



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE GRAMÍNEAS MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES SOLARES”**

Autor:

Katherine Adriana Ochoa García

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Milton Iván Villafuerte López. MS.c

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Katherine Adriana Ochoa García**, declaro que el trabajo aquí descrito, así como los criterios emitidos es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Katherine Adriana Ochoa García

C.C.# 1205346099



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Milton Iván Villafuerte López. Msc**; Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Katherine Adriana Ochoa García, realizó el proyecto de investigación de grado titulado: “**Diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares**”, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica; bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Milton Iván Villafuerte López. Msc
Director de Proyecto de Investigación:



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

ING.IVAN VILLAFUERTE, MS.c. En calidad de director de Proyecto de Investigación titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE GRAMÍNEAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES SOLARES**”. Me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Directivo de Facultad lo siguiente:

Que, el estudiante **KATHERINE ADRIANA OCHOA GARCIA** egresados de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, han cumplido con las correcciones pertinentes, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 5%.

Documento	TESIS OCHOA ADRIANA.docx (D99354833)
Presentado	2021-03-23 09:46 (-05:00)
Presentado por	Milton Villafuerte (mvillafuerte@uteq.edu.ec)
Recibido	mvillafuerte.uteq@analysis.arkund.com
Mensaje	Revisión Mostrar el mensaje completo
	5% de estas 40 páginas, se componen de texto presente en 19 fuentes.

Ing. Villafuerte López Milton Ivan MS.c.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE GRAMÍNEAS MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES SOLARES”**

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

Ing. Jose David Barros Enriquez, M.Sc.
Presidente del tribunal

Ing. Diego Javier Punina Guerrero, M.Sc.
Miembro del tribunal

Ing. Edwin Raúl Grijalva Campana, PhD.
Miembro del tribunal

QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir terminar con éxito mi carrera universitaria.

A mi madre que gracias a su sacrificio y abnegación me apoyo incondicionalmente para culminar la carrera universitaria pese a todos los contratiempos y adversidades.

A mis hermanos que estuvieron todos estos años a mi lado los cuales me incitaban a que debían tener un ejemplo a seguir.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica y a todos y cada uno de los docentes que estuvieron presentes y aportaron con sus conocimientos y contribuyeron en la buena formación recibida durante tiempo de estudio.

Katherine Adriana Ochoa Garcia

DEDICATORIA

Este Proyecto de Investigación se lo dedico a mi Querida Madre Miryam Garcia Vines que gracias a su amor y apoyo incondicional, consejos, buenas enseñanzas y excelentes valores que me formo como persona y a todos sus esfuerzos para que yo pueda cumplir con la meta de ser una Ingeniera Mecánica.

Katherine Adriana Ochoa García

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación se enfoca en el diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares donde un número considerable de los agricultores carecen de conocimientos acerca de los beneficios de las energías renovables, por ello con este proyecto se pretende llegar a cada sector con los conocimientos adquiridos en la institución para poder mejorar la calidad y producción de los granos en el sector agrícola, se tiene como objetivo diseñar la cámara de secado de modo analítico, validando con análisis por fluidos, térmico y por el método de elementos finitos; por lo que el propósito de este proyecto es realizar un sistema solar térmico óptimo para el secado de gramíneas y la contribución al desarrollo sostenible y sustentable en los sectores agrícolas, donde su principal combustible sea de tipo limpio, el cual se fundamenta bajo criterios de conceptualización y marco referencial, en tanto que la metodología se ubica la localización, así como los tipos y métodos de investigación; obteniendo resultados claros bajo parámetros de dimensionamiento para el cacao, arroz y maíz, seleccionando un método de secado tipo artificial, con un tipo de secador discontinuo, teniendo en claro que el alimentador de energía sería solar; dando un diseño óptimo donde se dimensiona a la bandeja de 2000x1000x56 con un espesor de 2 mm, dimensionamiento interior de la cámara de secado es de 2000 x 1127 x 1886 mm, determinando que las pérdidas de calor totales es de hasta 1,45 kW, bajo una eficiencia de hasta $n = 48\%$, indicando finalmente el costo total de la máquina secadora en caso que se requiera construir.

Palabras claves: Secador de gramíneas, energías renovables, método de secado, cámara de secado, pérdidas de calor.

ABSTRACT

The research project focuses on the design and simulation of a grass dryer, the implementation of solar collectors through which many of the farmers lack knowledge about the benefits of renewable energies, so this project aims to reach each sector with the knowledge acquired in the institution to be able to improve the quality and production of grains in the agricultural sector, so the objective is to design the drying chamber in an analytical way, validating with fluid, thermal analysis and by the method of finite elements; Therefore, the purpose of this project is to create an optimal solar thermal system for the drying of grasses and the contribution to sustainable and sustainable development in the agricultural sectors, where its main fuel is clean, for which it is based on criteria of conceptualization and referential framework, so much so that the methodology is located in the location, as well as the types and methods of research; obtaining clear results under sizing parameters for cocoa, rice and corn, selecting an artificial drying method, with a type of discontinuous dryer, being clear that the energy feeder would be solar; giving an optimal design where the tray of 2000x1000x56 is dimensioned with a thickness of 2 mm, the interior sizing of the drying chamber is 2000 x 1127 x 1886 mm, determining that the total heat losses are up to 1,46 kW, under an efficiency of up to $n = 48 \%$, finally indicating the total cost of the drying machine if construction is required.

Keywords: Grass dryer, renewable energies, drying method, drying chamber, heat losses.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE OINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
APROBACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
ABSTRACT	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxii
CÓDIGO DUBLÍN	xxv
INTRODUCCIÓN.....	xxvi
CAPÍTULO I.....	1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Problemas de investigación.....	2
1.1.1. Planteamiento del problema.	2
1.1.1.1. Diagnóstico.....	2
1.1.1.2. Pronóstico.	3
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.3. Sistematización del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4

1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.	4
1.3. Justificación.....	5
 CAPÍTULO II.....	 7
 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	 7
 2.1. Marco Conceptual.....	 8
2.1.1. Agricultura.....	8
2.1.2. Gramínea.	8
2.1.3. Cacao.	8
2.1.4. Arroz.....	9
2.1.5. Maíz.....	9
 2.2. Marco Conceptual.....	 15
2.2.1. Secado de grano.....	15
2.2.2. Secador de granos.....	16
2.2.3. Tipos de secadores de granos.	18
2.2.4. Secadores solares.....	20
2.2.5. Método de secado.....	21
2.2.5.1. Circulación forzada.....	21
2.2.5.2. Circulación por convección natural.....	22
2.2.6. Clasificación de los secadores solares.....	22
2.2.7. Paneles solares.....	24
2.2.8. Parámetros de paneles solares.	26
2.2.9. Eficiencia de los paneles.....	27
2.2.10. Componentes del secador solar.	28
2.2.11. Baterías solares	29
2.2.11.1. Baterías de ácido-plomo para aplicaciones solares	30
2.2.11.2. Baterías líquidas - electrolito líquido	30
2.2.11.3. Baterías AGM - Absorption Glass Mat	31
2.2.12. Inversor.....	32
2.2.13. Diagrama de los componentes del sistema de secado.....	33
2.2.14. Fenómeno de radiación solar sobre la tierra.....	35

2.2.15.	Radiación incidente sobre la superficie terrestre	38
2.2.16.	Balance radiactivo	41
2.2.17.	Diseño en la Ingeniería Mecánica.	42
2.2.17.1.	Resistencias de calentamientos niquelinas	42
2.2.17.2.	Diseño Mecánico.	43
2.2.17.3.	Etapas del diseño.	44
2.2.17.4.	Método a ensayar.....	44
2.2.18.	Selección de materiales.	45
2.2.18.1.	Tipos de transferencia de calor.	46
CAPÍTULO III		47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		47
3.1.	Localización.....	48
3.2.	Tipo de investigación.	49
3.2.1.	Investigación de campo.	49
3.2.2.	Investigación exploratoria.	49
3.2.3.	Investigación documental.	49
3.3.	Métodos de investigación.	49
3.3.1.	Método inductivo.....	49
3.3.2.	Método Analítico.	49
3.3.3.	Método bibliográfico.	50
3.3.4.	Método histórico.....	50
3.3.5.	Método descriptivo.	50
3.4.	Fuentes de recopilación de información.....	50
3.5.	Diseño de la investigación.....	50
3.5.1.	Diseño no experimental.	50
3.6.	Instrumentos de investigación.	51
3.6.1.	Observación directa.	51
3.7.	Tratamiento de los datos.....	51
3.8.	Recursos humanos y materiales.....	51
3.8.1.	Recursos humanos.	51
3.8.2.	Recursos de materiales.	51
CAPÍTULO IV		52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		52

4.1.	Resultados.....	53
4.2.	Flujo de proceso del diseño	53
4.3.	Parámetros del dimensionamiento.....	54
4.4.	Resultados “Diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares”.....	57
4.4.1.	Selección del modelo de secado.	57
4.4.1.1.	Selección del método de secado.	57
4.4.1.2.	Método ordinal corregido de criterios ponderados del método de secado. ...	57
4.4.1.3.	Definición de los criterios a ponderar.	57
4.4.1.4.	Tabla de criterios del mejor método de secado.	60
4.4.2.	Selección del modelo de secador.....	61
4.4.2.1.	Selección del secador.....	61
4.4.2.2.	Definición de los criterios a ponderar del tipo de secador.	61
4.4.2.3.	Tabla de criterios de los tipos de secadores.....	65
4.4.3.	Selección del alimentador de energía del secador.....	65
4.4.3.1.	Selección del alimentador de energía.	65
4.4.3.2.	Definición de los criterios a ponderar del alimentador de energía.....	66
4.4.3.3.	Tabla de criterios del alimentador de energía.....	72
4.4.4.	Diseño mecánico.....	72
4.4.4.1.	Dimensionamiento de las bandejas.	72
4.4.4.2.	Definición del espesor de la bandeja.	75
4.4.5.	Diseño térmico.....	78
4.4.5.1.	Cantidad de masa seca de producto.	78
4.4.5.2.	Calor latente.....	79
4.4.5.3.	Calor sensible de los productos.	80
4.4.5.4.	Calor sensible de bandejas.....	82
4.4.5.5.	Energía total requerida (Calor útil).....	82
4.4.6.	Tiempo de secado a velocidad constante.....	83
4.4.6.1.	Propiedades del aire de secado.	83
4.4.6.2.	Tiempo de secado a velocidad decreciente.....	88
4.4.7.	Dimensionamiento de la cámara.	91
4.4.8.	Diámetro hidráulico.....	93
4.4.9.	Determinación de pérdidas de calor.	94
4.4.9.1.	Cálculo del coeficiente interior de transferencia de calor por convección... ..	94
4.4.9.2.	Dimensionamiento preliminar del espesor del aislante.	96

4.4.9.3.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.	98
4.4.9.4.	Cálculo de pérdidas en paredes	99
4.4.9.5.	Cálculo de la energía total y la potencia total requerida.....	101
4.4.10.	Selección del ventilador.....	102
4.4.11.	Eficiencia del secador	102
4.4.12.	Diseño del módulo fotovoltaico (Solar).	104
4.4.12.1.	Irradiancia.....	104
4.4.12.2.	Número de colectores solares	110
4.4.12.3.	Selección de las baterías	111
4.4.12.4.	Número de baterías	111
4.4.12.5.	Selección del inversor.....	112
4.4.13.	Diseño de la estructura base.	116
4.4.13.1.	Diseño de vigas.....	116
4.4.13.2.	Diseño de columnas.....	120
4.5.	Costos totales de construcción.....	123
4.5.1.	Costos directos.....	123
4.5.1.1.	Costos de materiales.	123
4.5.1.2.	Costos de maquinado.....	124
4.5.1.3.	Costos totales directo.....	125
4.5.2.	Costos indirectos.	125
4.5.3.	Costos totales.....	126
4.6.	Discusión.	126
4.6.1.	Análisis de fluidos.	126
4.6.1.1.	Análisis de velocidades.	126
4.6.2.	Análisis térmico.....	128
4.6.2.1.	Análisis de temperatura interiormente.....	128
4.6.3.	Convergencia de resultados.	130
4.6.4.	Análisis por el método de elementos finitos.....	135
4.6.4.1.	Análisis de Tensiones.	136
4.6.4.2.	Análisis de Desplazamiento.	136
4.6.4.3.	Análisis del Factor de Seguridad.	137
CAPÍTULO V		141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		141
5.1.	Conclusiones.....	142

5.2. Recomendaciones	143
CAPÍTULO VI	144
BIBLIOGRAFÍA	144
Bibliografía.....	145
Linkografía	150
CAPÍTULO VII.....	151
ANEXOS	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de secadores solares directos	22
Tabla 2. Clasificación de secadores solares indirectos y mixtos	23
Tabla 3. Parámetros de paneles solares	27
Tabla 4. Eficiencia de los colectores solares	27
Tabla 5. Valores asignados para las ponderaciones según el método de secado.....	57
Tabla 6. Evaluación por criterio del tiempo de secado.....	58
Tabla 7. Evaluación del menor tiempo de secado	58
Tabla 8. Evaluación de la mayor producción	59
Tabla 9. Evaluación del control fácil de temperatura	59
Tabla 10. Evaluación de la eficiencia	60
Tabla 11. Evaluación de criterios de métodos de secado	60
Tabla 12. Evaluación por criterio de los tipos de secadores.....	62
Tabla 13. Evaluación de la cantidad de producción	62
Tabla 14. Evaluación de los costos accesibles.....	63
Tabla 15. Evaluación de la facilidad de adquisición de los materiales	63
Tabla 16. Evaluación de la facilidad de mantenimiento.....	64
Tabla 17. Evaluación de la facilidad de limpieza	64
Tabla 18. Evaluación de criterios de los tipos de secadores.....	65
Tabla 19. Evaluación por criterio de los tipos de alimentadores de energía	67

Tabla 20. Evaluación del ahorro de costos energético	67
Tabla 21. Evaluación de energía inagotable	68
Tabla 22. Evaluación de contaminación del producto.....	68
Tabla 23. Evaluación de emisión de contaminantes.....	69
Tabla 24. Evaluación de avances tecnológicos.....	70
Tabla 25. Evaluación del mantenimiento	71
Tabla 26. Evaluación de limpieza.....	71
Tabla 27. Evaluación de criterios del alimentador de energía.....	72
Tabla 28. Irradiancia solar horizontal mensualizada en el cantón Mocache	104
Tabla 29. HSP de las mensualidades	108
Tabla 30. Potencia originada	109
Tabla 31. Costos de materiales	123
Tabla 32. Costos de maquinado.....	124
Tabla 33. Costos Directos.....	125
Tabla 34. Costos Indirectos	125
Tabla 35. Costos Totales	126
Tabla 36. Datos de convergencia.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva voltaje intensidad.....	14
Figura 2. Esquema de un secador directo	17
Figura 3. Esquema de un secador indirecto.....	18
Figura 4. Esquema de un secador solar	20
Figura 5. Panel Solar Fotovoltaico	24
Figura 6. Panel Solar Térmico.....	25
Figura 7. Panel Solar Híbrido.....	26
Figura 8. Panel Solar Termodinámico.....	26
Figura 9. Techo solar activo	28
Figura 10. Contenedor solar	28
Figura 11. Principio de funcionamiento	29
Figura 12. Deshidratador solar unifamiliar	29
Figura 13. Banco de baterías	30
Figura 14. Inversor	32
Figura 15. Componentes del sistema de secado	33
Figura 16. Diagrama de la función de la batería.	35
Figura 17. Espectro de irradiancia solar.....	36
Figura 18. Dispersión, reflexión y absorción de la luz.....	37
Figura 19. Albedo planetario medio mensual elaborado por la NASA.....	38
Figura 20. Atenuación de la radiación solar por la atmosfera terrestre.....	40
Figura 21. Esquema de la distribución de la radiación en el sistema tierra - Atmósfera .	41
Figura 22. Esquema secador de bandejas	42

Figura 23. Niquelina comercial	43
Figura 24. Fases del proceso de diseño	44
Figura 25. Procedimiento de Análisis	45
Figura 26. Ubicación Geográfica	48
Figura 27. Esquema generalizado.....	53
Figura 28. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la bandeja	75
Figura 29. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la bandeja	76
Figura 30. Humedad relativa vs Humedad de equilibrio.....	89
Figura 31. Dimensiones internas de la cámara de secado	92
Figura 32. Cámara de secado.....	93
Figura 33. Resistencias térmicas en una pared delgada	96
Figura 34. Dimensiones externas de la cámara de secado.....	100
Figura 35. Variación de la irradiación a través del año – ATLAS SOLAR.....	105
Figura 36. Variación de la irradiación a través del año – MAPA SOLAR	105
Figura 37. Variación de la irradiación a través del año – CENTRO CIENTÍFICO DE LA UE.....	106
Figura 38. Variación de la irradiación a través del año – Meteonorm V8.3	106
Figura 39. Variación de la irradiación horizontal promedio diaria en cada mes Grupo N°1	107
Figura 40. Variación de la irradiación horizontal mensualizada Grupo N°2	107
Figura 41. Diagrama del flujo de energía desde radiación solar hasta el consumo en el secador	114
Figura 42. Modelado de la estructura base de la cámara de secado	116
Figura 43. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la viga base.....	118

Figura 44. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la viga base de	119
comprobación.	119
Figura 45. Longitudes efectivas de las columnas.	121
Figura 46. Análisis de velocidades del aire de secado en vista isométrica	127
Figura 47. Análisis de velocidades del aire de secado en la vista lateral	128
Figura 48. Temperatura interna de la cámara de secado	129
Figura 49. Temperatura externa de la cámara de secado.....	129
Figura 50. Comparación de las velocidades del aire de secado (m/s)	133
Figura 51. Comparación de temperaturas máximas de secado (°C).....	133
Figura 52. Comparación de los tiempos de secado (h).....	134
Figura 53. Porcentaje de humedad (%)	134
Figura 54. Mallado de la estructura base de la cámara de secado	135
Figura 55. Sujeciones de la estructura base de la cámara de secado	135
Figura 56. Fuerzas de la estructura base de la cámara de secado	136
Figura 57. Análisis de tensiones de la estructura base de la cámara de secado	136
Figura 58. Análisis de desplazamiento de la estructura base de la cámara de	137
secado	137
Figura 59. Análisis del Factor de Seguridad de la estructura base	137
Figura 60. Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica I.	138
Figura 61. Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica II.	138
Figura 62. Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica III.....	139
Figura 63. Diseño módulos fotovoltaicos.....	140

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Carga de Bandeja.....	152
Anexo 2 Carga de la estructura de la cámara de secado	152
Anexo 3 Carga de la plancha de acero inoxidable exterior de la cámara de secado	153
Anexo 4 Carga de la plancha galvanizada interior de la cámara de secado	153
Anexo 5 Carga de la guía	154
Anexo 6 Carga de la plancha inoxidable exterior de la puerta de la cámara de secado....	154
Anexo 7 Carga de la plancha galvanizada interior de la puerta de la cámara de secado ..	155
Anexo 8 Carga de la estructura de la puerta de la cámara de secado	156
Anexo 9 Fotos de secado del cacao.....	157
Anexo 10 Tubo Cuadrado	158
Anexo 11 Carta psicométrica para altas temperaturas.....	160
Anexo 12 Esfuerzos permisibles de columnas ($F_y = 36$ kpsi).	160
Anexo 13 Lana de vidrio	161
Anexo 14 Propiedades del agua	163
Anexo 15 Ventilador centrifugo.....	164
Anexo 16 Kit Solar Móvil.....	166
Anexo 17 Irradiancia mensual global según el Atlas Solar.....	167

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1) Densidad.....	72
Ecuación (2) Altura	74
Ecuación (3) Fuerza que se aplica sobre la bandeja	75
Ecuación (4) Módulo de Sección Necesario.....	76
Ecuación (5) Módulo de Sección del Material	77
Ecuación (6) Inercia.....	77
Ecuación (7) Módulo de Sección Necesario.....	77
Ecuación (8) Espesor de la bandeja	77
Ecuación (9) Masa de secado total	78
Ecuación (10) Cantidad de humedad.....	78
Ecuación (11) Calor latente	79
Ecuación (12) Calor sensible.....	80
Ecuación (13) Calor específico	81
Ecuación (14) Calor sensible de bandejas	82
Ecuación (15) Calor útil	82
Ecuación (16) Densidad del aire en condiciones de secado	84
Ecuación (17) Velocidad másica del aire de secado.....	85
Ecuación (18) Coeficiente de convección para flujo paralelo	85
Ecuación (19) Velocidad constante de secado	86
Ecuación (20) Tiempo de secado a velocidad constante	87

Ecuación (21) Velocidad decreciente	88
Ecuación (22) Tiempo de secado a velocidad decreciente	89
Ecuación (23) Tiempo total de secado	91
Ecuación (24) Altura de la cámara	92
Ecuación (25) Área interna superior.....	93
Ecuación (26) Perímetro.....	93
Ecuación (27) Diámetro hidráulico	93
Ecuación (28) Número Reynolds	94
Ecuación (29) Número de Nusselt.....	94
Ecuación (30) Resistencia térmica por conducción.....	96
Ecuación (31) Resistencia térmica por convección.....	97
Ecuación (32) Coeficiente global de transferencia de calor	98
Ecuación (33) Calor perdido en paredes	99
Ecuación (34) Calor útil del producto genera mayor valor	101
Ecuación (35) Flujo volumétrico.....	102
Ecuación (36) Eficiencia del secador	102
Ecuación (37) Número de colectores.....	110
Ecuación (38) Consumo total	111
Ecuación (39) Número de baterías	111
Ecuación (40) Potencia del inversor requerida.....	112
Ecuación (41) Área.....	120

Ecuación (42) Constante de columna	121
Ecuación (43) Ecuación parabólica	122

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares			
Autor:	Katherine Adriana Ochoa García			
Palabras Claves	Cámara de secado	Energías renovables	Método de secado	Pérdidas de calor.
Fecha de Publicación:				
Editorial:	Quevedo, UTEQ, 2021			
Resumen:	<p>El Proyecto de investigación se enfoca en el diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares donde un número considerable de los agricultores carecen de conocimientos acerca de los beneficios de las energías renovables, por ello con este proyecto se pretende llegar a cada sector con los conocimientos adquiridos en la institución para poder mejorar la calidad y producción de los granos en el sector agrícola, se tiene como objetivo diseñar la cámara de secada de modo analítico, validando con análisis por fluidos, térmico y por el método de elementos finitos; por lo que el propósito de este proyecto es realizar un sistema solar térmico óptimo para el secado de gramíneas y la contribución al desarrollo sostenible y sustentable en los sectores agrícolas, donde su principal combustible sea de tipo limpio, el cual se fundamenta bajo criterios de conceptualización y marco referencial, en tanto que la metodología se ubica la localización, así como los tipos y métodos de investigación; obteniendo resultados claros bajo parámetros de dimensionamiento para el cacao, arroz y maíz, seleccionando un método de secado tipo artificial, con un tipo de secador discontinuo, tenido en claro que el alimentador de energía sería solar; dando un diseño optimo donde se dimensiona a la bandeja de 2000x1000x56 con un espesor de 2 mm, obteniendo calores útiles para el cacao de 23,61 kWh, arroz de 9,37 kWh y del maíz de 9,23 kWh, con un tiempo máximo de secado total de hasta 23,07 h, el dimensionamiento interior de la cámara de secado es de 2000 x 1127 x 1886 mm, determinando que las pérdidas de calor totales es de hasta 1,46 kW, bajo una eficiencia de hasta n=17%, indicando finalmente el costo total de la máquina secadora en caso que se requiera construir.</p> <p>The research project focuses on the design and simulation of a grass dryer, the implementation of solar collectors through which many of the farmers lack knowledge about the benefits of renewable energies, so this project aims to reach each sector with the knowledge acquired in the institution to be able to improve the quality and production of grains in the agricultural sector, so the objective is to design the drying chamber in an analytical way, validating with fluid, thermal analysis and by the method of finite elements; Therefore, the purpose of this project is to create an optimal solar thermal system for the drying of grasses and the contribution to sustainable and sustainable development in the agricultural sectors, where its main fuel is clean, for which it is based on criteria of conceptualization and referential framework, so much so that the methodology is located in the location, as well as the types and methods of research; obtaining clear results under sizing parameters for cocoa, rice and corn, selecting an artificial drying method, with a type of discontinuous dryer, being clear that the energy feeder would be solar; giving an optimal design where the tray of 2000x1000x56 is dimensioned with a thickness of 2 mm, the interior sizing of the drying chamber is 2000 x 1127 x 1886 mm, determining that the total heat losses are up to 1,46 kW, under an efficiency of up to n = 48 %, finally indicating the total cost of the drying machine if construction is required.</p> <p>Keywords: Grass dryer, renewable energies, drying method, drying chamber, heat losses.</p>			
Descripción:	Hojas: Dimensiones 290 x 210 mm: CD-ROM			
URL:				

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto con el tema titulado: “Secador de gramíneas, energías renovables, método de secado, cámara de secado, pérdidas de calor”, explica el procedimiento utilizado de la siguiente manera:

Capítulo I: Se presenta el contexto de la investigación, donde se indica el problema de investigación, el planteamiento del problema, diagnostica y pronostica, continuando con la formulación y sistematización del problema, así como los objetivos generales y específicos, finalizando con la justificación.

Capítulo II: Se aborda en la base de la fundamentación teórica de la investigación, donde se da el marco conceptual y definen los temas principales englobados que se necesitan; en tanto que en el marco referencial se dan temas relevantes que intervienen en la investigación.

Capítulo III: En esta parte se da la localización, tipos de investigación, donde se dan paso al campo, exploratorio, documental, investigación, así como los métodos requeridos donde prevalecen el inductivo y el analítico, señalando las fuentes de recopilación, el diseño a aplicar, así como la instrumentación y los tratamientos de datos.

Capítulo IV: En este capítulo se dan los resultados y discusión, donde se parte de los parámetros de dimensionamiento, procediendo a la selección y al diseño, presentando además los análisis de fluidos, térmico y por el método de elementos finitos, así como los costos que intervienen en el proyecto.

Capítulo V: Se dan las conclusiones y recomendaciones que se describen en este capítulo, los cuales son elaboradas en base a los objetivos propuestos en la investigación.

Capítulo VI: la bibliografía y la linkografía, empleada en el desarrollo del proyecto de investigación.

Capítulo VII: Los anexos que sirven como información complementaria en el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problemas de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

La agricultura en el Ecuador es muy importante para la reactivación de la economía del país, donde el secado de la gramínea en su mayoría ha sido de tipo natural, el cual no siempre cuenta con las condiciones climáticas favorables, ya que se puede obtener varias estaciones en un solo día, pudiendo afectar al secado del producto.

En la actualidad existen pequeños productores agrícolas en la ciudad de Quevedo, Los Ríos que utilizan secadoras de granos con combustión de gas (Fuel oil, diésel, mezcla), limitándose al uso de estas máquinas por el consumo elevado de combustibles, por lo que se procede al método del secado de los productos en tendales con ayuda de la radiación solar de manera natural.

Los sistemas de secadores a gas tienen desventajas estrechamente claras, ya que, por ser una energía no renovable, limita el uso su existencia, por lo que es necesario investigar nuevas alternativas que ayuden a remplazar este tipo de secado a través de la implementación de colectores solares en máquinas agrícolas.

El proyecto propuesto pretende mejorar la calidad de secado de la gramínea y a su vez a minimizar los gastos con la implementación de colectores solares sobre secadoras de grano que ayuden a secar este tipo de granos (cacao, arroz, maíz) con la utilización de energía solar.

Muchos de los agricultores carecen de conocimientos acerca de los beneficios de las energías renovables, por ello con este proyecto se pretende llegar a cada sector con los conocimientos adquiridos en la institución para poder mejorar la calidad y producción de los granos en el sector agrícola.

1.1.1.1. Diagnóstico.

La disponibilidad de máquinas secadoras que trabajen con colectores solares, en la ciudad de Quevedo en el sector agrícola es nula, donde los agricultores por sus recursos limitados prefieren secar sus productos en tendales con la radiación solar; en tanto los que tienen las posibilidades de acceder a este tipo de maquinaria deben optar por la importación a precios elevados ya que por su falta de pedidos no se elaboran en el Ecuador.

1.1.1.2. Pronóstico.

La pérdida de dinero es uno de los problemas graves a lo que están sometidos los agricultores al no contar con una maquina secadora de granos, la misma que al realizar el diseño del secador con la implementación de colectores solares se pretende minimizar gastos y maximizar la producción garantizando así un secado óptimo, con una eficiencia alta, mejorando la calidad del producto a entregar.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Con el diseño del secador basado en colectores solares se podrá compensar las necesidades de los pequeños – medianos agricultores a nivel local y con ello evitar la pérdida de dinero y tiempo en el sector agrícola?

1.1.3. Sistematización del problema.

La investigación se centra en el diseño, cálculo, selección y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares, que abarca el análisis mecánico, análisis de eficiencia, costos de construcción y funcionamiento.

- ¿Cuál sería el costo de la inversión en la fabricación de un secador solar?
- ¿Cuál es el proceso de diseño de un secador solar?
- ¿Cuál es el proceso de simulación de un secador solar?
- ¿Cuál será la eficiencia del secador solar?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

- Diseñar y simular un secador de gramíneas (arroz, cacao, maíz) por medio de energía solar.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar la cámara de secado con la aplicación de los conceptos de diseño mecánico y diseño térmico, así como con la ayuda del Software SolidWorks 2018 y MDSolids35.
- Calcular la eficiencia del secador solar para las condiciones ambientales de la zona de estudio (Quevedo).
- Realizar el análisis de costos del sistema de secado solar.
- Simular la cámara de secado de las gramíneas, utilizando energía solar como fuente de alimentación.

1.3. Justificación.

La provincia de los Ríos – Ecuador es una de las provincias eminentemente agrícola por lo que la actividad de este sector contribuye una de sus principales actividades económicas, donde los principales cultivos que se siembran en la provincia de los Ríos son los siguientes: maíz, arroz, cacao, café, soya entre otras gramíneas; los cuales requieren de un proceso de secado para la conservación de sus granos para el aumento de su vida útil.

Tradicionalmente, para el secado de semillas se ha utilizado una técnica natural, el cual es debido al sol especialmente a su disponibilidad, y a que no se requiere ningún tipo de conocimiento técnico para su manejo, teniendo como principal desventaja los extensos tiempos de secado, así como la necesidad de disponer de espacios grandes y principalmente la dependencia de las condiciones meteorológicas que trae consigo un control insuficiente sobre el proceso de secado, lo que minimiza el secado de las semillas al estar expuestas a cambios bruscos de temperatura, humedad, contaminantes, plagas y a enfermedades.

El Ecuador es un país ubicado en la región noroccidental de América del Sur, donde su clima es de tipo tropical, donde el clima puede variar en el mismo día; por lo que el secado utilizando energía renovable puede potenciar a los pequeños y medianos agricultores, preservando a nuestro planeta, minimizando el uso de máquinas secadoras donde su principal fuente de energía son los combustibles fósiles, energía eléctrica y derivados del petróleo que son los principales que repercuten en el cambio climático.

Este proyecto surge de la necesidad de los agricultores los cuales requieren de un secado eficiente que garantice ganancias con el secado de sus granos que no perjudique al producto por el cambio de clima, donde la innovación de la implementación de colectores solares permita la mejora del secado sin pérdida de tiempo, dinero y cultivo.

La implementación de colectores solares, minimiza los parámetros económicos empleado en máquinas secadoras, los cuales aprovechan los rayos solares. Esta provincia el mayor empleo se basa en trabajar la tierra, por lo que el sistema propuesto garantiza la productividad del agricultor dotando de un grano seco con la implementación de esta máquina de secar gramíneas (cacao, maíz, arroz).

El propósito de este proyecto es realizar un sistema solar térmico óptimo para el secado de gramíneas y la contribución al desarrollo sostenible y sustentable en los sectores agrícolas, donde su principal combustible es de tipo limpio.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Conceptual.

2.1.1. Agricultura.

La agricultura es el conjunto de varias actividades económicas y técnicas relacionadas con el tratamiento del suelo y el cultivo de la tierra para la producción de alimentos, la cual es uno de los pilares principales del Producto Interno Bruto (PIB) en el Ecuador; donde según datos estadísticos, se indica que hay cerca de 2 157 182 ecuatorianos que se dedican a esta actividad representando en un 81,06% hombres y el 18,94% mujeres; de los cuales el 57,70% son de la región Costa, mientras que el 35,60% de la Sierra y el 6,7 % sobrante del Oriente. [1]

2.1.2. Gramínea.

Su nombre científico es Poaceae, aunque son mucho más conocidas por su nombre común: gramíneas son plantas de tipos monocotiledóneas de tallos cilíndricos nudosos, huecos, con hojas alargadas y flores en espigas y grano secos recubiertos por las escamas de la flor. Constituidos por más de 800 géneros y más de 12000 especies. [1]

2.1.3. Cacao.

Es originario del Noroeste de América del Sur, el cual es de los trópicos húmedos de la zona alta de la Amazonía, donde su composición química depende de varios factores entre los que se puede indicar el tipo de cacao, el origen geográfico, el grado de madurez, la calidad de la fermentación, así como del secado, donde sus principales constituyentes químicos son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón y otros carbohidratos, donde su planta llega a alcanzar dimensiones de 5 a 8 m pudiendo llegar hasta los 20 m, con una corona de diámetro variable de 7 a 9 m; donde su sistema radicular consta de una raíz principal pivotante, donde la mayoría se encuentran ubicadas a 30 cm del suelo; donde su fruto es de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, siendo lisos o acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café, con una cascara de tipo gruesa, dura o suave con una consistencia de cuero; donde la pulpa es blanca, rosada o café, de sabor ácido a dulce y aromática. [2]

La producción en el Ecuador se concentra en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos, el cual comprende con unas 20 especies, entre las diferentes variedades, donde

el país cumple con la mayor participación del mercado mundial, teniendo presente que según las estadísticas de Pro Ecuador es del 63%. [3]

2.1.4. Arroz.

Es una planta cereal de hojas largas y ásperas, con espigas grandes, estrechas, los cuales son colgantes después de la floración; pudiendo alcanzar hasta 1 m de altura, consumido por casi todo el mundo desde tiempos remotos, donde sus variedades son diversas que dan lugar a los platos de lo más variado, tanto dulces como salados, los cuales son ricos en vitaminas y en hidratos de carbono complejos sin contención de grasa; por lo que las variedades de arroz se dividen en grano corto o japonico, mediano o híbrido y largo o índico; por lo que los cultivos más extensos del Ecuador ocupan la tercera parte de la superficie de productos transitorios del país. [4]

2.1.5. Maíz.

El maíz se convirtió desde muy temprano en el centro de una simbiosis vegetal. En toda América los campesinos no lo cultivaban solo, pues puede sufrir mucho por la competencia de hierbas nativas y empobrece el suelo. Por ello se lo combina con frijoles que trepan por sus tallos. Estos, además de brindar un producto alimenticio muy importante, enriquecen el suelo con nitrógeno, frenando en gran parte su empobrecimiento. Actualmente se lo suele combinar también con haba, un cultivo similar proveniente del viejo mundo. Completan la simbiosis las calabazas (zapallos y zambos, Cucúrbita spp.), que cubren el suelo entre las plantas de maíz, eliminando la competencia de las hierbas precoces y mantienen la humedad y la fertilidad. [5]

2.1.6. Análisis comparativos de secadoras.

Ventajas de uso de secadoras – secado al sol

- Posee temperaturas elevadas, por lo que los grados de humedad son menores, brindándonos un secado mucho más rápido con humedad menor.
- El proceso de secado es mucho más rápido y pueden secar mayor cantidad de producto a la vez.
- Es mucho más competitiva y no se necesita mano de obra adicional.

Ventajas de utilizar una secadora con paneles solares

- No utiliza combustibles con ello contribuye al cuidado y mejora del medio ambiente.
- No se requiere estructuras especializadas.
- El producto pierde la humedad uniforme.

2.1.7. Energía solar.

2.1.7.1. Introducción

La energía solar es una energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del Sol. Se trata de una energía renovable porque se obtiene de una fuente natural e inagotable, en este caso el Sol. [6]

La energía solar se puede captar a través de células fotoeléctricas (que conforman los paneles fotovoltaicos que todos conocemos), heliostatos o colectores solares, que posteriormente la transforman en energía solar térmica (a través de la temperatura) o energía solar fotovoltaica (a través de la luz). También puede aprovecharse de forma pasiva con técnicas de arquitectura bioclimática y sostenible, como veremos a continuación.

La energía solar es una de las fuentes de energías renovables más fáciles de producir, especialmente la solar fotovoltaica, lo que está haciendo que se esté extendiendo su uso en las zonas climáticas con más horas de sol. [6]

Son dispositivos captadores, diseñados para recolectar la energía proveniente del sol y convertirlas en energía térmica, divididos según su temperatura como son los de baja y alta temperatura, conformados por elementos útiles para producir energía eléctrica. [6]

2.1.7.2. Tipos de energía solar

Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha la energía del sol para producir calor, que posteriormente se usa como fuente de energía tanto a nivel doméstico como a nivel industrial, transformando esta energía en energía mecánica y a partir de ella en energía eléctrica. [7]

En el caso de la energía doméstica, estaríamos hablando de una instalación solar térmica de baja temperatura, con una instalación formada por colectores o captadores solares instalados

en el tejado o en una parte soleada del edificio. Estos capturan la radiación solar y la convierten en calor, que se hace pasar por un circuito de tubos metálicos que genera suficiente energía para el uso habitual en un hogar: agua caliente y calefacción. [7]

Pero la energía solar térmica también se puede aprovechar a gran escala. Hablamos de la planta termo solar o central térmica solar, grandes extensiones de terreno con colectores de energía solar de alta temperatura. Estas instalaciones operan a temperaturas superiores a 500°C: transforman la energía térmica en energía eléctrica para abastecer a la red eléctrica tradicional, pudiendo abarcar grandes zonas de territorio. Además, las tecnologías actuales permiten almacenar el calor de una forma muy económica, pudiendo transformarla posteriormente en electricidad a medida que se necesita, regulando así la producción. [7]

Energía solar fotovoltaica

Al contrario que la energía solar térmica, la energía solar fotovoltaica consiste en obtener directamente la electricidad a partir de la radiación solar. Esto se consigue gracias a la instalación de paneles solares fotovoltaicos, que cuentan con células de silicio que transforman la luz y calor del sol en electricidad. Igual que en el caso de la solar térmica, estos paneles o placas solares pueden instalarse tanto a nivel doméstico en edificios y casas, como en grandes instalaciones – las conocidas como plantas fotovoltaicas. [8]

2.1.8. Colectores solares.

También conocidos como captador solar, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica. Los colectores de acuerdo a la temperatura que alcanza el fluido de trabajo se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica. [8]

2.1.8.1. Colectores de baja temperatura

Colector Solar Plano También llamado panel solar térmico, consiste en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel. Puede ser a su vez: -Colector plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor. Colector plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas. Los colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto

invernadero, el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. [9]

El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar, así deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía. El sol incide sobre la cubierta de vidrio del colector, que, siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o (infrarrojos), menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Al paso por la caja, el fluido que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee. [10]

El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector. Los colectores solares planos no son tecnológicamente complejos, por lo que su margen de evolución es muy limitado. No obstante, actualmente consiguen captar hasta cerca del 80% de la energía recibida del sol [10].

2.1.9. Módulo solares fotovoltaicos.

El módulo fotovoltaico, también conocido como panel solar o placa solar, es el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible. El material semiconductor del que está recubierto que suele ser el silicio, un elemento básico para cada una de las células solares es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico. [1]

2.1.9.1. Composición, eficiencia y vida útil de un módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas individuales unidas entre sí. Para garantizar la correcta inclinación y orientación con respecto a la luz solar, los módulos se colocan en estructuras de soporte específicas. Dos terminales de salida en cada módulo recogen y transfieren la corriente generada a los sistemas de gestión del parque solar. [1]

La eficiencia de un módulo fotovoltaico es la relación entre la potencia eléctrica de salida en los terminales y la potencia de la radiación solar que incide en la superficie del módulo. El valor estándar que se usa como referencia para indicar la radiación solar $1.000 \text{ vatios}/\text{m}^2$ si en cada metro cuadrado inciden 1.000 vatios de energía solar, el porcentaje de energía realmente convertida en electricidad utilizable constituye la eficiencia. La vida media útil de un módulo fotovoltaico es de unos 25 años [1]

Monocristalino y policristalino

Los tipos más comunes de módulos fotovoltaicos son el silicio monocristalino, policristalino y de capa fina:

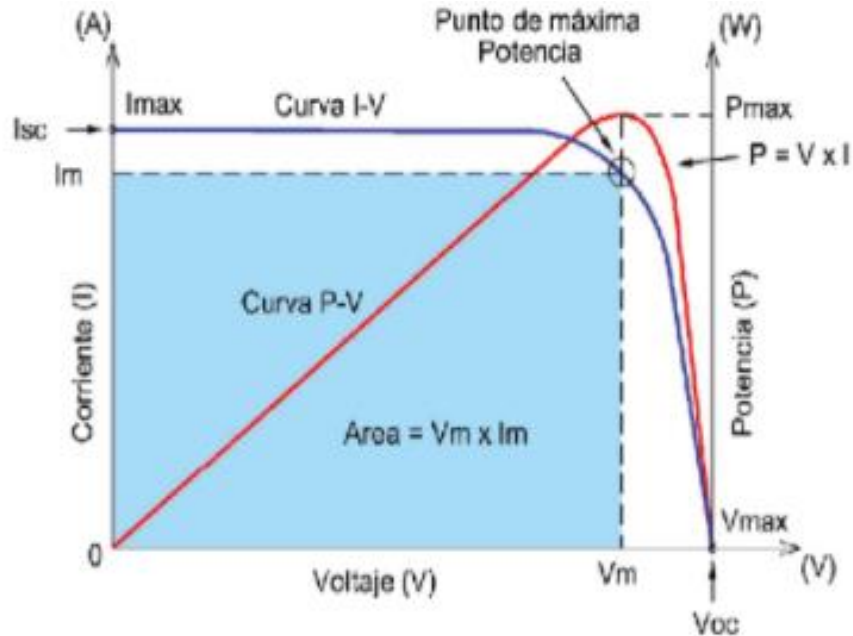
Silicio monocristalino: módulos de color azul oscuro, casi negro, cuyas células tienen unos bordes redondeados y están formadas por cristales de silicio monocristalino, todos orientados en la misma dirección. Con luz perpendicular garantizan una buena producción de energía, con una eficiencia de aproximadamente un 18-21 %. [1]

Silicio policristalino: módulos azules con tonos cambiantes compuestos por cristales de silicio orientados de manera no uniforme. Tienen una menor eficiencia (15-17 %) si reciben los rayos del sol perpendicularmente, pero su rendimiento es mayor a lo largo del día. [1]

Capa fina: módulos de menor eficiencia, que funcionan bien con luz difusa o a altas temperaturas.

2.1.9.2. Curva voltaje intensidad de módulos fotovoltaicos

Figura 1. Curva voltaje intensidad



Fuente: [11]

La representación estándar de un panel fotovoltaico es la curva corriente – tensión representada en la figura 1. Dicha curva está determinada por todos los valores de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas de temperatura y radiación solar (25° C y 1000 W/m²). [2]

El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el dispositivo fotovoltaico trabajará vendrá determinado por la carga a la que esté conectado. A mayor resistencia, menor intensidad y nos moveremos al lado derecho de la curva y viceversa. Hay que reseñar que cada modelo de panel fotovoltaico, tiene su propia curva. Así, el representado en la figura 1 trabaja a 16 voltios (válidos para cargar baterías de 12 V.), dando una intensidad máxima de algo más de 3 amperios. [2]

Parámetros de la curva I-V

Corriente de cortocircuito (Isc).- es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero; es decir, cortocircuitando las bornes del dispositivo. [2]

Voltaje a circuito abierto (Voc).- Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero, o sea, en condiciones de circuito abierto. [2]

Corriente (I) a un determinado voltaje (V).- Los paneles trabajan en circunstancias comprendidas entre los dos extremos anteriores determinado por su resistencia exterior que define la curva I-V.

Potencia máxima (Pm).- Es la potencia alcanzada cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de IM y VM tales que su producto sea el máximo. (Damos por sabido que la potencia es el producto de ambos valores). Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior viene dada por las características propias de cada circuito. En el mercado existen unos dispositivos electrónicos conocidos como "seguidores del punto máximo de potencia", pero ello supone un coste adicional que sólo se justifica en grandes instalaciones. [2]

Eficiencia total del panel.- Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de radiación incidente sobre el mismo.

Factor de forma (FF).- Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto de $I_{sc} \times V_{oc}$. Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma.
$$FF = P_{max} / V_{oc} \times I_{sc}$$

Estos parámetros o algunos de ellos los da el fabricante en las características eléctricas del módulo.

2.2. Marco Conceptual.

2.2.1. Secado de grano.

Es el proceso integral de cosecha, secado y almacenado de un grano, el cual consiste en reducir la humedad pertinente de manera parcial, intercambiando y transfiriendo calor y masa entre un agente secante y el producto requerido [6].

Los procesos de secado:

- La transferencia de la humedad interna del material a la superficie y evaporación.

- La transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al material para evaporar su humedad de la superficie.

Las etapas de secado de un producto determinado, según [6] son

- Velocidad constante de secado, donde la evaporación inicia cuando el contenido de agua llega a la superficie.
- Velocidad decreciente de secado, cuando la salida de la humedad del grano es lenta donde la velocidad incrementa, hasta un punto de equilibrio con el aire de vaporización.

Los métodos de secado de la gramínea son:

- Secado solar o natural, donde el producto se deja expuesto a las corrientes de aire a una temperatura ambiente, donde la ventaja principal es que el proceso no requiere de gastos de combustibles, pudiendo ser empleado en cantidades considerables no limitadas; mientras que como desventaja primordial es que no se puede utilizar durante todo el año, debido al cambio climático que se dan en las distintas regiones, así como al nacimiento de plagas e insectos que pueden originar daños al producto a secar [7].
- Secado artificial, permiten aumentar las producciones agrícolas en plazos cortos bajo condiciones ambientales, mediante el funcionamiento de un ventilador en una cámara de secado, donde se pueden emplear varios tipos de combustibles según el tipo de máquina requerido [7].

2.2.2. Secador de granos.

Son máquinas de tipo agrícolas, empleadas para la reducción de humedad de los granos, con aire forzados, los cuales utilizan el método artificial, bajo parámetros definidos como temperatura, humedad relativa al ambiente y el flujo de aire, el cual es requerido para el secado de los productos, influenciando de manera directa en la tasa de secado, en base a la cantidad de energía. [7]

Los secadores se clasifican en:

a) Secadores directos

Este tipo de secadores permiten que la transferencia de calor sea útil para la desecación, la cual se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los calientes, donde el líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación; por lo que se los conoce como secadores por convección [8].

Figura 2. Esquema de un secador directo



Fuente: García, 2013

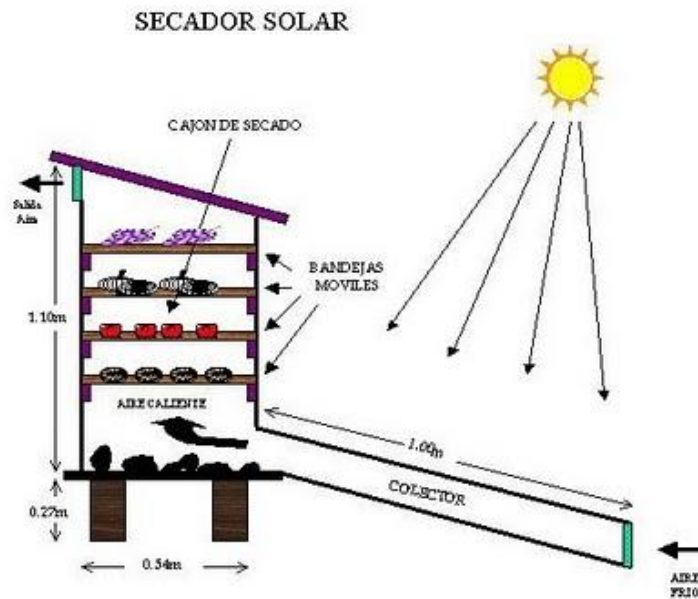
Los secadores directos se clasifican en:

- Secador D-Continuo, es útil para operaciones sin interrupciones
- Secador D-Por Lotes, es útil para operar en tamaños específicos.

b) Secadores indirectos

Este tipo de secadores permiten que el calor de desecación se transfiera al sólido húmedo a través de una pared de retención, donde el líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento, a una velocidad de contacto establecido entre el material mojado y las superficies calientes; por lo que se les conoce como secadores por conducción o de contacto [8].

Figura 3. Esquema de un secador indirecto



Fuente: García, 2013

Los secadores indirectos se clasifican en:

- Secadores I-Continuos, es aquel que se da mediante el paso del material por el secador con contacto con las superficies calientes.
- Secadores I- Por Lotes, se dan para operaciones en vacío.

2.2.3. Tipos de secadores de granos.

Los tipos de secadores de granos según su tipo de equipos son:

- a. **Equipos discontinuos**, son máquinas, que permiten lotizar los granos a secar, los cuales ingresan, secan sus productos a determinados tiempos y permiten ejercer un control máximo de productos, el cual es útil para producciones bajas, por lo que según [8], en este conjunto de equipos se ubican los:
 - Secaderos de bandejas con corriente de aire.
 - Secaderos de cama fluidizada.
 - Secaderos con circulación a través del lecho sólido.
 - Secaderos de bandejas a vacío.
 - Secaderos de bandejas a presión atmosférica.
 - Secaderos por congelación.

a. **Equipos continuos**, son máquinas, donde el secado ingresa en una tasa de alimentación, pudiendo generar elevadas producciones a elevados costos, por lo que según [8], en este grupo se ubican los:

- Secaderos de túnel.
- Secaderos neumáticos.
- Secaderos ciclónicos.
- Secaderos de cama chorreada.
- Secaderos de cama vibratoria.
- Secadero de cama fluid izada.
- Secaderos espray.
- Secaderos de tipo turbina.
- Secaderos rotatorios.
- Secaderos de calentamiento indirecto
- Secaderos de tambor
- Secaderos con circulación a través del lecho.

b. **Otros secadores algo más evolucionados**, donde según [8]. se ubican los de:

- Secadores solares
- Secadores por convección natural
- Patios de secado
- Túneles de secado, etc.

En una segunda clasificación, las maquinas secadoras por su aire de circulación son:

a. **Secadores por conducción**

Este tipo de secadores, son útiles para emplear el aire caliente el cual debe circular a través del alimento, para que el flujo del aire caliente pase absorbiendo la humedad del alimento produciendo la deshidratación del producto hasta llegar a las condiciones de almacenamiento. [9]

b. **Secadores por convección**

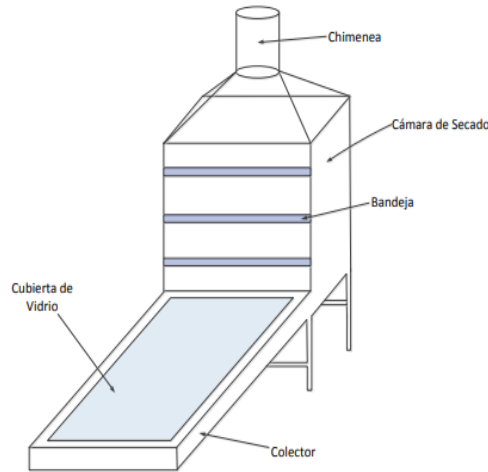
De acuerdo con el calor de evaporación que se genera en las superficies calentadas, se coloca directamente el material a secar, donde el agua evaporada se elimina mediante una operación de vacío o a través de una corriente de gas. [9]

c. Secadores por radiación

Estos secadores, se da mediante la transmisión de la energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, útil para evaporar la humedad del producto, donde la energía es absorbida selectivamente por las moléculas de agua. [9]

2.2.4. Secadores solares.

Figura 4. Esquema de un secador solar



Fuente: Roa y Ortega, 2018

Son máquinas similares a invernaderos, empleados con colectores solares pasivos, útiles para secar los productos, originando por los rayos solares que pasan por la cubierta del techo, empleados en la preservación de alimentos, los cuales consisten en extraer el agua mediante la aplicación de aire y calor, útiles para impedir la proliferación de microorganismos y cualquier actividad enzimática que afecte la calidad del alimento y sus propiedades organolépticas. [10]

El principio de Funcionamiento, de los secadores solares consisten en:

Sistemas combinados conformados de un colector donde es previamente calentado el aire al ingresar por uno de sus lados a temperatura ambiente, el cual está esta previamente aislado para mantener el calor dentro de él y minimizar las pérdidas de calor y una cámara de secado donde se colocan los productos a secar diseñada de tal manera que haya un flujo de aire interrumpido dentro de este teniendo una entrada en la parte inferior que está conectada al colector y una salida en la parte superior a través de una chimenea; ingresando el aire que se encuentra a su paso con el producto fresco y por efecto del intercambio de calor; empleando

además un colector que permita retener el calor de la energía solar por el efecto invernadero, provocando que la radiación atraviese la cubierta de vidrio e impida que la radiación que se refleja escape fuera del colector, calentando la placa negra y las paredes del colector. [11]

Los parámetros del secado solar, según [12], a tener en cuenta, son:

- Las características del aire de secado: temperatura, humedad relativa y el caudal.
- Las propiedades del producto a secar: cantidad total a manejar, contenido de humedad inicial y final, su tamaño, etc.
- Las variables dimensionales del dispositivo de secado
- Tiempo y ratio de secado
- Eficiencia del secador
- Costo de inversión y operación.
- Período de retorno del capital invertido

2.2.5. Método de secado.

El secado de granos frecuentemente es el eje del proceso integral de cosecha-secado-almacenamiento. El método de secado generalmente es el principal factor que determina la selección de otros componentes del sistema de manejo de granos. En los países en desarrollo, los métodos disponibles para secar los productos agrícolas a nivel del agricultor están limitados, la mayoría de las veces, al uso de una combinación de radiación solar y el movimiento natural del aire ambiente: o sea, el secado natural. Otros métodos de secado son, en cierto modo, complejos y requieren de una mayor experiencia y esfuerzo de parte del agricultor; éstos corresponden al secado artificial. [13]

2.2.5.1. Circulación forzada

En este tipo de circulación el aire es movido por un ventilador que se alimenta por energía mecánica o eléctrica. En este tipo de circulación se facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Utilizando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0,5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica. [14]

2.2.5.2. Circulación por convección natural

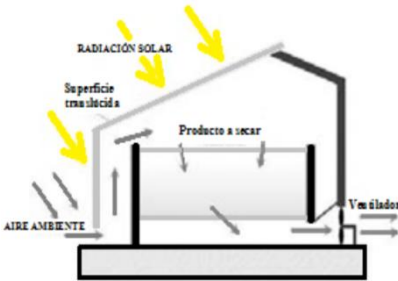

En este tipo de movimiento el aire es movido por las diferencias de temperatura entre las diferentes partes del dispositivo, que promueven la convección térmica del aire. En este tipo de circulación se hace más dificultoso de incorporar con equipos grandes. En equipos pequeños y medianos se puede conseguir velocidades de aire de 0,4 a 1 m/s al interior de la cámara, pero en dispositivos grandes esta velocidad no supera los 0,1 a 0,3 m/s. [14]

2.2.6. Clasificación de los secadores solares.

La clasificación de los secadores solares es:

Tabla 1.

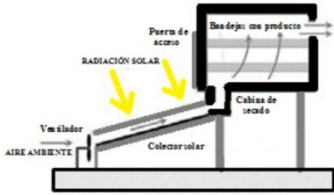
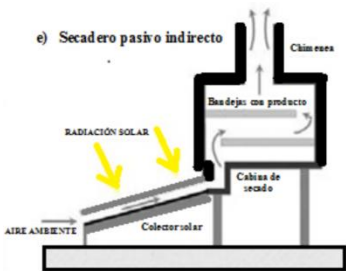


Clasificación de secadores solares directos

	CONVECCIÓN FORZADA (Activos)	CONVECCIÓN NATURAL (Pasivos)
DIREC	 <p>Este tipo de secador solar, emplea la cámara de secado, como una unidad receptora de la radiación solar, pudiendo ser secaderos de absorción directa sobre el producto, secaderos con cubierta colectora y secaderos tipo invernadero con cámara de absorción interna.</p>	 <p>Los secadores solares por convección natural, tiene su principal característica en la cámara de secado, la cual cumple como la función de colector receptando la radiación solar, donde el secado no es muy eficiente ya que no se posee un control sobre el secado, ni sobre la velocidad de secado bajo, así como ni el flujo de aire reducido.</p>

Fuente: Torres y Vega, 2015

Tabla 2.

Clasificación de secadores solares indirectos y mixtos

	CONVECCIÓN FORZADA (Activos)	CONVECCIÓN NATURAL (Pasivos)
INDIRECTO	 <p>Este tipo de secador, está conformado por una cámara de secado y un colector de la radiación solar, los cuales son elementos diferentes, que consta de la cámara de secado, un calentador de aire, un ventilador y el conducto de unión entre el calentador y la cámara.</p>	 <p>Este sistema convencional, cuenta con una cara de secado opaca, donde se ubican unas bandejas, en las que se coloca el producto a secar, además está conformado de un colector solar, una entrada de aire, una cámara y una chimenea por donde sale el aire.</p>
MIXTO	 <p>En este tipo de secador solar, es una fusión el cual posee una cámara de secado, la cual está elaborada de un material translúcido que permite la radiación directa en el producto; así como de un calentador de aire, un ventilador, y un conducto el cual sirve de unión</p>	 <p>Este tipo de secador posee una cámara de secado igual al secador directo y los demás componentes del secador indirecto.</p>

Fuente: Torres y Vega, 2015

2.2.7. Paneles solares.

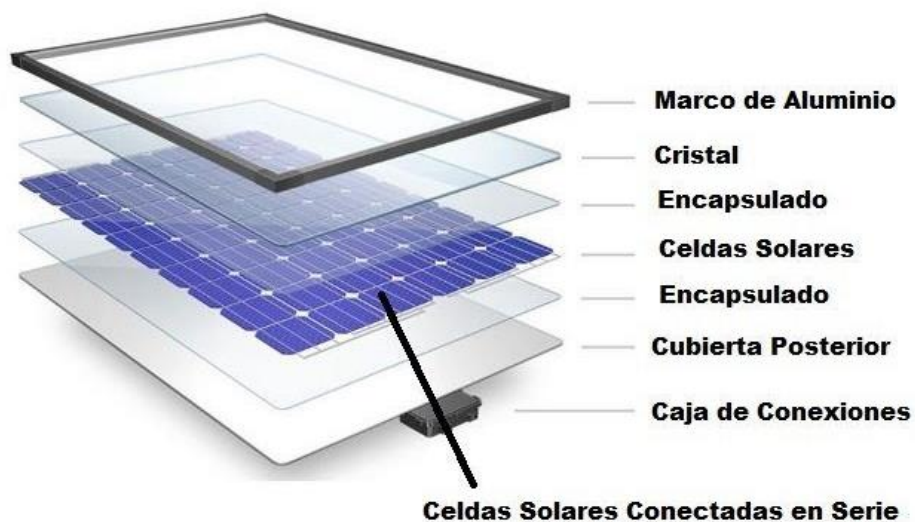
Es una estructura de aluminio constituida por células solares compuestas de silicio, en las cuales, mediante el efecto fotovoltaico, se convierte en energía eléctrica la radiación recibida del sol [9].

Los paneles solares más conocidos son:

- **Paneles Solares Fotovoltaicos**

Son dispositivos donde el funcionamiento se basa en la incidencia de los rayos del sol en el panel, donde se transmite la energía a los electrones, los cuales se separan en neutrones y protones permitiendo generar electricidad [9].

Figura 5. *Panel Solar Fotovoltaico*



Fuente: Cevallos y Ulloa, 2016

- Paneles Solares Térmicos

Son elementos encargados de recolectar la energía contenida en la radiación solar y transferir dicha energía en forma de calor al aire en contacto, teniendo como requerimiento que para ser instalados se necesita una inclinación de 30 a 45 grados, la cual es aplicable a sistemas de placa plana, los cuales son absolvedores con una mayor resistencia que los de tubo vacío, los cuales son muy frágiles [9].

Por lo que los colectores están agrupados en 3 grupos que son:

- Colector de baja temperatura o captador solar plano no protegido. Alcanzando hasta un máximo de 50°C [9].
- Colector de media temperatura. Estos colectores son, básicamente, igual que los anteriores, pero incorporando una cubierta transparente que evite la pérdida de calor del panel, el cual puede llegar hasta los 90°C [9].
- Colector de alta temperatura. Son elementos donde se añade otra cubierta más entre la anterior y el convertidor, originándose un vacío entre las 2 cubiertas, de manera que, igualmente, la temperatura pueda llegar a alcanzar hasta 150°C [9].

Figura 6. *Panel Solar Térmico*

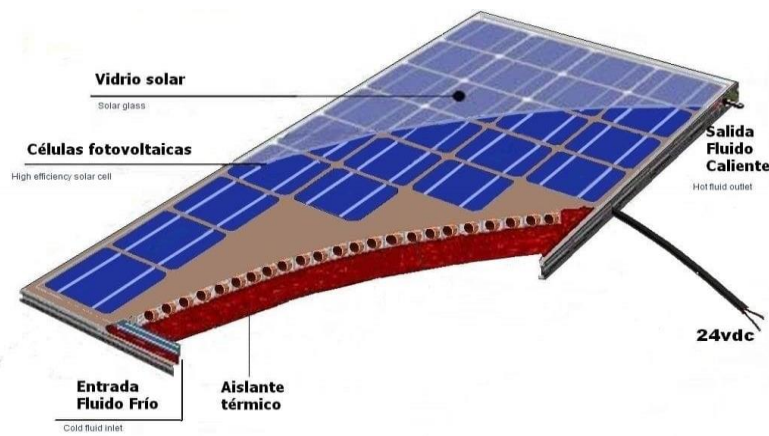


Fuente: Cevallos y Ulloa, 2016

- Paneles solares híbridos (fotovoltaico + térmicos)

Es el resultado de cruzar los paneles fotovoltaicos + los térmicos, permitiendo producir electricidad y calor simultáneamente, para generar electricidad y agua caliente con una única instalación. [15]

Figura 7. Panel Solar Híbrido



Fuente: EcoInventos, 2020

- Paneles Solares Termodinámicos

Los paneles solares termodinámicos son una alternativa a los paneles solares convencionales, diferenciándose es que estos no solo captan energía solar sino también energía del ambiente exterior proveniente del calor del sol, del agua, de la lluvia, así como del viento; los cuales se originan por los principios termodinámicos del panel, siempre y cuando la temperatura exterior no baje de los 0° absolutos [9].

Figura 8. Panel Solar Termodinámico



Fuente: Cevallos y Ulloa, 2016

2.2.8. Parámetros de paneles solares.

Los parámetros de los paneles solares según sus características son:

Tabla 3.
Parámetros de paneles solares

N°	Características	Parámetros
1	Características físicas	- Tipo y tamaño - Área del colector - Capacidad de secado - Área y N° de bandejas - Radiación solar local
2	Comportamiento térmico	- Tiempo de secado - Velocidad de secado - Temperatura y humedad de aire - Velocidad del aire
3	Propiedades del producto	- Características físicas - Acidez y corrosividad - Tamaño de productos - Contenido inicial de humedad
4	Características de secado del producto	- Contenido final de humedad - Temperatura máxima de secado - Temperatura mínima de secado - Temperatura promedio de secado
5	Económicos	- Costo del secador - Costo de secado - Recuperación de inversión

Fuente: Espinoza, 2016

2.2.9. Eficiencia de los paneles

Según lo diferentes tipos de panes, las eficiencias son:

Tabla 4.
Eficiencia de los colectores solares

Tipo	Eficiencia n (%)
1. Fotovoltaico Rendimiento medio bajo	16 – 17%
2. Fotovoltaico Rendimiento medio alto	18 – 19%
3. Fotovoltaico Rendimiento alto	Superiores a 19%
Paneles solares térmicos	Menores al 20%
Paneles solares híbridos	40%
Paneles Solares Termodinámicos	60 – 80%

Fuente: Espinoza, 2016

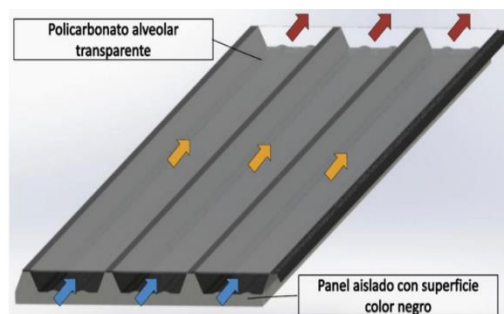
2.2.10. Componentes del secador solar.

Los componentes del secador solar son:

- Techo solar activo

Es un elemento que aprovecha la radiación solar para incrementar la temperatura del aire circulante, el cual opera con la radiación solar incrementando la energía interna, la cual transfiere mediante convección forzada a un flujo de aire que circula de forma constante, donde los techos solares activos tienen una amplia versatilidad en su aplicación, ya que igualmente pueden ser utilizados como precalentadores de aire de uso industrial. [16]

Figura 9. *Techo solar activo*



Fuente: Espinoza, 2016

- Equipos móviles

Son elementos diseñados para fácil traslado y montaje, por lo que estos son:

1. Contenedores solares

Son elementos de tipo container solar, el cual consiste en la incorporación de los componentes de techo activo en una sola unidad, la cual forma parte de la estructura [16].

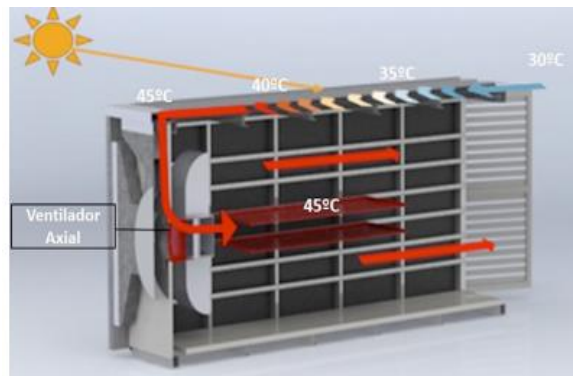
Figura 10. *Contenedor solar*



Fuente: Espinoza, 2016

Donde el principio de funcionamiento se da de la siguiente manera:

Figura 11. *Principio de funcionamiento*

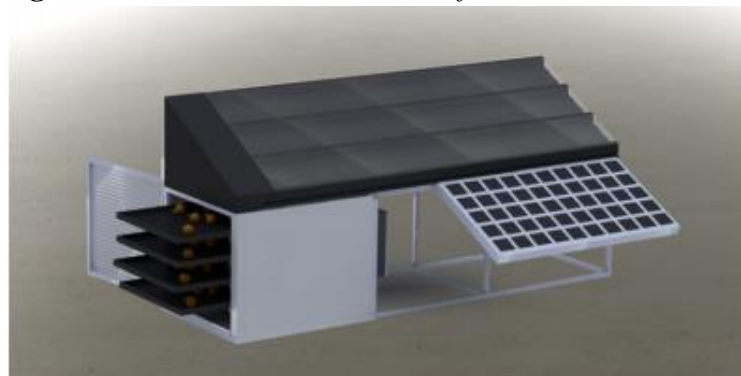


Fuente: Espinoza, 2016

2. Deshidratadores unifamiliares

Se denomina unifamiliar por la capacidad de la cámara de secado de 1 m^3 , lo que equivale a unos 30 kg de carga de producto. Son contenedores de tipo deshidratador los cuales satisfacen las necesidades agrícolas superiores a 1000 kg, donde el tiempo requerido es el esperado para lograr la humedad final requerida [16].

Figura 12. *Deshidratador solar unifamiliar*



Fuente: Espinoza, 2016

2.2.11. Baterías solares

Las baterías solares tienen el objetivo de acumular la energía eléctrica generada por las placas solares fotovoltaicas para poderla utilizar durante la noche o en días nublados. [18]

Las baterías tienen la función de aportar energía eléctrica en el sistema en el momento en que los paneles fotovoltaicos no generan la electricidad necesaria. Por ejemplo, durante la noche o en momentos de poca luminosidad. [19]

Figura 13. Banco de baterías

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> * Ciclado profundo. * Tiempos de vida largos. * Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Precio elevado. * Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> * Precio * Disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> * Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. * Escasa reserva de electrolito 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> * Fabricación similar a SLI * Amplia reserva de electrolito * Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> * Tiempo de vida medios. * No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> * Escaso mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremos 	

Fuente: [18]

Las baterías se clasifican según el tipo de tecnología de fabricación, así como de los electrolitos utilizados.

Las baterías más utilizadas en instalaciones solares son el ácido-plomo, por la relación de precio por energía disponible. Su eficiencia está entre un 85-95%, mientras que las Ni-Cad en un 65%.

Seguramente las mejores baterías serían las de litio (móvil). No obstante, la batería de litio no es viable económicamente para esta aplicación.

2.2.11.1. Baterías de ácido-plomo para aplicaciones solares

Todas las baterías de ácido-plomo fallan prematuramente cuando no son recargadas completamente después de cada ciclo.

Si una batería de ácido-plomo se deja descargada (durante días) en algún momento, provocará una pérdida permanente de su capacidad.

2.2.11.2. Baterías líquidas - electrolito líquido

Son las más usadas. Hay dos tipos de baterías líquidas:

- De forma abierta, con tapas que permiten el cambio del agua.
- De forma sellada, que son cerradas, pero con válvulas que permiten las salidas de los posibles gases durante cargas excesivas.

Ventajas de las baterías líquidas

- Las más antiguas
- Su producción permite precios económicos.
- Son menos problemáticas a las sobrecargas.

Desventajas

- Existe el peligro de perder líquido (agresivo).
- Suelen tener una vida útil corta, entre 400 ciclos de carga y descarga.
- Temperaturas muy bajas pueden destruirlas rápidamente.

Hay otro tipo de baterías. Donde el electrolito no se encuentra en estado líquido, éste se ha inmovilizado.

En el caso de las baterías de gel, el electrolito se ha convertido en gel. En el caso de la batería AGM (Absortion Glass Mat) se ha separado mediante una fibra de vidrio, con gran poder de absorción, que actúa como una esponja. [18]

Tanto las baterías de gel como las baterías AGM, son de libre mantenimiento. Nunca les será necesario añadir agua.

2.2.11.3. Baterías AGM - Absortion Glass Mat

Son las baterías más modernas y el ácido está fijado en fibras de vidrio que lo absorbe.

Casi todas las baterías AGM son de válvula regulada: VRLA (valve regulated lead acid)

Tienen todas las ventajas de las de gel, además de los siguientes:

Ventajas:

- Buena vida útil.
- Más resistencia a climas fríos.
- Su auto descarga es mínima.

- Baja resistencia interna que permite corrientes altas.
- De ciclo profundo.

Desventajas:

- Precio más elevado.

Cada vez más se tiende a las baterías de plomo AGM. Tienen su mejor relación vida / precio. Si manejo es más sencillo.

Para alguien que puede asegurar la atención necesaria, la batería líquida puede ser la mejor opción. Sobre todo, teniendo en cuenta el precio.

2.2.12. Inversor

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua desde los paneles solares, a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Figura 14. *Inversor*

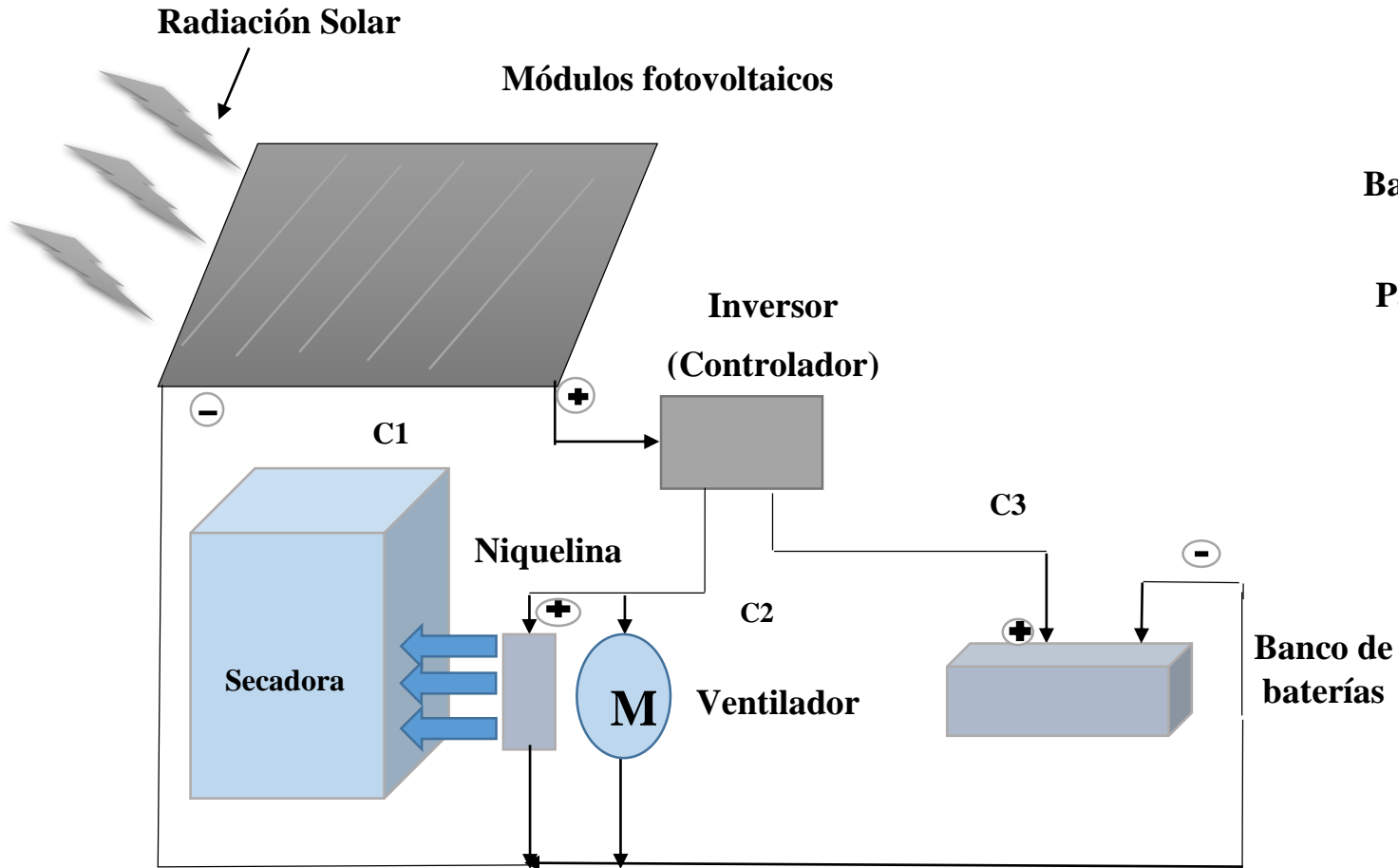


Fuente: Cosuperenergy [19]

Específicamente los inversores están diseñados para instalaciones aisladas, sin conexión a la red y entrega la electricidad en corriente alterna al voltaje y frecuencias en que operan normalmente los equipos eléctricos y electrónicos para proceder a instalar un inversor se debe tener en cuenta la potencia del inversor, si es utilizado para una carga mayor a la que fue diseñado.

2.2.13. Diagrama de los componentes del sistema de secado

Figura 15 Componentes del sistema de secado



Circuito 1: C1

**Paneles -
Niquelina**

Circuito 2: C2

Batería - Niquelina

Circuito 3: C3

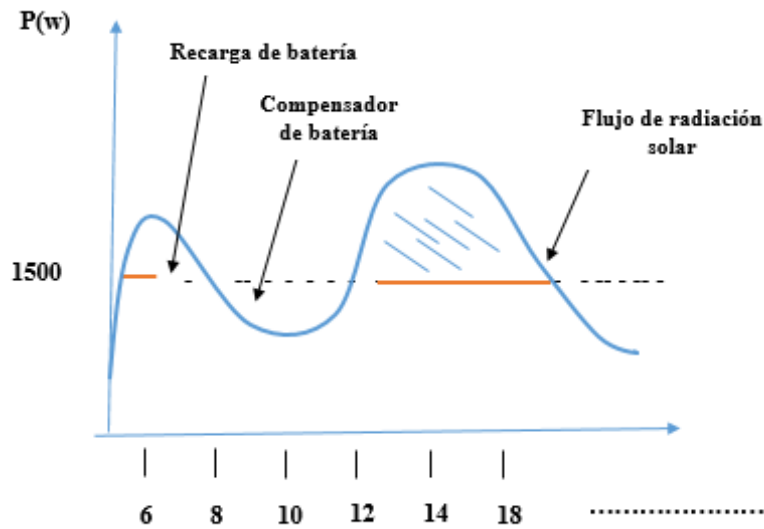
Paneles - Batería

Fuente: Autora

Funcionamiento del sistema de secado de gramíneas.

- 1.- La radiación solar cae sobre los módulos fotovoltaicos, quienes a su vez se encargan de transformar de una manera directa la energía de la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua.
- 2.- El inversor o convertidor es el encargado de transformar un voltaje de entrada de corriente continua desde los paneles solares, a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada.
- 3.- La níquelina conocida normalmente como resistencia es la encargada de calentar el flujo de aire que entra a la cámara de secado.
- 4.- El aire caliente es impulsado por un ventilador a velocidad constante sobre el producto dentro de la cámara de secado.
- 5.- La cámara de secado está compuesta de bandejas donde se almacena el grano que se requiera secar, el aire circulante dentro de la cámara fluye por las bandejas permitiendo el secado del producto.
- 6.- El aire que ha extraído la humedad de los granos es expulsado de la cámara de secado por la apertura de salida que mantiene el secador en la parte baja.
- 7.- Las baterías son las encargadas de mantener estable el flujo eléctrico mientras el secador está funcionando. Debido a que puede haber momentos de sombra, ayudando así a mantener la temperatura de secado constante.

Figura 16. Diagrama de la función de la batería.



Fuente: Autora

Radiación es un fenómeno estocástico, la variación del flujo de radiación solar en función de la hora del día y los fenómenos que puedan ocurrir como muestra la fig. 15. La deficiencia de radiación solar compensa la batería, mientras la radiación sea continua el flujo de energía pasa directo a la niquelina.

Modos de operación en función de la disponibilidad de la radiación solar

Modo 1: El controlador o inversor, en función de la capacidad solar debe mantener el flujo eléctrico a la niquelina para mantener la temperatura en el aire que entra al horno.

Modo 2: El flujo puede ser desde los paneles hacia la batería o hacia la niquelina y desde la batería hacia la niquelina.

Modo 3: Todo se controla con circuitos eléctricos internos de los módulos fotovoltaicos.

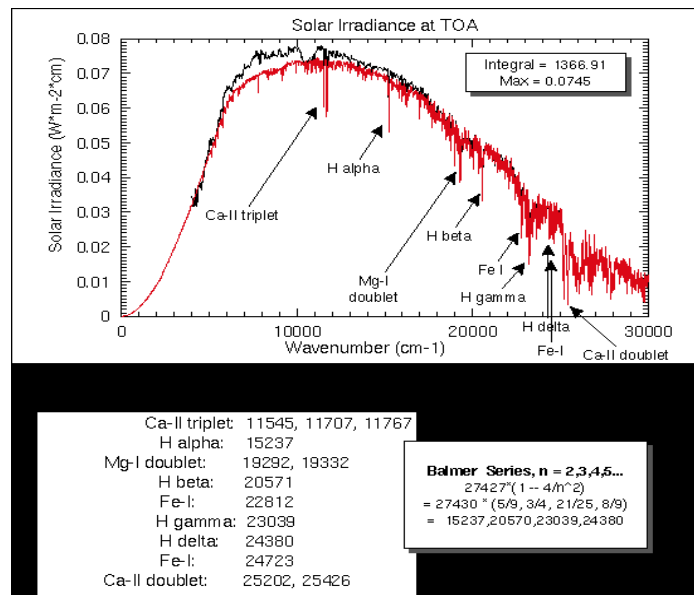
2.2.14. Fenómeno de radiación solar sobre la tierra

La radiación solar sobre la superficie de la Tierra, es la radiación directa, en forma de rayos provenientes del Sol sin haber sufrido difusión, ni reflexión alguna, sin cambio de dirección, a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, generándose en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol, por fusión nuclear, la cual es emitida sobre un espectro de

longitud de ondas, con una cantidad específica de energía para cada longitud de onda, por lo que el sol es una estrella cuya superficie está a una temperatura de hasta 5505 Celsius. [17].

La radiación solar reflejada TOA (TRS) corresponde a la energía reflejada por el sistema de la Tierra, mientras que la radiación térmica emitida por TOA (TET) corresponde a la energía emitida en forma térmica (TET también se denomina a menudo OLR como "radiación de onda larga saliente"). [17].

Figura 17. Espectro de irradiancia solar



Fuente: IDEAM, 2019

A continuación, se presentan los procesos de atenuación que sufre la radiación solar en su trayectoria hacia la tierra.

Dispersión

La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. La dispersión ocurre cuando un fotón afecta a un obstáculo sin ser absorbido cambiando solamente la dirección del recorrido de ese fotón. La dispersión depende de la longitud de onda, en el sentido de que cuanto más corta sea ésta, tanto mayor será la dispersión. Moléculas de gas con tamaños relativamente pequeño comparadas con la longitud de onda causan que la radiación incidente se disperse en todas las direcciones, hacia adelante y hacia atrás, este fenómeno es conocido como dispersión de Rayleigh. Aerosoles cuyos tamaños son comparables o exceden a las longitudes de onda de la radiación incidente, hacen que ésta no se disperse en todas las

direcciones sino mayormente hacia adelante, fenómeno llamado dispersión de Mie. El proceso de la dispersión explica cómo un área con sombra o pieza sin luz solar está iluminada, le llega luz difusa o radiación difusa. [18]

La dispersión de la luz es su descomposición en colores. Las longitudes de onda toman ángulos distintos y los colores se separan. Siguen el orden del arcoíris: el color rojo tiene la longitud de onda más larga y el violeta la más corta. [19]

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que en longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Salvo a la salida y a la puesta del Sol, todos los puntos del cielo son fuentes de difusión de luz azul para un observador ubicado en la superficie terrestre; al amanecer y en el crepúsculo, los rayos deben recorrer un camino más largo a través de la baja atmósfera; esto hace que casi toda la luz azul haya sido difundida antes de llegar al observador. Es por eso que la luz reflejada por las nubes o la difundida por las capas brumosas hacia el observador aparece rojiza. [18]

Figura 18. *Dispersión, reflexión y absorción de la luz.*



Fuente: ERBE [19]

Reflexión (Albedo)

La capacidad de reflexión o fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie se denomina *Albedo*. El albedo planetario es en promedio de un 30%. Esta energía se pierde y no interviene en el calentamiento de la atmósfera.

El albedo, relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre una superficie horizontal, se expresa en porcentaje así:

$$A\% = \frac{R}{H} \times 100$$

A% = Albedo

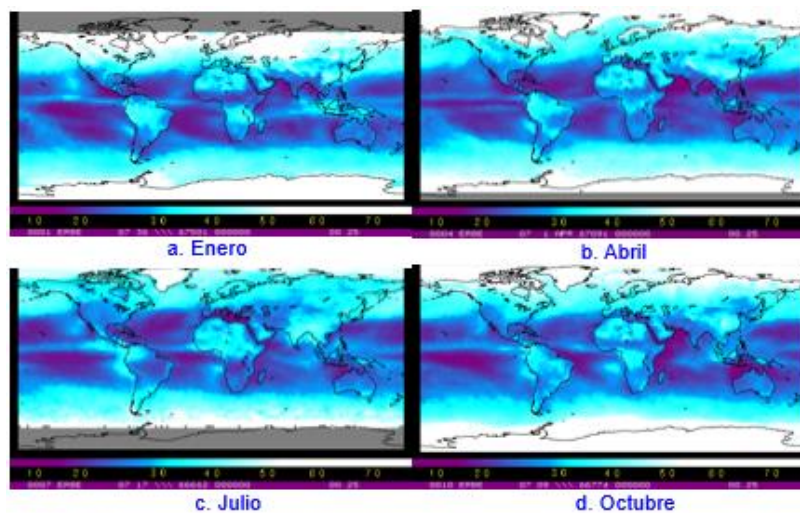
R = Flujo de radiación reflejada

H = Flujo total incidente

El albedo es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, depende de la cobertura nubosa, naturaleza de la superficie, inclinación de los rayos solares, partículas en el aire, etc. La Luna tiene sólo un 12% de albedo, porque no tiene atmósfera y en las noches de luna llena da un buen brillo.

En la figura 16 se presenta el albedo medio para algunos meses del año obtenidos a partir del Experimento del Balance de Radiación de la Tierra (ERBE), elaborado por la NASA.

Figura 19. Albedo planetario medio mensual elaborado por la NASA.



Fuente: (ERBE) [6]

2.2.15. Radiación incidente sobre la superficie terrestre

Es muy grande la cantidad de energía solar que fluye hacia y desde la Tierra y la atmósfera. Una comparación que permite apreciar la cantidad de energía solar que cada año incide sobre la Tierra es que equivale a cerca de 160 veces la energía de las reservas mundiales de energía fósil o que es similar a más de 15000 veces la energía anual usada de los combustibles fósiles y nucleares y de las plantas hidráulicas.

Una aproximación de la cantidad de energía incidente en la Tierra y de cómo se transforma en la atmósfera y la superficie terrestre se puede establecer de la siguiente manera: de la

radiación total incidente, 173000 Teravatios, el 30% es reflejado al espacio exterior. La mayor parte del 70% restante calienta la superficie terrestre, la atmósfera y los océanos (47%) o se absorbe en la evaporación de agua (23%). Relativamente, muy poca energía es usada y dirigida al viento y las olas o para ser absorbida por las plantas en la fotosíntesis. En realidad, prácticamente toda la energía es radiada al espacio exterior en forma de radiación infrarroja.

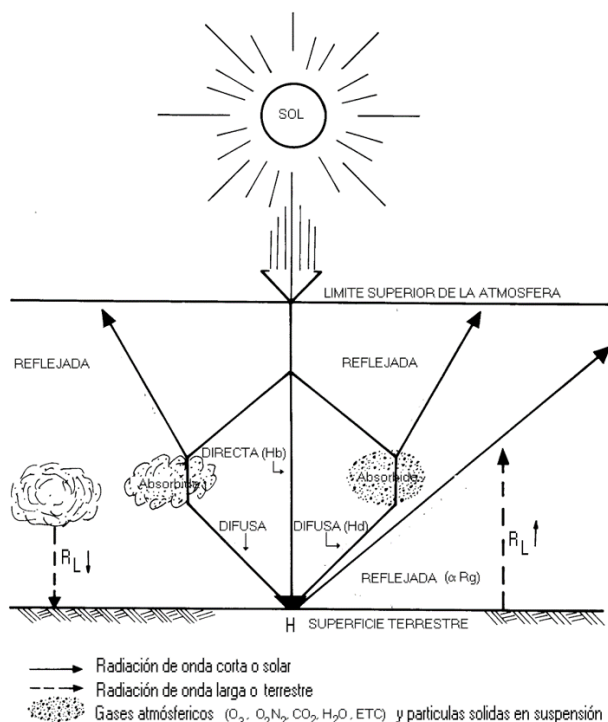
La disponibilidad de energía procedente del Sol depende de la localización geográfica de un punto en la Tierra (latitud, longitud, elevación), además de factores astronómicos como la época del año y la duración del día. Todos estos factores pueden ser determinados con menor o mayor grado de exactitud para estimar la cantidad de energía solar disponible. Sin embargo, el factor que afecta mayormente su disponibilidad efectiva son las nubes y otras condiciones meteorológicas (como la presencia de aerosoles), factores que varían según el lugar y el momento del día.

Los parámetros fundamentales que inciden en la cantidad de radiación disponible en la superficie terrestre son:

- La transparencia de la atmósfera, caracterizada por su “coeficiente de extinción” o por su “transmisividad”.
- La nubosidad
- El día del año y su duración astronómica
- La elevación del Sol en el horizonte
- La “heliofanía”, definida como el tiempo en horas durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo.

El efecto de atenuación de la radiación solar al atravesar la atmósfera se muestra en la figura 17. La radiación que finalmente llega a la superficie de la tierra se clasifica en radiación directa, difusa y global.

Figura 20. Atenuación de la radiación solar por la atmósfera terrestre



Fuente: Atlas de radiación solar [19]

Radiación difusa (H_d)

Es la componente de la radiación solar que, al encontrar pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera en su camino hacia la tierra e interactuar con las nubes, es difundida en todas las direcciones; el flujo con el cual esta energía incide sobre una superficie horizontal por segundo es lo que llamamos radiación solar difusa. También es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera diferente de la radiación solar directa. Cuando no hay nubes en el cielo, la radiación difusa se produce por medio del proceso de difusión a través de partículas atmosféricas.

Radiación global (H)

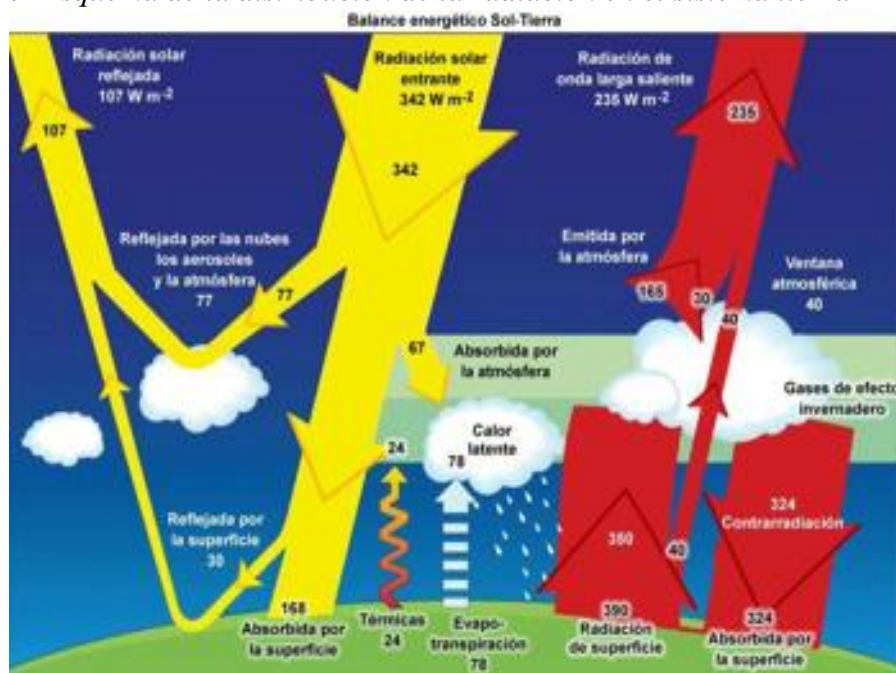
La radiación global es toda la radiación solar que llega a la tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa. El aporte de cada componente a la radiación global, varía con la altura del Sol, la transparencia de la atmósfera y la nubosidad.

2.2.16. Balance radiactivo

Los métodos de transferir energía en la atmósfera incluyen la conducción, la convección, el calor latente, la advección y la radiación. El método de transferencia de energía a través de procesos radiactivos es diferente de los otros mecanismos ya que en este proceso no intervienen moléculas. La Tierra intercambia energía con su ambiente (el sistema solar) por medio de la radiación. El balance radiactivo del planeta es un parámetro fundamental ya que determina nuestro clima (la atmósfera se calienta o se enfría dependiendo de si recibe más o menos energía). Este balance incluye la energía solar, que es la principal fuente de energía para el planeta, igualmente, la atmósfera y el océano pueden trasladar excesos de energía de una región a otra diferente en el globo.

El flujo medio incidente en el tope de la atmósfera es un cuarto de la constante solar, es decir, unos 342 W/m^2 y queda reducida en superficie (por reflexión y absorción) a unos 168 W/m^2 , como se observa en la figura 19.

Figura 21. Esquema de la distribución de la radiación en el sistema tierra - Atmósfera



Fuente: Glosario visual de AEMET [20]

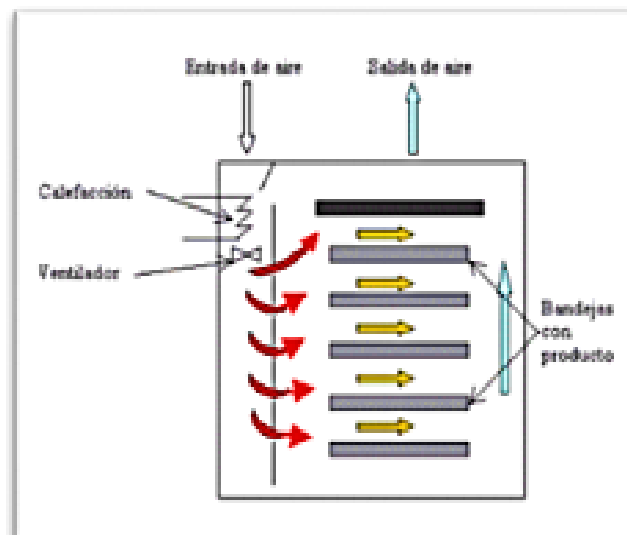
La figura 19 muestra los flujos verticales medios de energía en el sistema terrestre (atmósfera y superficie), en vatios por metro cuadrado. Los más importantes son los 342 W/m^2 de energía solar que entran por el tope de la atmósfera y los 390 W/m^2 que salen del suelo en

ondas infrarrojas. Tanto en superficie como en el tope de la atmósfera el balance entre lo entrante y lo saliente es nulo.

2.2.17. Diseño en la Ingeniería Mecánica.

Secador de bandejas En este tipo de equipos el producto es colocado en bandejas apiladas en varios pisos. La configuración de las entradas y salidas de aire debe permitir el ingreso de aire caliente y la salida del aire húmedo. Es común utilizar mecanismos para forzar el flujo de aire y disminuir el tiempo del proceso. La Figura 19 muestra un deshidratador de bandejas típico. [19]

Figura 22. Esquema secador de bandejas



Fuente: [24]

2.2.17.1. Resistencias de calentamientos níquelinas

Las resistencias de calentamientos níquelinas no son más que resistencias eléctricas usadas como fuente de generación de calor para aumentar la temperatura de la substancia, cuerpo o espacio basándose en el efecto Joule indicando a continuación.

Efecto joule

Este efecto indica que todo elemento posee resistencia eléctrica y este a su vez emitirá un grado de calor el cual dependerá de las características del material así como de la intensidad de corriente circulante a través de él.

Dicho efecto esta corroborado por la siguiente ecuación.

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \cdot 0.24$$

Donde

Q= es el calor emitido por el circuito medido en calorías

R= es la resistencia eléctrica del circuito medido en ohmios

I= la intensidad de corriente que fluye a través del circuito medida en amperios.

t= es el tiempo medido

0,24= es el numero de energía.

Un sistema que se basa en la generaci3n de calor mediante niquelinas o resistencias se fundamenta en el principio de que para que un material pueda conducir la corriente eléctrica deben existir en su interior cargas móviles son los electrones.

El movimiento de estas cargas es al azar y en todas direcciones salvo que se aplique un campo eléctrico.

Figura 23. *Niquelina comercial*

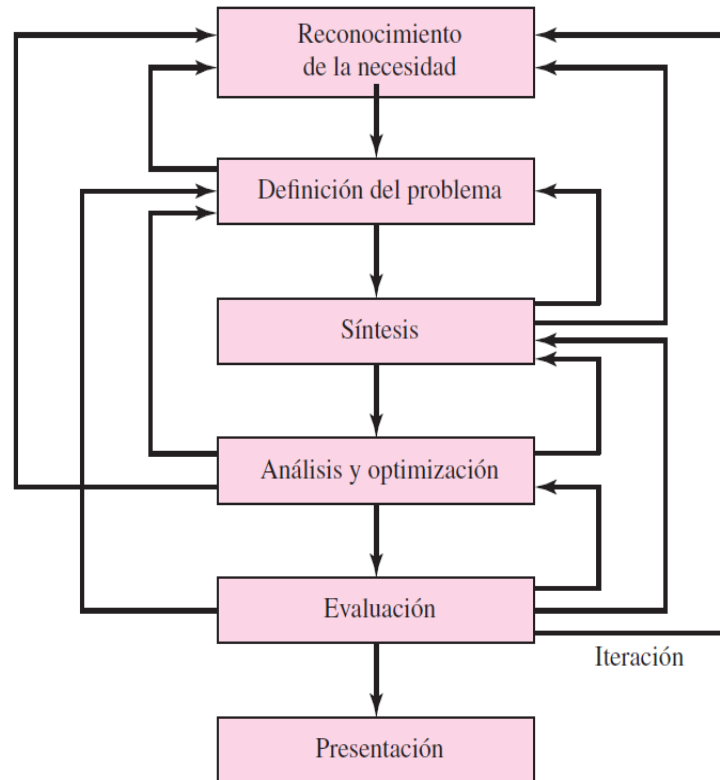


Fuente: [24]

2.2.17.2. Diseño Mecánico.

Es el procedimiento de diseño o selección de componentes mecánicos para lograr una función deseada, en donde los elementos seleccionados deben ser compatibles, acoplarse bien entre sí y funcionar en forma segura y eficiente; considerando el desempeño del elemento diseñado y los elementos que interactúan con él, cumpliendo determinadas funciones existentes para verificar que se cumplan los elementos elegidos. [17]

Figura 24. Fases del proceso de diseño



Fuente: Shigley, 2008

2.2.17.3. Etapas del diseño.

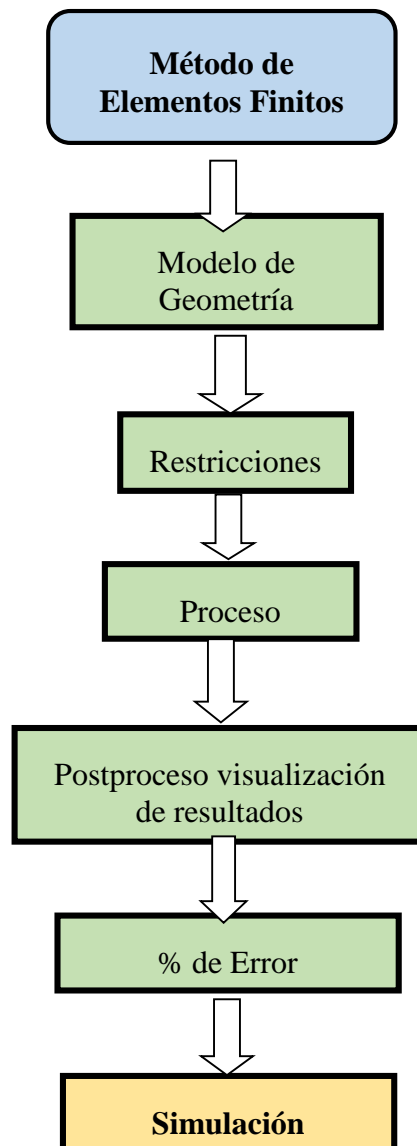
Las etapas del diseño mecánico, a través de procesos, son: [18]

- a) Facilitar ideas
- b) Agrupar elementos
- c) Analizar el diseño.
- d) Evaluar los costos
- e) Representar los planos

2.2.17.4. Método a ensayar.

El método a ensayar permite identificar el porcentaje de error de un análisis dimensional y funcional [19]

Figura 25. Procedimiento de Análisis



Fuente: Borja y Morocho, 2017

2.2.18. Selección de materiales.

Para seleccionar un material que se utiliza para construir un secador solar, se lo debe dar después de seleccionar el procedimiento para generar la geometría requerida y antes de establecer las dimensiones. [20]

Los materiales se clasifican en:

- Aleaciones Ferrosas
- Aceros Aleados

- Aceros Inoxidables
- Fundición de Hierro
- Aleaciones No Ferrosas
- Materiales Plásticos
- Materiales Cerámicos
- Materiales Compuesto
- Fundición de Revestimiento

2.2.18.1. Tipos de transferencia de calor.

a) Conducción

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. El mecanismo físico de conducción se explica más fácilmente considerando un gas y usando ideas que le sean familiares, propias de su experiencia en termodinámica. [21]

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

b) Convección

El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento presenta una presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. [21]

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

c) Radiación

Es la transmisión que se da a través de la emisión de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz y no necesitan de un material para su propagación [21].

$$q_{rad}'' = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_{abs}^4)$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación de campo.

Esta investigación se aplicó para obtener la información concerniente, al secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares, estando en contacto directo con la realidad y por tal motivo con el problema.

3.2.2. Investigación exploratoria.

La investigación exploratoria se empleó, para determinar y verificar la situación actual que viven los agricultores al momento de secar los diferentes productos, permitiendo obtener una mejor percepción del problema presentado en el proyecto.

3.2.3. Investigación documental.

La investigación documental se utilizó para buscar diseños similares, normas, libros que sirvan como guía para la investigación presente, ampliando y deduciendo los conceptos de diferentes autores relacionados con el proyecto.

3.3. Métodos de investigación.

Los métodos empleados en la investigación son:

3.3.1. Método inductivo.

Mediante este método se analizaron estudios realizados donde se aplicó la variedad y alta gama, que existe de secadores implementado en este caso la energía solar mediante colectores con ello contribuir a la mejora del medio ambiente.

3.3.2. Método Analítico.

A través del método analítico se comprobó y analizó los distintos datos e información que se obtiene en el desarrollo de la investigación, mediante el análisis de las diferentes variables que se genera en el problema de realizar el diseño y simulación de un secador de gramíneas donde cumple a satisfacción las especificaciones que requiere para el proceso de secado.

3.3.3. Método bibliográfico.

Por medio de este método se analizaron consultas en libros, revistas, sitios web, artículos científicos donde se buscó información necesaria del principio en que se encuentra basada los distintos tipos de máquinas y equipos.

3.3.4. Método histórico.

Se utilizó como una guía principal en todo el proyecto para la mejora con conocimientos previos ya que a través de este se plantea el problema, donde los objetivos que incluyen general y específico además permiten la organización, procesamiento, análisis, e interpretación de la información obtenida para el proyecto.

3.3.5. Método descriptivo.

Mediante este método se expresó el contexto del proyecto con la mejora continua del secador de gramíneas con la implementación de colectores solares para reducir costos y mejora la calidad de los granos mediante este proyecto.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

Las fuentes secundarias empleadas en este proyecto se dieron a partir de revistas científicas, libros, manuales y páginas web; mientras que las fuentes primarias se dan a través de observaciones directas realizadas mediante la realidad de vida del problema planteado durante las visitas a los agricultores, viendo el tiempo y la forma de secar la gramínea, siguiendo varios pasos.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño no experimental.

Se empleó este tipo de diseño para manipular las variables independientes que surgieron durante el proceso de investigación, observándose de tal forma natural que se dieron, así como en su contexto para después analizarlos.

3.6. Instrumentos de investigación.

3.6.1. Observación directa.

Es un instrumento de investigación que se empleó para recolectar datos útiles dentro de una situación particular, sin alterar el ambiente en el que se desenvuelve, garantizando la validez y fiabilidad del trabajo investigativo en proceso, para después registrarla para su posterior análisis.

3.7. Tratamiento de los datos.

El proyecto presente se dio un tratamiento a los datos, mediante el empleo de la herramienta EXCEL, con la cual se procedió a tabular los datos obtenidos y recopilados durante la observación directa.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

El presente proyecto se contó con la colaboración del:

- Director del Proyecto de Investigación: Ing. Milton Iván Villafuerte López. Msc
- Autora del proyecto: Ochoa García Katherine Adriana

3.8.2. Recursos de materiales.

- Computador
- Internet
- Materiales de oficina
- Pendrive
- Excel
- Software de ingeniería: SolidWorks 2018 y MDSolids35

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

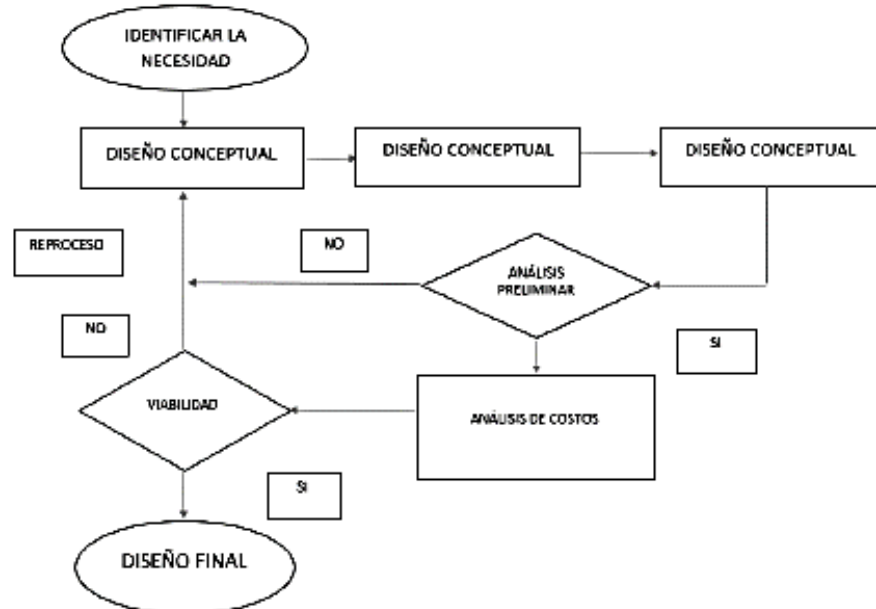
4.1. Resultados

La finalidad de este capítulo es detallar cada uno de los resultados obtenidos en el proceso de investigación, realizado para el diseño del secador de gramíneas aplicado al sector agrícola. Los procesos de secado agrícola y agroindustrial son realizados mediante el uso de otras fuentes de energía, generalmente los derivados del petróleo a un costo considerable, que influye en el costo general del proceso de elaboración y tratamiento de la materia prima, producida en el agro. El proyecto se centra en utilizar energías renovables para el consumo de la secadora

Mediante el análisis mecánico de los procesos y el uso de normas vigentes para el diseño como la ASTM, se calcula dimensiona y se seleccionan elementos que componen el secador de gramíneas, considerando los parámetros necesarios para el funcionamiento como temperatura, costos entre otros.

4.2. Flujo de proceso del diseño

Figura 27. Esquema generalizado



Fuente: [32]

A continuación, revisaremos los parámetros del dimensionamiento de la cámara de secado de las gramíneas.

4.3. Parámetros del dimensionamiento.

Capacidad a secar en la cámara de secado mediante colectores solares es de: = 1000 kg

Tiempo normal de secado de manera tradicional

Las gramíneas mantienen un porcentaje de humedad la cual se toma en consideración para realizar los parámetros del dimensionamiento, las horas de la radiación solar en el secado normal son 10 días tanto para el cacao, 3 d/s de arroz y 3 d/s al maíz. Tomando de referencia para cada uno de los granos a secar en horas al día serían 6,5 h de radiación solar de manera convencional. Entonces obtendremos los siguientes resultados.

- 1) Cacao: $10 \times 6,5 = 65$ horas
- 2) Arroz: $3 \times 6,5 = 19,5$ horas
- 3) Maíz: $3 \times 6,5 = 19,5$ horas

4.3.1. Proceso de secado.

El secador tiene capacidad para 1000 kg de producto con alto porcentaje de humedad. El secador en un lapso de 32 horas para el cacao y 9,75h para el arroz y maíz debe ser capaz de reducir el porcentaje de humedad a 15%, que reduce la proliferación de microorganismos durante el almacenamiento y permite al producto conservar características de textura y sabor agradables para el consumidor.

4.3.2. Tiempo estimado de secado con la maquina secadora

- 1) Cacao = 32,5 horas
- 2) Arroz = 9,75 horas
- 3) Maíz = 9,75 horas

4.3.3. Porcentaje de humedad de las gramíneas

El porcentaje de cada grano antes del proceso de secado uno de los datos a tomar antes de elaborar el diseño obtendremos la humedad del cacao con un 50% de humedad en baba, el arroz mantendrá una humedad 24% al momento de ser gavillado o recolectado, y un 20% del maíz al momento de ser cosechado. El numero de bandejas estimadas son 15 tomando

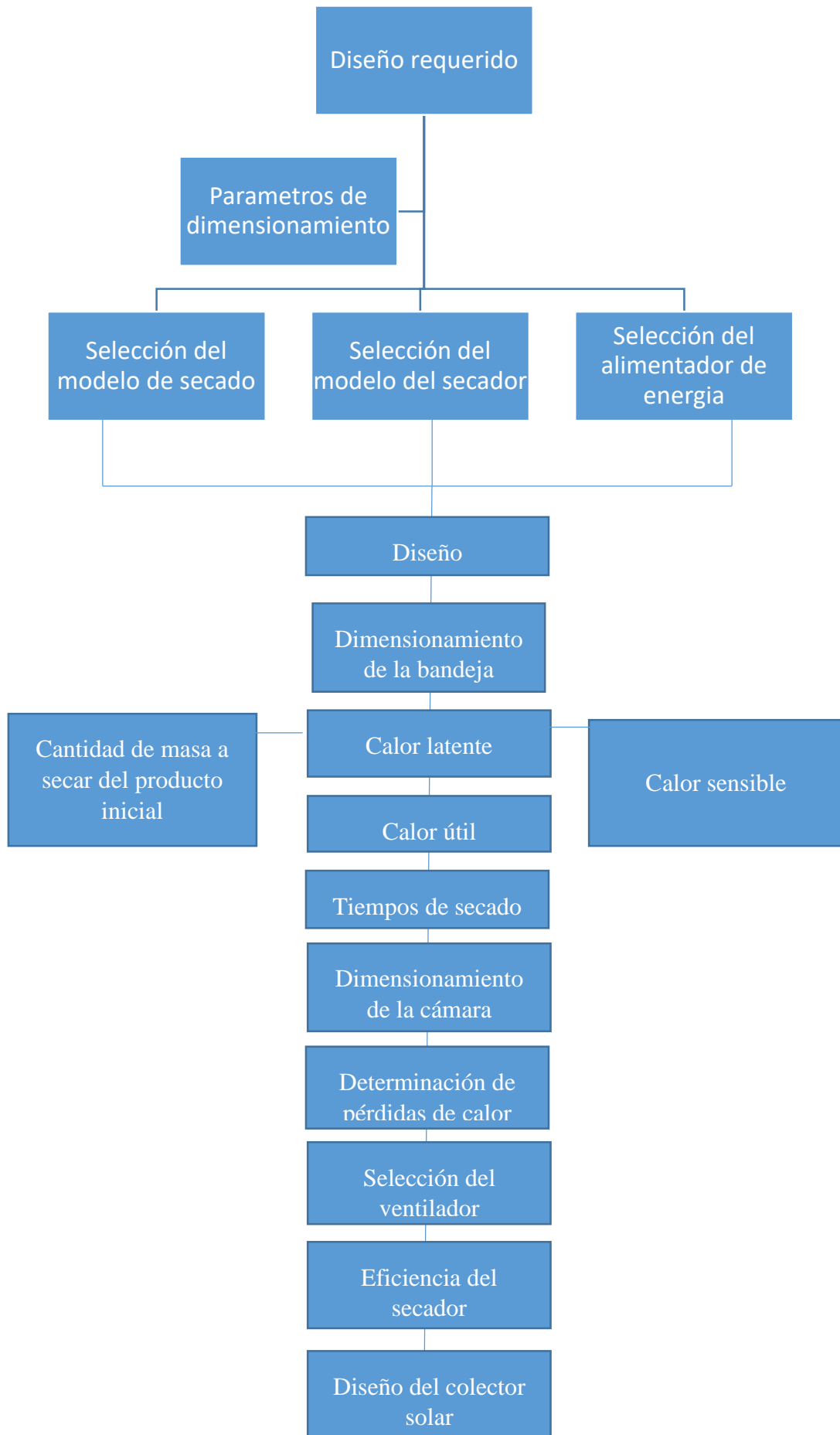
en consideración la carga de 10 quintales a secarse donde los 1000kg / 15 bandejas nos dejan una masa por bandeja de 66,7 kg

4.3.4. Densidad de las gramíneas

Densidad de cada gramínea según Singh y Heldman [23]

- 1) Cacao: 900 (kg/m³)
- 2) Arroz: 600 (kg/m³)
- 3) Maíz: 820 (kg/m³)

4.3.5. Diagrama del dimensionamiento del proyecto.



4.4. Resultados “Diseño y simulación de un secador de gramíneas mediante la implementación de colectores solares”.

A continuación, se dará a conocer las características y dimensionamiento de los elementos mecánicos.

4.4.1. Selección del modelo de secado.

La selección del modelo de secador sigue la siguiente secuencia:

4.4.1.1. Selección del método de secado.

- Secador directo = SD
- Secador indirecto = SI
- Secador mixto = SM

La selección continúa con la ponderación, de la siguiente manera:

4.4.1.2. Método ordinal corregido de criterios ponderados del método de secado.

Los criterios a evaluar son:

Tabla 5.

Valores asignados para las ponderaciones según el método de secado

Valor	Descripción
0	Criterio de las filas < columnas
0,5	Criterio de las filas \approx columnas
1	Criterio de las filas > columnas

Fuente: Riba y Blanco (2020)

4.4.1.3. Definición de los criterios a ponderar.

- Menor tiempo de secado = MS
- Mayor producción = MP
- Control fácil de temperatura = CT
- Mayor eficiencia = ME

Jerarquización de criterios

$$MS > MP > CT > ME$$

A continuación, se da la valoración de criterios

Tabla 6.

Evaluación por criterio del tiempo de secado

Criterio	Menor tiempo de secado	Mayor producción	Control fácil de temperatura	Mayor eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderado
Menor tiempo de secado	1	1	1	1	4,0	0,4
Mayor producción	0	1	1	1	3,0	0,3
Control fácil de temperatura	0	0	1	1	2,0	0,2
Mayor eficiencia	0	0	0	1	1,0	0,1
Total					10,0	1,0

Fuente: Riba y Blanco (2020)

- **Evaluación del menor tiempo de secado**

Tabla 7.

Evaluación del menor tiempo de secado

Menor tiempo de secado	SD	SI	SM	$\Sigma+1$	Ponderado
SD	1	1	1	3,0	0,50
SI	0	1	1	1,0	0,17
SM	0	1	1	2,0	0,33
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

En la evaluación dada, referente al menor tiempo de secado, tiene mayor ponderación el secador directo, el cual se da por empleo de una máquina que puede controlar el nivel de temperatura, humedad, entre otras variables, pudiendo secar el producto hasta en horas,

mientras que en los demás métodos se puede demorar hasta días, dependiendo del clima que se presente.

- **Evaluación de la mayor producción**

Tabla 8.

Evaluación de la mayor producción

Mayor producción	SD	SI	SM	$\sum+1$	Ponderado
SD		1	1	3,0	0,50
SI	0		1	1,0	0,17
SM	1	1		2,0	0,33
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación referente al mayor grado de producción, la secadora directa, tiene mejor ponderación en visto que se podría controlar la humedad presente en los productos deshidratando el porcentaje deseado; mientras que con los otros dos métodos no se lo podría hacer ya que se estaría a expensas del clima que se dé, en el momento.

- **Evaluación del control fácil de temperatura**

Tabla 9.

Evaluación del control fácil de temperatura

Control fácil de temperatura	SD	SI	SM	$\sum+1$	Ponderado
SD		0,5	0	1,5	0,25
SI	0,5		0	1,5	0,25
SM	1	1		3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación del control fácil de temperatura, el método de secado mixto es la mejor opción, en vista que los otros dos métodos como se detalló anteriormente estaría a expensas del clima, de ahí según los días y horas que se podría poner el producto a secar, impidiendo controlar la temperatura.

- **Evaluación de la mayor eficiencia**

Tabla 10.

Evaluación de la eficiencia

Mayor eficiencia	SD	SI	SM	$\Sigma+1$	Ponderado
SD		0,5	0	1,5	0,25
SI	0,5		0	1,5	0,25
SM	1	1		3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación referente al método que da mayor eficiencia, es el de tipo mixto, el cual se emplea por máquinas, que permite controlar varios parámetros que se dan durante la deshidratación de manera directa e indirecta.

4.4.1.4. Tabla de criterios del mejor método de secado.

Tabla 11.

Evaluación de criterios de métodos de secado

Evaluación	Menor tiempo de secado	Mayor producción	Control fácil de temperatura	Mayor eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderado
SD	0,20	0,15	0,05	0,03	1,43	0,36
SI	0,07	0,05	0,05	0,03	1,20	0,30
SM	0,13	0,10	0,10	0,04	1,37	0,34
Total					4,00	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Los datos de evaluación como mejor opción se tiene el Método de Secado de tipo Artificial, se da referente al menor tiempo de secado, mayor producción, así como el control fácil de temperatura y mayor eficiencia.

4.4.2. Selección del modelo de secador.

La selección del secador se da la siguiente manera:

4.4.2.1. Selección del secador.

- Secador de tipo discontinuo = SD
- Secador de tipo continuo = SC
- Secador evolucionado = SE

La selección continúa con la ponderación, de la siguiente manera:

Al igual que en el anterior caso, se evalúan las ponderaciones según los criterios definidos por el tipo de secador, dando valores de 0, 0,5 y 1, dependiendo la valoración definida.

4.4.2.2. Definición de los criterios a ponderar del tipo de secador.

- Mayor producción = MP
- Costos accesibles de sus equipos = CE
- Facilidad de adquisición de sus materiales = FM
- Fácil mantenimiento = Fm
- Facilidad de limpieza = FL

Jerarquización de criterios

$$MP > CE = FM > Fm > FL$$

A continuación, se da la valoración de criterios

Tabla 12.*Evaluación por criterio de los tipos de secadores*

Criterio	Mayor producción	Costos accesibles de sus equipos	Facilidad de adquisición de sus materiales	Fácil mantenimiento	Facilidad de limpieza	$\Sigma+1$	Ponderado
Mayor producción	1	1	1	1	5,0	0,33	
Costos accesibles	0	1	0,5	1	3,5	0,23	
Facilidad de adquisición de sus materiales	0	0,5	1	1	3,5	0,23	
Fácil mantenimiento	0	0	0	1	2,0	0,13	
Facilidad de limpieza	0	0	0	0	1,0	0,07	
Total					15,0	0,99	

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

- **Evaluación de la cantidad de producción**

Tabla 13.*Evaluación de la cantidad de producción*

Cantidad de producción	SD	SC	SE	$\Sigma+1$	Ponderado
SD	1	0,5	1	2,5	0,42
SC	0,5	1	1	2,5	0,42
SE	0	0	1	1,0	0,16
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación referente a la cantidad de producción, el tipo de secador más apropiado son los de tipo discontinuo y continuo, ya que producción es indefinida por su forma.

- **Evaluación de los costos accesibles**

Tabla 14.

Evaluación de los costos accesibles

Accesibilidad de costos	SD	SC	SE	$\Sigma+1$	Ponderado
SD		0,5	1	2,5	0,42
SC	0,5		1	2,5	0,42
SE	0	0		1,0	0,16
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

La evaluación referente a la accesibilidad de costos, los secadores más apropiados son los de tipo discontinuo y continuo, ya que se podrían encontrar los materiales en el mercado local o nacional, quedando relegados los de tipo evolucionarios los cuales resultan más costosos por sus equipos y accesorios que en su mayoría son importados, aumentando los precios por los aranceles.

- **Evaluación de la facilidad de adquisición de los materiales**

Tabla 15.

Evaluación de la facilidad de adquisición de los materiales

Adquisición de materiales	SD	SC	SE	$\Sigma+1$	Ponderado
SD		0,5	1	2,5	0,42
SC	0,5		1	2,5	0,42
SE	0	0		1,0	0,16
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación referente a la adquisición de materiales, los secadores más apropiados son los de tipo discontinuo y continuo, ya que se podrían encontrar los materiales en el mercado local o nacional, quedando relegados los de tipo evolucionarios los cuales resultan más difíciles de adquirir ya que en su mayoría son importados.

- **Evaluación de la facilidad de mantenimiento**

Tabla 16.

Evaluación de la facilidad de mantenimiento

Facilidad de mantenimiento	SD	SC	SE	$\Sigma+1$	Ponderado
SD		1	1	3,0	0,50
SC	0		1	2,0	0,33
SE	0	0		1,0	0,17
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Según la evaluación referente a la facilidad de mantenimiento, como mejor opción y por ende se les asigna mayor ponderación a los secadores de tipo discontinuo, ya que por su modelo se le podría dar mantenimiento de mejor manera que los otros dos tipos, haciendo dicho trabajo más fácil de ejecutar.

- **Evaluación de la facilidad de limpieza**

Tabla 17.

Evaluación de la facilidad de limpieza

Facilidad de limpieza	SD	SC	SE	$\Sigma+1$	Ponderado
SD		1	1	3,0	0,50
SC	0		1	2,0	0,33
SE	0	0		1,0	0,17
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según la evaluación referente a la facilidad de limpieza que se le debe dar a la maquina una vez ocupada, como mejor opción son los secadores de tipo discontinuo, ya que por su modelo se le podría dar limpieza de mejor manera que los otros dos tipos, haciendo dicho trabajo más fácil de ejecutar.

4.4.2.3. Tabla de criterios de los tipos de secadores.

Tabla 18.

Evaluación de criterios de los tipos de secadores

Evaluación	Mayor producción	Costos accesibles de sus equipos	Facilidad de adquisición de sus materiales	Fácil mantenimiento	Facilidad de limpieza	$\Sigma+1$	Ponderado
SD	0,14	0,10	0,10	0,07	0,03	1,44	0,36
SC	0,14	0,10	0,10	0,04	0,02	1,40	0,35
SE	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	1,16	0,29
Total						4,00	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según los datos de evaluación como mejor opción se tiene el secado de tipo discontinuo por ser mejor opción según producción, costos accesibles, facilidad de adquisición de sus materiales, facilidad de mantenimiento, así como de la limpieza.

4.4.3. Selección del alimentador de energía del secador.

La selección del alimentador de energía del secador se da la siguiente manera:

4.4.3.1. Selección del alimentador de energía.

- Por electricidad = PE

- Por combustible = PC
- Por energía solar = PS

La selección continúa con la ponderación, de la siguiente manera:

Al igual que en el anterior caso, se evalúan las ponderaciones según los criterios definidos por el tipo de secador, dando valores de 0, 0,5 y 1, dependiendo la valoración definida.

4.4.3.2. Definición de los criterios a ponderar del alimentador de energía.

- Ahorro de costos energético = AE
- Energía inagotable = EI
- Que no contamine al producto = CN
- Emisión de contaminantes mínimos = EM
- Avances tecnológicos exponenciales = AE
- Bajo mantenimiento = BM
- Limpieza mínima =LM

Jerarquización de criterios

AE > EI > CN > EM > AE = BM > LM

A continuación, se da la valoración de criterios.

Tabla 19.*Evaluación por criterio de los tipos de alimentadores de energía*

Criterio	Ahorro de costos	Energía inagotable	Contaminación del producto	Emisión de contaminantes	Avances tecnológicos	Bajo mantenimiento	Limpieza mínima	$\Sigma+1$	Ponderado
Ahorro de costos	1	1	1	1	1	1	1	7,0	0,25
Energía inagotable	0	1	1	1	1	1	1	6,0	0,21
Contaminación del producto	0	0	1	1	1	1	1	5,0	0,18
Emisión de contaminantes	0	0	0	1	1	1	1	4,0	0,14
Avances tecnológicos	0	0	0	0	0,5	1	1	2,5	0,09
Bajo mantenimiento	0	0	0	0	0,5	1	1	2,5	0,09
Limpieza mínima	0	0	0	0	0	0	1	1,0	0,04
Total								28,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

- **Evaluación del ahorro de costos energéticos**

Tabla 20.*Evaluación del ahorro de costos energético*

Ahorro de costo energético	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	1	0	0	1,0	0,17
Por combustible	1	1	0	2,0	0,33
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según la evaluación referente al ahorro de costo energético, el alimentador debería ser por energía solar, el cual minimiza los pagos mensuales de energía en comparación con los de tipo eléctrico y de combustible.

- **Evaluación de energía inagotable**

Tabla 21.

Evaluación de energía inagotable

Energía inagotable	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	0,5	0,5	0	1,5	0,25
Por combustible	0,5	0,5	0	1,5	0,25
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Según la evaluación referente a la energía inagotable, el único que cumple con este requisito es el de energía solar, lo que es abundante por ser de tipo renovable, ya que este modelo capta la mayor cantidad de energía solar la cual es considerada como energía limpia, amigable al medio ambiente, disponible en todo el mundo.

- **Evaluación de contaminación del producto**

Tabla 22.

Evaluación de contaminación del producto

Contaminación del producto	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	0	1	0	2,0	0,33
Por combustible	0	0	0	1,0	0,17
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según la evaluación vinculada a la contaminación del producto, el alimentador de energía más apropiado sería por energía solar, la cual es energía limpia que no contamina a los alimentos como lo haría el combustible en caso de fuga.

- **Evaluación de emisión de contaminantes**

Tabla 23.

Evaluación de emisión de contaminantes

Emisión de contaminantes	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	1	0	0	2,0	0,33
Por combustible	0	1	0	1,0	0,17
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Como la evaluación vinculada a la emisión de contaminantes, el alimentador de energía más apropiado sería por energía solar, la cual es energía limpia que emite contaminantes mínimos en comparación del modelo de combustible y el de electricidad.

- **Evaluación de avances tecnológicos**

Tabla 24.

Evaluación de avances tecnológicos

Avances tecnológicos	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	1	0	0	2,0	0,33
Por combustible	0	1	0	1,0	0,17
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

La evaluación vinculada a los avances tecnológicos, por la innovación referente a la nanotecnología, se permite obtener hasta un triple de energía.

- **Evaluación del mantenimiento**

Tabla 25.*Evaluación del mantenimiento*

Mantenimiento	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	1	0,5	0	1,5	0,25
Por combustible	0,5	1	0	1,5	0,25
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según la evaluación de mantenimiento, la fuente de alimentación que necesita menos trabajo son los colectores solares, los cuales solo necesitan de limpieza.

- **Evaluación de limpieza**

Tabla 26.*Evaluación de limpieza*

Limpieza	Por electricidad	Por combustible	Energía solar	$\Sigma+1$	Ponderado
Por electricidad	1	1	0	2,0	0,33
Por combustible	0	1	0	1,0	0,17
Por energía solar	1	1	1	3,0	0,50
Total				6,0	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según la evaluación de limpieza, este tipo de trabajo es mínimo, en la alimentación por energía solar, el cual se lo debe hacer solo a los colectores.

4.4.3.3. Tabla de criterios del alimentador de energía.

Tabla 27.

Evaluación de criterios del alimentador de energía

Evaluación	Ahorro de costos	Energía inagotable	Contaminación del producto	Emisión de contaminantes	Avances tecnológicos	Bajo mantenimiento	Limpieza mínima	$\Sigma+1$	Ponderado
Electricidad	0,04	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	1,27	0,32
Combustible	0,08	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	1,23	0,31
Energía solar	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,05	0,02	1,50	0,37
Total								4,00	1,00

Fuente: Riba y Blanco (2020)

Elaborado: Autora

Según los datos de evaluación como mejor opción es la alimentación de energía solar, la cual es la más apropiada por ahorro de costos, teniendo presente energía inagotable, siendo los que menos producen contaminación al producto, siendo los que menos emiten contaminantes al medio ambiente, teniendo avances tecnológicos adecuados, con un mantenimiento mínimo, y una limpieza la cual se le debe dar solo a los colectores solares.

4.4.4. Diseño mecánico.

El diseño mecánico se inicia con el dimensionamiento de las bandejas de la siguiente manera:

4.4.4.1. Dimensionamiento de las bandejas.

El dimensionamiento se inicia definiendo el volumen de las bandejas para lo cual se emplea la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación (1)}^{[22]}$$

Donde:

- ρ = Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)

- m = Masa del producto (-kg)
- V = Volumen de la bandeja (m^3)

Con la ecuación (1), se define el volumen de cada producto deseado a secar.

Para el cacao

$$V_c = \frac{66,67 \text{ Kg}}{900 \frac{\text{Kg}}{m^3}} = 0,07 m^3$$

El volumen de la masa de cacao a secar es de $0.07 m^3$, el cual tendrá un proceso de secado de 32,5 h, para retirar la humedad del grano mediante el flujo de aire a altas temperaturas.

Para el arroz

$$V_A = \frac{66,67 \text{ Kg}}{600 \frac{\text{Kg}}{m^3}} = 0,11 m^3$$

El volumen de la masa de arroz a secar es de $0.11 m^3$, el cual tendrá un proceso de secado de 9,75 h, para retirar la humedad del grano mediante el flujo de aire a altas temperaturas.

Para el maíz

$$V_M = \frac{66,67 \text{ Kg}}{820 \frac{\text{Kg}}{m^3}} = 0,08 m^3$$

El volumen de la masa de maíz a secar es de $0.08 m^3$, el cual tendrá un proceso de secado de 9,75 h, para retirar la humedad del grano mediante el flujo de aire a altas temperaturas.

En base a las dimensiones definidas, se escoge el producto que ocupa mayor volumen, que en este caso será el arroz las bandejas deberán generar un volumen de hasta $0,11 m^3$

Las dimensiones serían:

$$H = \frac{V}{L \times A} \quad \text{Ecuación (2)}^{[23]}$$

Donde:

- V = Volumen (m^3)
- L = Largo de la bandeja = 2,0 m
- A = Ancho de la bandeja = 1,0 m
- H = Altura (m)

Con la ecuación (2), donde interviene el volumen, largo, ancho de la bandeja se procede a dimensionar la altura, de la siguiente manera:

- Para el cacao se necesitaría bandejas con el siguiente dimensionamiento.

$$H_c = \frac{0,07 \text{ m}^3}{2 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}} = 0,035 \text{ m} = 35,00 \text{ mm}$$

- Mientras que para el arroz se necesitaría bandejas con el siguiente dimensionamiento.

$$H_a = \frac{0,11 \text{ m}^3}{2 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}} = 0,05 \text{ m} = 55,55 \text{ mm}$$

- En tanto que para el maíz las bandejas deberían ser.

$$H_m = \frac{0,08 \text{ m}^3}{2 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}} = 0,04 \text{ m} = 40,65 \text{ mm}$$

En base a estas alturas, se define que la altura de la bandeja sería de 56 mm

Teniendo presente que en la cámara se colocará 15 bandejas de dimensiones:

- L = 2 m
- A = 1 m
- H = 0,056 m

4.4.4.2. Definición del espesor de la bandeja.

El espesor de la bandeja se delimita de la siguiente manera:

- Carga a soportar cada bandeja es = 66,67 Kg.

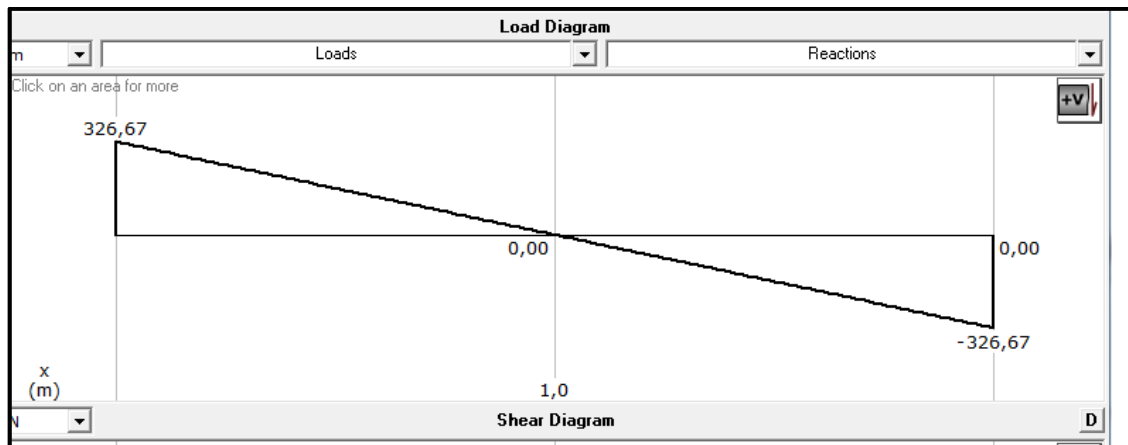
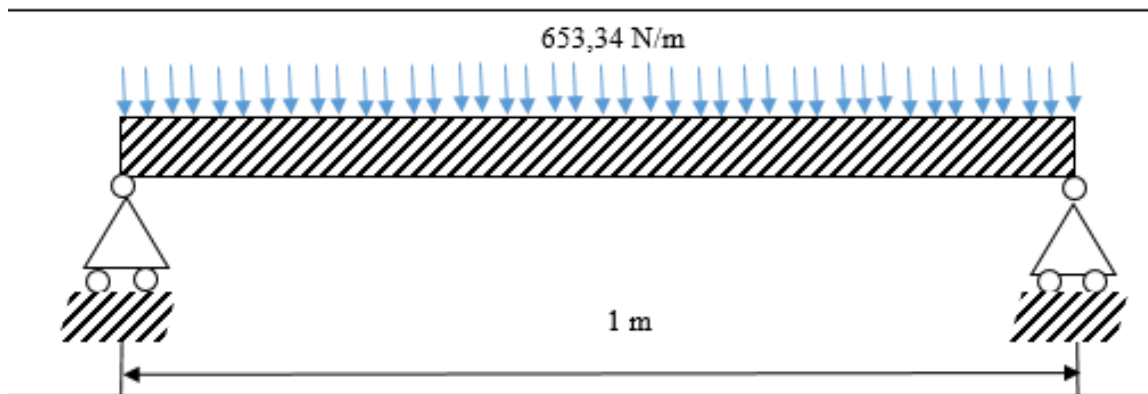
Por lo que la carga originada se da mediante el empleo de la siguiente ecuación, la cual es:

$$F = mxg \quad \text{Ecuación (3)}^{[23]}$$

Donde:

- F = Fuerza que se aplica sobre la bandeja (N)
- m = Masa del producto (kg)
- g = Gravedad (9,8 m/s²)

Figura 28. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la bandeja



Fuente: MDSolids35

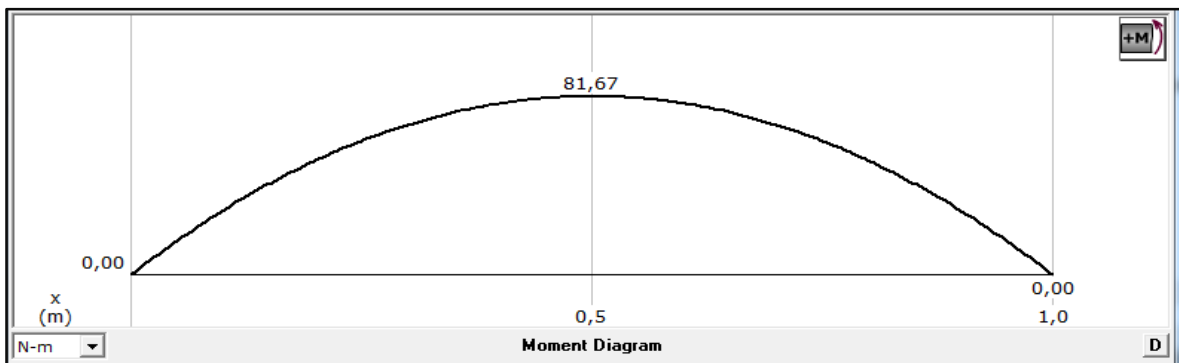
Mediante la aplicación de la ecuación (3) se determina la carga o fuerza que actuaría sobre cada bandeja.

$$F = 66,67 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 653,34 \text{ N}$$

- $L = 2 \text{ m}$
- $F_y = 235000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ (AISI 304)
- $F_{\text{DIS.}} = 653,34 \text{ N/m}$

El siguiente paso es definir el Momento Máximo

Figura 29. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la bandeja



Fuente: MDSolids35

Elaborado: Autora

Una vez definido el momento máximo se procede a determinar el módulo de sección de la siguiente manera:

$$S_x = \frac{M_{\text{Máximo}}}{F_y} \quad \text{Ecuación (4)}^{[23]}$$

Donde:

- $S_x = \text{Módulo de Sección Necesario (mm}^3\text{)}$
- $M = \text{Momento Máximo (Nm)}$
- $F_y = \text{Límite de Fluencia (}\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\text{)}$

Por lo que el módulo de sección en la bandeja se determina mediante el empleo de la ecuación (4).

$$S_x = \frac{81,67 \text{ N} - m}{235000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 3,47 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$347,53 \text{ mm}^3$$

El siguiente paso es definir el espesor, donde

$$S_M = \frac{I}{C} \quad \text{Ecuación (5)}^{[23]}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{Ecuación (6)}^{[23]}$$

$$C = \frac{h}{2}$$

Por lo que:

$$S_x = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6} \quad \text{Ecuación (7)}^{[23]}$$

$$h = \sqrt{\frac{S_x * 6}{b}} \quad \text{Ecuación (8)}^{[23]}$$

Donde:

- S_M = Módulo de Sección del Material (mm^3)
- S_x = Módulo de Sección Necesario (mm^3)
- I = Inercia (mm^4)
- C = Centroide (mm)
- b = Longitud o base de la bandeja (mm)
- h = Espesor o altura de la bandeja (mm)

Por lo que mediante el empleo de la ecuación (8) se obtiene el espesor de la chapa metálica.

$$h = \sqrt{\frac{347,53 \text{ mm}^3 * 6}{1000 \text{ mm}}} = 1,44 \text{ mm}$$

$$h = 2 \text{ mm}$$

4.4.5. Diseño térmico.

En esta sección se procede a dimensionar el elemento calefactor y los módulos fotovoltaicos que se usarán en función de la cantidad de humedad a retirar y del producto que mayor energía demande. Se procede con los cálculos de secado para cacao, arroz y maíz y se determinará el que mayor demanda energética solicite.

4.4.5.1. Cantidad de masa seca del producto.

$$M_s = M_h x \frac{100-W1}{100} \quad \text{Ecuación (9)}^{[24]}$$

- M_s = Masa seca total (kg)
- M_h = Masa con humedad (kg)
- $W1$ = Porcentaje de humedad (%)

A continuación, se procede a definir la cantidad de masa del secado mediante el empleo de la ecuación (9), como se detalla a continuación.

- a) Por lo que para el cacao a 50 %, la masa seca total (M_{sc}):

$$M_{sc} = 66,67 \text{ kg} x \frac{100-50}{100} = 33,33 \text{ kg}$$

- b) En tanto que para el arroz al 24%, la masa seca total (M_{SA}):

$$M_{SA} = 66,67 \text{ kg} x \frac{100-24}{100} = 50,67 \text{ kg}$$

- c) Finalmente, el secado del maíz al 20%, la masa seca total (M_{SM}):

$$M_{SM} = 66,67 \text{ kg} x \frac{100-20}{100} = 53,33 \text{ kg}$$

Una vez definido las masas de secado se procede a definir la cantidad de humedad a retirar, de la siguiente manera.

$$\Delta W = M_s \left(\frac{Xw1}{100-Xw1} - \frac{Xw2}{100-Xw2} \right) \quad \text{Ecuación (10)}^{[24]}$$

Donde:

- ΔW = Cantidad de humedad (kg)

- M_S =Masa seca (kg)
- $Xw1$ = Porcentaje de humedad inicial (%)
- $Xw2$ = Porcentaje de humedad final (%)

El siguiente paso es delimitar la cantidad de humedad mediante el uso de la ecuación (10).

- Por lo que para el cacao la cantidad de humedad a retirar es:

El cacao mantiene una humedad de 70% en baba, luego de pasar el proceso de fermentación llega de entre 50% a 60%. El porcentaje que se requiere de la secadora es del 8% conservando todas sus características y aromas naturales.

$$\Delta W_c = 33,33 \text{ Kg} \left(\frac{50}{100 - 50} - \frac{8}{100 - 8} \right) = 30,43 \text{ kg}$$

- Mientras que para el arroz la cantidad de humedad a retirar es 24% dejando así la una humedad relativa de 12% acto para su conservación y venta.

$$\Delta W_A = 50,67 \text{ Kg} \left(\frac{24}{100 - 24} - \frac{12}{100 - 12} \right) = 9,09 \text{ kg}$$

- Finalmente, para el maíz la cantidad de humedad a retirar es de 20% llegando así al 8% humedad relativamente aceptable para su distribución y almacenamiento.

$$\Delta W_M = 53,33 \text{ Kg} \left(\frac{20}{100 - 20} - \frac{8}{100 - 8} \right) = 8,70 \text{ kg}$$

4.4.5.2. Calor latente.

$$Q_{lat} = \Delta W \times h_{fg} \quad \text{Ecuación (11)}^{[24]}$$

- Q_{lat} = Calor latente (kJ)
- ΔW = Masa de humedad a retirar (kg)
- h_{fg} = Calor de vaporización del agua (kJ/kg)
- T_c =Temperatura se secado del cacao = 60°C
- T_A =Temperatura se secado del arroz = 37°C
- T_M =Temperatura se secado del maíz= 60°C

El calor latente de los diferentes productos se determina mediante el uso de la ecuación (11).

a) Para el cacao el calor latente es:

$$Q_{lat_c} = 30,43 \text{ Kg} \times 2359 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{lat_c} = 71784 \text{ KJ}$$

b) Para el arroz el calor latente es:

$$Q_{lat_A} = 9,09 \text{ Kg} \times 2414,2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{lat_a} = 21945 \text{ KJ}$$

c) Para el maíz el calor latente es:

$$Q_{lat_M} = 8,70 \text{ Kg} \times 2359 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{lat_m} = 20523 \text{ KJ}$$

4.4.5.3. Calor sensible de los productos.

El calor sensible de los productos se determina de la siguiente manera:

$$Q_S = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{Ecuación (12)}^{[22]}$$

Donde:

- Q_S = Calor sensible (W)
- m = Masa seca total (kg)
- ΔT = Diferencias de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)
- C_p = Calor específico ($\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \times ^{\circ}\text{C}}$)
- T_2 = Temperatura ambiente en Quevedo = 23°C
- T_{1C} = Temperatura se secado del cacao = 60°C
- T_{1A} = Temperatura se secado del arroz = 37°C
- T_{1M} = Temperatura se secado del maíz = 60°C

Como no se tiene el calor específico de la gramínea, según Singh y Heldman, libro titulado como Introducción a la ingeniería de los alimentos, [26], dicho calor delimitado que es la cantidad de calor ganado o perdido de la masa del producto, donde se ha propuesto que en los productos alimentarios dicho factor se procede a definir de la siguiente manera:

$$Cp = 1,424X_c + 1,549X_p + 1,675X_f + 0,837X_a + 4,187X_w \quad \text{Ecuación (13)}^{[25]}$$

Donde:

- C_p = Calor específico ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)
- X_c = Fracción másica de carbohidratos
- X_p = Fracción másica de proteínas
- X_f = Fracción másica de grasa
- X_a = Fracción másica de ceniza
- X_w = Fracción másica de agua

Empleando la ecuación (13), se determina el calor específico de los diferentes productos.

Por lo que, para el cacao, el C_{pc} es:

$$C_{pc} = 1,42 * 0 + 1,55 * 0,14 + 1,65 * 0,45 + 0,84 * 0,03 + 4,18 * 0,33 = 2,38 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Mientras que, para el arroz, el C_{pa} es:

$$C_{pa} = 1,42 * 0,68 + 1,55 * 0,07 + 1,68 * 0,004 + 0,84 * 0,005 + 4,19 * 0,24 = 2,09 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Finalmente, para el maíz, el C_{pm} es:

$$C_{pm} = 1,42 * 0 + 1,55 * 0,18 + 1,68 * 0 + 0,84 * 0,11 + 4,19 * 0,20 = 1,21 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

A continuación, se procede a definir el calor sensible de los granos mediante la aplicación de balance de energía para sistemas cerrados, aplicando la ecuación (12).

Para el cacao el calor sensible Q_{sc} es:

$$Q_{Sc} = 500 \text{ kg} \times 2,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (60 - 23)^\circ\text{C} = 44040 \text{ kJ}$$

Para el arroz el calor sensible Q_{Sa} es:

$$Q_{Sa} = 750 \text{ kg} \times 2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (37 - 23)^\circ\text{C} = 22275 \text{ kJ}$$

Para el maíz el calor sensible Q_{Sm} es:

$$Q_{Sm} = 800 \text{ Kg} \times 1,21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (60 - 23)^\circ\text{C} = 35745 \text{ kJ}$$

4.4.5.4. Calor sensible de bandejas.

El calor sensible de las bandejas se determina de la siguiente manera:

$$Q_{SB} = n_b \times m \times C_p \times \Delta T \quad \text{Ecuación (14)}^{[22]}$$

Donde:

- Q_s = Calor sensible (W)
- m = Masa seca de la bandeja = 37,18 (kg) (anexo 1)
- ΔT = Diferencias de temperaturas ($^\circ\text{C}$)
- T_2 = Temperatura ambiente en Quevedo = 23°C
- T_{MAX} = Temperatura se secado máxima requerida = 60°C
- C_p = Calor específico = $0.5 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right)$
- n_b = número de bandejas = 15

Aplicando la ecuación (14), se procede a definir el calor sensible de los granos total que se dan en todas las bandejas.

$$Q_{SB} = 15 \times 37,18 \text{ kg} \times 0.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (60 - 23)^\circ\text{C} = 10317,45 \text{ kJ}$$

4.4.5.5. Energía total requerida (Calor útil).

$$Q_u = Q_s + Q_{lat} + Q_{SB} \quad \text{Ecuación (15)}^{[22]}$$

Donde:

- Qu = Calor útil (kJ)
- Q_s = Calor sensible de los productos (kJ)
- Q_{SB} = Calor sensible de las bandejas (kJ)
- Q_{lat} = Calor latente (kJ)

Mediante el empleo de la ecuación (15) se determina el calor útil en cada producto.

a) Para el cacao el calor útil es:

$$Qu_c = 44040 + 71744 + 10317 = 126\ 101\ KJ = 35\ Kwh$$

b) Para el arroz el calor útil es:

$$Qu_a = 22275 + 21935 + 10317 = 54\ 527\ KJ = 15\ Kwh$$

c) Para el maíz el calor útil es:

$$Qu_m = 35745 + 20511 + 10317 = 66\ 573\ KJ = 19\ Kwh$$

Es evidente que para el cacao se requiere mayor energía en el proceso de secado.

4.4.6. Tiempo de secado a velocidad constante.

El siguiente paso es definir el tiempo de secado de la siguiente manera:

4.4.6.1. Propiedades del aire de secado.

Para el cacao:

- Temperatura de secado: 60°C
- Temperatura de grano en bulbo húmedo: 46,46 °C
- Humedad relativa: 50%
- Volumen específico: 1,05 m³/kg
- Entalpia: 236 kJ/kg

Para el arroz:

- Temperatura de secado: 37°C
- Temperatura de grano en bulbo húmedo: 22°C
- Humedad relativa: 24%
- Volumen específico: 0,89 m³/kg
- Entalpia: 64 kJ/kg

Para el maíz:

- Temperatura de secado: 60°C
- Temperatura de grano en bulbo húmedo: 35 °C
- Humedad relativa: 20%
- Volumen específico: 0,99 m³/kg
- Entalpia: 130 kJ/kg

$$\sigma_{sec} = \frac{1}{V_{sec}} \quad \text{Ecuación (16)}^{[26]}$$

Donde:

- σ_{sec} = Densidad del aire en condiciones de secado
- V_{sec} = Volumen en condiciones de secado

Según el empleo de la ecuación (16) se define la densidad del aire en condiciones de secado de los diferentes productos.

Por lo que:

- Para el cacao

$$\sigma_{sec1} = \frac{1}{1,05 \frac{m^3}{Kg}} = 0,96 \frac{Kg}{m^3}$$

- Para el arroz

$$\sigma_{sec2} = \frac{1}{0,89 \frac{m^3}{Kg}} = 1,13 \frac{Kg}{m^3}$$

- Para el maíz

$$\sigma_{sec3} = \frac{1}{0,99 \frac{m^3}{Kg}} = 1,01 \frac{Kg}{m^3}$$

El siguiente paso es definir la velocidad másica del aire de secado

$$G_V = V_s * 3600 * \sigma_{sec} \quad \text{Ecuación (17)}^{[27]}$$

Donde:

- G_V = Velocidad másica del aire de secado ($\frac{Kg}{m^2h}$)
- σ_{sec} = Densidad del aire en condiciones de secado (kg/m^3)
- V_s = Velocidad de aire dentro de la cámara de secado: 1,5 m/s (0,4 – 3 m/s), recomendado por Corvalan y otros, (1992).

Por lo que con la ecuación (17), se procede a definir la velocidad másica del aire de secado de cada producto, de la siguiente manera.

- Para el cacao

$$G_{Vc} = 1,5 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 0,96 \frac{Kg}{m^3} = 5 157 \frac{kg}{m^2h}$$

- Para el arroz

$$G_{VA} = 1,5 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 1,13 \frac{Kg}{m^3} = 6 084 \frac{Kg}{m^2h}$$

- Para el maíz

$$G_{VA} = 1,5 \frac{m}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 1,01 \frac{Kg}{m^3} = 5 468 \frac{kg}{m^2h}$$

En tanto que el coeficiente de convección es:

$$h_c = (0.0735 * G_V)^{0.8} \quad \text{Ecuación (18)}^{[22]}$$

- h_c = Coeficiente de convección ($\frac{Kg}{m^2h}$)
- G_V = Velocidad másica del aire de secado ($\frac{Kg}{m^2h}$)

A continuación, se procede a definir el coeficiente de convección por la ecuación (18).

- Para el cacao

$$h_{cc} = (0,07 * 5157,54)^{0.8} = 115,61 \frac{Kg}{m^2h}$$

- Para el arroz

$$h_{ca} = (0,07 * 6084,50)^{0.8} = 131,95 \frac{Kg}{m^2h}$$

- Para el maíz

$$h_{cM} = (0,07 * 5468,36)^{0.8} = 121,15 \frac{Kg}{m^2h}$$

La velocidad constante de secado de los productos es:

$$R_c = h_c * \frac{T_{sec} - T_g}{h_{fg}} \quad \text{Ecuación (19)}^{[28]}$$

Donde:

- R_c = Velocidad constante de secado
- T_{sec} = Temperatura de secado
- T_g = Temperatura del grano en bulbo húmedo
- h_{fg} = Calor latente de vaporización: 2257 kJ/kg
- h_c = Coeficiente de convección

Mediante el empleo de la ecuación (19), se procederá a determinar la velocidad constante de secado de la siguiente manera.

Por lo que para el cacao la velocidad constante de secado es:

$$R_{cc} = 115,61 * \frac{60 - 46,46}{2257} = 0,69 \frac{Kg}{m^2h}$$

Mientras que para el arroz la velocidad constante de secado es:

$$R_{ca} = 131,95 * \frac{37 - 22}{2257} = 0,88 \frac{Kg}{m^2h}$$

Finalmente, para el maíz la velocidad constante de secado es:

$$R_{cm} = 121,15 * \frac{60 - 35}{2257} = 1,34 \frac{Kg}{m^2h}$$

Otro paso es, definir el tiempo de secado a velocidad constante

$$t_c = \frac{M_{SECA}(X_{W1}-X_{Wc})}{A_S * R_c} \quad \text{Ecuación (20)}^{[28]}$$

Donde:

- t_c = Tiempo de secado a velocidad constante (h)
- M_{SECA} = Masa seca por bandeja (kg)
- X_{W1} = Porcentaje de humedad inicial
- X_{Wc} = Porcentaje de humedad crítica en base seca
- R_c = Velocidad constante de secado ($\frac{Kg}{m^2h}$)
- A_S = Área de secado = 2 m x 1 m = 2 m²

En base a la ecuación (20), se determina el tiempo de secado de los diferentes productos.

Por lo que el tiempo de secado del cacao ($X_{Wcc} = 40\%$)

$$t_{cc} = \frac{33,33 \text{ kg} (0,50 - 0,40)}{2 \text{ m}^2 * 0,69 \frac{Kg}{m^2h}}$$

$$t_{cc} = 2,40 \text{ h}$$

Mientras que el tiempo de secado del arroz ($X_{Wca} = 20\%$) es:

$$t_{ca} = \frac{50,67 \text{ kg} (0,24 - 0,20)}{2 \text{ m}^2 * 0,88 \frac{Kg}{m^2h}}$$

$$t_{ca} = 1,16 \text{ h}$$

Mientras que el tiempo de secado del maíz ($X_{Wcm} = 13\%$) es:

$$t_{cm} = \frac{53,33 \text{ kg} (0,20 - 0,13)}{2 \text{ m}^2 * 1,34 \frac{Kg}{m^2h}}$$

$$t_{cm} = 1,39 \text{ h}$$

4.4.6.2. Tiempo de secado a velocidad decreciente.

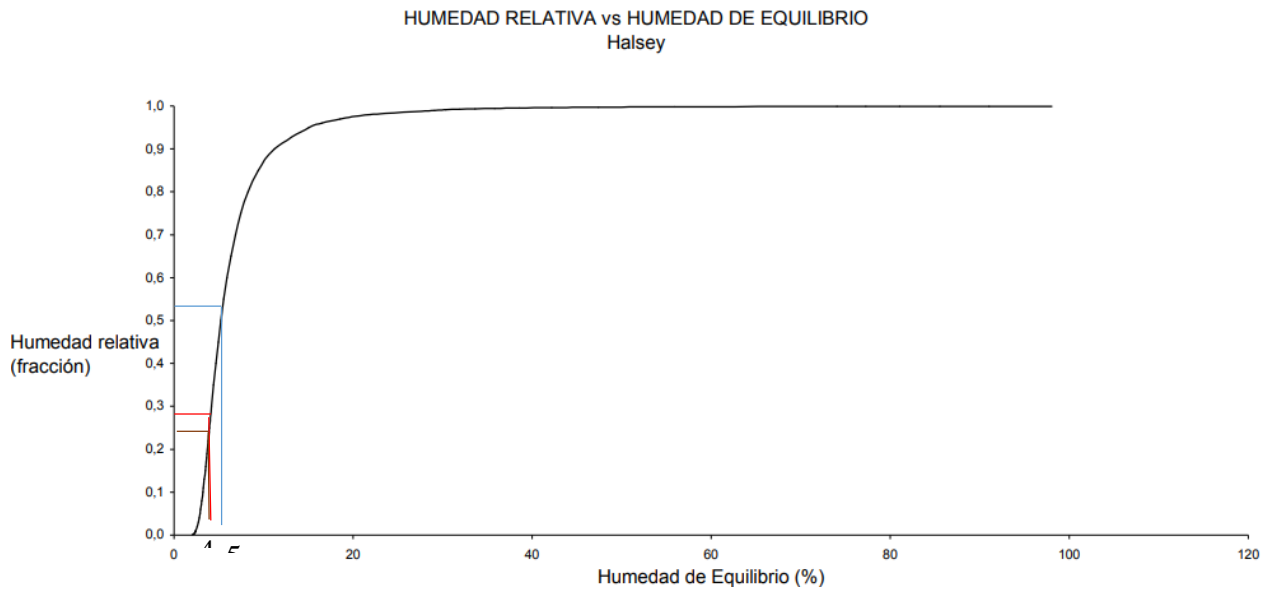
$$R_d = R_c \frac{X_{W1} - X_e}{X_{wc} - X_e} \quad \text{Ecuación (21)}^{[28]}$$

Donde

- R_d = Velocidad decreciente ($\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$)
- R_c = Velocidad constante de secado ($\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2\text{h}}$)
- X_{W1} = Porcentaje de humedad inicial (%)
- X_{wc} = Porcentaje de humedad crítica en base seca (%)
- X_e = Porcentaje de humedad de equilibrio (%)

Mediante el siguiente grafico se procede a definir el (%) de humedad de equilibrio en base a la humedad relativa.

Figura 30. Humedad relativa vs Humedad de equilibrio



Fuente: Guachamin (2017)

El siguiente paso es definir la velocidad constante de secado, mediante el empleo de la ecuación (21)

Por lo que para cacao ($X_e = 5\%$)

$$R_{dc} = 0,69 \frac{Kg}{m^2h} * \frac{0,50 - 0,05}{0,40 - 0,05} = 0,89 \frac{Kg}{m^2h}$$

Mientras que para el arroz ($X_e = 4\%$)

$$R_{da} = 0,88 \frac{Kg}{m^2h} * \frac{0,24 - 0,04}{0,20 - 0,04} = 1,10 \frac{Kg}{m^2h}$$

Finalmente, para el maíz ($X_e = 3,9\%$)

$$R_{dm} = 1,34 \frac{Kg}{m^2h} * \frac{0,20 - 0,039}{0,13 - 0,039} = 2,37 \frac{Kg}{m^2h}$$

Por lo que el tiempo de velocidad decreciente es:

$$t_d = \frac{M_{SECA}(X_{Wc} - X_e)}{A_S * R_c} * \ln\left(\frac{X_{Wc} - X_e}{X_{W2} - X_e}\right) \quad \text{Ecuación (22)}^{[28]}$$

Donde:

- t_d = Tiempo de secado a velocidad decreciente (h)
- M_{SECA} = Masa seca por bandeja (kg)
- X_{W2} = Porcentaje de humedad final (%)
- X_{Wc} = Porcentaje de humedad crítica en base seca (%)
- X_e = Porcentaje de humedad de equilibrio (%)
- R_c = Velocidad constante de secado ($\frac{Kg}{m^2h}$)
- A_S = Área de secado = 2 m x 1 m = 2 m²

En base a la ecuación (22), se definió el tiempo de secado a velocidad decreciente de los diferentes productos.

Por lo que para el cacao

$$t_{dc} = \frac{33,33 \text{ kg} (0,40 - 0,05)}{2 \text{ m}^2 * 0,69 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2\text{h}}} * \ln\left(\frac{0,40 - 0,05}{0,08 - 0,05}\right)$$

$$t_{dc} = 8,41 \text{ h} * 2,46$$

$$t_{dc} = 20,66 \text{ h}$$

Mientras que para el arroz

$$t_{da} = \frac{50,67 \text{ kg} (0,20 - 0,04)}{2 \text{ m}^2 * 0,88 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2\text{h}}} * \ln\left(\frac{0,20 - 0,04}{0,12 - 0,04}\right)$$

$$t_{da} = 4,62 \text{ h} * 0,69$$

$$t_{da} = 3,20 \text{ h}$$

Finalmente, para el maíz

$$t_{dm} = \frac{53,33 \text{ kg} (0,13 - 0,04)}{2 \text{ m}^2 * 1,34 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2\text{h}}} * \ln\left(\frac{0,13 - 0,04}{0,08 - 0,04}\right)$$

$$t_{dm} = 1,81 \text{ h} * 0,80$$

$$t_{dm} = 1,45 \text{ h}$$

Por lo que el tiempo total es:

$$t_T = t_c + t_d \quad \text{Ecuación (23)}^{[28]}$$

Donde:

- t_T = Tiempo total de secado (h)
- t_c = Tiempo de secado a velocidad constante (h)
- t_d = Tiempo de secado a velocidad decreciente (h)

Mediante la ecuación (23) se determina el tiempo total de secado de los diferentes productos.

Por lo que el tiempo total de secado del cacao es:

$$t_{Tc} = 2,40 \text{ h} + 20,66 \text{ h} = 23,07 \text{ h}$$

Mientras que el tiempo total de secado del arroz es:

$$t_{Ta} = 1,16 \text{ h} + 3,20 \text{ h} = 4,36 \text{ h}$$

Finalmente, el tiempo total de secado del maíz es:

$$t_{Tm} = 1,39 \text{ h} + 1,45 \text{ h} = 2,84 \text{ h}$$

4.4.7. Dimensionamiento de la cámara.

Las dimensiones internas de la cámara de secado serán:

- L = largo de la bandeja = 2 m
- A = ancho de la bandeja = 1 m
- Espacio entre bandejas y paredes = 0,06 m
- Espesor de las bandejas = 0.002 m
- A_{camara} = Ancho de la cámara = 1,13 m
- L_{camara} = Largo de la cámara = 2 m
- H = Altura de la cámara
- H_b = Altura de la bandeja = 56 mm

- H_a = Altura del aire de entrada = 0,21 m
- H_e = Altura de espacio entre bandejas

Por lo que:

$$H_e = H_b H_a$$

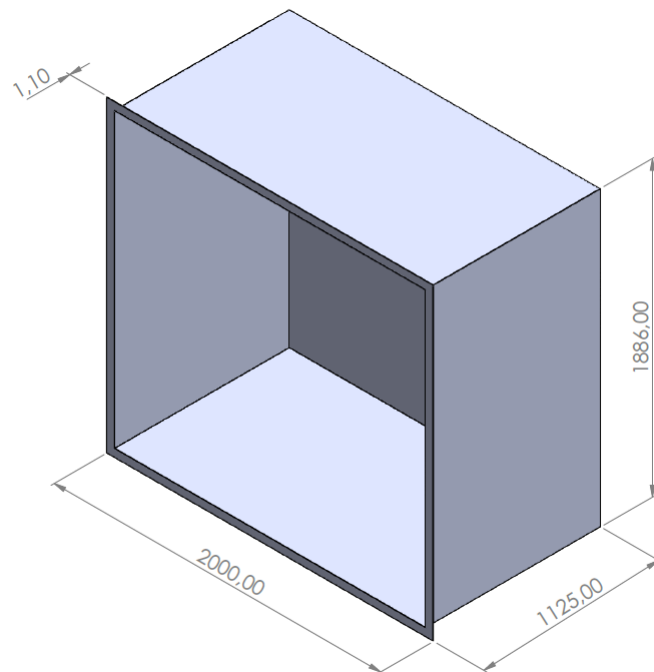
$$H = (H_e + H_b) \times 15 + H_a \quad \text{Ecuación (24)}^{[28]}$$

El siguiente paso es definir la altura total de la cámara mediante el empleo de la ecuación (24).

$$H = (56 \text{ mm} + 56 \text{ mm}) \times 15 + 206 \text{ mm}$$

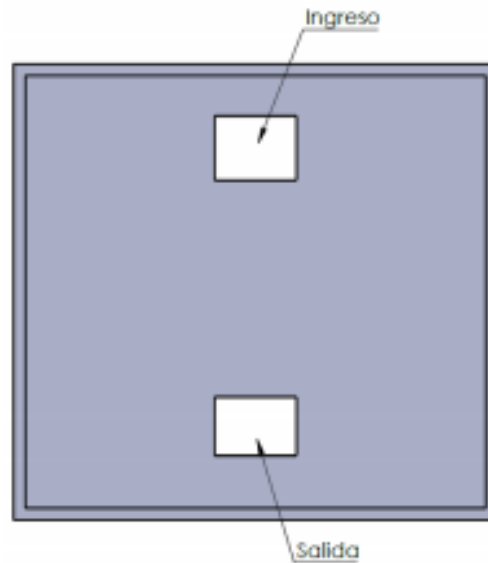
$$H = 1886 \text{ mm} = 1,89 \text{ m}$$

Figura 31. Dimensiones internas de la cámara de secado



Elaborado: Autora

Figura 32. Cámara de secado



Entrada y salida del flujo de aire dentro de la cámara de secado.

Por lo que al Área interna mayor es:

$$A_i = H * L \quad \text{Ecuación (25)}^{[28]}$$

$$A_i = 1,89 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$A_i = 3,77 \text{ m}^2$$

Mientras que el Perímetro es:

$$P_i = 2H + 2L \quad \text{Ecuación (26)}^{[28]}$$

$$P_i = 2 * 1,89 \text{ m} + 2 * 2 \text{ m}$$

$$P_i = 7,77 \text{ m}$$

4.4.8. Diámetro hidráulico.

Una vez definido el área y perímetro interno se procede a delimitar el diámetro hidráulico de la siguiente manera:

$$D_h = \frac{4A_i}{P_i} \quad \text{Ecuación (27)}^{[22]}$$

Por lo que el diámetro hidráulico es:

$$D_h = \frac{4 * 3,77 \text{ m}^2}{7,77 \text{ m}}$$

$$D_h = 1,94 \text{ m}$$

El siguiente paso es seleccionar los Reynolds los cuales deben cumplir $Re > 2320$

- V_s = Velocidad de aire dentro de la cámara de secado: 1,5 m/s, (0,4 – 3 m/s), recomendado por Corvalan y otros, (1992).
- ν : Viscosidad cinemática del aire a 41,5 °C, lo cual es la temperatura promedio requerida, $1,74 \times 10^{-5}$ [m²/s]

Por lo que:

$$Re = \frac{V_s D_h}{\nu} \quad \text{Ecuación (28)}^{[22]}$$

Mediante la ecuación (28), se determina los números de Reynolds

$$Re = \frac{1,5 \frac{m}{s} * 1,94 \text{ m}}{0,000017383794 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 167590,14$$

Como detalla Incropera, [31] cuando Re es superior a 3000, para el caso de placas planas, como es este caso, el cual es **turbulento**.

4.4.9. Determinación de pérdidas de calor.

4.4.9.1. Cálculo del coeficiente interior de transferencia de calor por convección.

El coeficiente interno de convección térmico se define mediante el empleo del número de Prandtl el cual es de 0.7 – 1, por lo que flujo turbulento se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{h_i D_h}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad \text{Ecuación (29)}^{[22]}$$

Donde:

- h_i = Coeficiente interno de convección térmica ($\frac{W}{m^2K}$)
- Dh = Diámetro hidráulico, $Dh = 1,94$ m
- Pr = Número de Prandtl = 0.7
- Re = Número de Reynolds = 167590,14
- n = Coeficiente para enfriamiento del fluido = 0,3
- k = Conductividad térmica del aire a 60°C, es 0,03 (W/m K)

Por lo que:

$$\frac{h_i D_h}{k} = 0,023 Re^{0.8} Pr^n$$

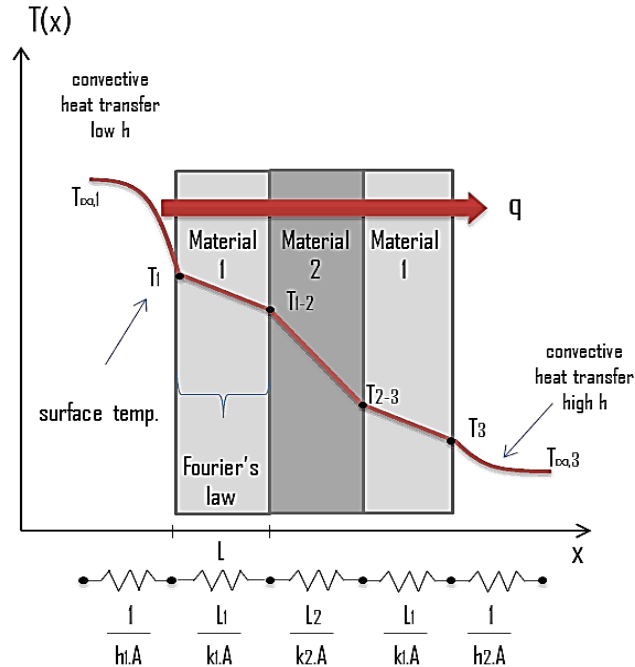
$$h_i = \frac{0,023 Re^{0.8} Pr^n * k}{D_h}$$

$$h_i = \frac{0,023(167590,14)^{0.8}(0,7)^{0.3} * 0,03 \frac{W}{mK}}{1.9413 \text{ m}}$$

$$h_i = 4,83 \frac{W}{m^2K}$$

4.4.9.2. Dimensionamiento preliminar del espesor del aislante.

Figura 33. Resistencias térmicas en una pared delgada



Fuente: Connor (2020)

El material aislante es la lana de vidrio la cual está constituida de:

- 1- Plancha de acero inoxidable al lado interior el cual tiene un espesor de 0.7 mm, con una constante $K=14,9 \text{ W/mk}$ [22]
- 2- Plancha de acero galvanizado al lado exterior el cual tiene un espesor de 0.7 mm, con una constante $K=60,5 \text{ W/mk}$ [22].

Por lo que las resistencias térmicas actuar son.

$$R_{cond} = \frac{e}{k} \quad \text{Ecuación (30)}^{[22]}$$

Donde:

- R_{cond} = Resistencia térmica por conducción ($\text{m}^2\text{K/W}$)
- e = Espesor (m)
- k = Conductividad térmica del material (W/mK)

Por lo que para definir la resistencia térmica por conducción se utiliza la ecuación (31)

Para la plancha de acero inoxidable es:

$$R_{cond-304} = \frac{0,0007 \text{ m}}{14,9 \frac{\text{W}}{\text{mk}}} = 0,000047 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}$$

Mientras que para la plancha de acero galvanizado es:

$$R_{cond-galv} = \frac{0,0007 \text{ m}}{60,5 \frac{\text{W}}{\text{mk}}} = 0,000012 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}$$

En tanto que las resistencias en la parte interior y exterior se determina de la siguiente manera:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv}} \quad \text{Ecuación (31)}^{[22]}$$

Donde:

- R_{conv} = Resistencia térmica por convección ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
- h_{conv} = Coeficiente de convección ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

Por lo que la resistencia en el lado interior se define mediante el empleo de la ecuación (32).

$$R_{conv-int.} = \frac{1}{4,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 0,21 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}$$

Mientras que la resistencia al lado exterior es:

$$R_{conv-ext.} = \frac{1}{2,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 0,36 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}$$

Por lo que las resistencias térmicas totales son:

$$R_{total} = 0,000047 \frac{m^2k}{W} + 0,000012 \frac{m^2k}{W} + 0,21 \frac{m^2k}{W} + 0,36 \frac{m^2k}{W} = 0,57 \frac{m^2k}{W}$$

La resistencia de aislamiento de lana de vidrio para un espesor que varía de 50 a 70 mm es:

$$R_{lana} = 1,23 \frac{m^2k}{W}$$

Por lo que la resistencia del aislamiento es:

$$R_{aislamiento} = 1,23 \frac{m^2k}{W} + 0,57 \frac{m^2k}{W} = 1,80 \frac{m^2k}{W}$$

El siguiente paso es definir el espesor de la lana de vidrio como aislante deseado, mediante el empleo de la ecuación (31).

$$k * R_{cond} = e$$

Por lo que el espesor es:

$$e = 0,023 \frac{W}{mk} * 1,80 \frac{m^2k}{W} = 41,4 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición se elige lana de vidrio de un espesor $e=50,8$ mm, la misma que va a generar una temperatura en el interior de la cámara $T_{int} = 60^\circ\text{C}$, en tanto que en el lado exterior sería $T_{ext} = 23^\circ$. (anexo10)

4.4.9.3. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.

El cálculo se da de la siguiente manera:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_a}{k_a} + \frac{e_l}{k_l} + \frac{e_g}{k_g} + \frac{1}{h_o}} \quad \text{Ecuación (32)}^{[22]}$$

Donde:

- U_o = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{m^2K}$)
- h_i = Coeficiente interno de convección térmica, $4,83 \frac{W}{m^2K}$
- e_{304} = Espesor del acero inoxidable, 0,0007 m

- k_{304} = Conductividad térmica del acero inoxidable, $14,9 \frac{W}{mk}$
- e_{lana} = Espesor del aislante, 0,05 m
- k_{lana} = Conductividad térmica del aislante, $0,040 \frac{W}{mk}$
- e_{galv} = Espesor del acero galvanizado, 0,0007 m
- k_{galv} = Conductividad térmica del acero galvanizado, $60,5 \frac{W}{mk}$
- h_o = Coeficiente externo de convección térmica, $2,8 \frac{W}{m^2K}$

Por lo que:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{4,29 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0,0007 \text{ m}}{14,9 \frac{W}{mk}} + \frac{0,05 \text{ m}}{0,04 \frac{W}{mk}} + \frac{0,0007 \text{ m}}{60,5 \frac{W}{mk}} + \frac{1}{11,14 \frac{W}{m^2K}}}$$

$$U_o = \frac{1}{0,21 \frac{m^2k}{W} + 0,000047 \frac{m^2k}{W} + 1,25 \frac{m^2k}{W} + 0,0000116 \frac{m^2k}{W} + 0,36 \frac{m^2k}{W}}$$

$$U_o = \frac{1}{1,86 \frac{m^2k}{W}} = 0,55 \frac{W}{m^2K}$$

4.4.9.4. Cálculo de pérdidas en paredes

El cálculo de calor perdido en paredes se determina de la siguiente manera:

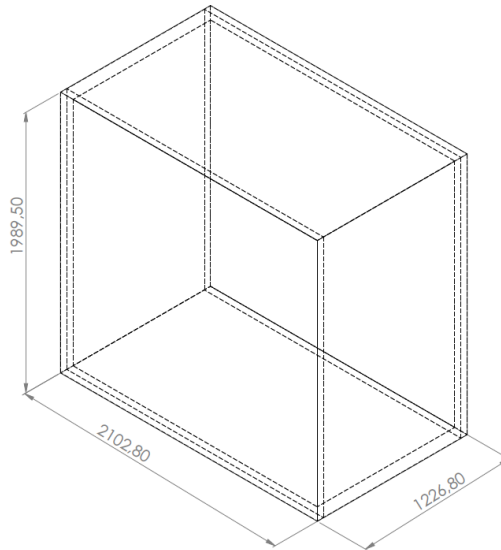
$$\dot{Q}_P = U_o * A_{ext} * \Delta T \quad \text{Ecuación (33)}^{[22]}$$

Donde:

- \dot{Q}_P = Potencia perdida en paredes (W)
- U_o = Coeficiente global de transferencia de calor = $0,55 \frac{W}{m^2K}$
- ΔT = Diferencia de temperaturas = $60-23 = 37 \text{ }^\circ\text{K}$
- A_{ext} = Área externa (m^2)

En vista que no se tiene el área externa de todas las paredes se procede a delimitar.

Figura 34. Dimensiones externas de la cámara de secado



Elaborado: Autora

El área externa se determina mediante el empleo de la ecuación (25) es:

$$A_{ext} = 2 * H_{ext} * B_{ext} + 2 * H_{ext} * L_{ext} + 2 * L_{ext} * B_{ext}$$

Donde:

- A_{ext} = Área externa de la cámara de secado = m^2
- H_{ext} = Alto externo de la cámara de secado = 1,9 m
- B_{ext} = Ancho externo de la cámara de secado = 1,2 m
- L_{ext} = Largo externo de la cámara de secado = 2,1 m

Por lo que

$$A_{ext} = 2 * 1,9 * 1,2 + 2 * 1,9 * 2,1 + 2 * 2,1 * 1,2$$

$$A_{ext} = 18,41 m^2$$

Dando:

$$\dot{Q}_p = 0,55 \frac{W}{m^2K} * 18,41 m^2 * 37^\circ K = 374,64 W$$

Si se considera una operación constante en función del tiempo total de secado, que para el cacao es de $t = 23$ h entonces el calor perdido en ese período es:

$$Q_p = 374.6 \text{ W} * 23\text{h} = 8.62 \text{ kWh}$$

4.4.9.5. Cálculo de la energía total y la potencia total requerida.

El cálculo se da en base a la sumatoria de todos los calores establecidos

$$Q_{total} = Q_u + Q_p \quad \text{Ecuación (34)}^{[29]}$$

Donde:

- Q_u = Calor útil del producto = 35 kWh
- Q_p = Calor perdido en paredes = 8.62 kWh
-

$$Q_{total} = 35 + 8.6 = 43.6 \text{ kWh}$$

Si se toma en cuenta que en la operación son las 23 h de secado ya calculadas para el cacao que es el que mayor energía requiere, la potencia total requerida es :

$$\dot{Q}_{total} = \frac{Q_{total}}{t_{Total} * 3600} = \frac{43.6 \text{ kWh}}{23 \text{ h}} = 2 \text{ kW}$$

En tanto que el flujo másico de aire se determina mediante la ecuación (12)

$$\dot{Q}_{total} = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Donde:

- Q_{total} = Potencia total = 2000 W
- \dot{m} = Flujo másico (kg/s)
- $C_{p_{aire}} = 1007 \frac{J}{Kg * K}$, calor específico de aire a 60°C
- ΔT = Diferencia de temperaturas = 37 °K

Por lo que:

$$\dot{m} = \frac{2000 \frac{J}{s}}{1007 \frac{J}{Kg * K} * 37 \text{ K}} = 0,054 \frac{Kg}{s}$$

4.4.10. Selección del ventilador.

La selección del ventilador se da con el cálculo del flujo másico necesario.

$$Q = (B_{int} \times H_{int} - Nb * B * H) * V \quad \text{Ecuación (35)}^{[29]}$$

Donde:

- Q = Flujo volumétrico
- V = Velocidad del fluido en la cámara
- H_{int} = Alto interna de la cámara de secado = 1886 mm
- B_{int} = Ancho interno de la cámara de secado = 1112 mm
- Nb = Número de bandejas = 15
- V_s = Velocidad de aire dentro de la cámara de secado: 1.5 m/s
- B = Ancho de la bandeja = 1004 mm
- H = Altura de la bandeja = 56 mm

$$Q = (1112 \text{ mm} \times 1886 \text{ mm} - 15 * 1004 \text{ mm} * 56 \text{ mm}) \frac{1 \text{ m}^2}{(1000 \text{ mm})^2} * 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$Q = 2,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 7596 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por lo que se selecciona en base al flujo másico un ventilador centrifugo que emplea una velocidad máxima de 850 rpm y un caudal de 7800 m³/h, pudiéndose visualizar en el anexo 11.

4.4.11. Eficiencia del secador

La eficiencia del secador se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{(M_h - M_s) * h_{fg}}{\frac{Q_u}{Ab} * Ac} \quad \text{Ecuación (36)} [34]$$

- M_h = Masa de gramínea con humedad = 66,67 kg (Cacao)
- M_s = Masa total de gramínea seca = 33,33 kg (Cacao)
- h_{fg} = Calor de vaporización del agua = 2359 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- Q_u = Calor útil = 35 kWh = 126 101 kJ

- L_{camara} = Largo exterior de la cámara = 2,10 m
- A_{camara} = Ancho exterior de la cámara = 1,23 m
- L = largo de la bandeja = 2 m
- A = ancho de la bandeja = 1 m

$$n = \frac{(66,67 \text{ kg} - 33,33 \text{ kg}) * 2359 \frac{kJ}{kg}}{\frac{126\ 101 \text{ kJ}}{2\text{m} * 1\text{m}} * 2,10\text{m} * 1,23\text{m}}$$

$$n = \frac{78625 \text{ kJ}}{162\ 860 \text{ kJ}} = 0,48 = 48\%$$

Eficiencia sólo de la parte térmica del secador.

4.4.12. Diseño del módulo fotovoltaico (Solar).

4.4.12.1. Irradiancia.

La irradiancia mensual es:

Tabla 28.

Irradiancia solar horizontal mensualizada en el cantón Quevedo

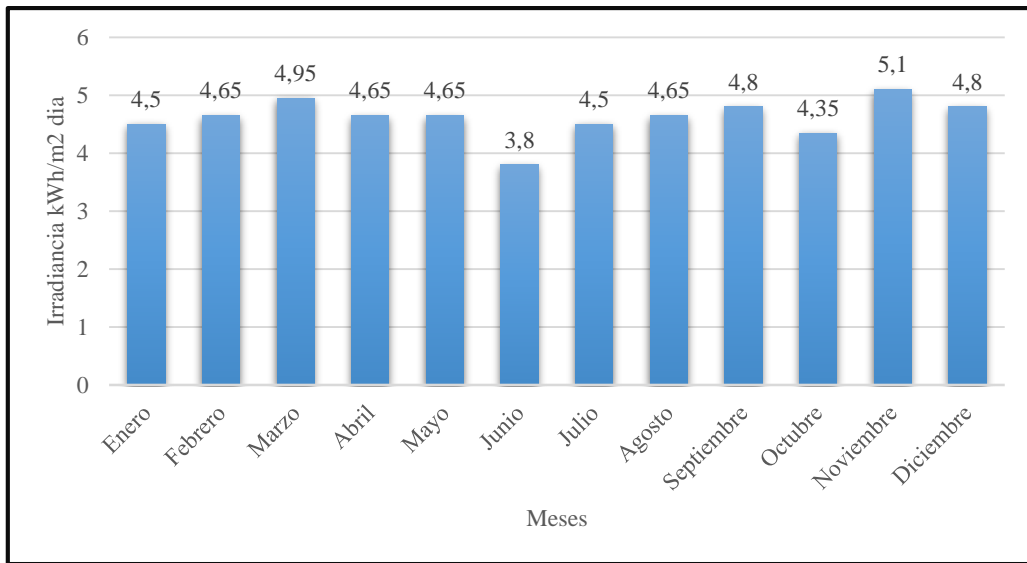
Meses	ATLAS	MAPA	CENTRO	Meteonorm
	SOLAR	SOLAR	CIENTÍFICO	V8.3
	2008	2019	2015	2020
	Valores	Valores	Valores	Valores
	(kWh/m ² dia)	(kWh/m ² dia)	(kWh/m ² dia)	(kWh/m ² dia)
Enero	4,50	4,50	4.40	3.63
Febrero	4,65	4,35	4.20	4.23
Marzo	4,95	4,50	4.90	4.60
Abril	4,65	4,50	4.90	4.63
Mayo	4,65	4,50	4.63	4.13
Junio	3,80	3,90	3.77	4.17
Julio	4,50	4,20	4.00	3.73
Agosto	4,65	4,50	4.03	3.73
Septiembre	4,80	4,20	3.90	4.33
Octubre	4,35	4,50	3.13	3.70
Noviembre	5,10	4,55	3.20	3.63
Diciembre	4,80	4,40	4.13	4.07

Elaborado: Autora

A continuación, se indica en una figura de barras los datos de irradiación global por día y por mes, donde se fija la tendencia de cómo actúa.

Según el ATLAS SOLAR (Anexo 13) la irradiación mensualizada actúa:

Figura 35. Variación de la irradiación a través del año – ATLAS SOLAR

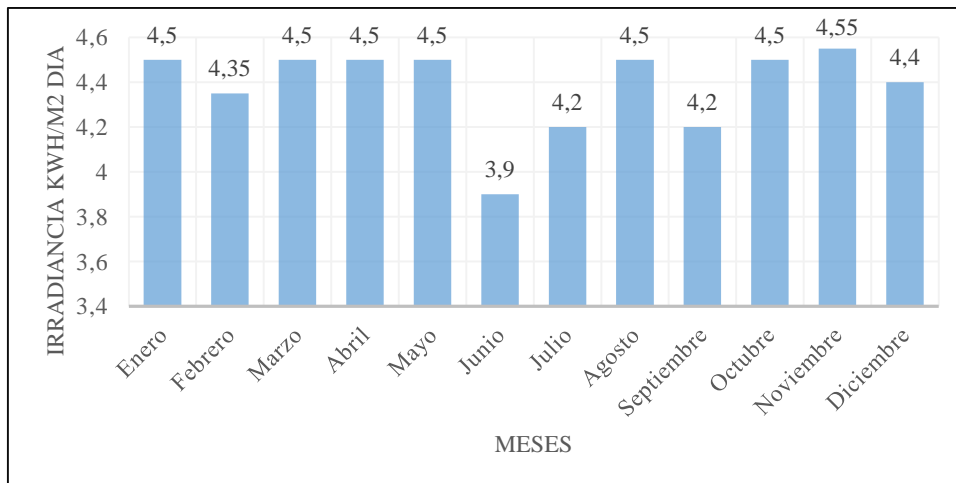


Fuente: CONELEC (2008)

Elaborado: Autora

Mientras que para el MAPA SOLAR (Anexo 14), la irradiación mensualizada actúa

Figura 36. Variación de la irradiación a través del año – MAPA SOLAR

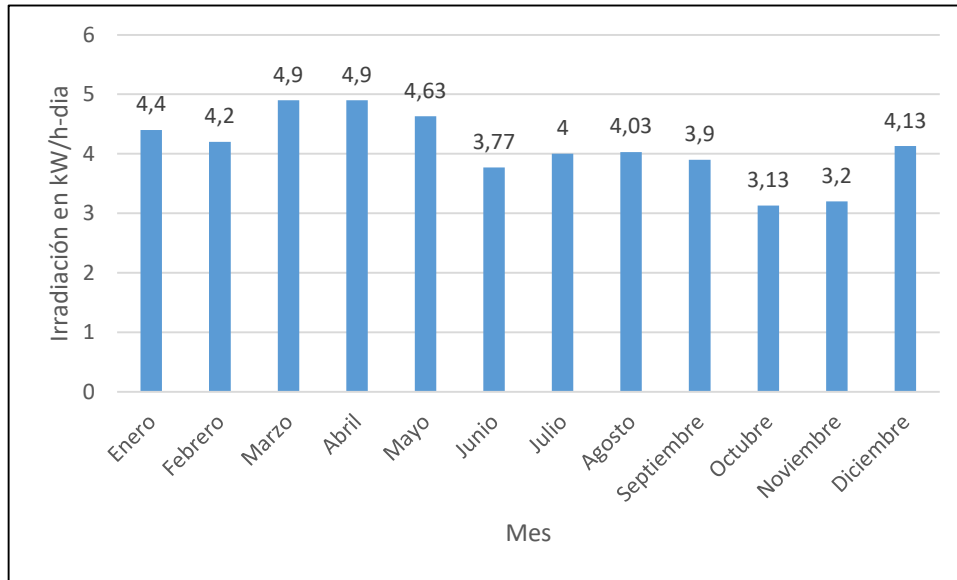


Fuente: Vaca y Ordóñez (2019)

Elaborado: Autora

En tanto que el CENTRO CIENTÍFICO DE LA UE la irradiación mensualizada actúa

Figura 37. Variación de la irradiación a través del año – CENTRO CIENTÍFICO DE LA UE

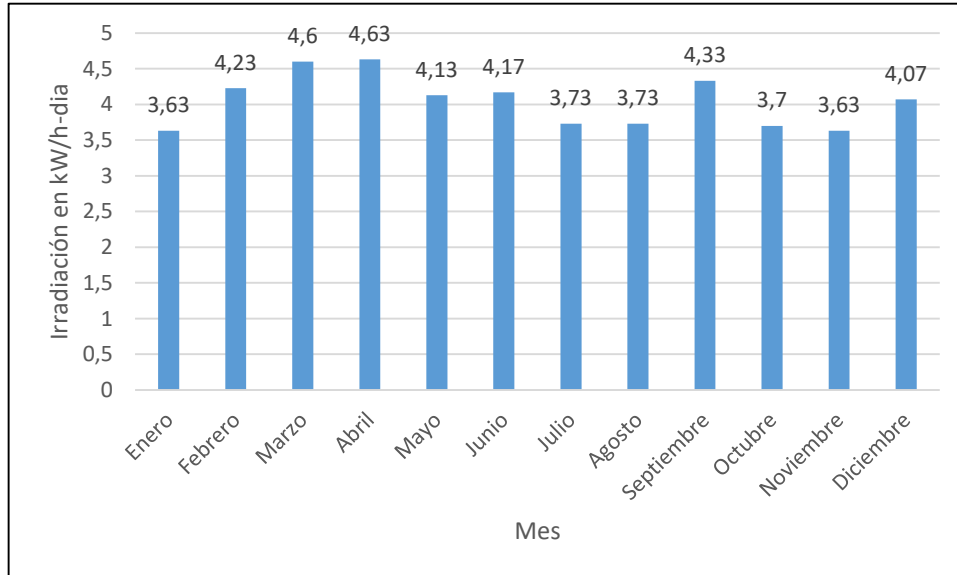


Fuente: europa.eu (2021)

Elaborado: Autora

Finalmente, según Meteonorm V8.3, la irradiación mensualizada actúa

Figura 38. Variación de la irradiación a través del año – Meteonorm V8.3

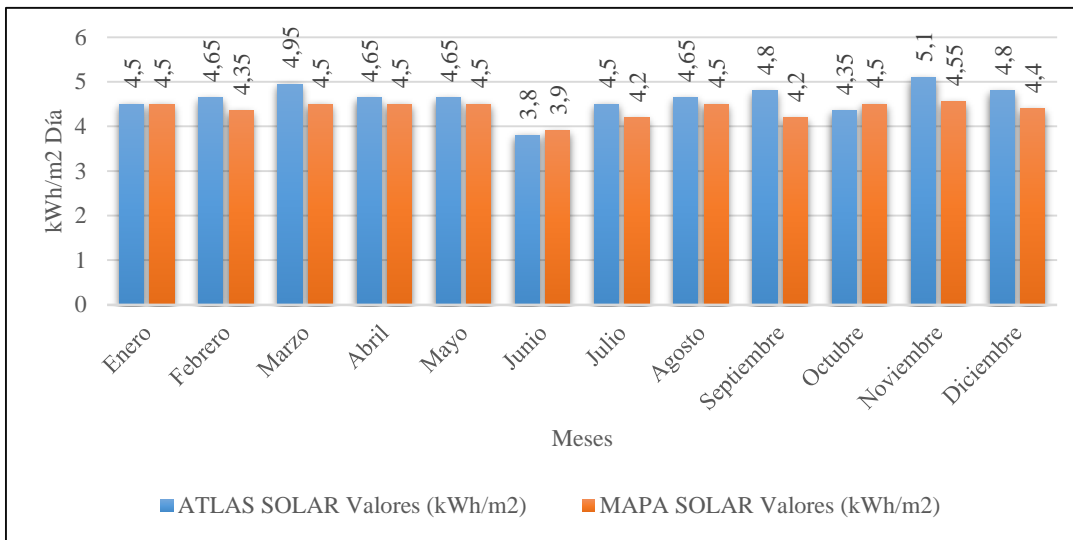


Fuente: Meteonorm V8.3

Elaborado: Autora

Por lo que la irradiación según los autores ATLAS SOLAR y MAPA SOLAR son:

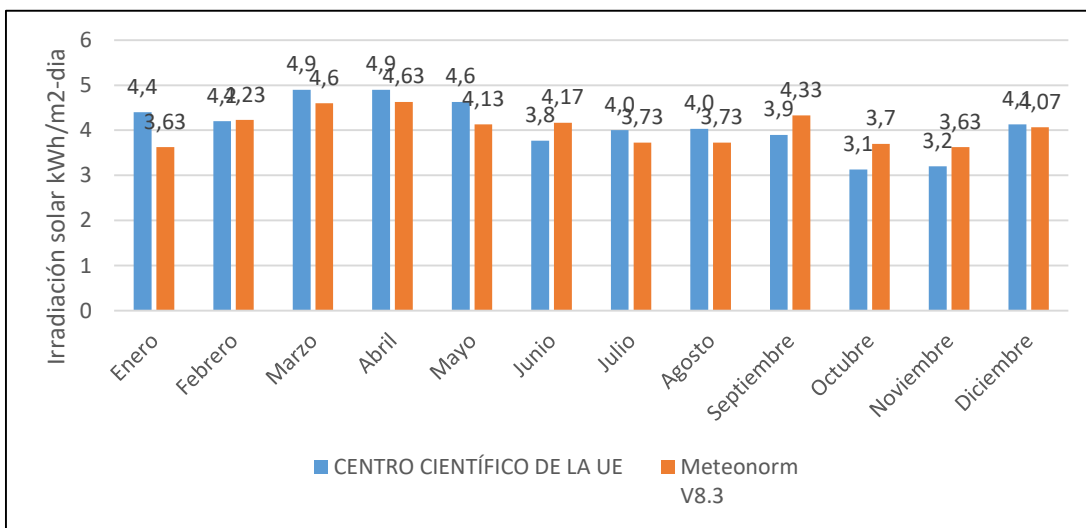
Figura 49. Variación de la irradiación horizontal promedio diaria en cada mes Grupo N°1



Elaborado: Autora

Por lo que la irradiación según el CENTRO CIENTÍFICO DE LA UE y Meteonorm V8.3 es:

Figura 40. Variación de la irradiación horizontal mensualizada Grupo N°2



Elaborado: Autora

Tabla 29.
Resumen de la Hora solar pico (HSP)

Meses	ATLAS SOLAR		MAPA SOLAR		CENTRO UE		Meteonorm V8.3	
	Irradiancia promedio diaria	HSP	Irradiancia promedio diaria	HSP	Irradiancia promedio diaria	HSP	Irradiancia promedio diaria	HSP
	(Wh/m ²)	(h)	(Wh/m ²)	(h)	(Wh/m ²)	(h)	(Wh/m ²)	(h)
Enero	4500	4,5	4500	4,5	3639	3.6	4400	4.4
Febrero	4650	4,65	4350	4,35	4240	4.2	4200	4.2
Marzo	4950	4,95	4500	4,5	4603	4.6	4900	4.9
Abril	4650	4,65	4500	4,5	4660	4.7	4900	4.9
Mayo	4650	4,65	4500	4,5	4154	4.2	4633	4.6
Junio	3800	3,8	3900	3,9	4171	4.2	3767	3.8
Julio	4500	4,5	4200	4,2	3758	3.8	4000	4.0
Agosto	4650	4,65	4500	4,5	3763	3.8	4033	4.0
Septiembre	4800	4,8	4200	4,2	4346	4.3	3900	3.9
Octubre	4350	4,35	4500	4,5	3717	3.7	3133	3.1
Noviembre	5100	5,1	4550	4,55	3650	3.6	3200	3.2
Diciembre	4800	4,8	4400	4,4	4073	4.1	4133	4.1

Elaborado: Autora

La HSP se calcula de la siguiente manera:

$$HSP = \frac{I_{promedio\ diaria}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

La potencia se calcula:

Tabla 30.

Potencia generada del sistema (grupo de módulos fotovoltaicos)

Meses	ATLAS SOLAR		MAPA SOLAR		CENTRO UE		Meteonorm V8.3	
	HSP h	P _{mod} Vatios pico (Wp)	HSP h	P _{mod} Vatios pico (Wp)	HSP h	P _{mod} Vatios pico (Wp)	HSP h	P _{mod} Vatios pico (Wp)
Enero	4,5	12111	4,5	12111	3.6	15139	4.4	12386
Febrero	4,65	11720	4,35	12529	4.2	12976	4.2	12976
Marzo	4,95	11010	4,5	12111	4.6	11848	4.9	11122
Abril	4,65	11720	4,5	12111	4.7	11596	4.9	11122
Mayo	4,65	11720	4,5	12111	4.2	12976	4.6	11848
Junio	3,8	14342	3,9	13974	4.2	12976	3.8	14342
Julio	4,5	12111	4,2	12976	3.8	14342	4.0	13625
Agosto	4,65	11720	4,5	12111	3.8	14342	4.0	13625
Septiembre	4,8	11354	4,2	12976	4.3	12674	3.9	13974
Octubre	4,35	12529	4,5	12111	3.7	14730	3.1	17581
Noviembre	5,1	10686	4,55	11978	3.6	15139	3.2	17031
Diciembre	4,8	11354	4,4	12386	4.1	13293	4.1	13293

Elaborado: Autora

La potencia (P_{sis}), se determina de la siguiente manera:

$$P_{sistema} = 1,25 \times \frac{Q_{req}}{HSP}$$

- Hora solar pico = HSP
- Q_{req} = Energía total requerida = 43.6 kWh (156960 kJ)

Ejemplo de cálculo para enero.

$$P_{sis} = 1,25 \times \frac{43.6 \text{ kWh}}{4.5} = 12 \text{ kW}$$

De la tabla 30 se concluye que los valores de las cuatro fuentes son bastante aproximados y se los utilizará como referencia válida para este trabajo.

4.4.12.2. Número de colectores solares

El número de colectores solares se define de la siguiente manera:

$$N_T = \frac{E_{req}}{HPS * W_p * 0,9} \quad \text{Ecuación (37)}^{[29]}$$

Donde:

- N_T = Número de colectores
- HPS = Hora solar pico (se tomará la más baja por seguridad) 3.8 (Junio)
- W_p = Potencia pico del módulo solar fotovoltaico (individual)
- E_{req} = Energía total requerida = 43.6 kWh

Por lo que el número de colectores solares que se requieren según la irradiación presentada del mes son:

$$N_T = \frac{43.6 \text{ kWh}}{3,8 \text{ h} * 250 \text{ W} * 0,9} = 52$$

En base a estos datos se puede detallar que se solicita 52 colectores solares en cualquier mes del año ya que se dimensionó para el mes de menor radiación solar. Se selecciona un modelo

GMA 250-60, el cual genera una potencia de hasta 250 Wp. Este colector solar tiene unas medidas de 1.6mx1mx35mm

4.4.12.3. Selección de las baterías

La selección de las baterías se da de la siguiente manera:

$$C_B = \frac{E_r * A}{V_{nom} * P_f} \quad \text{Ecuación (38)}^{[30]}$$

- E_r = Energía requerida para el cacao = 43610 kWh/día
- A = Días de autonomía = 2 a 5 días
- P_f = 60% batería de descarga
- V_{nom} = Tensión nominal = 12 V
- C_B = Consumo total en Ah/día

Según la ecuación (39), se determina que el consumo total de la batería es:

$$C_B = \frac{\frac{43610 \text{ kWh}}{\text{día}} * 2 \text{ día}}{12 \text{ V} * 0.6}$$

$$C_B = 12\ 113 \text{ Ah}$$

Se emplean baterías para almacenar la energía y utilizarla en horas de baja radiación solar. Se cargan cuando hay exceso de radiación solar.

4.4.12.4. Número de baterías

El número de baterías requerida es:

$$N_{bp} = \frac{C_B}{C_{nB}} \quad \text{Ecuación (39)}^{[30]}$$

- C_B = Consumo total = 12 113 Ah
- C_{nB} = Capacidad nominal de la batería es 3480 Ah
- N_{bp} = Número de baterías

Según la ecuación (40), el número de baterías requeridas es:

$$N_{bp} = \frac{12113 \text{ Ah}}{3480 \text{ Ah}} = 3.5 \approx 4$$

Por lo que se seleccionaría 4 baterías de 3480 Ah.

Son baterías tipo monoblock formadas por placas de plomo y electrolito

4.4.12.5. Selección del inversor

La selección del inversor se da de la siguiente manera:

$$P_{inv} = 1,25 * P_{mod} \quad \text{Ecuación (40)}^{[30]}$$

Donde:

- P_{inv} = Potencia del inversor requerida
- P_{mod} = Potencia del colector solar individual = 250W

Por lo que

$$P_{inv} = 1,25 * 250 \text{ W} = 315 \text{ W}$$

Se seleccionaría un inversor de 350 W

Definido estos parámetros se seleccionaría treinta kits solar de modelo GMA 250-60, el cual consta de:

- Potencia del sistema colector total= 13 kW (Total)
- Número de módulos = 52 x 250 Wp
- Potencia del inversor de = 350 W (uno por cada módulo fotovoltaico)
- Número de baterías = 4 (para todo el sistema)
- Tensión nominal de las baterías = 12 V
- Capacidad de las baterías 3480 Ah (individual)

Los inversores son elementos esenciales en el proceso de operación del sistema solar fotovoltaico sin ellos sería imposible que opere el sistema eléctrico y que la corriente generada es continua y para su uso se requiere alterna.

Figura 41. Diagrama del flujo de energía desde radiación solar hasta el consumo en el secador

Energía solar que cae sobre los módulos solares fotovoltaicos 898 560 kJ 100%	Energía que se transforma en corriente eléctrica que va a la niquelina y se entrega al secador	157176 kJ 15.9%	Calor sensible gramíneas	44040 kJ	4.45%
			Calor sensible bandejas	10317 kJ	1.04%
			Calor latente (evaporación del agua)	71784 kJ	7.25%
			Pérdidas en las paredes del horno	31032 kJ	3.14%
	Pérdidas por corrientes en el diodo (Se vuelve calor)	296884 kJ 30%	Corrientes en los semiconductores dentro de los módulos fotovoltaicos	296884 kJ	30.00%
Pérdidas por calor en los módulos	98961 kJ 10%	Radiación infrarroja que genera calor directo en el módulo	98961 kJ	10.00%	

	Pérdidas por reflexión (Albedo)	288150 kJ 29%	Radiación solar que es reflejada desde el módulo fotovoltaico	288150 kJ 29.12%
	Pérdidas por suciedad, sombras, cableado, imperfecciones de fabricación, degradación, tiempos de apagado	148442 kJ 15%	Sombras	30000 kJ 3.03%
			Cableado, imperfecciones	10000 kJ 1.01%
			Perdidas por suciedad	60000 kJ 6.06%
			Degradación	48442 kJ 4.90%

Elaborado: Autora

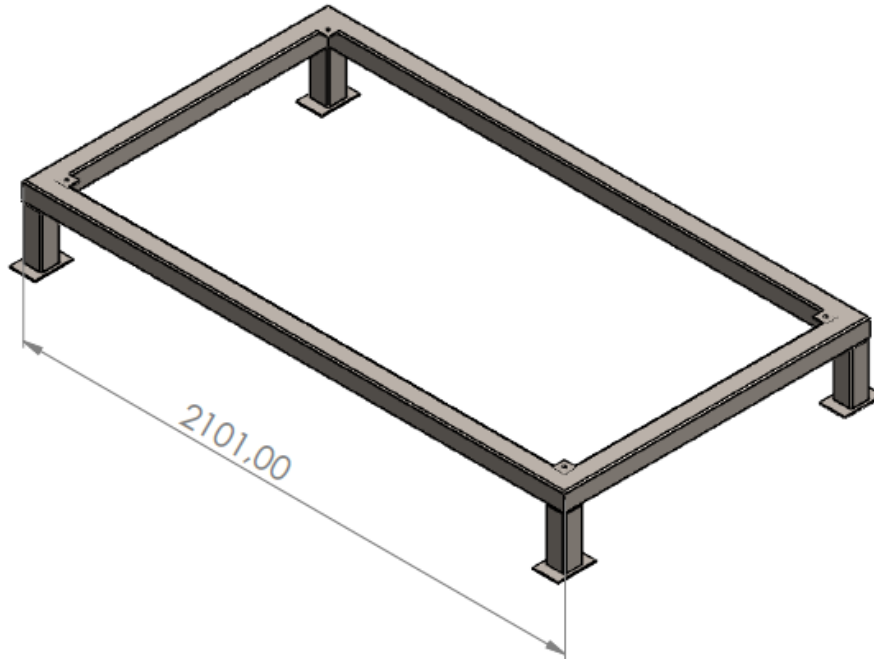
Nota:

1. Son 52 módulos fotovoltaicos de 1.65 m², total 86 m². Serán instalados sobre una cubierta cerca del lugar de la instalación del secador solar. Se considera una radiación promedio de 400 W/m² y una cantidad promedio de 8 horas de radiación diaria, o una HSP de 3.2 para las condiciones de Quevedo.

2. Las pérdidas en la niquelina no fueron tomadas en cuenta por ser despreciables ya que todo se convierte en calor, tampoco la potencia del ventilador ya que es mínima

4.4.13. Diseño de la estructura base.

Figura 42. Modelado de la estructura base de la cámara de secado



Elaborado: Autora

El diseño de la estructura base se inicia con la selección de vigas y columnas de la siguiente manera:

4.4.13.1. Diseño de vigas.

El diseño de las vigas se inicia definiendo:

- Largo de las vigas longitudinales $L=2101$ mm
- Carga a soportar total
- Capacidad a secar: 10 quintales = 1000 kg
- Carga de la estructura de la cámara de secado = 63,31 kg (Anexo 2)
- Carga originada de las planchas de acero AISI 304 interior = 80,55 kg (Anexo 3)
- Carga producida por las planchas de Acero Galvanizado exterior = 69,56 kg (Anexo 4)
- Carga producida por guía = 1.5 kg (Anexo 5)

- Peso del Ventilador centrifugo = 39 kg
- Carga de la plancha exterior AISI 304 de la puerta = 13,40 kg (Anexo 6)
- Carga originada de la plancha interior del acero Galvanizado de la puerta = 11,52 kg (Anexo 7)
- Carga de la estructura de la puerta = 15,30 kg (Anexo 8)
- Carga originada por bandeja = 38,24 kg por bandeja (Anexo 1)
- Carga del 10% del total de accesorios

Por lo que la carga total aplicar sobre la base, tendría una masa de:

$$C = 1000 \text{ kg} + 63,31 \text{ kg} + 80,55 \text{ kg} + 69,56 \text{ kg} + 1,5 \text{ kg} \times 15 \times 2 + 39 \text{ kg} + 13,40 \text{ kg} \times 2 + 11,52 \times 2 \text{ kg} + 15,30 \text{ kg} \times 2 + 38,24 \text{ kg} \times 2 = 1454,34 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de accesorios} = 1454,34 \text{ kg} \times 10\% = 145,43 \text{ kg}$$

$$\text{Por lo que la masa total } m_{\text{TOTAL}} = 1454,34 \text{ kg} + 145,434 \text{ kg} = 1599,77 \text{ kg}$$

Por lo que la carga originada se da mediante el empleo de la ecuación (3), se determina que:

$$F = 1599,77 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 15677,78 \text{ N}$$

Dónde:

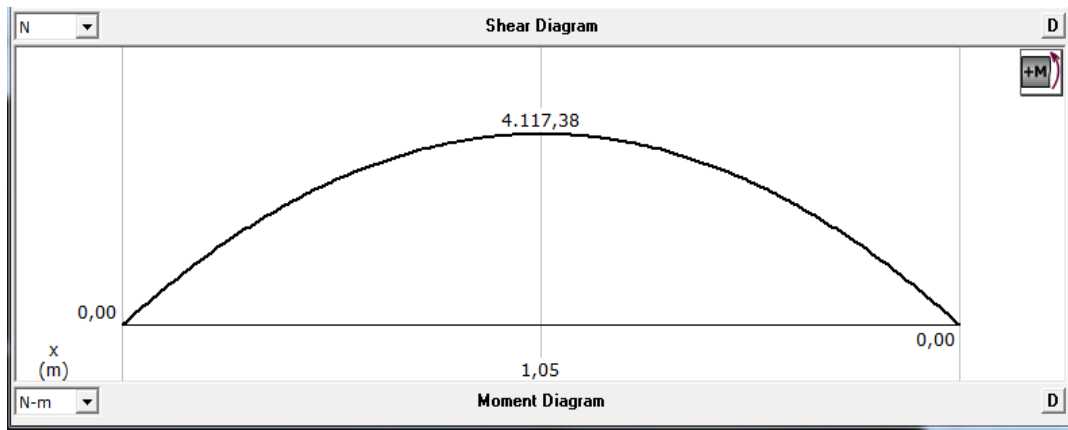
- F = Fuerza que se aplica sobre la bandeja (N)
- m = Masa del producto = 1599,77 kg
- g = Gravedad = 9,8 m/s²

Por lo que la carga distribuida es:

$$C = 15677,78 \text{ N} / 2,101 \text{ m} = 7462,06 \text{ N/m}$$

El siguiente paso es definir el Momento Máximo

Figura 43. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la viga base



Fuente: MDSolids35

Elaborado: Autora

Una vez definido el momento máximo se procede a determinar el módulo de sección mediante el empleo de la ecuación (4)

$$S_x = \frac{4117,38 \text{ Nm}}{248200000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 16,59 \text{ cm}^3$$

Donde:

- S_x = Módulo de Sección Necesario (mm^3)
- M = Momento Máximo 4117,38 Nm
- F_y = de fluencia ASTM A36= 36 kpsi = 248200000 Pa

Por lo que se selecciona un perfil de 75 x 75 x3

Por lo que la comprobación es:

- Del peso del material = kg 6,71 m x 6,55 m
- Carga definida = 1599,77 kg

Por lo que la masa total es:

$$M_m = 43,96 \text{ kg} + 1599,77 \text{ kg} = 1643,74 \text{ kg}$$

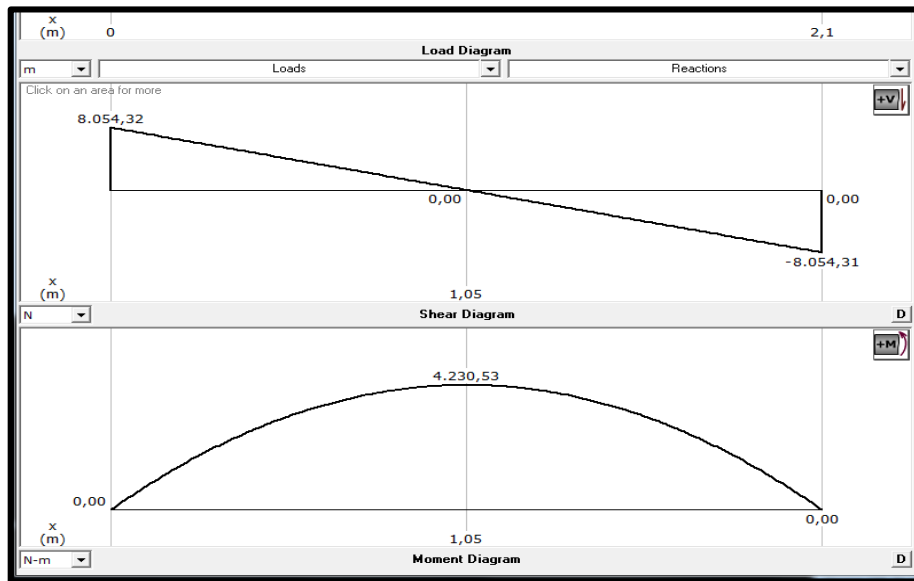
$$C_t = 1643,74 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 16108,63 \text{ N}$$

Por lo que la carga distribuida a emplear es

$$C_d = 16108,63 \text{ N} / 2,101 \text{ m} = 7667,12 \text{ N/m}$$

El siguiente paso es definir el Momento Máximo

Figura 44. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes de la viga base de comprobación.



Fuente: MDSolids35

Elaborado: Autora

Por lo que se procede a comprobar de la siguiente manera:

$$S = \frac{4230,53 \text{ Nm}}{248200000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$S = 0,000017045 \text{ m}^3 = 17,05 \text{ cm}^3$$

$$S_r. < S_T. \quad ==> \quad 17,05 \text{ cm}^3 < 19,08 \text{ cm}^3$$

Como la función de los módulos de sección donde el requerido es superior al de tablas se da por aceptado la selección de la viga es de 75 x 75 x 3.

4.4.13.2. Diseño de columnas.

A continuación, se procede al diseño de las columnas en base a los siguientes parámetros establecidos, los cuales son:

- Masa requerida $m_{REQ} = 1599,77$ kg
- Masa de las vigas de la estructura base $m_{viga} = 6,71$ kg/m x 6,55 m = 43,96kg
- Masa total; $m_{total} = 1643,47$ kg
- Factor k, en base a la estructura empotrada - empotrada
- Longitud de las columnas = 200 mm
- Límite de fluencia ASTM A36= 36 kpsi = 2530 kg/cm²
- Relación de esbeltez $\frac{KL}{r} = 50$
- Esfuerzo permisible

Por lo que la masa total es:

$$M_{TOTAL} = 1643,47 \text{ kg} = 3623,23 \text{ lb}$$

Como se tienen 4 columnas la carga total se debería dividir para las 4 por lo que

$$M_{COLUMNA} = 3623,23 \text{ lb}/4 = 905,81 \text{ lb}$$

Por lo que el Esfuerzo permisible es:

Por lo que el Área del material definido es:

$$A = \frac{P}{F_a} \quad \text{Ecuación (41)}^{[31]}$$

Donde:

- A = Área
- P = Carga = 905,81 lb
- Fa = Esfuerzo Permisible = 18350 $\frac{lb}{pulg^2}$

$$A = \frac{905,81 \text{ lb}}{18350 \frac{lb}{pulg^2}}$$

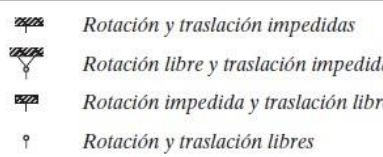
$$A = 0,0494 \text{ pulg}^2 = 0,32 \text{ cm}^2$$

En base al área definida y por facilidad de adquisición se procede a seleccionar el mismo material empleado en las vigas que es de 75x75x3

Comprobación

La comprobación se inicia definiendo el factor K, el cual es empleado en la definición de la relación de esbeltez.

Figura 45. Longitudes efectivas de las columnas.

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K.						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo						

Fuente: McCormac & Cernak, (2012)

En base a la ecuación (44) se define la constante de columna.

$$C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad \text{Ecuación (42)}^{[31]}$$

Donde:

- C = Constante de columna
- E = Modulo de elasticidad
- Límite de fluencia ASTM A36= 36 kpsi

Por lo que:

$$C = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 29000 \text{ kpsi}}{36 \text{ kpsi}}} = 126,1$$

Por lo que la relación de esbeltez se determina de la siguiente manera:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \times 200 \text{ mm}}{29,2 \text{ mm}} = 4,45$$

$$\frac{KL}{r} < C$$

Como la relación de esbeltez es menor que la constante de columna se procede a determinar el esfuerzo permisible mediante el uso de la ecuación parabólica

$$Fa = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C^2}\right] Fy}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8C^3}} \quad \text{Ecuación (43)}^{[31]}$$

$$Fa = \frac{\left[1 - \frac{(4,45)^2}{2(126,1)^2}\right] 36 \text{ kpsi}}{\frac{5}{3} + \frac{3(4,45)}{8 * 126,1} - \frac{(4,45)^3}{8(126,1)^3}}$$

$$Fa = 21,41 \text{ kpsi}$$

Por lo que:

$$P = Fa * A$$

$$P = 21,41 \text{ kpsi} \times 1,30 \text{ pulg}^2 = 27910 \text{ lb}$$

Como se visualiza que la carga originada del material es superior a la requerida por lo que da como aceptado el diseño:

$$P = 27910 \text{ lb} > 905,8 \text{ lb}$$

4.5. Costos totales de construcción.

4.5.1. Costos directos.

4.5.1.1. Costos de materiales.

Representan a los materiales indispensables para la construcción de la maquina secadora de gramínea.

Tabla 31.

Costos de materiales

Descripción	Cantidad	Materia Prima	
		Precio Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Tubo Cuadrado de 50x50x1,5 mm (Tubo 6m)	7 tubos	19,8	138,6
Tubo Cuadrado de 75x75x3 mm (Tubo 6 m)	2 tubos	25	50
Planchas de acero galvanizado (2400 x 1200 x 0,7)	8 planchas	21,92	175,36
Planchas de acero inoxidable AISI 304 e =0,7 mm	8 planchas	42,5	340
Angulo 30 x 30 x 3 (Perfil completo 6 m)	6 perfiles	17,5	105
Planchas de acero inoxidable AISI 304 (2400 x 1200 x 2)	15 planchas	70	1050
Lana de vidrio (rollos 1200 x 120 x 5 cm)	1 rollo	75	75
Ventilador centrifugo	1	350	350
Rueda de metal diámetro 3"	4	15	60
Bisagra	4	2,5	10
Manija de seguro de puertas	2	3	6
Pernos M8x1,25x10	60	0,25	15
Remaches	20	0,1	2
Colector solar	52	50,00	2600
Sub total			4976.96
Accesorios (10%)			497.70
		Total	5474.66

Elaborado: Autora

4.5.1.2. Costos de maquinado.

Representan a los costos de inversión para el maquinado de la construcción de la maquina secadora de gramínea.

Tabla 32.

Costos de maquinado

Maquinado			
Descripción	Cantidad (h)	Precio Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Soldador	50	3,4	170
Amolado	80	3	240
Taladrado	20	2,5	50
Corte	30	5	150
Doblado	40	3	120
Montaje	10	9	90
			820

Elaborado: Autora

4.5.1.3. Costos totales directo.

Por lo que el costo total directo es:

Tabla 33.

Costos Directos

Costos Directos	
Descripción	Costo Total
Materiales	5474.66
Maquinado	820
Total (USD)	6294,66

Elaborado: Autora

4.5.2. Costos indirectos.

Representa los gastos asumidos de manera indirecta.

Tabla 34.

Costos Indirectos

Descripción	Costo Total (USD)
Materiales consumibles	150
Transporte	60
Impresiones de planos	30
Materiales de escritorio	30
	270

Elaborado: Autora

4.5.3. Costos totales.

Representa a los gastos directos e indirectos que demanda en la construcción de la maquina secadora de gramínea.

Tabla 35.

Costos Totales

Descripción	Costo Total (USD)
Costos directos	6294
Costos Indirectos	270
Total	6564

Elaborado: Autora

4.6. Discusión.

El diseño se fundamentó en criterios donde se han obtenidos datos los cuales son válidos mediante análisis, presentados a continuación.

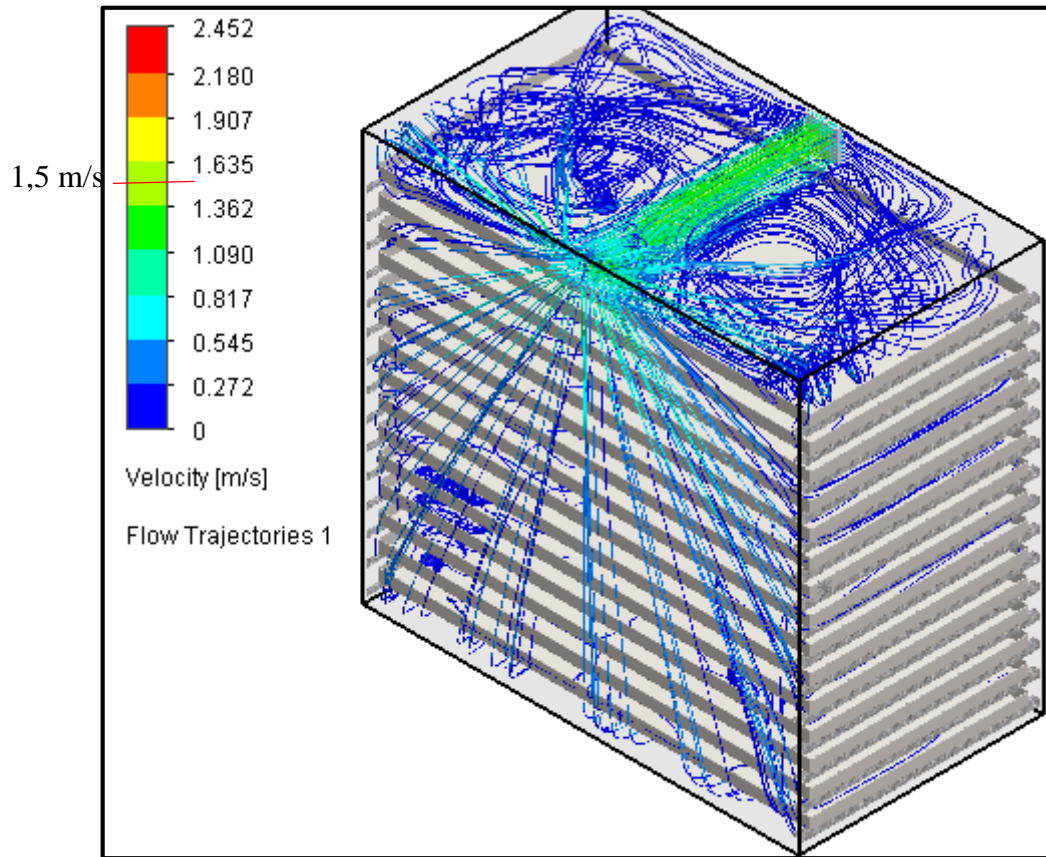
4.6.1. Análisis de fluidos.

Este análisis se dio para identificar el comportamiento del aire en el interior de la cámara de secado, por lo que presenta los siguientes resultados.

4.6.1.1. Análisis de velocidades.

Este tipo de análisis sirve para identificar el comportamiento del aire en el interior de la cámara de secado, dando una velocidad máxima de 2,45 m/s, en tanto que la mínima es de 0 m/s, iniciándose con una velocidad promedio de 1,5 m/s, cumpliendo con la velocidad sugerida por Corvalan y otros (1992), el cual indica que la velocidad en el interior de la cámara de secado debe variar de 0,4 a 3 m/s.

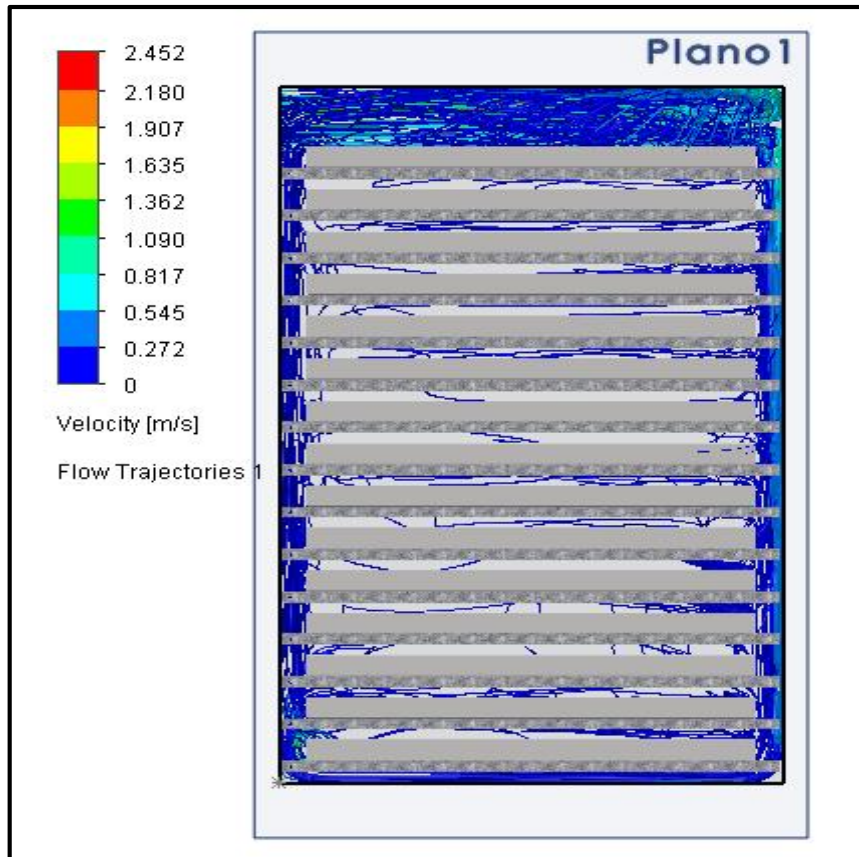
Figura 46. *Análisis de velocidades del aire de secado en vista isométrica*



Elaborado: Autora

El aire ingresa de la parte superior posterior y sale por el ducto inferior posterior como se indica en figuras anteriores. La velocidad del fluido dentro de la cámara es 1,5 m/s.

Figura 47. *Análisis de velocidades del aire de secado en la vista lateral*



Elaborado: Autora

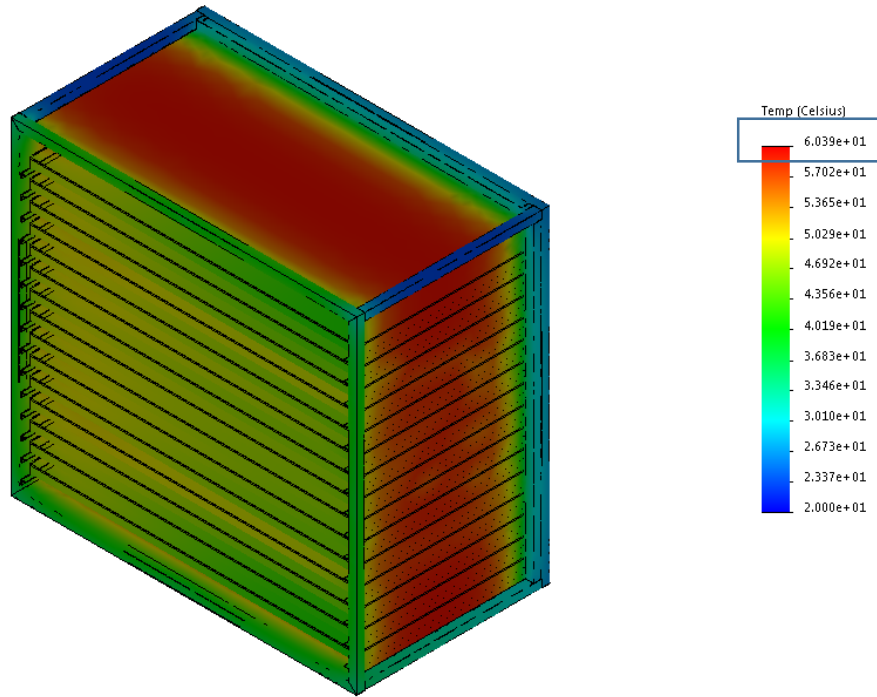
4.6.2. Análisis térmico.

Este análisis se dio para identificar el comportamiento térmico que se da en el interior de la cámara de secado, validando los materiales empleados.

4.6.2.1. Análisis de temperatura interiormente.

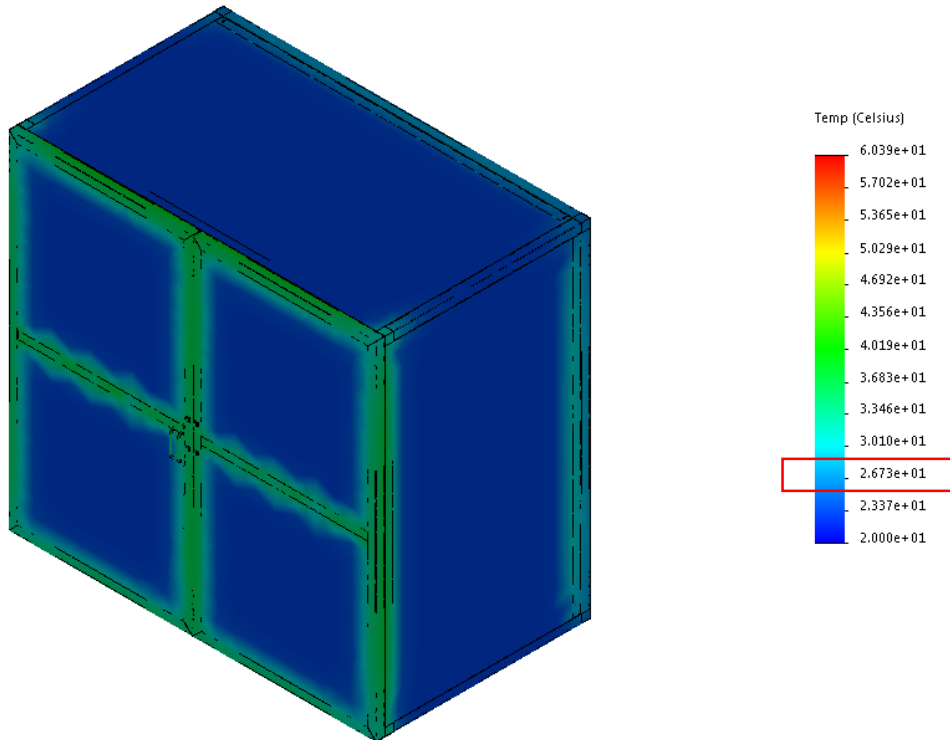
El análisis térmico definido con un coeficiente interno de convección $h_i = 4,29 \frac{W}{m^2K}$, así como con un coeficiente externo de $h_o = 2,8 \frac{W}{m^2K}$, genera una temperatura en el lado interno de la cámara de hasta $60,39 \text{ }^\circ\text{C}$, validando la respuesta con la temperatura máxima requerida de hasta $60 \text{ }^\circ\text{C}$; en tanto que exteriormente origina una temperatura de hasta $20 \text{ }^\circ\text{C}$, teniendo presente que esta temperatura es menor a la del ambiente, al cual es $23 \text{ }^\circ\text{C}$ en Quevedo.

Figura 48. *Temperatura interna de la cámara de secado*



Elaborado: Autora

Figura 49. *Temperatura externa de la cámara de secado*



Elaborado: Autora

De acuerdo a los resultados obtenidos en SolidWorks 2018, de análisis de temperatura podemos apreciar que la parte central del diseño se mantiene de color rojo donde se genera la temperatura máxima del secador de 60°C, las partes externas mantienen una temperatura de mínimo de 40 °C.

4.6.3. Convergencia de resultados.

- 1) Según los datos de convergencia en el proyecto titulado como “Diseño de dos sistemas de secado de maíz para el sector agrícola del cantón Ventanas provincia de Los Ríos, proyecto SENACYT-EPN-PETROCOMERCIAL”, dice que el porcentaje de secado es la humedad final del maíz es de hasta el 16,7%, en un tiempo de secado de hasta 6 horas, donde la temperatura exteriormente es de hasta 55°C, dando un velocidad máxima de 2,552 m/s en un secador de tipo circular; mientras que uno de tipo rectangular da como resultado, un porcentaje de secado es la humedad final del maíz es de hasta el 15,7%, en un tiempo de secado de hasta 8 horas, donde la temperatura exteriormente es de hasta 56°C, dando una velocidad máxima de 2,352 m/s [7].
- 2) En tanto que en el proyecto titulado como “Diseño y construcción de un secador de grano por fluidización e implementación del control de flujo y temperatura”, dando una velocidad en el interior de 3 m/s, dando temperaturas variadas de hasta 66°C, dando un tiempo de espera de hasta 7,2 horas, con una humedad del 18,39% [6].
- 3) Mientras que en la investigación titulada como “Diseño y construcción de una secadora híbrida de alimento en hojuelas para peces de acuario, que opere con energía solar y eléctrica”, dice que la temperatura de secado del producto que se obtiene es de 70°C, con una humedad del 12%, donde la velocidad del viento es de 1,5 m/se, secando el producto en 4 horas [32].
- 4) Según el proyecto “Colectores solares de aire para el secado de maíz”, dice que el producto tiene una humedad final del 14%, con una temperatura de 61 °C, con una velocidad máxima de 2,5 m/s, en un tiempo de secado de hasta 4 horas [33].
- 5) De igual manera en la investigación planteada como “Diseño y construcción de un secador experimental para sólidos con control de flujo y temperatura de aire”, dice

que el porcentaje de secado del producto es de hasta 14%, con una temperatura de hasta 60 °C, dando una velocidad de secado de hasta 2,49 m/s, con un tiempo de secado de hasta 5,98 h [34].

- 6) Además, en la investigación planteada como “Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la hacienda San Jorge”, por lo que se produce un tiempo máximo de secado de hasta 60 °C, con un humedad perdida de 14,2 %, en 8 horas de secado, a una velocidad del aire de 2,6 m/s [8].
- 7) Finalmente, en el proyecto titulado como “Diseño, construcción e instalación de una cámara experimental para deshidratación de productos agrícolas”, da como resultados, velocidad del aire de 1,54 m/s, da una humedad máxima de hasta 20%, a 70 °C, en un tiempo de 4,8 horas [35].

Por lo que da como resultados:

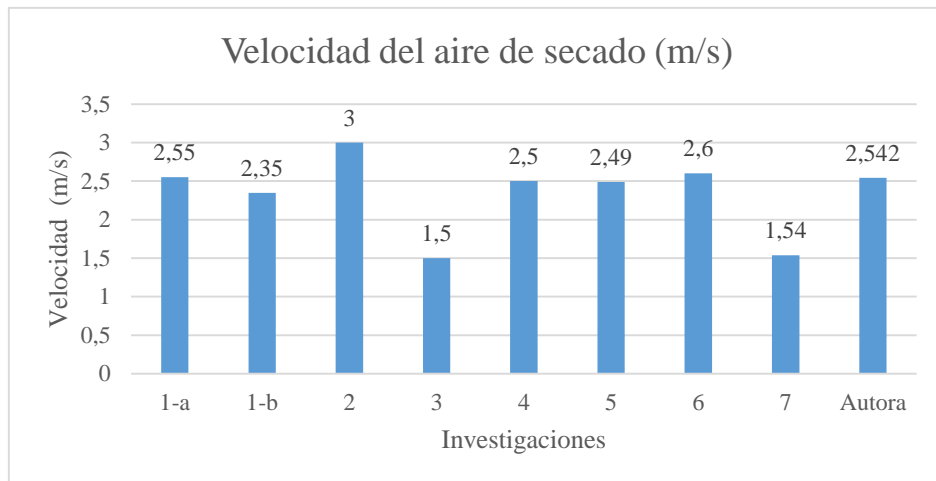
Tabla 36.*Datos de convergencia*

Datos de convergencia de diferentes investigaciones									
Características	1°		2°	3°	4°	5°	6°	7°	Autora
	Circular	Rectangular							
Velocidad									
máxima del aire de secado (m/s)	2,55	2,35	3	1,5	2,5	2,49	2,6	1,54	2,55
Temperatura de secado (°C)	55	56	66	70	61	60	60	70	60,39
Tiempo de secado (h)	6	8	7,2	4	4	5,98	8	4,8	4,36
Porcentaje de humedad (%)	16,7	15,7	18,39	12	14	14	14,2	20	13

Elaborado: Autora

Por lo que dan como resultados

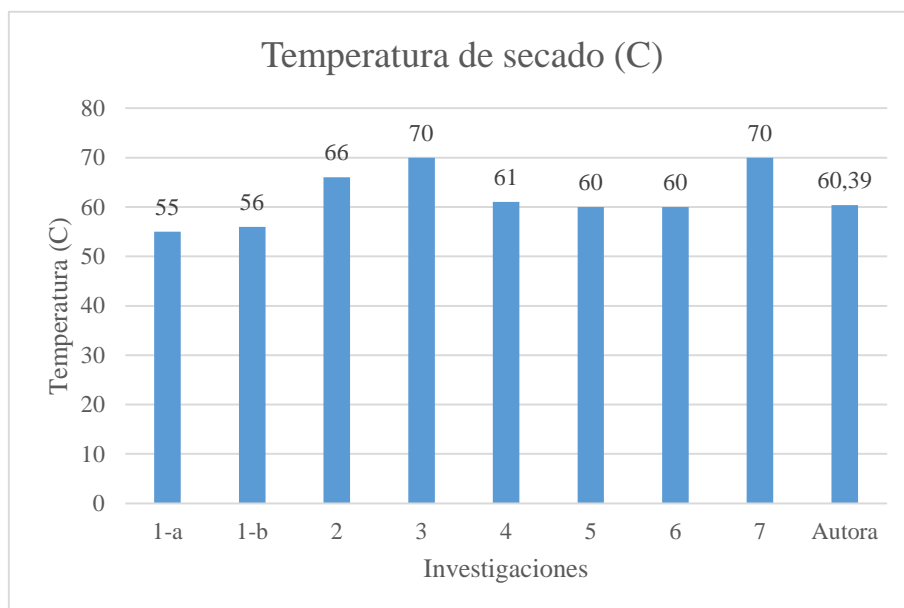
Figura 50. Comparación de las velocidades del aire de secado (m/s)



Elaborado: Autora

En base a estos resultados se puede fijar que el resultado de las velocidades de secado en comparación con otras investigaciones se tiene aceptable porque están en el rango que se puede notar.

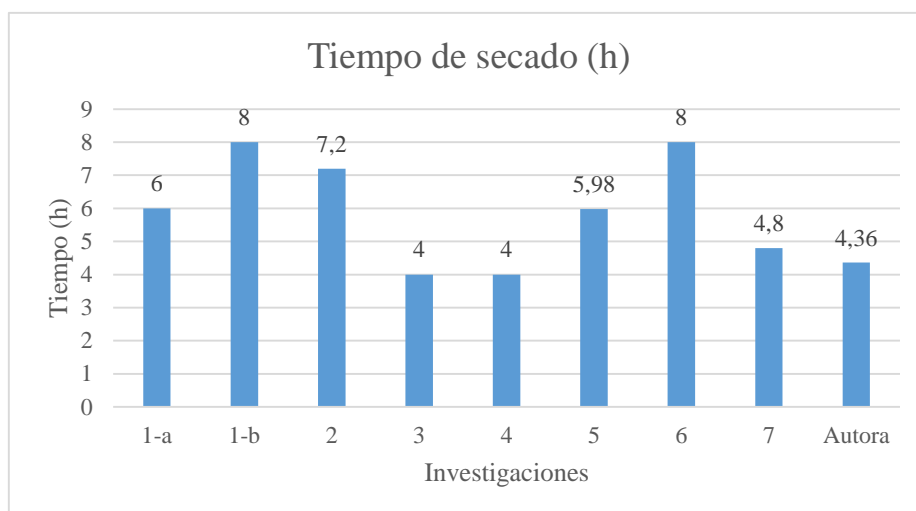
Figura 51. Comparación de temperaturas máximas de secado (°C)



Elaborado: Autora

Según la comparación de temperaturas se puede fijar que estas varía de 55 a 70°C, dando como aceptable la temperatura delimitada por la autora.

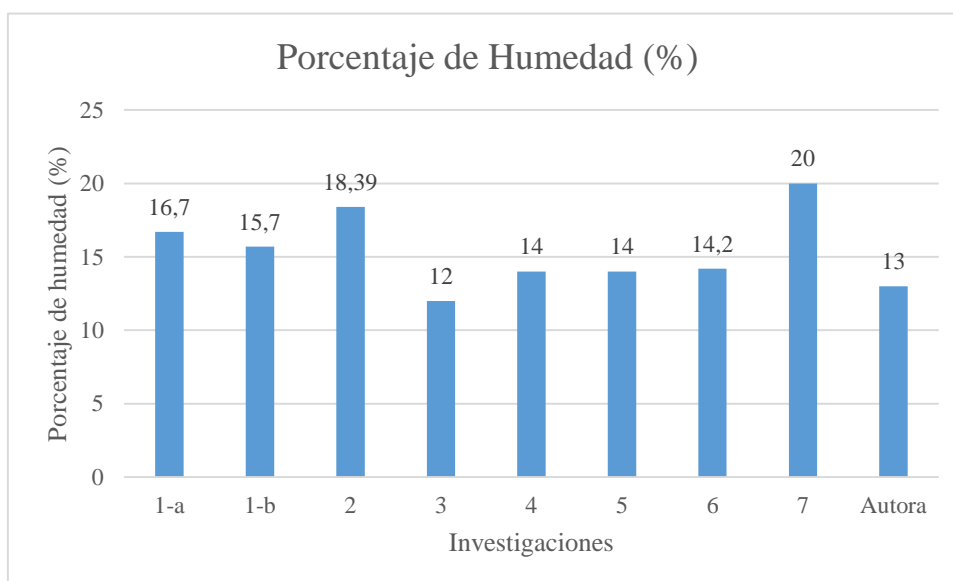
Figura 52. Comparación de los tiempos de secado (h)



Elaborado: Autora

Referente a los tiempos de secado en horas, se puede visualizar que según las investigaciones varían de 4 a 8 horas, por lo que se acepta el tiempo determinado

Figura 53. Porcentaje de humedad (%)



Elaborado: Autora

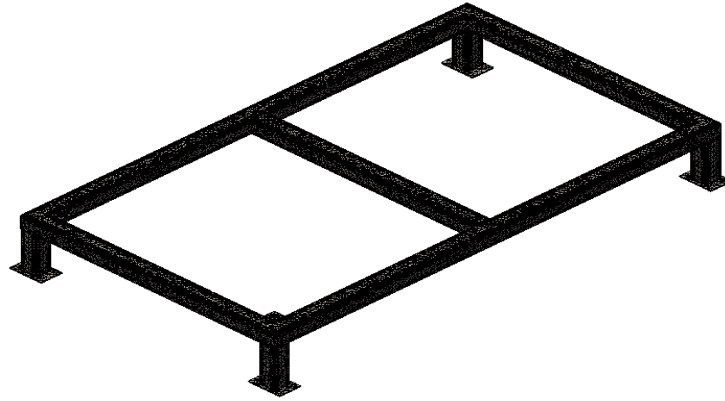
Finalmente, en el apartado referente al porcentaje de humedad final del producto, este se da en base al producto y el tipo de deshidratador, los cuales varían entre el 12 y el 20%, por lo que se acepta, en vista que está ubicado en este rango como se visualiza.

4.6.4. Análisis por el método de elementos finitos.

La validación se da de la siguiente manera:

- Procediendo al mallado

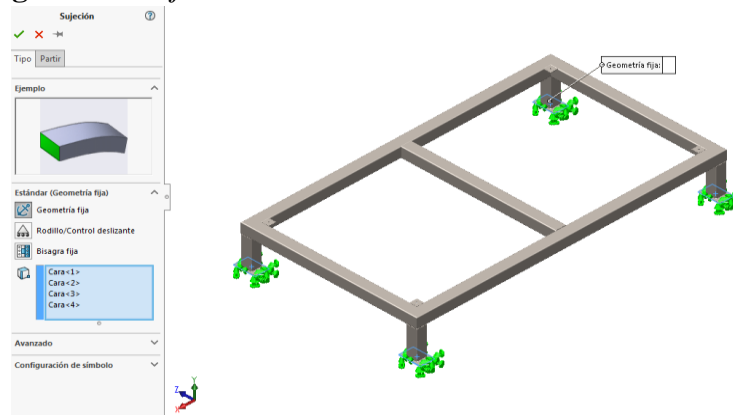
Figura 54. *Mallado de la estructura base de la cámara de secado*



Elaborado: Autora

- El siguiente paso es ubicar las condiciones de contorno donde se detalla las sujeciones de la estructura base de la cámara de secado.

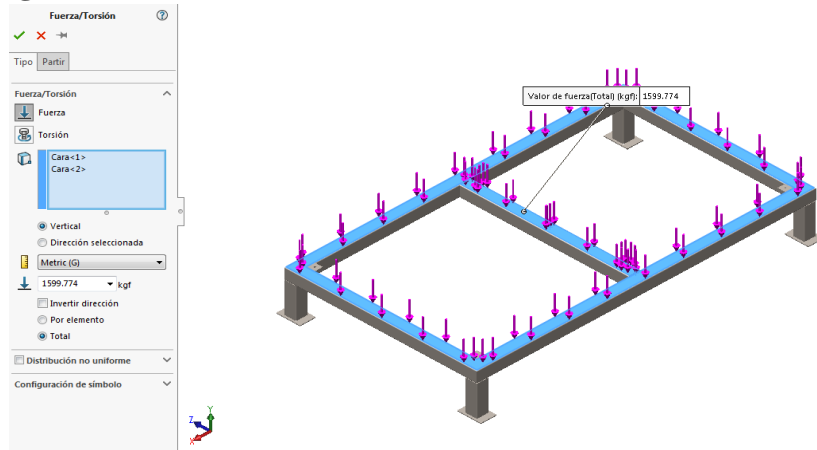
Figura 55. *Sujeciones de la estructura base de la cámara de secado*



Elaborado: Autora

De igual manera se ubica las cargas determinadas de 1599,77 kg de modo vertical, sobre la estructura base.

Figura 56. Fuerzas de la estructura base de la cámara de secado



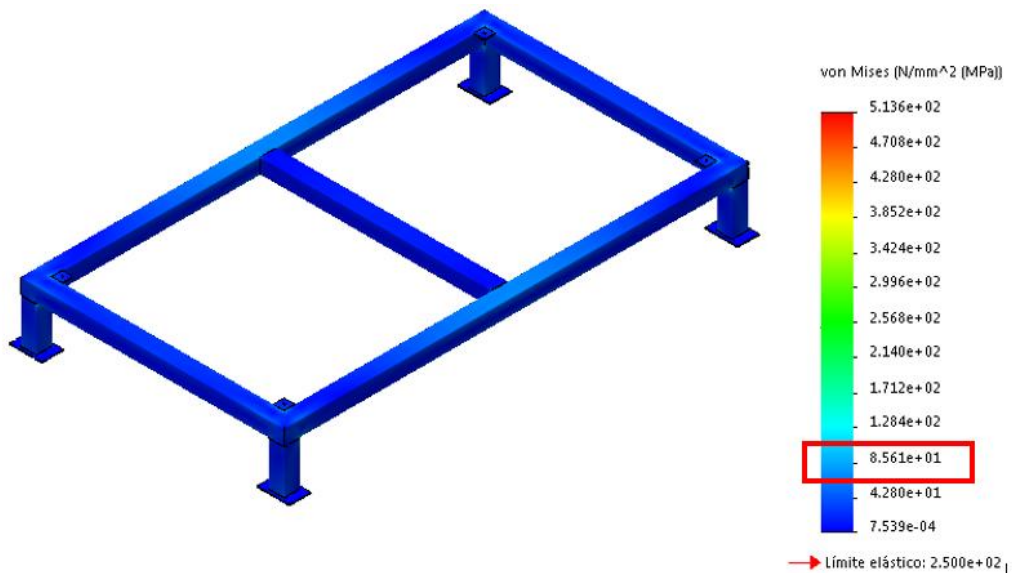
Elaborado: Autora

Por lo que se obtienen los siguientes resultados:

4.6.4.1. Análisis de Tensiones.

Según el análisis de tensiones bajo el criterio de von Mises, da un esfuerzo máximo de 513,6 MPa, dando un valor promedio en la mayor parte de la estructura de hasta 85,61 MPa, validando el diseño según el código de colores por encontrarse entre azul y celeste.

Figura 57. Análisis de tensiones de la estructura base de la cámara de secado

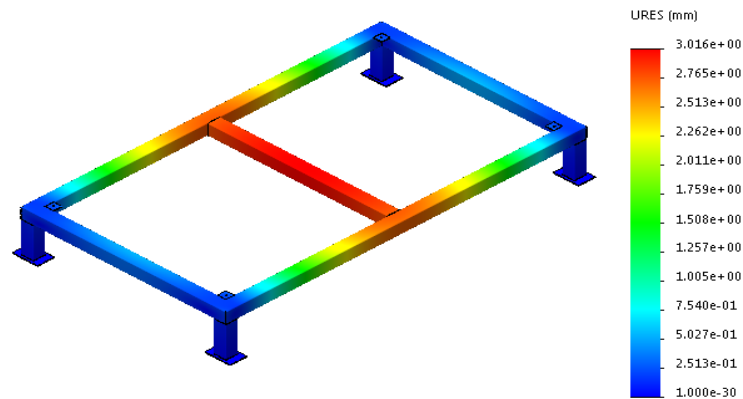


Elaborado: Autora

4.6.4.2. Análisis de Desplazamiento.

Según el análisis de desplazamiento, da una deformación máxima de 3,02 mm, el cual representa un valor mínimo que puede ser despreciado.

Figura 58. *Análisis de desplazamiento de la estructura base de la cámara de secado*

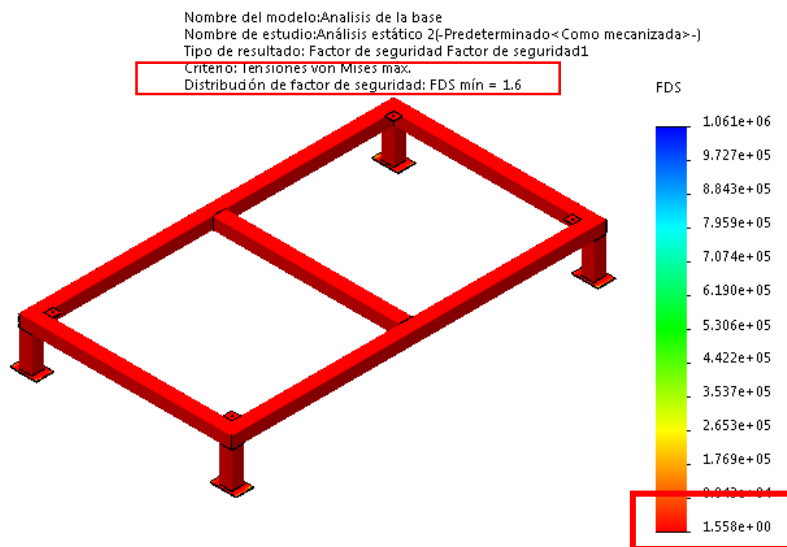


Elaborado: Autora

4.6.4.3. Análisis del Factor de Seguridad.

Según el análisis del Factor de Seguridad da un valor aceptable de 1,6, el cual está en el rango sugerido por Robert Mott, en el libro de Diseño de Elementos de Máquinas, el cual indica que el FDS apropiado debe estar entre 1,25 a 2, el mismo que es apto para estructuras bajo cargas estáticas con un alto grado de confianza.

Figura 59. *Análisis del Factor de Seguridad de la estructura base*

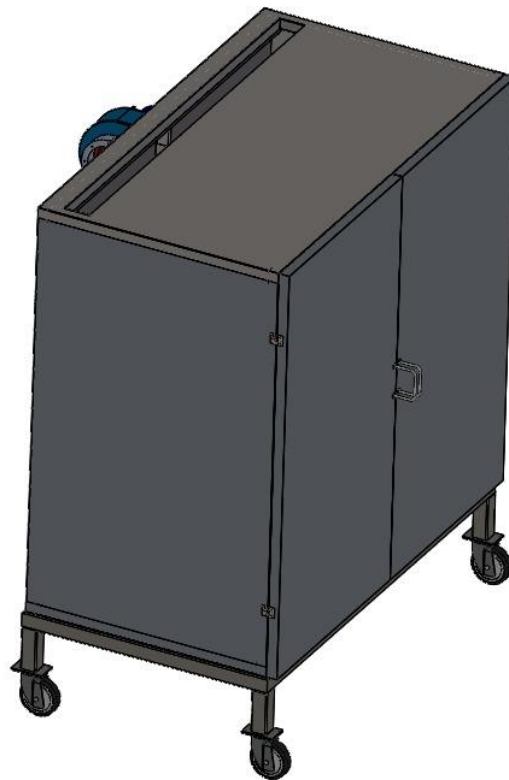


Elaborado: Autora

Se observa los resultados obtenidos del análisis de la estructura y se concluye que el diseño de la estructura es óptimo y soporta la carga a la cual estará sometida por la acción de cada uno de los componentes de la secadora y de la masa de arroz, cacao y maíz dando como resultado del análisis un coeficiente de seguridad de 1,6 interpretando que el material asignado para la estructura cumple con los requerimientos de diseño.

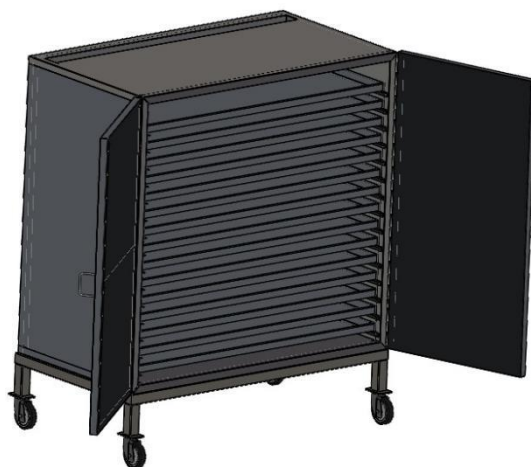
Por lo que se obtiene:

Figura 60. *Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica I.*



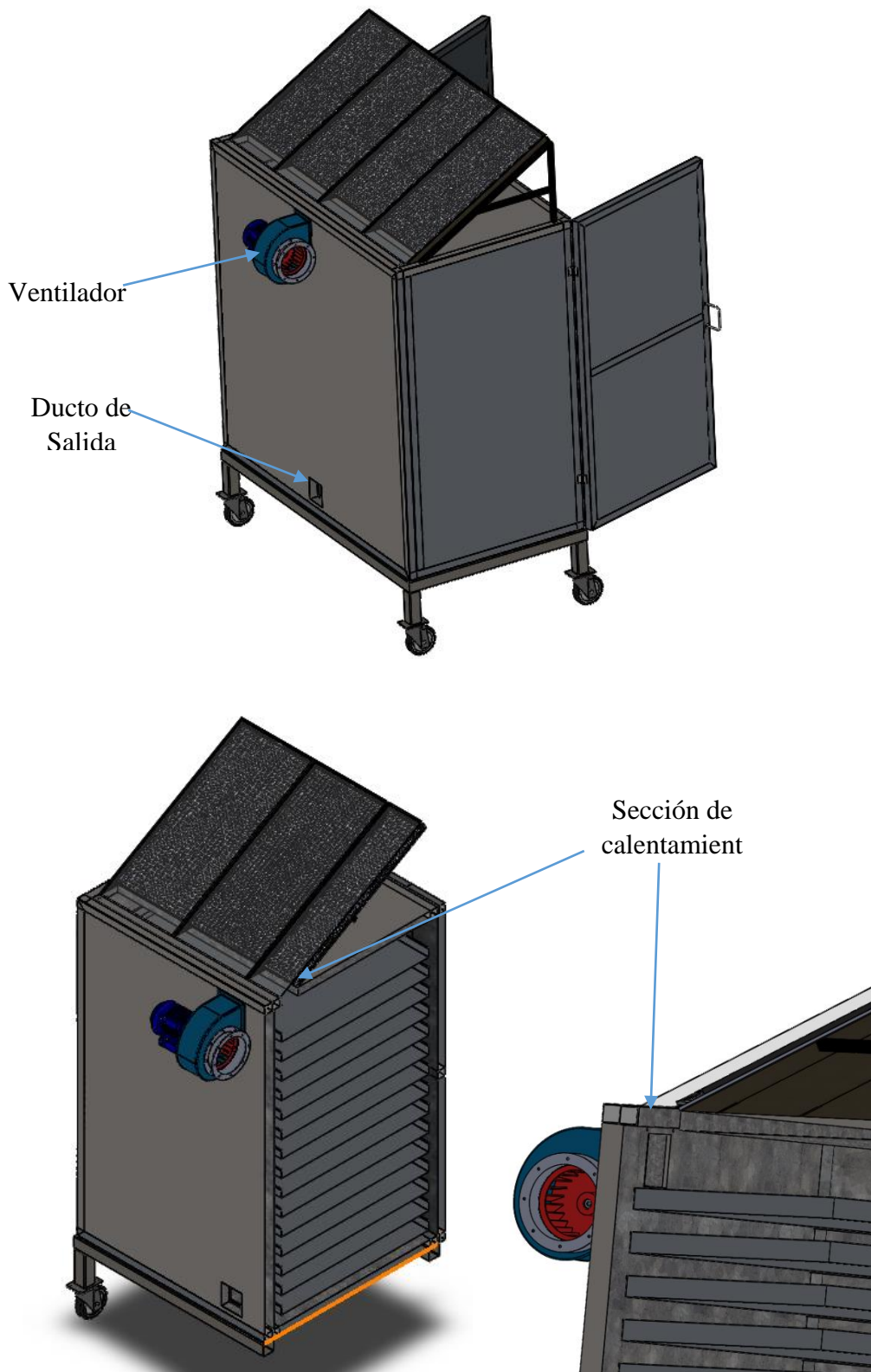
Elaborado: Autora

Figura 61. *Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica II.*



Elaborado: Autora

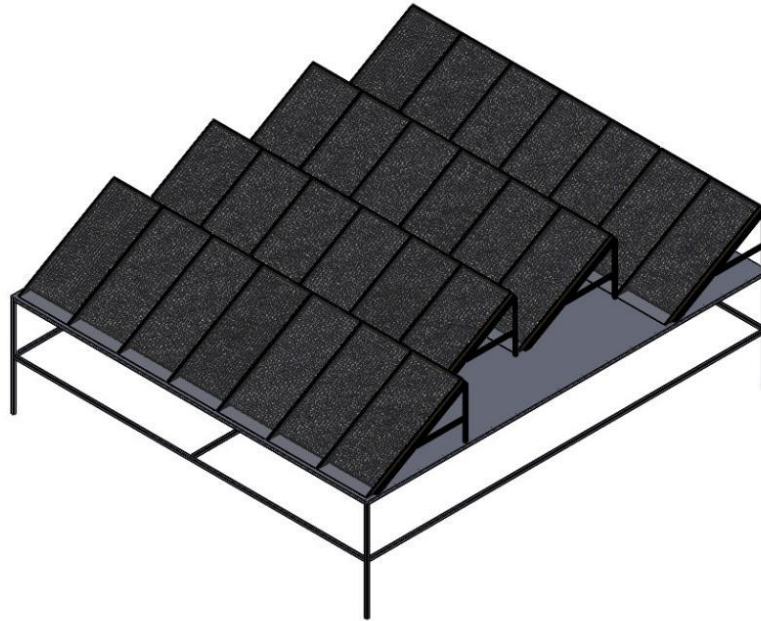
Figura 62. *Diseño modelado de la cámara de secado en vista isométrica III*



Elaborado: Autora

Los paneles fotovoltaicos serán instalados sobre la cubierta del galpón donde estará el secador o la terraza de una construcción cercana total 85 m² de módulos fotovoltaicos (52 unidades de 1.65 m²).

Figura 63. *Diseño módulos fotovoltaicos*



Elaborado: Autora

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se diseñó la cámara de secado de manera analíticamente donde se procedió al dimensionamiento bajo parámetros delimitados los cuales son, tiempo normal de secado, porcentaje de humedad, densidad, un alimentador de energía por módulos solares fotovoltaicos, con una capacidad de secado de hasta 1000 kg.
- Se determinó la eficiencia de secado en base a la masa húmeda de 66,67 kg, la masa seca 33,33 kg, el calor de vaporización del agua de $2359 \frac{KJ}{Kg}$, el calor útil $Qu = 43,66$ kWh = 157716 kJ, las áreas exteriores de la cámara y de la bandeja, da una eficiencia de $n = 15.9\%$ para este sistema fotovoltaico, y la eficiencia de la parte térmica del secador es de $n = 48\%$
- Se realizó un análisis de costos del sistema de secado solar, dando valores de costos de materiales de hasta \$ 5474 , mientras que en el pago para el maquinado da \$ 820 dando costos totales de \$ 6294 , mientras que referentes a los costos indirectos da hasta \$ 270 , por lo que el gasto total es de \$ 6564.
- Se simuló su funcionamiento, el análisis de velocidades del aire en la cámara de secado es de hasta 2,45 m/s, mientras que un valor promedio de 1,5 m/s; La temperatura máxima que entrega al secador de gramíneas es de 60 °C.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere utilizar la secadora sólo con los granos indicados, ya que cada gramínea posee una consistencia y resistencia térmica diferente y así evitar deteriorar la semilla al momento del secado.
- Se recomienda el mantenimiento periódico de la cámara de secado para mejorar la vida útil del equipo. El mantenimiento consiste en limpiar los paneles fotovoltaicos del polvo y suciedad, limpiar internamente las bandejas del secador. Evitar que estén objetos cercanos a los módulos fotovoltaicos ya que pueden caer sobre ellos y romperlos. Con respecto al ventilador se le debe chequear que no se llene de polvo en los álabes y verificar que el motor siempre tenga acceso a ventilación.
- Se aconseja incentivar y apoyar en temas agrícolas vinculados a la ingeniería mecánica, los cuales sería útiles para todos los agricultores. Es recomendable que se brinde más apoyo económico para desarrollo de prototipos con estas características.
- En base a los resultados obtenidos se recomienda no instalar demasiado distante el secador con respecto a los paneles fotovoltaicos ya que se pueden generar pérdidas no deseables por conducción a través de los conductores eléctricos de los módulos fotovoltaicos.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] B. Reinoso y D. Villamar, Estudio de factores determinantes en la comercialización de cacao en el cantón Santa Lucía, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2018.
- [2] C. Espinosa y D. Mosquera, Estudio de factibilidad para la producción de cacao en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.
- [3] Revista líderes, «El cacao ecuatoriano su historia empezó antes del siglo XV,» *revista líderes*.
- [5] J. Carrera, «Los Colores del Maíz: Agro biodiversidad campesina del maíz en el Ecuador.,» pp. 53-67.
- [6] F. energía, «ENERGIA RENOVABLES,» 2016.
- [7] AEMET, «Meteoglosario visual de AEMET».
- [9] P. Singh y D. Heldman, Introducción a la ingeniería de los alimentos, Zaragoza: ACRIBIA, 2001.
- [10] C. Guachamin, Diseño de un secador de granos de cacao fino, Quito: EPN, 2017.
- [11] A. Jaramillo y E. Narváez, Diseño y construcción de un secador de grano por fluidización e implementación del control de flujo y temperatura, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [12] W. Novoa y J. Palacios, Diseño de dos sistemas de secado de maíz para el sector agrícola del cantón Ventanas provincia de Los Ríos, proyecto SENACYT-EPN-PETROCOMERCIAL, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.

- [13] M. García, Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la hacienda San Jorge, Riobamba: Escuela Politécnica de Chimborazo, 2013.
- [14] M. Cevallos y J. Ulloa, Diseño y construcción de un secador para granos de maíz duro (morochillo), empleando energía solar para su funcionamiento, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [15] develoPPP, «Sistemas solares de aire caliente para el secado de productos agrícolas en Chile,» n° 1-81, 2018.
- [16] G. Roa y D. Ortega, Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2015.
- [17] M. Torres y D. Vega, Evaluación de un sistema de secado con energía solar, para deshidratar los residuos orgánicos generados en el restaurante del bloque D de la universidad Libre Sede Bosque Popular., Bogotá: Universidad Libre, 2015.
- [18] R. E. E. Salinas y P. A. S. Alvear, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA DE GRANOS CON CAPACIDAD DE CINCO QUINTALES, POR CALENTAMIENTO DE AIRE MEDIANTE LA COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE SÓLIDO DE TIPO VEGETAL.,» ESPE, Salgolqui - Ecuador, ENERO 04 2004.
- [19] D. B. Ortega, «Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado del Secado de café.».
- [21] J. Espinoza, «Innovación en el deshidratado solar,» *Revista chilena de ingeniería*, vol. 24, n° 2, pp. 72-80, 2016.
- [22] Proviento, «Energías renovables Ecuador».

- [23] CONELEC, ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, Quito, 2008.
- [24] J. z. E. Gustavo Gonzalo, «Diseño e implantación de un sistema de energía solar.».
- [25] M. V. d. AEMET, «LA RADIACIÓN SOLAR Y SU PASO POR LA ATMÓSFERA».
- [26] R. Corvalan, M. Horn, R. Roman y L. Saravia, Ingeniería del Secado solar, Madrid: CYTED.D - Programa de Ciencia y Tecnología, para el Desarrollo del V Centenario, 1992.
- [27] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas., Naucalpan de Juárez: Pearson Educación., 2006.
- [29] R. Borja y P. Morocho, Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana., 2017.
- [30] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [31] F. P. Incropera y D. P. D. Witt., «Modos de transferencia de calor.,» de *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.*, Mexico, Prentice Hall, 1999, pp. 2 pág - 3 pág.
- [32] Y. Cengel y M. Boles, TERMODINÁMICA, México, D.F.: McGraw Hill, 2019.
- [33] Y. Cengel y A. Ghajar, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, México, D.F.: McGraw-Hill, 2020.
- [34] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México, D. F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2008.

- [35] L. Del Arco, Termotecnia, Calor Industrial, Transferencias, producción y aplicaciones, España: MITRE, 1984.
- [36] C. Espinosa y V. Ruiz, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, Sangolquí: ESPE, 2015.
- [37] J. Quintanar y R. Roa, «Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero,» *ScIELO*, vol. 8, nº 2, pp. 321-331, 2017.
- [38] M. Guananga, Diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector Río Blanco perteneciente a la comunidad Yatzaputzan, Ambato: UTA, 2017.
- [39] J. McCormac y S. Cernak, Diseño de estructuras de Acero, México, D.F.: Alfaomega, 2012.
- [40] E. Cerón y O. Guerrero, Diseño y construcción de una secadora hibrida de alimento en hojuelas para peces de acuario, que opere con energía solar y eléctrica, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [41] C. Martín, Colectores solares de aire para el secado de maíz, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2018.
- [42] A. Inca y M. Oñate, Diseño y construcción de un secador experimental para sólidos con control de flujo y temperatura de aire, Riobamba: ESPOCH, 2019.
- [43] J. Mariño, Chico y Luis, Diseño, construcción e instalación de una cámara experimental para deshidratación de productos agrícolas, Riobamba: ESPOCH, 2016.

- [44] SODECA, VENTILADORES CENTRÍFUGOS Y EXTRACTORES EN LÍNEA PARA CONDUCTOS, Barcelona, 2014.
- [45] DIPAC, «Productos,» *PRODUCTOS DE ACERO*, 2016.
- [46] C. Riba y E. Blanco, «Diseño concurrente en entorno sostenible,» *CienciAmérica*, vol. 9, n° 4, pp. 1-8, 2020.
- [47] D. Vaca y F. Ordóñez, MAPA SOLAR del Ecuador, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [49] DELTAGLOBAL, catalogo solar, Quito, 2019.

Linkografía

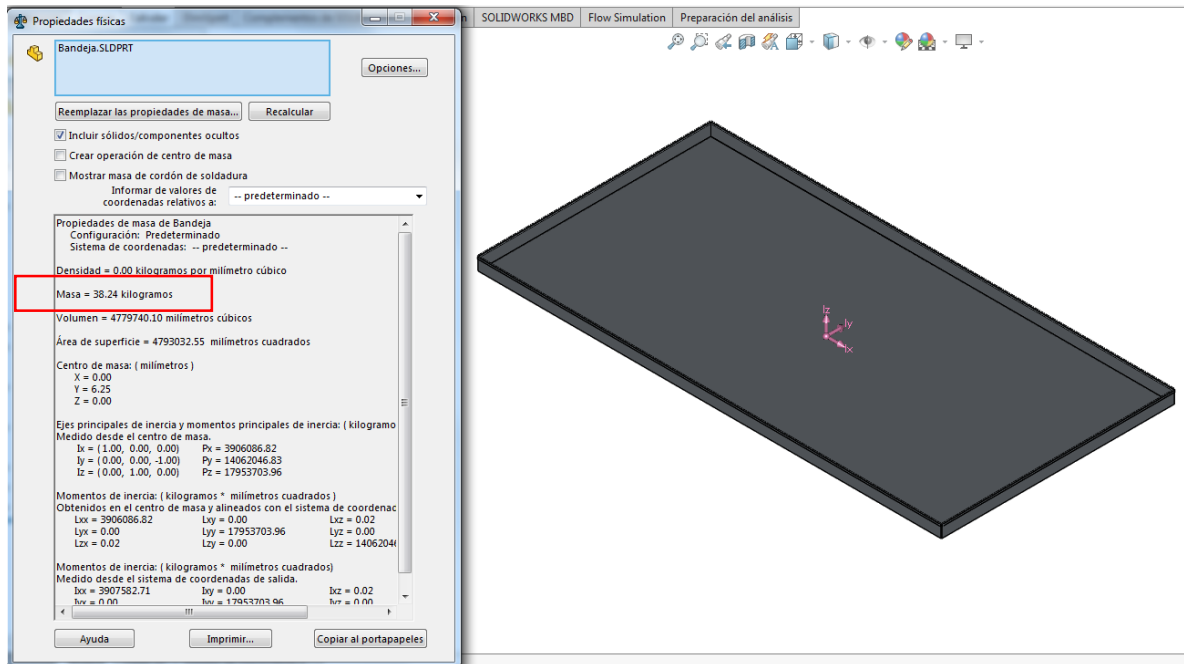
- [4] Lesdasa, «Producción de arroz,» 19 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.lesdasa.com/produccion-de-arroz/#:~:text=El%20arroz%20es%20el%20cultivo,de%20productos%20transitorios%20del%20pa%C3%ADs.&text=El%20arroz%20se%20encuentra%20entre,la%20superficie%20en%20sus%20cultivos..> [Último acceso: 15 Febrero 2021].
- [8] IDEAM, «LA RADIACIÓN SOLAR Y SU PASO POR LA ATMÓSFERA,» 2019, [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>. [Último acceso: 18 Mayo 2021].
- [20] EcoInventos, 1 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/panel-solar-hibrido/>. [Último acceso: |10 Febrero 2020].
- [28] UPM, «Universidad Politécnica de Madrid,» [En línea]. Available: <http://ocw.upm.es/ingenieria-mecanica/especificacion-de-dimensiones-y-tolerancias-gd-t/01-diseno/0101-diseno.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2016].
- [48] N. Connor, «Thermal Engineering,» 08 enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ley-de-conduccion-termica-de-fourier-definicion/>.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

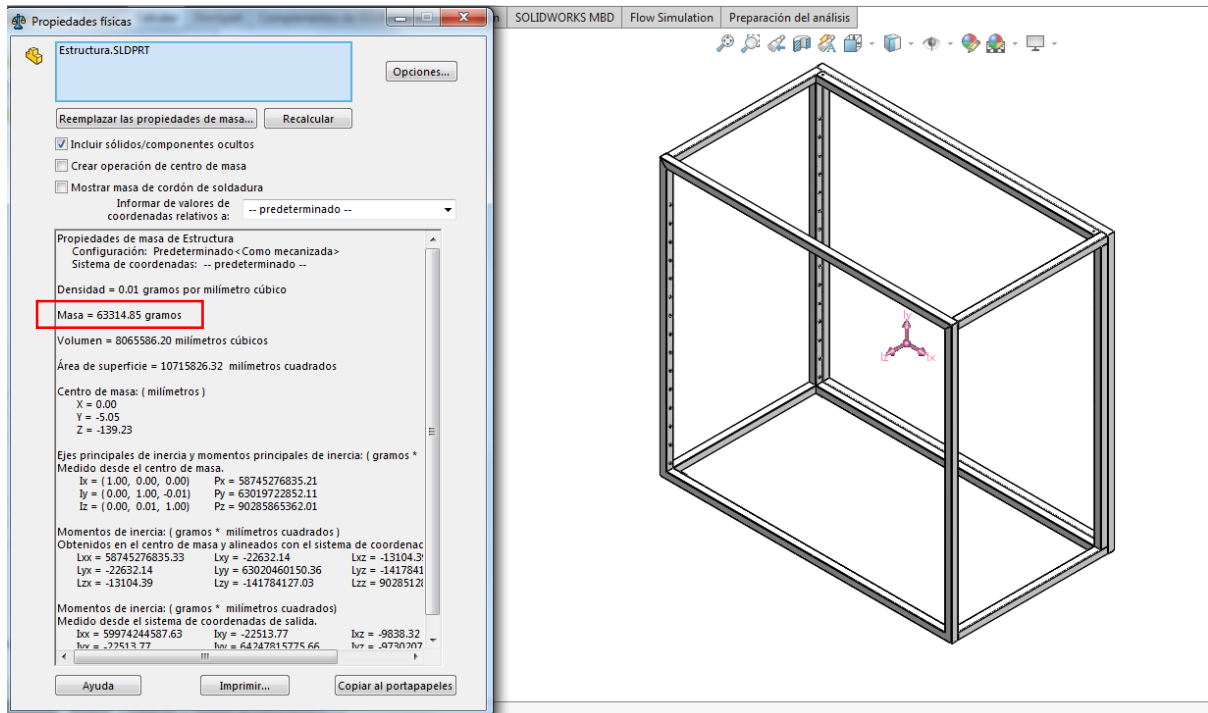
Anexo 1

Carga de Bandeja



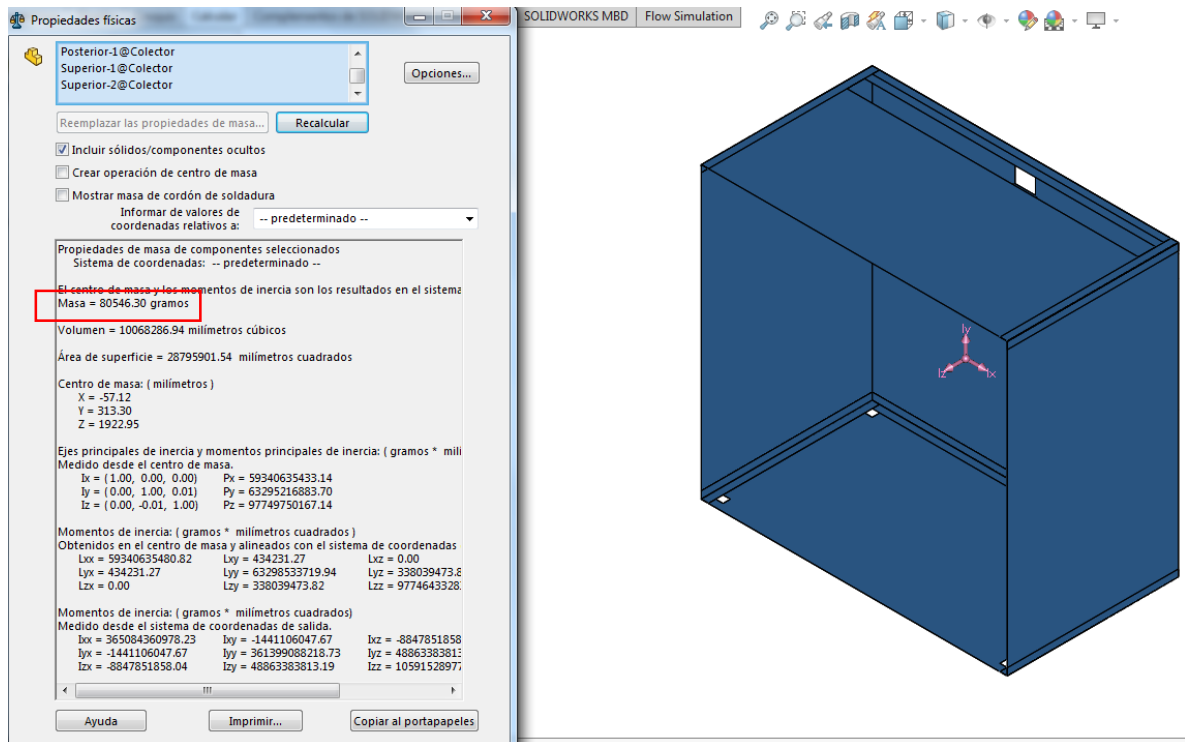
Anexo 2

Carga de la estructura de la cámara de secado



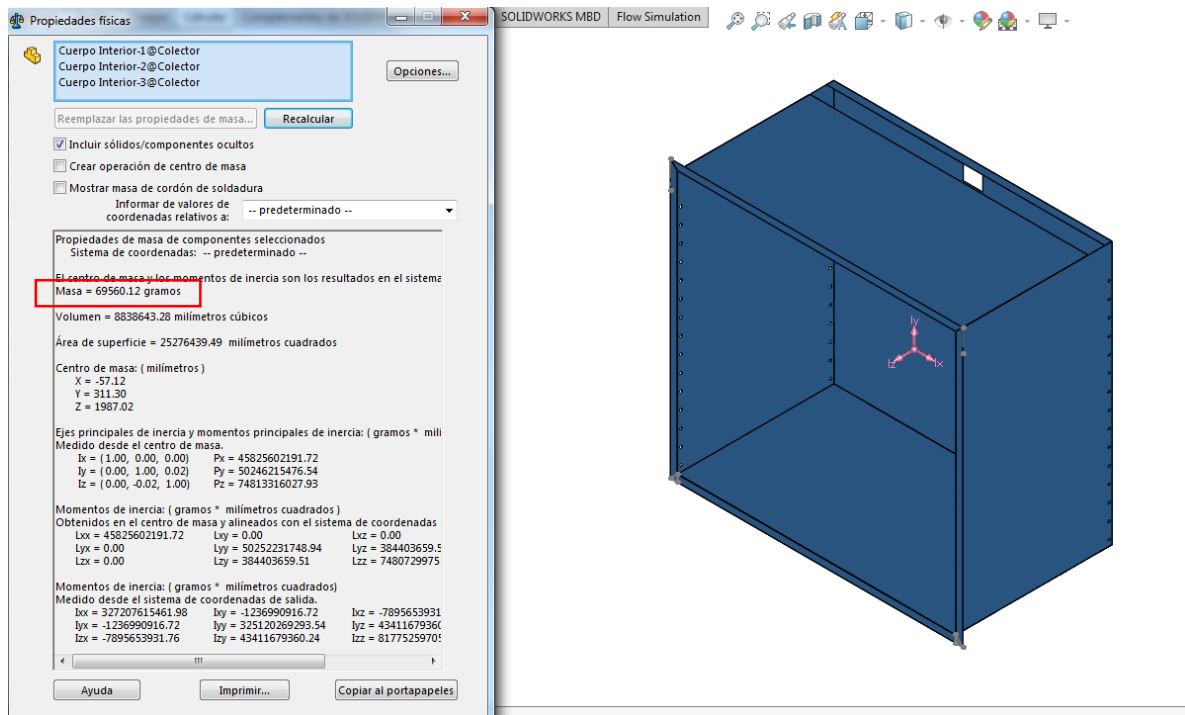
Anexo 3

Carga de la plancha de acero inoxidable exterior de la cámara de secado



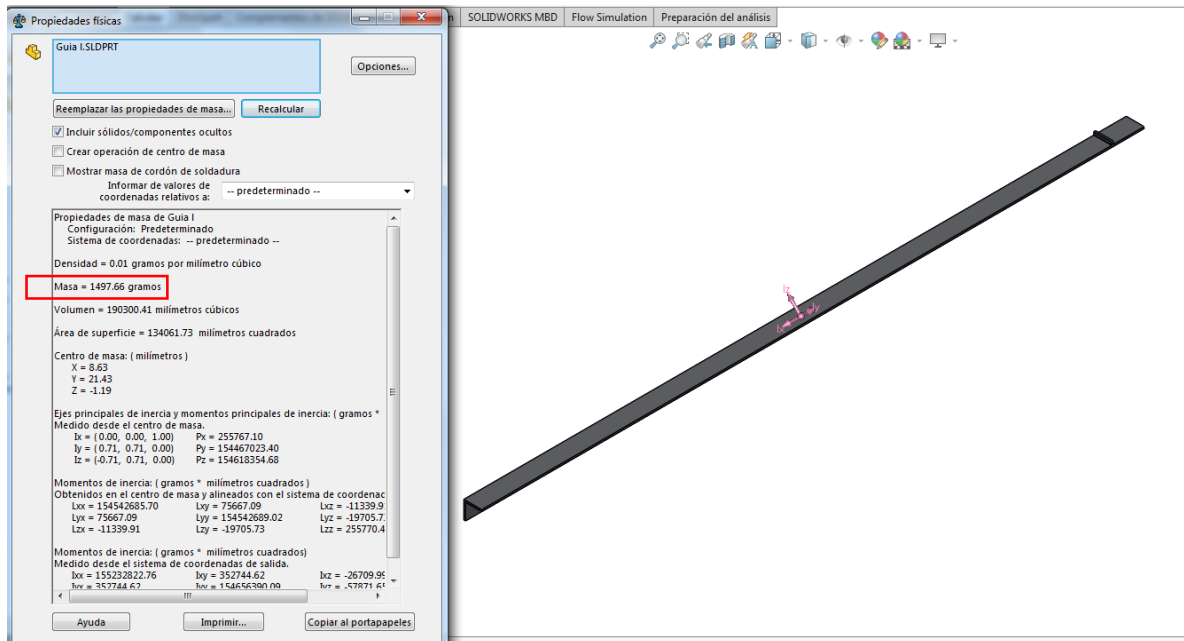
Anexo 4

Carga de la plancha galvanizada interior de la cámara de secado



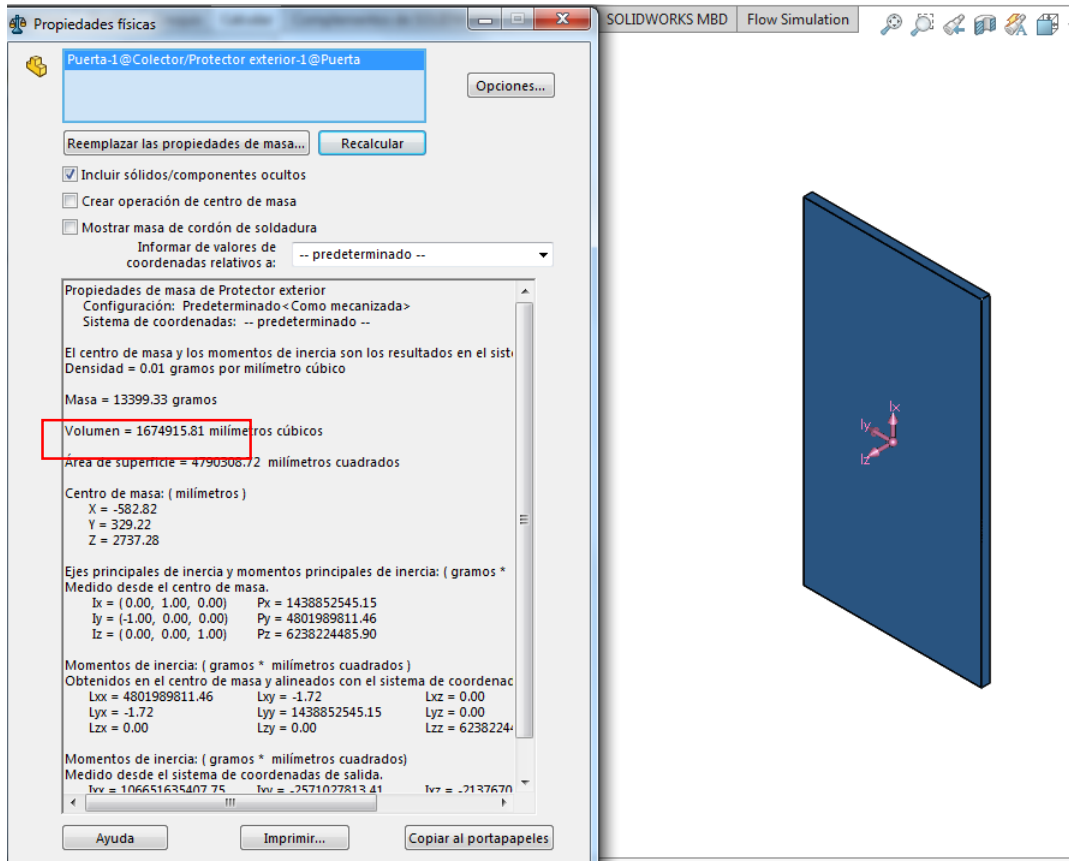
Anexo 5

Carga de la guía



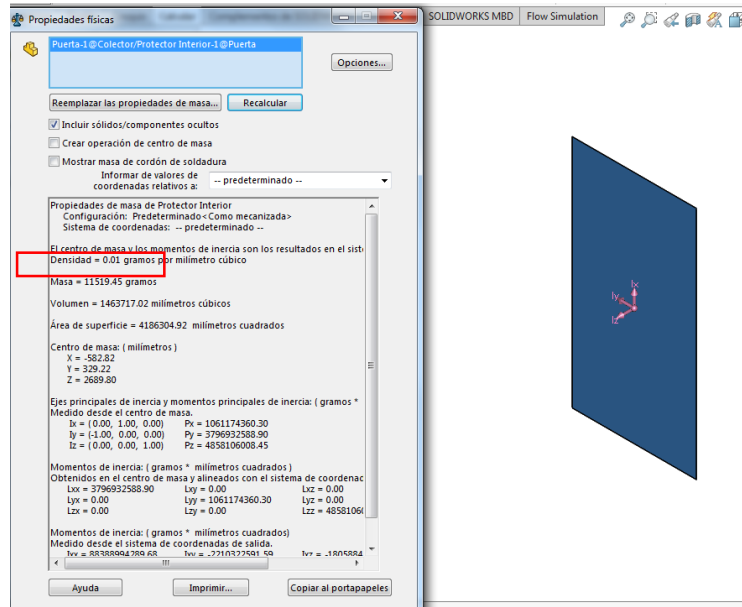
Anexo 6

Carga de la plancha inoxidable exterior de la puerta de la cámara de secado



Anexo 7

Carga de la plancha galvanizada interior de la puerta de la cámara de secado



The image shows a screenshot of the SolidWorks Physical Properties dialog box for a part named "Puerta-1@Colector/Protector Interior-1@Puerta". The dialog box is titled "Propiedades físicas" and contains several sections of data. A red box highlights the text "El centro de masa y los momentos de inercia son los resultados en el sistema de coordenadas de salida" and "Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico".

Propiedades de masa de Protector Interior
Configuración: Predeterminado < Como mecanizada >
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

El centro de masa y los momentos de inercia son los resultados en el sistema de coordenadas de salida.
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 11519.45 gramos
Volumen = 1463717.02 milímetros cúbicos
Área de superficie = 4186304.92 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
X = -582.82
Y = 329.22
Z = 2689.80

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.00, 1.00, 0.00) Px = 1061174360.30
Iy = (1.00, 0.00, 0.00) Py = 3796932588.90
Iz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 4858106008.45

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de salida.
Lxx = 3796932588.90 Lxy = 0.00 Lxz = 0.00
Lyy = 0.00 Lyy = 1061174360.30 Lyz = 0.00
Lzx = 0.00 Lzy = 0.00 Lzz = 48581061

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
Ixx = 88388884780.68 Iyy = 2710327501.50 Izz = 1804884

Buttons: Ayuda, Imprimir..., Copiar al portapapeles

Anexo 8

Carga de la estructura de la puerta de la cámara de secado

Propiedades físicas

Puerta-1@Colector/Estructura de ka Puerta-1@Puerta

Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Estructura de ka Puerta
Configuración: Predeterminado< Como mecanizada >
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

El centro de masa y los momentos de inercia son los resultados en el sistema de coordenadas de salida.
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 15279.97 gramos

Volumen = 1946492.98 milímetros cúbicos

Área de superficie = 2599099.65 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
X = -582.82
Y = 329.22
Z = 2715.15

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.00, 1.00, 0.00) Px = 2716431.235.04
Iy = (-1.00, 0.00, 0.00) Py = 6934004490.46
Iz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 9638579289.61

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de salida.
Lxx = 6934004490.46 Lyy = 0.00 Lzz = 0.00
Lxy = 0.00 Lyy = 2716431.235.04 Lyz = 0.00
Lxz = 0.00 Lzy = 0.00 Lzz = 9638579.289.61

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
Ixx = 1.21734675914E+11 Iyy = .2921680766E+09 Izz = .2417989E+09

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

puerta<1>/Estructura de ka Puerta<1>

Anexo 9

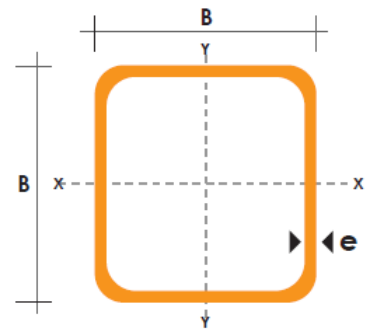
Fotos de secado del cacao al aire libre (tradicional no industrializado)



Anexo 10

Tubo cuadrado mecánico

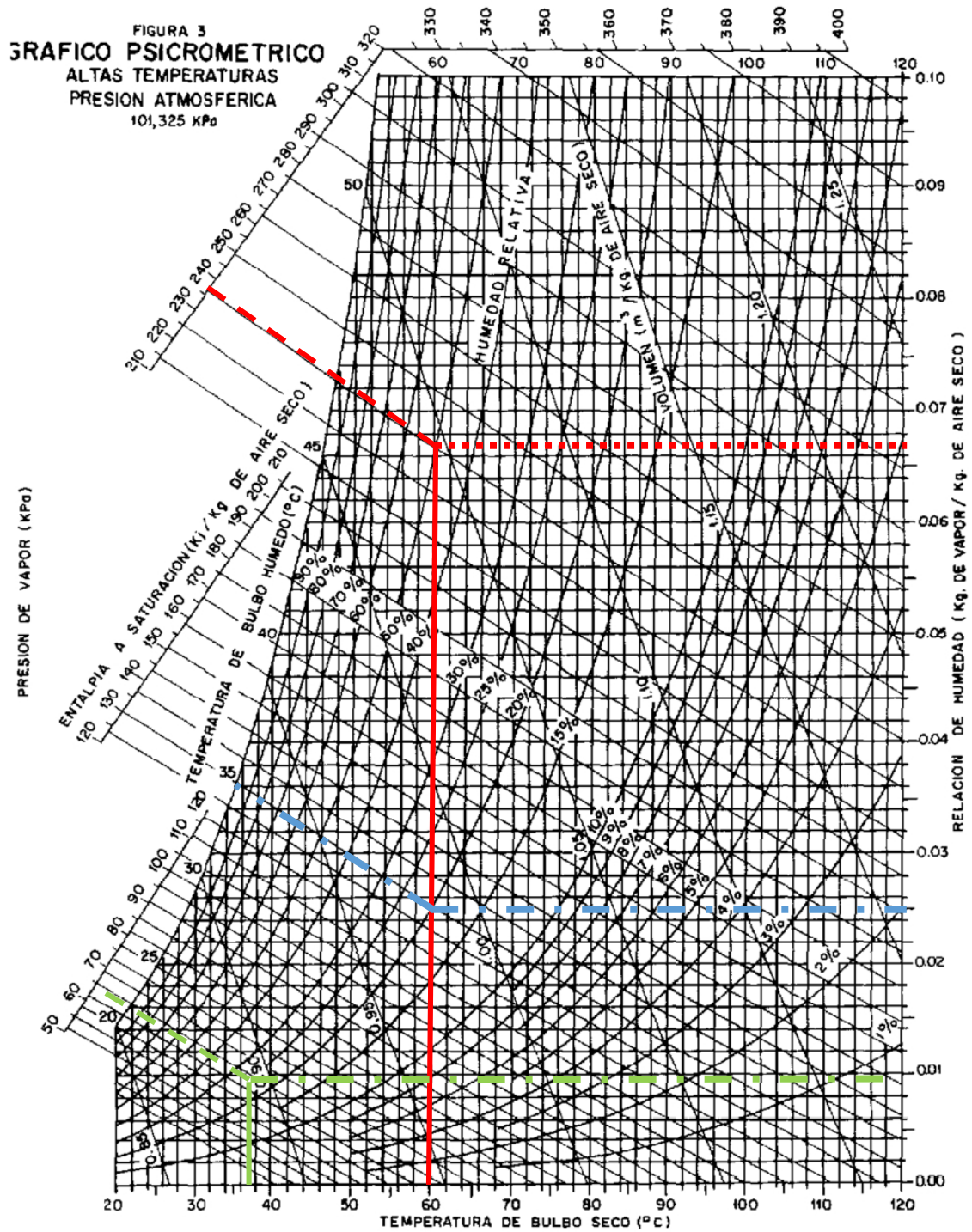
DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPEJOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	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	8,48	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



Fuente: DIPAC (2016)

Anexo 11

Carta Psicométrica para altas temperaturas



Fuente: Cengel y Yunus. (2019)

Anexo 12

Esfuerzos permisibles de columnas ($F_y = 36$ kpsi)

$\frac{KL}{r}$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Fa	21,560	21,520	21,480	21,440	21,390	21,350	21,300	21,250	21,210
10		21,160	21,100	21,050	21,000	20,950	20,890	20,830	20,780	20,660
20		20,600	20,540	20,480	20,410	20,350	20,280	20,220	20,150	20,010
30		19,940	19,870	19,800	19,730	19,650	19,580	19,500	19,420	19,270
40		19,190	19,110	19,030	18,950	18,860	18,780	18,700	18,610	18,440
50		18,350	18,260	18,170	18,080	17,990	17,900	17,810	17,710	17,530
60		17,430	17,330	17,240	17,140	17,040	16,940	16,840	16,740	16,530
70		16,430	16,330	16,220	16,120	16,010	15,900	15,790	15,690	15,470
80		15,360	15,240	15,120	15,020	14,900	14,790	14,670	14,560	14,320
90		14,200	14,090	13,970	13,840	13,720	13,600	13,480	13,350	13,100
100		12,980	12,850	12,720	12,590	12,470	12,330	12,200	12,070	11,810
110		11,670	11,540	11,400	11,260	11,130	10,990	10,850	10,710	10,430
120		10,280	10,140	9,990	9,850	9,700	9,550	9,410	9,260	8,970

Anexo 13

Lana de vidrio



AISLAMIENTO INDUSTRIAL

LANA AW

Aislamiento Térmico para servicio en caliente

DESCRIPCIÓN:

La Lana AW de FiberGlass es un aislamiento térmico hecho con lana de fibras de vidrio inorgánicas y elásticas, aglomeradas con resina termo-resistente, presentada en rollos.

USOS:

La Lana AW está diseñada para ser empleada en aplicaciones como aislamiento térmico de equipos y electrodomésticos que trabajan a temperaturas hasta de 540°C (1000°F) con el espesor recomendado. Este aislamiento es ampliamente utilizado en sistemas de paneles, recubrimientos flexibles, hornos industriales o superficies irregulares.

BENEFICIOS:

- **Excelente Funcionamiento Térmico**
La eficiencia térmica de la Lana AW contribuye a reducir las pérdidas de calor y el consumo de combustibles.
- **Peso Liviano**
El bajo peso de la fibra de vidrio facilita la instalación y manipulación del aislamiento, incluso cuando se trabaja con grandes cantidades.
- **Elasticidad**
Su elasticidad garantiza llenar completamente todos los espacios con el aislamiento asegurándose alta eficiencia en el funcionamiento de los artefactos.
- **Rápido y Fácil de Instalar**
Su presentación en rollos permite cubrir grandes áreas rápidamente, eliminando el trabajo tedioso de colocar lámina por lámina.

"Líderes en ahorro y conservación de energía".



ESPECIFICACIONES TECNICAS

- Conductividad Térmica: 0.039 w/°C.m² Valor típico (0.27 BTU.in/hr.°F.ft²).
- Características de Quemado Superficial: ASTM E84 Propagación de llama 25.
- Temperatura de aplicación: Máx 540°C (1000°F).
- Empaque: Bolsas de polietileno
- Unidad: Rollos

DIMENSIONES:

	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR
600" X 48" X 1"	15.24m	1219 mm	25.4 mm
300" X 48" X 1"	7.62 m	1219 mm	25.4 mm
600" X 48" X 1 1/2"	15.24 m	1219 mm	50.8 mm

ESPESORES RECOMENDADOS

Espeor	Ts Tq	1000°F (538°C)	850°F (454°C)	700°F (371°C)	550°F (288°C)	400°F (288°C)	250°F (121°C)
1"	Ts	250	228	204	180	154	125
	Q	203	168	134	100	67	34
2"	Ts	187	173	159	144	128	110
	Q	110	91	73	55	37	19
3"	Ts	161	151	140	129	117	104
	Q	76	63	50	38	25	13
4"	Ts	146	138	129	120	111	-
	Q	58	48	39	29	20	-
5"	Ts	137	130	122	-	-	-
	Q	47	39	31	-	-	-
6"	Ts	130	124	-	-	-	-
	Q	139	33	-	-	-	-

Cálculos realizados para: Velocidad de viento = 0
 Emisividad Exterior = 0.2
 Temperatura ambiente = 86°F (30°C)

TS = Temperatura Superficial en °F

Q = Pérdidas de Calor en BTU/h.ft²

Se escoge lana de vidrio de un espesor e=2"

Anexo 14

Propiedades del agua

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}

Fuente: Cengel y Ghajar (2020)

Anexo 15

Ventilador centrifugo



Ventilador:

- Envoltante en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- CBD y CBD 3V: Se suministra con pies soporte PSB

Motor:

- High efficiency (HE) motores para cumplimiento de ErP 2015
- Motores cerrados con protector térmico incorporado, clase F, con

rodamientos a bolas, protección IP54

- Monofásicos 220-240V-50Hz y trifásicos 220-240/380-415V-50Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 60°C

Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado



Turbina de alta calidad y gran robustez, equilibrada dinámicamente según ISO 21940-11

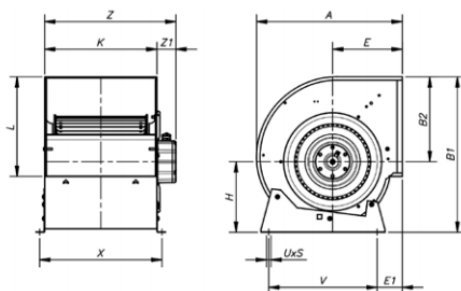
	Equivalencia Pulgadas	Velocidad max (rpm)	Intensidad máx. admisible (A) 230 V 400V	Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m3/h)	Nivel sonoro (dBA)	Peso aprox. (Kg)	According ErP	
CBD-1919-4M 1/5/HE	7/7	1320	1,15	0,15	1500	59	7,0	2015	
CBD-1919-6M 1/10/HE	7/7	820	0,85	0,08	1230	53	7,0	Excluded	
CBD-2525-4M 1/2/HE	9/9	1320	2,30	0,37	2800	66	13,2	2015	
CBD-2525-4M 3/4/HE	9/9	1310	3,65	0,55	3600	70	14,0	2015	
CBD-2525-6M 1/6/HE	9/9	900	0,95	0,13	2200	60	11,9	2015	
CBD-2525-6M 1/3/HE	9/9	940	1,60	0,25	2700	62	12,7	2015	
CBD-2828-4M 1/2/HE	10/10	1320	2,30	0,37	2800	65	15,7	2015	
CBD-2828-4M 3/4/HE	10/10	1310	3,65	0,55	3950	70	16,5	2015	
CBD-2828-6M 1/3/HE	10/10	940	1,60	0,25	3200	62	15,2	2015	
CBD-3333-6T 1/2/HE	12/12	850	6,60	3,80	1,10	7800	75	24,5	2015
CBD-3333-6M 3/4/HE	12/12	930	3,30	0,55	4750	64	23,0	2015	
CBD-3333-6M 1/HE	12/12	850	5,37	0,75	6000	71	24,0	2015	
CBD-3939-6T 3/HE	15/15	890	10,90	6,30	2,20	11400	75	39,0	2015

Fuente: SODECA (2014)

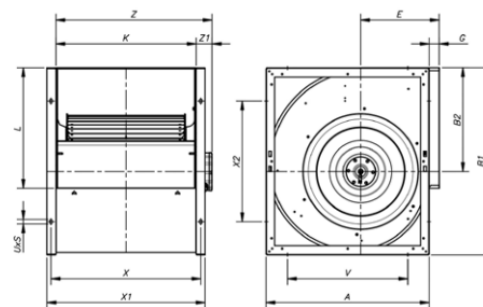
Ventilador centrifugo – dimensionamiento parte I.

Dimensiones mm

CBD- 1919...3333



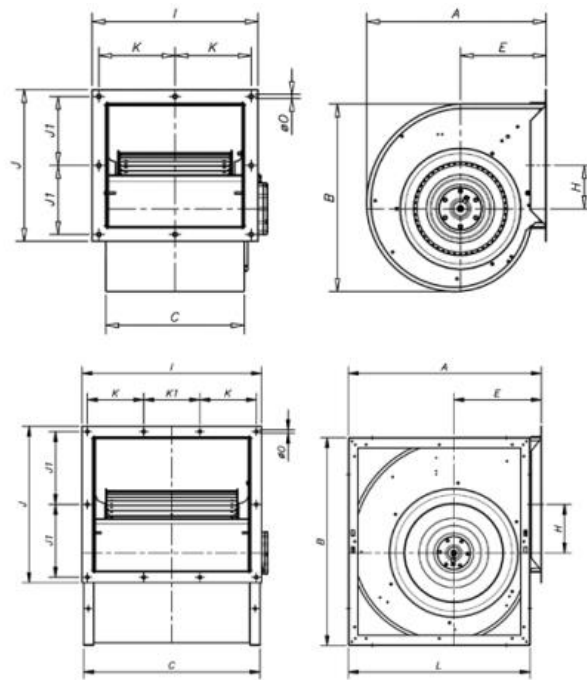
CBD- 3939



	Equiv. Plug.	A	B1	B2	E	E1	G	H	K	L	UxS	V	X	x1	x2	Z1	Z
CBD-1919	7/7	315	333	189	152	64	-	144	230	208	9x13	225	258	-	-	70	300
CBD-2525	9/9	380	400	218	183	78	-	182	300	263	9x13	275	328	-	-	57	357
CBD-2828	10/10	422	450	246	202	73	-	204	326	292	9x13	315	352	-	-	45	371
CBD-3333	12/12	493	526	290	230	82	-	236	387	345	18x9	390	415	-	-	70	457
CBD-3939	15/15	553	632	352	265	-	30	-	473	408	18x9	406	505	533	406	60	533

Fuente: SODECA (2014)

Ventilador centrifugo – dimensionamiento parte II.



Equiv. Plug.	A	B	C	E	H	I	J	J1	K	K1	L	øO	
CBD/B-1919	7/7	315	322	230	152	86,5	295	273	120,5	131,5	-	10	
CBD/B-2525	9/9	380	393	300	183	89	365	328	148	166,5	-	10	
CBD/B-2828	10/10	422	442	326	202	102	391	357	162,5	179,5	-	10	
CBD/B-3333	12/12	493	527	387	230	121	452	410	189	210	-	10	
CBD/B-3939	15/15	583	635	533	265	147	538	469	218,5	169	168	553	10

Fuente: SODECA (2014)

Anexo 16

Kit Solar Móvil

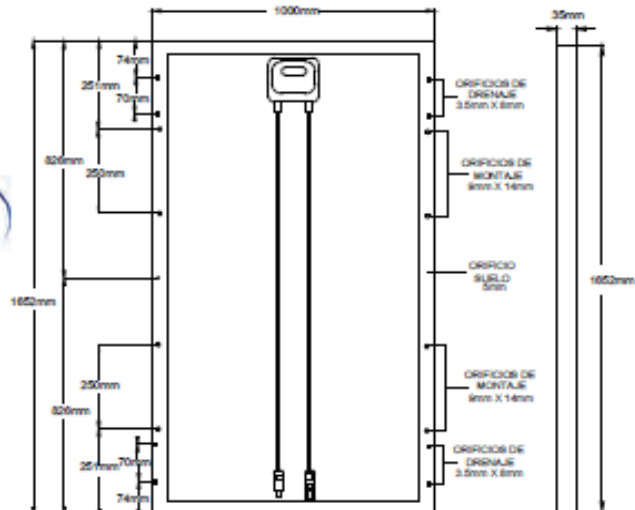
GMA 60-P Series
GMA225, GMA230, GMA240, GMA245, GMA250, GMA260



DATOS ELÉCTRICOS						
Tipo de Panel	GMA 225-60	GMA 230-60	GMA 240-60	GMA 245-60	GMA 250-60	GMA 260-60
Potencia nominal máx. (Wp)	225 W	230 W	240 W	245 W	250 W	260 W
Voltaje nominal (Vmp)	29.7 V	29.9 V	30.1 V	30.3 V	30.5 V	30.9 V
Corriente nominal (Imp)	7.58 A	7.69 A	7.97 A	8.05 A	8.20 A	8.42 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37.0 V	37.2 V	37.2 V	37.2 V	37.6 V	38.0 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.46 A	8.24 A	8.96 A	9.15 A	8.87 A	8.99 A
Eficiencia del módulo (%)	13.6	13.9	14.5	14.8	15.1	15.7
Voltaje máximo del sistema	600 VDC (UL) 1000 VDC (IEC)					
STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM= 1.5						

COEFICIENTES DE TEMPERATURA		DATOS MECÁNICOS	
TONC	45+/-2°C	Celda Solar	Policristalina 156 mm x 156 mm
Voltaje Temperatura Coeficiente (Voc)	-0.36%	Vidrio frontal	3.2 Templado
Corriente temperatura Coeficiente (Isc)	+0.033%	Caja de conexiones	Caja de conexiones certificada
Potencia de temperature Coeficiente (Pmpp)	+0.48%	Cables de salida	1000 mm de longitud con conectores
Tolerancia de potencia mínima -0/+5%		Marco	Aluminio anodizado
TONC: Temperatura de operación nominal de la celda -40°C to +95°		Peso	20kg
		Dimensiones	1652 mm x 1000 x 35 mm

GARANTIA Y CERTIFICACIONES	
Garantía	12 años fabricación, 12 años 90%, 25 años 80% garantía de Potencia
Certificaciones	IEC 61215, IEC 61730, CE, cETLus
Nota: Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso	



www.gmasolar.ca

3626 BLVD. POIRIER, MONTREAL, QC, CANADA H4R 2J5
TEL : 514-956-0101 | FAX : 514-956-1783 | info@gmasolar.ca

Anexo 17

Irradiancia mensual global según el Atlas Solar

