyecto de innovación tecnológica.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	110	128	168	110	128	168	176	167	143	133	142	168
2013	162	152	142	147	125	172	147	162	140	165	162	149
2014	152	129	93	137	124	130	174	164	143	125	140	152
2015	115	167	115	143	142	129	157	164	144	152	135	162
2016	202		120	138	158	108	159	175	160	176	190	144
2017	138	99	89	107	114	117	157	173	165	156	162	162

Ilustración III-1 Datos De Heliofanía Horas Luz desde el año 2012 al 2017.

IV. ANEXO

CLIMATE-DATA.ORG

Temperatura De La Ciudad De Latacunga 2017

Tabla IV-1 Temperatura ambiente 2017

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media
T min. (°C)	8,0	7,5	8,2	8,4	8,2	7,5	7,2	6,6	6,9	7,3	7,3	7,6	90,7	7,6
T máx. (°C)	20,0	19,8	19,1	19,1	19,0	18,1	18,0	18,3	19,0	19,9	20,5	20,1	230,9	19,2
T media (°C)	14,0	13,6	13,6	13,7	13,6	12,8	12,6	12,4	12,9	13,6	13,9	13,8	160,5	13,4

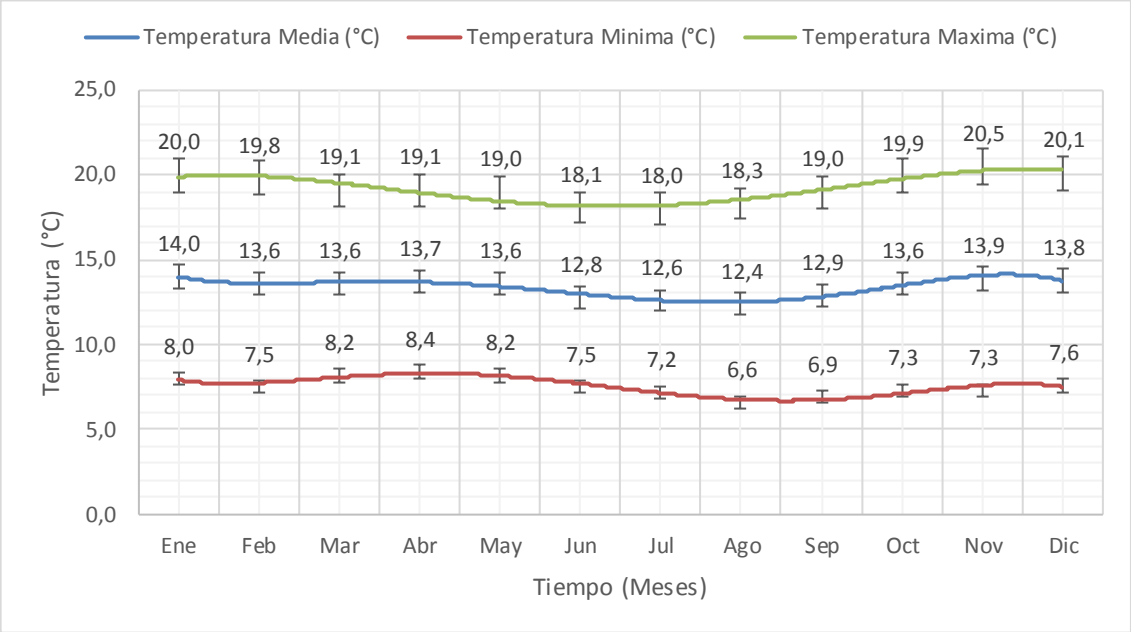


Ilustración IV-1 Datos de estudios precedentes de temperatura ambiente en °C del año 2017, representando temperatura máx., temperatura min y la temperatura promedio.

CLIMATE-DATA.ORG

Temperatura De La Ciudad De Latacunga 2017

Tabla IV-2 Temperatura ambiente 2017

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media
T media (°F)	57,2	56,5	56,5	56,7	56,5	55,0	54,7	54,3	55,2	56,5	57,0	56,8	672,9	56,1
T min. (°F)	46,4	45,5	46,8	47,1	46,8	45,5	45,0	43,9	44,4	45,1	45,1	45,7	547,3	45,6
T máx. (°F)	68,0	67,6	66,4	66,4	66,2	64,6	64,4	64,9	66,2	67,8	68,9	68,2	799,6	66,6
Precipitación (mm)	33,0	55,0	61,0	70,0	42,0	30,0	18,0	17,0	31,0	59,0	56,0	43,0	515,0	42,9

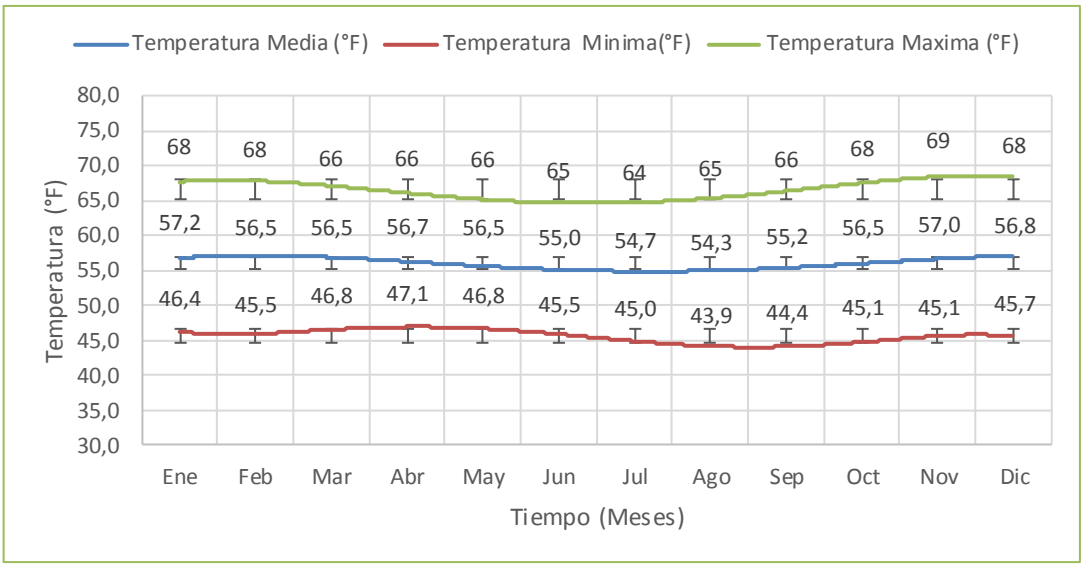


Ilustración IV-2 Datos de estudios precedentes de temperatura ambiente en °F del año 2017, representando temperatura máx., temperatura min y la temperatura promedio.

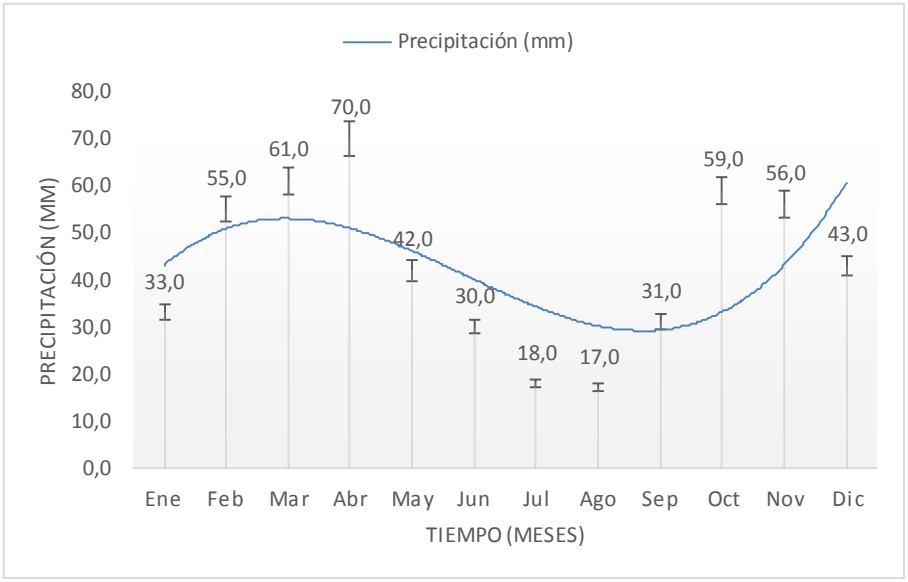


Ilustración IV-3 Datos de la Precipitación del año 2017.

V. ANEXO

Tabla V-1 Velocidad del viento en la ciudad de Latacunga INAMHI 2014

Velocidad del viento en la ciudad de Latacunga INAMHI 2014													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Velocidad (Km/H)	3,9	0	5,8	3,7	5,6	6	7	6,1	5,8	4,6	3,9	5,2	4,76

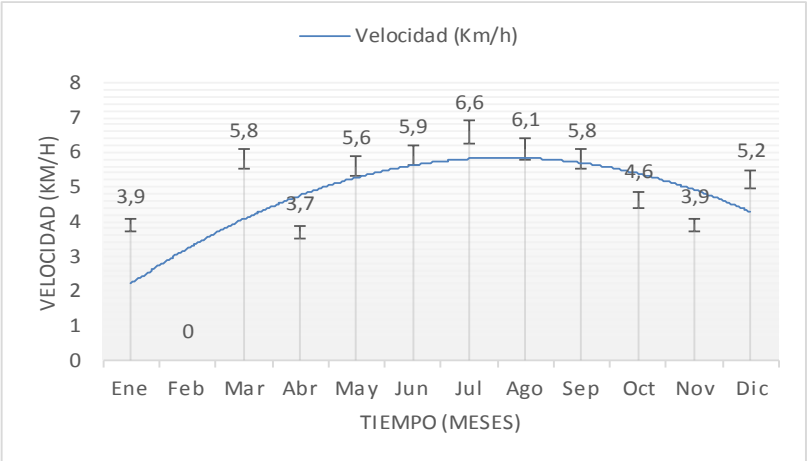


Ilustración V-1 Velocidad media km/h del año 2017.

VI. ANEXO

Tabla VI-1 Humedad relativa % INAMHI 2014

Humedad Relativa % INAMHI 2014													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
% Humedad	86	0	84	84	84	82	81	82	83	82	86	80	0,76

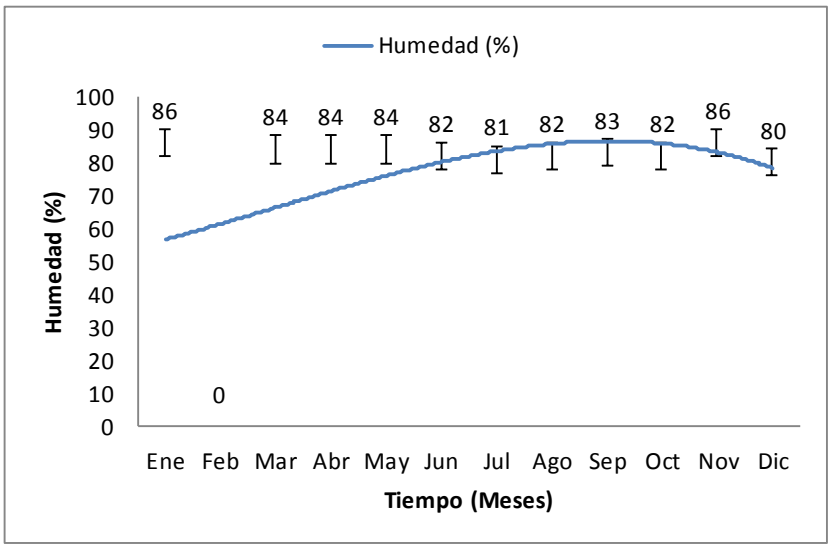


Ilustración VI-1 % Humedad en la ciudad de Latacunga año 2017.

VII. ANEXO

Tabla VII-1 Punto De Roció De La Ciudad D Latacunga INAMHI (°C) 2014

Punto De Rocio INAMHI (°C) 2014													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Punto de rocio °C	12	0	0	12	10	10	10	10	10	11	12	11	9

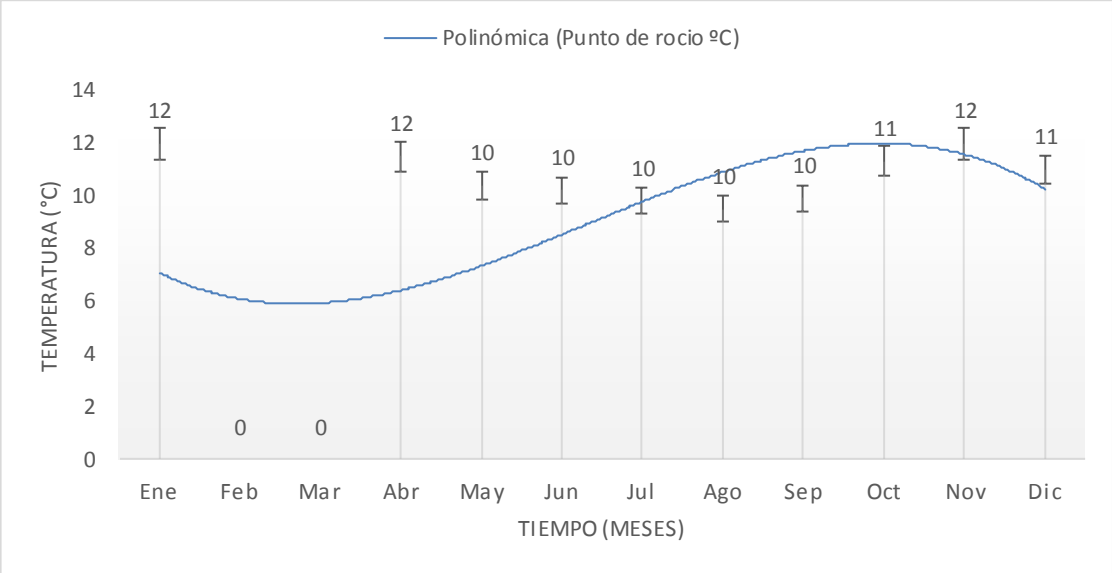


Ilustración VII-1 Punto De Roció De La Ciudad De Latacunga INAMHI 2014

VIII. ANEXO

DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

PLANCHAS
ACERO INOXIDABLE

Norma: AISI 304

Especificaciones Generales

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA		
	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

ESPESORES	desde 0.40-15mm
DIMENSIONES	1220 x 2440mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

ACERO INOXIDABLE

Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm^2	Psi	Kg/mm^2	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

Ilustración VIII-1 Especificaciones técnicas de Acero Inoxidable 304.

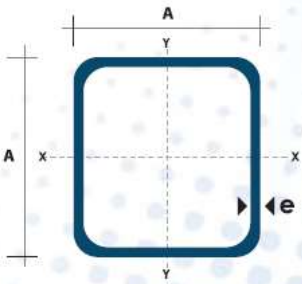
DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6.00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20.00 mm a 100.00 mm
Espesor	Desde 1.20 mm a 5.00 mm

TUBERÍA



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	i cm3
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Ilustración VIII-2 Especificaciones técnicas del tubo negro de 1 ¼ * 1 ¼

Ilustración VIII-3 Especificaciones técnicas del Acero galvanizado.

En el mercado del acero comercial existen fundamentalmente 3 grados, identificados como "GNN", donde la "G" significa grado y la "NN" equivale a las onzas por pie cuadrado de revestimiento.

- ✓ G60: Es el estándar, el más común, son todos los galvanizados que tienen una capa de 0.026mm de espesor de recubrimiento de zinc o 180 gramos por m2.
- ✓ G90: SE maneja como opcional y son aquellos materiales que tienen una capa de 0.038 mm de espesor de recubrimiento de zinc o 275 gramos por m2.
- ✓ Especiales: Son aquellos que requieren un nivel especifico de capa y aleación, generalmente se fabrican según la especificación técnica solicitada por el área usuaria.

IX. ANEXO

Tabla IX-1 Granulometría ± 12

Granulometria ± 12			Granulometria ± 12			Granulometria ± 12			Granulometria ± 12		
Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humeda	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad
0	2	69%	430	1,488	44%	850	1,1768	28%	1270	0,737	6%
10	1,9879	69%	440	1,48	43%	860	1,1694	28%	1280	0,734	6%
20	1,9759	68%	450	1,473	43%	870	1,162	27%	1290	0,731	6%
30	1,9639	67%	460	1,465	43%	880	1,1546	27%	1300	0,728	6%
40	1,9519	67%	470	1,458	42%	890	1,1472	27%	1310	0,725	6%
50	1,9399	66%	480	1,451	42%	900	1,1398	26%	1320	0,722	5%
60	1,9279	66%	490	1,443	41%	910	1,1324	26%	1330	0,719	5%
70	1,9159	65%	500	1,436	41%	920	1,125	26%	1340	0,716	5%
80	1,9039	64%	510	1,428	41%	930	1,1176	25%	1350	0,713	5%
90	1,8919	64%	520	1,421	40%	940	1,1102	25%	1360	0,71	5%
100	1,8799	63%	530	1,414	40%	950	1,1028	24%	1370	0,707	5%
110	1,8679	63%	540	1,406	40%	960	1,0954	24%	1380	0,704	4%
120	1,8559	62%	550	1,399	39%	970	1,088	24%	1390	0,701	4%
130	1,8439	61%	560	1,391	39%	980	1,0806	23%	1400	0,698	4%
140	1,8319	61%	570	1,384	38%	990	1,0732	23%	1410	0,695	4%
150	1,8199	60%	580	1,377	38%	1000	1,0658	23%	1420	0,692	4%
160	1,8079	60%	590	1,369	38%	1010	1,0584	22%	1430	0,689	4%
170	1,7959	59%	600	1,362	37%	1020	1,051	22%	1440	0,686	4%
180	1,7839	58%	610	1,354	37%	1030	1,0436	21%	1450	0,683	3%
190	1,7719	58%	620	1,347	37%	1040	1,0362	21%	1460	0,68	3%
200	1,7599	57%	630	1,34	36%	1050	1,0288	21%	1470	0,677	3%
210	1,7479	57%	640	1,332	36%	1060	1,0214	20%	1480	0,674	3%
220	1,7359	56%	650	1,325	35%	1070	1,014	20%	1490	0,671	3%
230	1,7239	55%	660	1,317	35%	1080	1,0066	20%	1500	0,668	3%
240	1,7119	55%	670	1,31	35%	1090	0,9992	19%	1510	0,665	3%
250	1,6999	54%	680	1,303	34%	1100	0,9918	19%	1520	0,662	2%
260	1,6879	54%	690	1,295	34%	1110	0,9844	18%	1530	0,659	2%
270	1,6759	53%	700	1,288	34%	1120	0,977	18%	1540	0,656	2%
280	1,6639	52%	710	1,28	33%	1130	0,9696	18%	1550	0,653	2%
290	1,6519	52%	720	1,273	33%	1140	0,9622	17%	1560	0,65	2%
300	1,6399	51%	730	1,266	33%	1150	0,9548	17%	1570	0,647	2%
310	1,6279	51%	740	1,258	32%	1160	0,9474	17%	1580	0,644	1%
320	1,6159	50%	750	1,251	32%	1170	0,94	16%	1590	0,641	1%
330	1,6039	49%	760	1,243	31%	1180	0,9326	16%	1600	0,638	1%
340	1,5919	49%	770	1,236	31%	1190	0,9252	16%	1610	0,635	1%
350	1,5799	48%	780	1,229	31%	1200	0,9178	15%	1620	0,632	1%
360	1,5679	48%	790	1,221	30%	1210	0,9104	15%	1630	0,629	1%
370	1,5559	47%	800	1,214	30%	1220	0,903	14%	1640	0,626	1%
380	1,5439	46%	810	1,206	30%	1230	0,8956	14%	1650	0,623	0,40%
390	1,5319	46%	820	1,199	29%	1240	0,8882	14%	1660	0,62	0,25%
400	1,5199	45%	830	1,192	29%	1250	0,8808	13%	1670	0,617	0,10%
410	1,5079	45%	840	1,184	28%	1260	0,74	6%	1680	0,615	0,00%
420	1,495	44%									

Nota: En la anterior tabla podemos observar las variables implicadas, para obtener el porcentaje de Humedad adecuada para una granulometría de ± 12 mm de diámetro.

Tabla IX-2 Granulometría ± 14

Granulometria ± 14			Granulometria ± 14			Granulometria ± 14			Granulometria ± 14		
Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad
0	2,00	71%	430	1,00	21%	850	0,86	14%	1270	0,69	5%
10	1,98	69%	440	1,00	20%	860	0,86	13%	1280	0,69	5%
20	1,95	68%	450	1,00	20%	870	0,85	13%	1290	0,68	5%
30	1,93	67%	460	0,99	20%	880	0,85	13%	1300	0,68	5%
40	1,91	66%	470	0,99	20%	890	0,84	13%	1310	0,68	4%
50	1,89	65%	480	0,98	20%	900	0,84	13%	1320	0,68	4%
60	1,86	64%	490	0,98	20%	910	0,84	12%	1330	0,67	4%
70	1,84	63%	500	0,98	19%	920	0,83	12%	1340	0,67	4%
80	1,82	61%	510	0,98	19%	930	0,83	12%	1350	0,67	4%
90	1,80	60%	520	0,97	19%	940	0,82	12%	1360	0,67	4%
100	1,77	59%	530	0,97	19%	950	0,82	11%	1370	0,66	4%
110	1,75	58%	540	0,97	19%	960	0,82	11%	1380	0,66	4%
120	1,73	57%	550	0,96	19%	970	0,81	11%	1390	0,66	3%
130	1,71	56%	560	0,96	18%	980	0,81	11%	1400	0,66	3%
140	1,68	55%	570	0,96	18%	990	0,80	11%	1410	0,65	3%
150	1,66	54%	580	0,95	18%	1000	0,80	10%	1420	0,65	3%
160	1,64	52%	590	0,95	18%	1010	0,79	10%	1430	0,65	3%
170	1,62	51%	600	0,95	18%	1020	0,79	10%	1440	0,65	3%
180	1,59	50%	610	0,94	18%	1030	0,79	10%	1450	0,64	3%
190	1,57	49%	620	0,94	17%	1040	0,78	10%	1460	0,64	3%
200	1,55	48%	630	0,94	17%	1050	0,78	9%	1470	0,64	2%
210	1,53	47%	640	0,93	17%	1060	0,77	9%	1480	0,64	2%
220	1,50	46%	650	0,93	17%	1070	0,77	9%	1490	0,63	2%
230	1,48	44%	660	0,93	17%	1080	0,77	9%	1500	0,63	2%
240	1,46	43%	670	0,92	17%	1090	0,76	9%	1510	0,63	2%
250	1,43	42%	680	0,92	16%	1100	0,76	8%	1520	0,63	2%
260	1,41	41%	690	0,92	16%	1110	0,75	8%	1530	0,63	2%
270	1,39	40%	700	0,91	16%	1120	0,75	8%	1540	0,62	2%
280	1,37	39%	710	0,91	16%	1130	0,74	8%	1550	0,62	2%
290	1,34	38%	720	0,91	16%	1140	0,74	8%	1560	0,62	1%
300	1,32	37%	730	0,90	16%	1150	0,74	7%	1570	0,62	1%
310	1,30	35%	740	0,90	15%	1160	0,73	7%	1580	0,61	1%
320	1,28	34%	750	0,90	15%	1170	0,73	7%	1590	0,61	1%
330	1,25	33%	760	0,89	15%	1180	0,72	7%	1600	0,61	1%
340	1,23	32%	770	0,89	15%	1190	0,72	6%	1610	0,61	1%
350	1,21	31%	780	0,89	15%	1200	0,72	6%	1620	0,60	1%
360	1,19	30%	790	0,88	15%	1210	0,71	6%	1630	0,60	1%
370	1,16	29%	800	0,88	14%	1220	0,71	6%	1640	0,60	0,44%
380	1,14	28%	810	0,88	14%	1230	0,70	6%	1650	0,60	0,32%
390	1,12	26%	820	0,87	14%	1240	0,70	5%	1660	0,59	0,20%
400	1,10	25%	830	0,87	14%	1250	0,69	5%	1670	0,59	0,08%
410	1,07	24%	840	0,87	14%	1260	0,69	5%	1680	0,59	0,00%
420	1,01	21%									

Nota: En la anterior tabla podemos observar las variables implicadas, para obtener el porcentaje de Humedad adecuada para una granulometría de ± 14 mm de diámetro.

Tabla IX-3 Granulometría ± 16**.**

Granulometria ± 16			Granulometria ± 16			Granulometria ± 16			Granulometria ± 16		
Tiempo (min)	Peso (kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (kg)	% Humedad
0	2	71%	430	1,2540	34%	850	1,0041	21%	1270	0,7605	9%
10	1,9823	70%	440	1,2480	33%	860	0,9983	21%	1280	0,7561	9%
20	1,9647	69%	450	1,2420	33%	870	0,9925	21%	1290	0,7517	9%
30	1,9471	68%	460	1,2360	33%	880	0,9867	20%	1300	0,7473	8%
40	1,9295	67%	470	1,2300	33%	890	0,9809	20%	1310	0,7429	8%
50	1,9119	67%	480	1,2240	32%	900	0,9751	20%	1320	0,7385	8%
60	1,8943	66%	490	1,2180	32%	910	0,9693	19%	1330	0,7341	8%
70	1,8767	65%	500	1,2120	32%	920	0,9635	19%	1340	0,7297	7%
80	1,8591	64%	510	1,2060	31%	930	0,9577	19%	1350	0,7253	7%
90	1,8415	63%	520	1,2000	31%	940	0,9519	19%	1360	0,7209	7%
100	1,8239	62%	530	1,1940	31%	950	0,9461	18%	1370	0,7165	7%
110	1,8063	61%	540	1,1880	30%	960	0,9403	18%	1380	0,7121	7%
120	1,7887	60%	550	1,1820	30%	970	0,9345	18%	1390	0,7077	6%
130	1,7711	60%	560	1,1760	30%	980	0,9287	17%	1400	0,7033	6%
140	1,7535	59%	570	1,1700	30%	990	0,9229	17%	1410	0,6989	6%
150	1,7359	58%	580	1,1640	29%	1000	0,9171	17%	1420	0,6945	6%
160	1,7183	57%	590	1,1580	29%	1010	0,9113	17%	1430	0,6901	6%
170	1,7007	56%	600	1,1520	29%	1020	0,9055	16%	1440	0,6857	5%
180	1,6831	55%	610	1,1460	28%	1030	0,8997	16%	1450	0,6813	5%
190	1,6655	54%	620	1,1400	28%	1040	0,8939	16%	1460	0,6769	5%
200	1,6479	53%	630	1,1340	28%	1050	0,8881	15%	1470	0,6725	5%
210	1,6303	53%	640	1,1280	27%	1060	0,8823	15%	1480	0,6681	4%
220	1,6127	52%	650	1,1220	27%	1070	0,8765	15%	1490	0,6637	4%
230	1,5951	51%	660	1,1160	27%	1080	0,8707	15%	1500	0,6593	4%
240	1,5775	50%	670	1,1100	27%	1090	0,8649	14%	1510	0,6549	4%
250	1,5599	49%	680	1,1040	26%	1100	0,8591	14%	1520	0,6505	4%
260	1,5423	48%	690	1,0980	26%	1110	0,8533	14%	1530	0,6461	3%
270	1,5247	47%	700	1,0920	26%	1120	0,8475	13%	1540	0,6417	3%
280	1,5071	46%	710	1,0860	25%	1130	0,8417	13%	1550	0,6373	3%
290	1,4895	45%	720	1,0800	25%	1140	0,8359	13%	1560	0,6329	3%
300	1,4719	45%	730	1,0740	25%	1150	0,8301	13%	1570	0,6285	2%
310	1,4543	44%	740	1,0680	24%	1160	0,8243	12%	1580	0,6241	2%
320	1,4367	43%	750	1,0620	24%	1170	0,8185	12%	1590	0,6197	2%
330	1,4191	42%	760	1,0560	24%	1180	0,8127	12%	1600	0,6153	2%
340	1,4015	41%	770	1,0500	24%	1190	0,8069	11%	1610	0,6109	2%
350	1,3839	40%	780	1,0440	23%	1200	0,8011	11%	1620	0,6065	1%
360	1,3663	39%	790	1,0380	23%	1210	0,7953	11%	1630	0,6021	1%
370	1,3487	38%	800	1,0320	23%	1220	0,7895	10%	1640	0,5977	1%
380	1,3311	38%	810	1,0260	22%	1230	0,7837	10%	1650	0,5933	1%
390	1,3135	37%	820	1,0200	22%	1240	0,7779	10%	1660	0,5889	0,4%
400	1,2959	36%	830	1,0140	22%	1250	0,7721	10%	1670	0,5845	0,2%
410	1,2783	35%	840	1,010	22%	1260	0,765	9%	1680	0,580	0,0%
420	1,260	34%									

Nota: En la anterior tabla podemos observar las variables implicadas, para obtener el porcentaje de Humedad adecuada para una granulometría de ± 16 mm de diámetro.

Tabla IX-4 Granulometría Variable de ±12; ±14; ±16.

Granulometria Variable ±12 ±14 ±16			Granulometria Variable ±12 ±14 ±16			Granulometria Variable ±12 ±14 ±16			Granulometria Variable ±12 ±14 ±16		
Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad	Tiempo (min)	Peso (Kg)	% Humedad
0	2,00	70%	430	1,25	33%	850	1,01	21%	1270	0,73	7%
10	1,98	70%	440	1,24	33%	860	1,01	21%	1280	0,73	7%
20	1,97	69%	450	1,24	32%	870	1,00	21%	1290	0,72	7%
30	1,95	68%	460	1,23	32%	880	1,00	20%	1300	0,72	6%
40	1,93	67%	470	1,23	32%	890	0,99	20%	1310	0,72	6%
50	1,91	66%	480	1,22	31%	900	0,98	20%	1320	0,71	6%
60	1,90	65%	490	1,21	31%	910	0,98	19%	1330	0,71	6%
70	1,88	64%	500	1,21	31%	920	0,97	19%	1340	0,71	6%
80	1,86	63%	510	1,20	31%	930	0,97	19%	1350	0,70	6%
90	1,84	63%	520	1,20	30%	940	0,96	19%	1360	0,70	5%
100	1,83	62%	530	1,19	30%	950	0,96	18%	1370	0,70	5%
110	1,81	61%	540	1,19	30%	960	0,95	18%	1380	0,69	5%
120	1,79	60%	550	1,18	29%	970	0,94	18%	1390	0,69	5%
130	1,77	59%	560	1,18	29%	980	0,94	17%	1400	0,69	5%
140	1,76	58%	570	1,17	29%	990	0,93	17%	1410	0,68	5%
150	1,74	57%	580	1,16	29%	1000	0,93	17%	1420	0,68	4%
160	1,72	56%	590	1,16	28%	1010	0,92	16%	1430	0,68	4%
170	1,70	56%	600	1,15	28%	1020	0,92	16%	1440	0,67	4%
180	1,69	55%	610	1,15	28%	1030	0,91	16%	1450	0,67	4%
190	1,67	54%	620	1,14	28%	1040	0,90	16%	1460	0,67	4%
200	1,65	53%	630	1,14	27%	1050	0,90	15%	1470	0,66	4%
210	1,63	52%	640	1,13	27%	1060	0,89	15%	1480	0,66	3%
220	1,62	51%	650	1,13	27%	1070	0,89	15%	1490	0,66	3%
230	1,60	50%	660	1,12	26%	1080	0,88	14%	1500	0,65	3%
240	1,58	50%	670	1,11	26%	1090	0,88	14%	1510	0,65	3%
250	1,56	49%	680	1,11	26%	1100	0,87	14%	1520	0,65	3%
260	1,55	48%	690	1,10	26%	1110	0,86	14%	1530	0,64	3%
270	1,53	47%	700	1,10	25%	1120	0,86	13%	1540	0,64	2%
280	1,51	46%	710	1,09	25%	1130	0,85	13%	1550	0,64	2%
290	1,50	45%	720	1,09	25%	1140	0,85	13%	1560	0,63	2%
300	1,48	44%	730	1,08	24%	1150	0,84	12%	1570	0,63	2%
310	1,46	43%	740	1,07	24%	1160	0,83	12%	1580	0,63	2%
320	1,44	43%	750	1,07	24%	1170	0,83	12%	1590	0,62	2%
330	1,43	42%	760	1,06	24%	1180	0,82	12%	1600	0,62	1%
340	1,41	41%	770	1,06	23%	1190	0,82	11%	1610	0,62	1%
350	1,39	40%	780	1,05	23%	1200	0,81	11%	1620	0,61	1%
360	1,37	39%	790	1,05	23%	1210	0,81	11%	1630	0,61	1%
370	1,36	38%	800	1,04	22%	1220	0,80	10%	1640	0,61	1%
380	1,34	37%	810	1,04	22%	1230	0,79	10%	1650	0,60	1%
390	1,32	36%	820	1,03	22%	1240	0,79	10%	1660	0,60	0,5%
400	1,30	36%	830	1,02	22%	1250	0,78	10%	1670	0,60	0,3%
410	1,29	35%	840	1,02	21%	1260	0,73	7%	1680	0,60	0,2%
420	1,25	33%									

Nota: En la anterior tabla podemos observar las variables implicadas, para obtener el porcentaje de Humedad adecuada para una granulometría variable de ± 12; ± 14 y ± 16 mm de diámetro.