



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO
MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA
LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA.”

AUTOR: De la Vega Sánchez Francisco Franco

TUTOR: Ing. M.Eng. Mayra Paucar Samaniego

AMBATO – ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, desarrollado por el estudiante De la Vega Sánchez Francisco Franco, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que este ha sido concluido en su totalidad, y por tanto puede continuar con el respectivo tramite de graduación.

Ambato, febrero, 2017

.....
Ing. M.Eng. Mayra Paucar Samaniego
DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

Derechos de Autor

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

.....
De la Vega Sánchez Francisco Franco
AUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente proyecto.

Ambato, abril del 2017

EL AUTOR

.....
De la Vega Sánchez Francisco Franco
CI: 0502768435

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el proyecto técnico realizado por el estudiante Francisco Franco De la Vega Sánchez de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.”**

Ambato, marzo 2017

Para constancia firman:

.....

Ing. Alex Mayorga

.....

Ing. Mg. Santiago Cabrera

DEDICATORIA

A mis amados y leales padres quienes pusieron toda su confianza en mí, que se encuentran conmigo en los mejores y peores momentos ayudándome a salir adelante y enseñándome el camino de la perseverancia y paciencia junto con mis hermanos que con su experiencia en la vida me aconsejaron para mi bienestar.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a todas las personas que pusieron su fe en mi apoyándome incondicionalmente y docentes que me guiaron en este camino universitario en especial a la Ing. M.Eng. Mayra Paucar Samaniego por su valiosa ayuda y don de persona al momento de realizar éste proyecto técnico y en todas las facetas de mi vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN	II
Derechos de Autor	III
AUTORÍA DE TRABAJO	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIII
ABSTRACT	XIIII
CAPÍTULO I	15
ANTECEDENTES	15
1.1 TEMA.....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 GENERAL.....	17
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	17
CAPÍTULO II	18
FUNDAMENTACIÓN	18
2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS.....	18
2.2 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	20
2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	21
2.3.1 Deshidratación.....	21
2.3.1.1 Ventajas de la deshidratación.....	22
2.3.1.2 Etapas del proceso de deshidratación.....	23
2.3.2 Energías renovables.....	25
2.3.3 Sistemas de deshidratación solar.....	27
2.3.3.1 Sistema al aire libre (natural).....	28
2.3.3.2 Sistema directo.....	29
2.3.3.3 Sistema indirecto.....	31
2.3.3.4 Sistema mixto.....	32
2.3.3.5 Circulación forzada.....	33
2.3.3.6 Circulación por convección natural:.....	33
2.3.3.7 Flujo de Aire.....	33
2.3.4 Plátano deshidratado.....	34
2.3.4.1 Plátano en Ecuador.....	35
2.3.4.2 Propiedades.....	35

2.3.4.3	Valor nutritivo del banano deshidratado.....	36
2.3.4.4	Proceso.....	37
2.3.4.5	Asegurar la calidad del secado.....	38
CAPÍTULO III.....		41
DISEÑO DEL PROYECTO.....		41
3.1	PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	41
3.1.1	Tipo de sistema	42
3.1.2	Tipo de circulación	42
3.1.3	Flujo de aire	42
3.1.4	Temperatura de aire	42
3.1.5	Velocidad de flujo de aire	42
3.1.6	Rapidez de extracción de humedad.....	42
3.1.7	Calidad de producto final.....	43
3.1.8	Dimensiones físicas	43
3.1.9	Costo	43
3.1.10	Rendimiento.....	43
3.2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	44
3.2.1	ALTERNATIVA A: “DESHIDRATADOR SOLAR DIRECTO”	44
3.2.2	ALTERNATIVA B: “DESHIDRATADOR INDIRECTO”	45
3.2.3	ALTERNATIVA C: “DESHIDRATADOR MIXTO”	46
3.3	MÉTODO PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....	47
3.3.1	Asignación de jerarquía	47
3.3.1.1	Temperatura del aire	48
3.3.1.2	Velocidad del flujo de aire.....	48
3.3.1.3	Rapidez de extracción de humedad.....	48
3.3.1.4	Calidad de producto final.....	48
3.3.1.5	Dimensiones físicas	48
3.3.1.6	Costo	48
3.3.2	Aplicación de método de atributos	49
3.3.2.1	Calculo de la alternativa A.....	51
3.3.2.2	Cálculo de la alternativa B.....	52
3.3.2.3	Cálculo de la alternativa C.....	54
3.3.3	Representación gráfica de resultados.....	56
3.3.4	Comparación entre alternativas A, B Y C	57
3.3.5	SIMULACIÓN DEL PROCESO.....	58
3.4	CÁLCULOS O MODELO OPERATIVO.....	63
3.4.1	Diseño	63

3.4.2	Diseño mecánico.....	80
3.5	PRESUPUESTO	85
3.6	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DE PRUEBA.....	85
3.7	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	87
CAPÍTULO IV.....		89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		89
4.1	CONCLUSIONES	89
4.2	RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....		92
ANEXOS.....		94

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Parámetros para deshidratador directo	44
Tabla N° 3.2: Parámetros para deshidratador indirecto	45
Tabla N° 3.3: Parámetros para deshidratador mixto	46
Tabla N° 3. 4: Asignación de jerarquía según la importancia del atributo.....	47
Tabla N° 3. 5: Valor de Jerarquía asignado para cada atributo.....	49
Tabla N° 3. 6: Valores de Jerarquía para cada alternativa.	49
Tabla N° 3. 7: Resultado del cálculo por el método de atributos ponderados.....	56
Tabla N° 3. 8: Configuración de Cámara de Secado	65
Tabla N° 3. 9: Configuración del Colector.....	65
Tabla N° 3. 10: Temperatura máxima y mínima de deshidratación del plátano	65
Tabla N° 3. 11: Presupuesta de materiales y mano de obra.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2. 1: Etapas del proceso de deshidratación.	23
Figura N°2. 2: Irradiación solar que llega a la atmosfera de la tierra	26
Figura N°2. 3: Secado natural.	29
Figura N°2. 4: Secador solar indirecto.	31
Figura N°2. 5: Esquema de un sistema de secado solar indirecto	31
Figura N°2. 6: Sistema de secado solar mixto.....	32
Figura N°2. 7: Tipos de flujo de aire.	34
Figura N° 3. 1: Deshidratador solar directo.....	44
Figura N° 3. 2: Deshidratador solar indirecto.....	45
Figura N° 3. 3: Valor total en porcentaje para cada alternativa.	56
Figura N° 3. 4: Valor Total en porcentaje para cada alternativa.....	57
Figura N° 3. 5: Valor Total en porcentaje para cada alternativa.	57
Figura N° 3. 6: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar, derecha	58
Figura N° 3. 7: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar, izquierda	58
Figura N° 3. 8: Simulación de temperatura global en la deshidratadora solar.	59
Figura N° 3. 9: Simulación de temperatura en el centro de la deshidratadora solar, en vista isométrica.....	59
Figura N° 3. 10: Simulación de temperatura en la deshidratadora solar en la pared derecha con vista isométrica.....	60
Figura N° 3. 11: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.	60
Figura N° 3. 12: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.	61
Figura N° 3. 13: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.	61
Figura N° 3. 14: Flujo de aire en la cámara de secado y el colector.	62
Figura N° 3. 15 Flujo de aire de la deshidratadora solar.	62

Figura N° 3. 16 Partes principales de la deshidratadora solar.....	63
Figura N° 3. 17 Esquema de la configuración de las paredes	63
Figura N° 3. 18: Diagrama de distribución de calores	70
Figura N° 3. 19: Diagrama de resistencias térmicas del colector.....	
Figura N° 3. 20: Diagrama de pérdidas de calor	79
Figura N° 3. 21: Pesado del plátano	86
Figura N° 3. 22: Pesado del plátano al final del día	87
Figura N° 3. 23: Curva de secado muestra 1.	87
Figura N° 3. 24: Curva de secado muestra 2.	88
Figura N° 3. 25: Comparación entre las dos curvas de secado.	88

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del presente proyecto de investigación fue diseñar y construir una deshidratadora de plátano mediante el aprovechamiento de energía solar pasiva para lo cual se hizo un estudio entre los diferentes tipos de deshidratadores solares que fueron: directo, indirecto, y mixto, tomando en cuenta parámetros tales como la temperatura del aire, velocidad del flujo de aire, rapidez de extracción de humedad, calidad de producto final, dimensiones físicas y costo; siendo la mejor alternativa el sistema mixto. Después se realizó el diseño de la máquina para la obtención de medidas necesarias en la construcción.

Antes de la construcción de la deshidratadora solar se hizo una simulación, para la obtención de algunos parámetros que ayudó en la construcción; al término se hizo la construcción de la deshidratadora solar con sistema mixto y se realizaron toma de datos, en el lapso de una semana (5 días), sin extractor de aire se logró llegar a deshidratar la muestra de plátano al 12.7% de humedad, mientras que con extractor de aire se alcanzó en tan solo dos días. El valor de la humedad residual en la fruta fue corroborado por un análisis de humedad hecho por parte del Laboratorio de LACONAL de la Universidad Técnica de Ambato.

ABSTRACT

The objective of the project research project is to design and build a banana dehydrator by using passive solar energy for what was done a study between the different types of solar dehydrators that they were: direct, indirect, and mixed, taking into account parameters such as Air temperature, air flow velocity, rapidity of moisture extraction, final product quality, physical dimensions and cost; being the best alternative the mixed system. Afterwards the design of the machine was realized to obtain necessary measures in the construction.

Before the construction of the solar dehydrator, a simulation was made for the obtaining some parameters that helped in the construction; At the end, the construction of the solar dehydrator with mixed system and data, within one week (5 days), without air extractor dehydrate the banana sample to 12.7% moisture, while with extractor air was reached in only two days. The value of residual moisture in the fruit was corroborated by a moisture analysis done by the Laboratory of LACONAL of the Technical University of Ambato.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”.

1.2 JUSTIFICACIÓN

A lo largo del tiempo se han modificado los sistemas de deshidratación de alimentos, con la implementación de nuevas tecnologías que amplían la variedad de productos y presentaciones en el mercado de los mismos. Actualmente, existen diversas alternativas para realizar el proceso de deshidratación de alimentos, dentro de las cuales se considera el deshidratador solar. “Los equipos empleados para este fin presentan mayor eficiencia que el secado al sol y menores costos de operación que los deshidratadores mecanizados”. [1]

El diseño y construcción de un deshidratador solar pasivo para la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica resulta de gran importancia para el desarrollo académico de los estudiantes en el área de energías, pudiéndose observar un ejemplo práctico del uso de la energía solar en actividades de producción como la deshidratación de alimentos. A su vez este deshidratador solar despertará un interés de parte de la Facultad de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, existiendo un intercambio de conocimientos e interacción entre las facultades

mencionadas, lo que nos permitirá obtener un producto de calidad utilizando el menor gasto energético.

Su interés radica en la conservación del plátano, reduciéndose el peso y disminución de espacio de almacenamiento del mismo, siendo un método que permite la eliminación de cierto contenido de humedad, alargando su vida útil y manteniendo gran parte de sus propiedades, reduciéndose un consumo energético y contribuyendo a la reducción de emisiones nocivas al ambiente.

Se considera un proyecto factible porque en el país y la región se han realizado estudios sobre este tipo de deshidratador solar pasivo mencionándose el trabajo de [2], en el mismo se llega a obtener eficiencias del 80% utilizando una circulación de aire para evitar la acumulación de humedad mediante un sistema de ventiladores, dicho sistema deshidrata 15 kg de frutas o granos.

Son de fácil manejo, encontrándose abundante literatura acerca de la deshidratación solar pasiva, así como también del funcionamiento de sistemas solares pasivos. Económicamente el proyecto es aceptable ya que la máquina se compone de materiales no costosos. Estará apuntando a una optimización de recursos energéticos.

Tecnológicamente es viable ya que los instrumentos de medición necesarios de los diferentes factores ambientales, y energéticos, equipos con los cuales cuenta la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y de la Facultad de Ingeniería en Alimentos. Geográficamente es aceptable puesto que la irradiación de Ambato es de 4.65 kWh/m^2 [3], siendo aplicable a sistemas solares pasivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Diseñar y construir un deshidratador de plátano mediante el aprovechamiento de energía solar pasiva.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar la cinética del secado para el alimento escogido, en este caso el plátano.
- Dimensionar y simular el sistema térmico pasivo aplicable para la deshidratación del plátano.
- Determinar los factores ambientales termodinámicos que influyen sobre un deshidratador solar pasivo, su importancia y su aprovechamiento para alcanzar un uso adecuado de la energía.
- Analizar los materiales a ser utilizados en el deshidratador, los cuales generen un mayor rendimiento energético, en nuestro clima, ambiente y temperatura.
- Construir el sistema de deshidratación solar pasivo.
- Modelar la cinética del proceso de secado por aire caliente del banano y evaluar la influencia de la temperatura de trabajo en los parámetros cinéticos alcanzados por nuestro deshidratador

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

Revisada información que se relacione con el tema se pudo encontrar algunos trabajos realizados con la siguiente descripción:

Cuarán Pantoja Santiago Vinicio y Tinillo Córdova Iván David, en su tesis presentada en la Universidad Politécnica Salesiana de Quito, bajo el tema: “Diseño y construcción de un prototipo deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo con circulación forzada de una capacidad de 0.05 m³ utilizando energía solar”, realizada en 2013, presenta un proyecto que utiliza energía solar y deshidratación de alimentos. Usándose colectores solares para realizar el análisis de los parámetros necesarios para el diseño del deshidratador, siendo; el calor que se requiere para deshidratar la uvilla, el calor que genera el colector, la velocidad del aire circulante y las pérdidas de calor los más importantes. Para posteriormente representar los resultados en tablas y gráficos. El producto final no presento varianza en sus propiedades organolépticas, manteniendo un color, sabor, textura y aroma agradable para el consumidor final reduciéndose su porcentaje de agua en un 47%. Los materiales usados fueron acero inoxidable por estar al contacto con alimentos y por sus buenas propiedades térmicas. [4][5]

Delgado E., Peralta J. y Barriga A., en su investigación, en la Escuela Politécnica del Litoral, bajo el tema: “Secadores solares-térmicos para granos y frutas para utilizarlo en zonas remotas”, realizada en 2012, presenta un término usando datos geográficos para la orientación del sistema térmico pasivo, realizándose un balance energético para determinar la cantidad adecuada de grano para el diseño de la capacidad del

secador, para posteriormente sacar la eficiencia del mismo. Siendo su máxima eficiencia a las horas del mediodía en un 80%, para un total de 15 kg de masa a deshidrata, con un ángulo de elevación del colector de 15°. [6]

Juan Pablo Maureira Poveda, en su tesis previo a la obtención del título de ingeniero mecánico, titulada; “Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 Kg”, realizada en el 2006 en la Escuela Politécnica del Ejercito, presenta un diseño de un secador de granos de cacao que funciona con energía solar. Mediante la implementación de un sistema de colectores solares planos se transformará la energía solar en energía térmica. Con el propósito de alcanzar una temperatura de secado de 50 °C los colectores solares poseen dos cubiertas transparentes para crear un efecto invernadero. En el proceso de secado la transferencia de calor fue principalmente por conducción y convección, la convección es forzada ya que se utilizarán dos ventiladores. El aire impulsado por los ventiladores pasa a través de los colectores solares en donde aumentó su temperatura. El secador diseñado reduce el tiempo de secado a un promedio de 3 días, así como también el área de terreno ocupada por el secador será de 60 m², lo que significa una reducción del 50% del área actual destinada. [9]

Marcelo Siguencia Ávila, en su maestría en Planificación y Gestión Energética presenta el tema: “Evaluación de un secador solar inclinado con absorbedor de zeolita para granos de cacao CCN51“, realizada en Universidad de Cuenca, Facultad De Ciencias Químicas, en el año 2013, presenta un estudio en el cual se establecieron escenarios comparativos con el secado tradicional en tendal, en donde se trabajó con distinta inclinación del secador solar (5% y 15%) además se realizó una evaluación de la zeolita con presencia y ausencia de ésta en un experimento adicional para observar la incidencia dentro del proceso, los datos recogidos básicamente fueron tiempos de secado (críticos y totales) en todos los casos; afectados por variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar, etc. Los resultados obtenidos fueron tratados analítica y estadísticamente utilizando principios de secado modelos, para determinar que la mejor opción es un secador con una inclinación del 5% y con

absorbedor de zeolita resultó ser más eficiente que los demás, tanto en la reducción de los tiempos de secado como en el análisis factorial, además de ser viable económicamente, por lo que implementar este tipo de secador solar es factible para utilizarse en el proceso de secado de cacao por parte de pequeños y medianos productores. [10]

2.2 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

NORMAS ALIMENTICIAS:

- INEN 377: Conservas de Frutas.
- NTE INEN 2996: Productos Deshidratados. Zanahoria, Zapallo, Uvilla. Requisitos
- Así como diversos decretos de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO.

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN:

Enumerándose las sociedades y organizaciones que han establecido las especificaciones necesarias para formular normas y códigos de diseño y construcción.

- American Gear Manufacturers Association (AGMA)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)

- International Standards Organization (ISO)

2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.3.1 Deshidratación

La conservación de los alimentos por deshidratación es uno de los métodos más antiguos y parece que tuvo su origen en los campos de cultivo cuando se dejaban deshidratar de forma natural las cosechas de cereales, heno, y otros antes de su recolección o mientras permanecían en las cercanías de la zona de cultivo. Su aplicación se extiende a una amplia gama de productos: pescados, carnes, frutas, verduras, té, café, azúcar, almidones, sopas, especias, hierbas, etc.

El método se basa en el hecho de que los microorganismos que contaminan los alimentos no pueden crecer en los alimentos secos.

“el éxito de este procedimiento reside en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la actividad del agua, y fisicoquímica, aporta otras ventajas derivadas de la reducción del peso, en relación con el transporte, manipulación y almacenamiento. Para conseguir esto, la transferencia de calor debe ser tal que se alcance el calor latente de evaporación y que se logre que el agua o el vapor de agua atraviesen el alimento y lo abandone.” [4]

“A diferencia de las conservas que calientan mucho el alimento destruyendo sus propiedades, o de la congelación que también somete al alimento a temperaturas extremas y cambia sus propiedades energéticas, el deshidratado es suave y gentil con el alimento “. [5]

Es una operación unitaria mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene. Considerando que el secado es un proceso de transferencia simultánea de materia (agua) y de energía (calor), se cuenta con una

transmisión de calor que proporcione el calor latente de vaporización necesario para eliminar el agua y un transporte de agua desde el alimento hacia el exterior; ambos procesos se realizan simultáneamente, influyendo uno sobre el otro. La velocidad a la que se produce el secado, así como el tiempo necesario para ello, dependerán de estas transferencias acopladas.

Resulta muy importante elegir el método de deshidratación más adecuado para cada tipo de alimento, siendo los más frecuentes: la deshidratación al aire libre, por rocío, por aire, al vacío, por congelación y por deshidrocongelación, es importante conocer la velocidad a la que va a tener lugar el proceso, ya que la eliminación de humedad excesivamente rápida en las capas externas puede provocar un endurecimiento de la superficie, impidiendo que se produzca la correcta deshidratación del producto. [6]

2.3.1.1 Ventajas de la deshidratación

Entre las principales ventajas de este método para conservar alimentos tenemos: [7]

- Conservación durante meses o años: la conservación es más larga cuanto menos agua retengan y alimentos totalmente deshidratados se conservan perfectamente durante años en envases cerrados.
- Mantiene las propiedades nutricionales de los alimentos: mejor conservación cuanto menor sea la temperatura de deshidratado.
- Los sabores se intensifican, al concentrarse.
- Reduce el espacio de almacenaje, manipulación y transporte.
- Son por ello ideales para cuando viajamos, hacemos excursiones (ocupan poco, no manchan, son nutritivos y deliciosos).

- Podemos conservar excedentes de cosechas.

2.3.1.2 Etapas del proceso de deshidratación

Existen varias etapas en el proceso de deshidratación como se muestra en la figura N°1.3, descritas por [8].

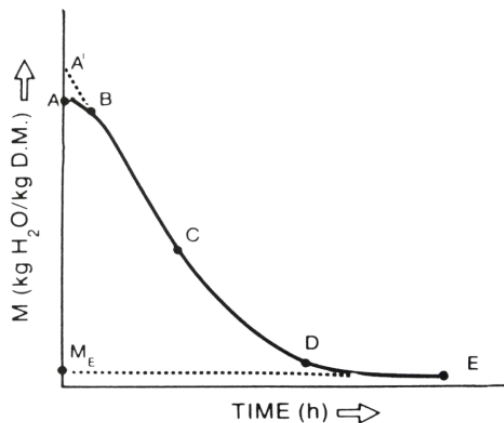


Figura N°2. 1: Etapas del proceso de deshidratación.

Fuente: (Farid, 2010). [12]

Primera etapa (A-B): Representa un período de calentamiento del producto sólido y la superficie del mismo llega al equilibrio con el aire de secado. Es una porción insignificante del ciclo completo de deshidratación.

Segunda etapa (B-C): Es un período de deshidratación durante el cual el agua removida por unidad de superficie es constante. En este período, el movimiento de humedad a través del sólido es rápido para llegar a una condición de saturación de la superficie y la velocidad de secado es controlada por la velocidad de transferencia de energía. Durante este período, la superficie del sólido se encuentra saturada de agua líquida debido a que el movimiento de agua a través del sólido tiene lugar a una velocidad mayor que la velocidad de evaporación desde la superficie. Este período es altamente afectado por los coeficientes de transferencia de calor y/o humedad, el área expuesta al medio de deshidratación y la diferencia de temperatura y humedad relativa entre el aire de secado y la superficie húmeda del sólido.

En esta etapa, el equilibrio entre la transferencia de calor y la transferencia de vapor de agua puede expresarse por la Ecuación N° 2.1:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dQ}{dt\lambda} \quad \text{Ecuación N° 2. 1}$$

Donde W es la cantidad de vapor de agua en la muestra, Q es energía, λ es calor latente de vaporización y t es el tiempo.

La transferencia de calor global puede ser expresada a través de la Ecuación N° 2.2:

$$\frac{dQ}{dt} = h_c(\Delta T) \quad \text{Ecuación N° 2. 2}$$

Siendo h_c el coeficiente de transferencia de calor y ΔT es la diferencia de temperaturas entre la superficie del producto y el medio y A es el área expuesta al medio ambiente. La transferencia de vapor de agua puede ser calculada a través de la Ecuación N° 2.3:

$$\frac{dW}{dt} = k_c A(\Delta P) \quad \text{Ecuación N° 2. 3}$$

Donde k_g es el coeficiente de transferencia de materia y ΔP_w es la diferencia de presiones parciales de vapor de agua entre la superficie del producto y el medio.

Tercera etapa (C-D): La transferencia de agua a través del alimento se retarda hacia el final del secado, debido al aumento del espesor de la capa seca y la permeabilidad del vapor a través de esta capa seca disminuye a medida que desciende el contenido de agua. Además, el contenido de agua libre en el interior del producto se agota y deja de migrar hacia la superficie, la presión parcial de vapor en la superficie disminuye progresivamente y, en consecuencia, la velocidad de secado desciende.

Cuarta etapa (D-E): El punto E es el punto en el cual toda la superficie expuesta se vuelve completamente no saturada y marca el tiempo para el cual la velocidad de movimiento de humedad interna controla completamente la velocidad del proceso de secado. Conforme a las leyes de la termodinámica, la actividad de agua del producto al final del proceso, será igual a la humedad relativa del aire del ambiente de secado, por eso es conveniente bajar la humedad del aire al finalizar el proceso de deshidratación.

Usualmente, los períodos de descenso de la velocidad representan la mayor proporción del proceso de deshidratación. La velocidad de secado de cada una de las fases depende, en gran parte, de las características propias del alimento: contenido inicial de agua, componentes (proteínas, almidón, polímeros y azúcares amorfos, los cuales aumentan la proporción de agua ligada y prolongan el tiempo de secado), la superficie del alimento, estructura del tejido, entre otros

2.3.2 Energías renovables

La energía limpia también conocida como energía renovable o convencional es aquella que, aprovechando los caudales naturales de energía del planeta, constituyen una fuente inagotable de flujo energético, renovándose constantemente, la energía que proviene de recursos naturales que son teóricamente inagotables entendiéndose que se pueden regenerarse. Frente a los efectos contaminantes y el agotamiento de los combustibles fósiles, las energías renovables son una alternativa.

Dentro de las energías renovables se encuentra la proveniente del sol que es la energía producida por el sol, es recibida en la tierra de forma constante, las 24 horas del día, los 365 días del año y llega a la Tierra por radiación. La energía que nos llega a diario del sol puede ser aprovechada para generar calor (conversión foto térmica) o electricidad (conversión fotovoltaica).

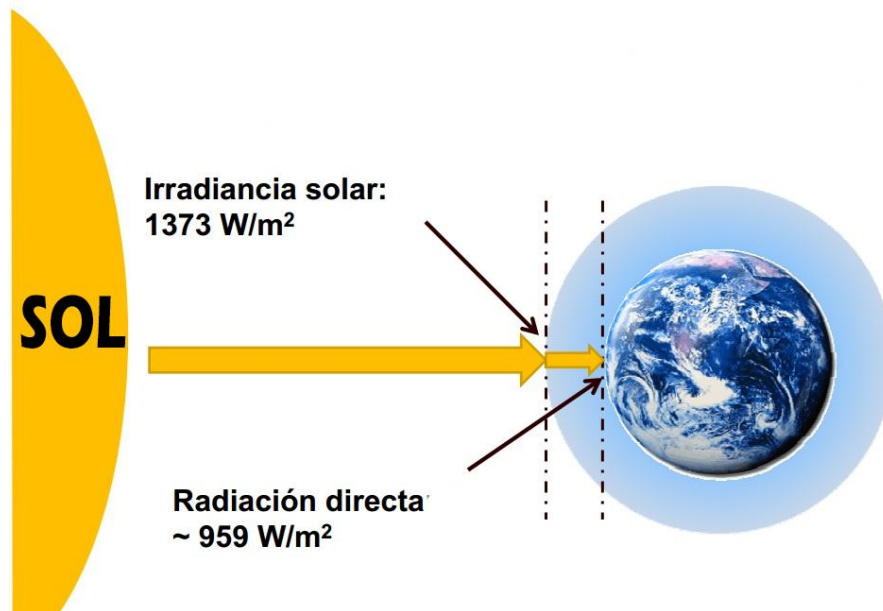


Figura N°2. 2: Irradiación solar que llega a la atmósfera de la tierra
Fuente: (Farid, 2010). [12]

“La energía proveniente del astro rey (irradiación solar) que llega a la Tierra, por unidad de área, en el exterior de la atmósfera es constante y asciende a $1\,373\text{ W/m}^2$. A este valor se le denomina constante solar.”, [9]

La emisión total generada es de 3.8×10^{23} KW, y de esta cantidad, la Tierra intercepta solamente 1.7×10^{14} kW [9]. Del total de la energía recibida de la radiación solar, el 30% se refleja sin cambio de longitud de onda, el 47% es absorbido por la atmósfera y la superficie terrestre provocando un aumento en la temperatura y se irradia hacia el espacio, y únicamente el 23% restante penetra en el sistema terrestre para almacenarse en océanos y ríos. Una pequeña proporción de la energía almacenada como energía química en las plantas y tejidos animales se ha acumulado a lo largo de millones de años bajo condiciones geológicas favorables en forma de carbón y aceites minerales, convirtiéndose en nuestras reservas de combustibles fósiles.

La energía solar es una fuente efectiva, gratuita, limpia e inagotable útil lograr la conservación y secado de alimentos a bajo costo, que permite reducir el uso de combustibles fósiles, contaminantes y agotables, cada vez más escasos y más caros empleados en procesos artificiales con el inevitable impacto ambiental

El uso de esta energía dentro de hornos solares, trae ventajas como el calentamiento a temperaturas suaves, las cuales son óptimas para la deshidratación de la mayoría de frutas y vegetales, requiere de bajo capital y costos de mantenimiento, fácil construcción y disponibilidad de materiales. Puede ser utilizado como proceso individual o combinado complementando los procesos de secado convencionales, lo cual reduce la cantidad de combustible y energía utilizados, siendo una opción recomendable [10]. Uno de los inconvenientes es el tiempo de exposición al calor que puede contribuir a la disminución en la calidad organoléptica del producto.

2.3.3 Sistemas de deshidratación solar

La deshidratación solar consiste básicamente en la utilización de la energía proveniente de la radiación solar para la evaporación del agua contenida en el alimento.

De la energía solar podemos obtener dos sistemas de aprovechamiento:

- **Fotovoltaicos.** En este proceso la energía solar se convierte directamente en energía eléctrica.
- **Fototérmicos.** En este proceso un gas o un líquido se calienta mediante energía solar, para almacenarse o distribuirse. Éste sistema es el aprovechado en el secado solar.

La transformación de la energía solar en energía térmica se lleva a cabo típicamente en los colectores solares

Cualquier sistema o equipo de deshidratación solar consta de dos elementos básicos que se diseñan de acuerdo al equipo de secado que se pretenda lograr y la naturaleza del producto:

- **Colector:** donde la radiación calienta el aire

- Cámara de secado: donde el producto es deshidratado por el aire que pasa

Hay que tener en cuenta en cuenta los aspectos para determinar las condiciones de deshidratado solar [11]:

- Características del producto: Contenido inicial de agua del material y el contenido final de humedad que deseamos obtener. También considerar el estado físico como es la forma, el tamaño, su superficie, etc.
- Características del secador: Tipo de secador y el volumen que se va a secar.
- Características meteorológicas: Humedad relativa, la temperatura, la radiación solar, velocidad del viento, precipitación, etc.
- Uso posterior: Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial.

Tipos de deshidratación solar:

2.3.3.1 Sistema al aire libre (natural)

La radiación solar incide directamente por el producto a ser secado, adquiriendo así la energía de evaporación necesaria. Después, la humedad formada en los alrededores del producto es recuperada por el aire tomado del exterior.

Este deshidratador solar, parte de la radiación solar es reflejada hacia la atmósfera y el resto se transmite a través del interior de la cámara. También, parte de la radiación transmitida se refleja de la superficie del producto, y el resto la absorbe el producto.



Figura N°2. 3: Secado natural.
Fuente: (W. Zamora, 2014) [10]

Este método natural tiene los siguientes inconvenientes [12]:

- El proceso es lento debido a la elevada humedad en el ambiente.
- Muchas veces, los alimentos se secan mal, sobre todo los que contienen un alto porcentaje de agua, y se pudren o se enmohecen.
- Los productos están expuestos al polvo, a insectos y otros animales que pueden deteriorar los alimentos y causar enfermedades al consumirlos.
- En el caso del secado al Sol, se necesita una atención particular para proteger los alimentos de la intemperie (aguaceros, rocío).
- La exposición directa de los alimentos a los rayos solares puede ser perjudicial en cuanto a su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas. Otro proceso tradicional de secado en nuestro país es el de la yerba mate, para el cual se utiliza un “barbacuá”, o que se calienta con un fuego de leña.

2.3.3.2 Sistema directo

“En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar. En los secadores solares directos la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua” [13]. Esto se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo

tanto, el gradiente de presiones de vapor entre producto y aire se hace mayor y se acelera el secado. La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos, especialmente en los secadores de menor tamaño. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de aire por convección natural. Las características generales de operación de los secadores directos son:

- El agente de secado puede ser aire calentado por vapor, gases de combustión, gas inerte calentado (nitrógeno, por ejemplo), o vapor de agua sobrecalentado.
- El secado se efectúa por transferencia de calor por convección entre los gases calientes y el sólido mojado, en donde el flujo de gases extrae el líquido vaporizado y separa el vapor.
- Un secador directo consume más combustible por kilogramo de agua evaporada, mientras más bajo sea el contenido de humedad.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada a una temperatura de salida constante.

A consecuencia de la absorción de la radiación, la temperatura del producto se incrementa y el alimento emite radiación térmica, que no llega a la atmósfera debido a la cubierta del deshidratador. Por otro lado, la temperatura del aire sobre el producto es mayor.



Figura N°2. 4: Secador solar indirecto.
Fuente: (W. Zamora, 2014) [10]

2.3.3.3 Sistema indirecto

Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son, en general, económicos desde el punto de vista del consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está secando [14].

Este deshidratador solar contiene dos partes fundamentales: El colector solar que sirve para calentar el aire; y la cámara de secado donde se coloca en producto en bandejas. El colector solar y la cámara están conectados de tal forma que el aire caliente entra por la parte baja de la cámara, pasa a través de las bandejas y sale por la parte superior.

La radiación solar es captada por un colector por donde circula cierta cantidad de aire (realiza efecto invernadero: deja entrar energía, pero no que salga), este flujo de aire se calienta e ingresa al cámara de secado en donde se encuentra el producto a ser secado. El aire caliente pasa el producto eliminando el contenido de humedad de la cámara.

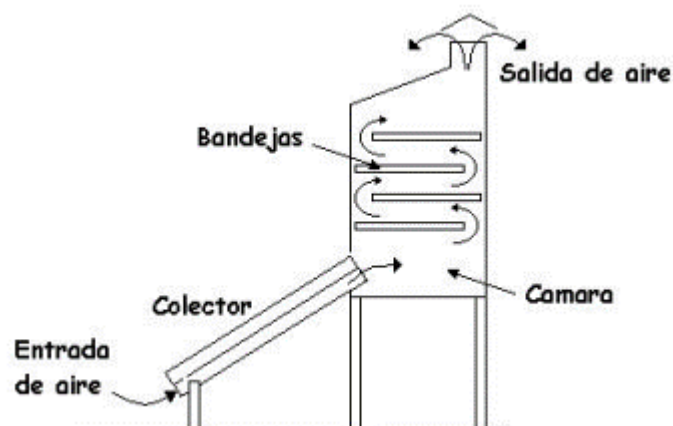


Figura N°2. 5: Esquema de un sistema de secado solar indirecto
Fuente: (J. Gutiérrez, 2010)[12]

“En este caso el calor necesario para la evaporación de humedad es proveído por una transferencia convéctiva de calor entre el aire caliente y el producto fresco. En el proceso de secado, para este sistema es fundamental la diferencia de concentración de humedad entre el aire caliente, que pasa por la cámara y el aire en la vecindad inmediata del producto” [15].

2.3.3.4 Sistema mixto

Son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. El Secador solar mixto presenta varias ventajas; en primer lugar, el control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Es fácil de integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido. El tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga. Dado que la cámara no permite la entrada de la radiación solar, este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad de aspecto por una exposición directa al sol. Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que, al añadir el colector previo a la cámara para recolectar energía solar, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos.

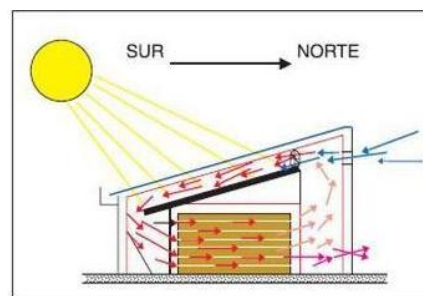


Figura N°2. 6: Sistema de secado solar mixto
Fuente: (E. Villicaña, 2014)[11]

Tipos de circulación:

“El secado solar depende de cómo el aire llega al producto a secar y la forma en la que la radiación calienta el aire. Circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. El deshidratador solar utiliza aire como medio secador y para acarrear el vapor de agua retirado del alimento. Esta circulación de aire se logra de dos formas: circulación forzada y por convección natural” [12].

2.3.3.5 Circulación forzada

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1.0m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica para el ventilador, pero esto se puede solventar utilizando un módulo solar que proporcione el flujo de aire requerido, con lo que el sistema es independiente de la red eléctrica [11].

2.3.3.6 Circulación por convección natural:

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. Este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de 0.4 a 1.0 m/s al interior de la cámara, pero en equipos grandes esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s.

2.3.3.7 Flujo de Aire

“La optimización del flujo requerido de aire es importante, ya que es el aire en contacto con el producto el encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial de la corriente de aire desciende conforme avanza en el secador” [13]. A lo largo de su recorrido en el secador el aire aumenta su humedad relativa. Para un proceso de secado ideal, esta humedad relativa debe llegar a ser lo más próxima posible a la

humedad de saturación. En un proceso eficiente y dado que la circulación de aire lleva un costo, es necesario determinar el flujo másico de aire óptimo para secar el producto en el menor tiempo posible, el cual va a depender de la naturaleza del producto, tipo de secador, etc. Si se conocen las temperaturas existentes en diversos puntos del secador, se puede determinar aproximadamente qué tan correctamente está trabajando la corriente de aire de entrada. La corriente de aire óptima para el secado será alcanzada cuando, en el punto final del secador, la humedad del aire sea cercana a la humedad de saturación; esto sucederá cuando la temperatura en la salida del secador sea igual a la temperatura de bulbo húmedo correspondiente a las condiciones de la temperatura del flujo de aire y de humedad iniciales en la entrada del secador. En la figura 2.6 se muestran los diferentes tipos de flujo de aire a través de un secador solar.

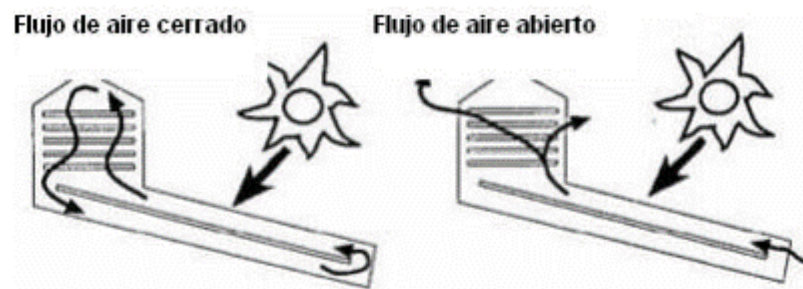


Figura N°2. 7: Tipos de flujo de aire.
Fuente: (AGROSWATE, 2012) [2]

2.3.4 Plátano deshidratado

El plátano constituye una de los alimentos más milagrosos que nos ofrece la naturaleza, riquísimo en nutrientes, especialmente potasio, vitamina B6 y ácido fólico.

El plátano se convierte en un alimento de fácil digestión con mucha fibra soluble. Es adecuado, por lo tanto, para el tratamiento tanto de estreñimiento como de diarrea, mientras que también ayuda a eliminar el colesterol. Es rico en una fécula excelente para el tratamiento y prevención de úlceras estomacales [16].

2.3.4.1 Plátano en Ecuador

La producción platanera del país se remonta hacia los principios de los 1900, donde para aquella época el plátano era un producto exclusivo de consumo doméstico, el cual solo se lo producía por medio de agricultores locales, con el único fin de satisfacer el consumo de las familias ecuatorianas. Pero con el paso del tiempo, en los años 40 el Ecuador a más de dedicarse a la actividad agrícola de producción, también empezaba a exportar plátano en pequeñas cantidades [18].

El sector platanero ha sido un pilar primordial para la economía ecuatoriana desde el año de 1950, dos años después en 1952 El Ecuador ya constaba como el primer exportador de plátano a nivel mundial. A finales de la década de los ochenta y a principios de los noventa surgieron acontecimientos de gran interés en el país, ya que éste incrementó su producción más que cualquier otro país debido a expectativas que se formaron entorno a su demanda por la apertura de nuevos mercados en esa época [18].

2.3.4.2 Propiedades

Propiedades del plátano [16]:

- Una de las frutas más nutritivas
- Ideal para personas que desempeñan actividades físicas.
- Beneficioso contra úlceras de estómago.
- Bueno contra el colesterol
- Previene calambres
- Se lo puede consumir en pacientes que deban aumentar de peso.

- En caso de, ya que el potasio que contiene ayuda a reducir el sodio de la sangre y, por ende, reduce la tensión arterial.
- En caso de deportistas que pierdan sales minerales debido a la competición.
- En niños en edad de crecimiento. Esta suele ser una fruta apetecible para los niños.
- Contiene fibra, la cual ayuda a evitar el estreñimiento.
- Según investigaciones científicas, se logró determinar el aumento del valor nutritivo de la cuando ésta se transforma en banano deshidratado.

2.3.4.3 Valor nutritivo del banano deshidratado

Las propiedades del banano deshidratado son [16]:

- Calorías: 280 cal
- Proteínas: 4 gr
- Lípidos: 1.35 gr
- Hidratos de carbono: 74 gr
- Fibra: 2 gr
- Minerales: Calcio, fósforo, hierro, potasio.
- Vitaminas: A, C.

Si bien resulta una opción saludable no debe abusarse de las porciones que se comen durante el día, porque se duplica el valor calórico aconsejado por los especialistas.

2.3.4.4 Proceso

El proceso que arroje una buena calidad es [12]:

- a) **Seleccionar (1ª vez):** Separar los productos en buen estado y descartar los productos en mal estado, muy maduros o con manchas.
- b) **Lavar (1ª vez):** Con agua limpia para limpiar la suciedad de la superficie de los productos a secar.
- c) **Seleccionar (2ª vez):** Cortar con un buen cuchillo todas las partes inservibles del producto: cáscara, restos de raíz, tallo, semillas y las partes descompuestas, lastimadas o inmaduras, etc.
- d) **Cortar:** Según el producto y la presentación deseada, cortar en forma de cubos, trozos, rodajas o tiras. En todos los casos el espesor de los pedazos no debe pasar los 0,5 a 1 cm de grueso, para favorecer un secado adecuado.
- e) **Lavar (2ª vez):** Por segunda vez con abundante agua para eliminar cualquier suciedad. Cascara que pueda haber.
- f) **Pretratar:** Según el tipo de producto se aplicarán diferentes tipos de pretratamientos tales como blanqueado, en este caso para el plátano se hará un baño en jugo de limón y solución de metabisulfito de sodio o potasio, etc.
- g) **Secar:** Colocar los productos preparados sobre los tamices de secado en capas delgadas y regulares. Es preferible poner los productos a secar bien temprano a la mañana, para extraer la mayor cantidad de agua durante el primer día. Durante el secado se debe controlar regularmente los productos. Al finalizar el secado, retirar los productos del secadero.
- h) **Seleccionar (2ª vez):** Antes de envasarlos separar aquellas partes mal secadas o quemadas.
- i) **Envasar:** Después del secado los productos tienen que ser envasados rápidamente, para que no se vuelvan a humedecerse por la humedad del

ambiente. Se pueden utilizar recipientes de plástico, cajas o latas herméticas de metal o bolsas de polipropileno

j) **Almacenar:** Para la buena conservación de los productos secos, debe almacenarlos en buenas condiciones:

- Guardar los productos en un lugar seco, aireado, si es posible fresco y protegido de la luz.
- Este lugar debe ser limpio y protegido de insectos y ratones.

2.3.4.5 Asegurar la calidad del secado

Una mejor calidad se logra con un tratamiento previo que consiste en un proceso físico y/o químico anterior al secado, que tiene como fin de evitar o reducir el deterioro del producto durante y después el secado o mejorar su calidad de alguna forma [12]. Existiendo algunos procesos de los cuales se cita a continuación los más importantes tratamientos previos:

- Blanqueado
- Sulfitado
- Tratamiento con ácidos orgánicos
- Salado
- Almibarado

A continuación, describimos cada uno de ellos:

a) **Blanqueado:** Consiste en sumergir el producto en agua a temperaturas de 95°C por un tiempo variable, que dependen de la especie, del estado de madurez y el tamaño del producto. Tiene los siguientes objetivos:

- Inactivación de las enzimas
- Ablandamiento del producto
- Eliminación parcial del contenido de agua en los tejidos
- Fijación y acentuación del color natural
- Desarrollo del sabor y olor característico
- Reducción parcial de los microorganismos presentes

La inactivación de las enzimas mejora la calidad del producto, reduciendo los cambios indeseables de color, sabor y olor. Además, favorece la retención de algunas vitaminas, como la vitamina C. El blanqueado es utilizado frecuentemente para la inactivación de los sistemas enzimáticos inhibiendo las reacciones de oscurecimiento o paredeamiento (reacciones que son muy comunes en frutas y vegetales, dando como producto final pigmentos oscuros llamados melaninas). Para lo cual se necesita calentar al producto a 95°C, para posteriormente enfriarlos rápidamente sumergiéndolos en agua fría

b) **Sulfitado:** La adición de sulfitos inhibe las reacciones de oscurecimiento de los productos a deshidratar, actuando sobre los azúcares. La forma más común de realizar el sulfatado es la inmersión del producto en una solución acuosa de metabisulfito de sodio o potasio a razón de 5 a 10 g de dicho producto por litro durante 5 a 10 minutos a temperatura ambiente. Para este tratamiento hay que usar recipientes no sensibles a la corrosión, tales como acero inoxidable, vidrio, entre otros. Como el azufre en concentraciones elevadas es tóxico, hay que cuidar bien la dosis. Las normas de la Organización Mundial para la Salud (OMS) fijan la concentración máxima de azufre en un producto deshidratado a 0.05%.

c) **Tratamiento con ácidos orgánicos:** Tanto el ácido cítrico o el jugo de limón natural, como el ácido ascórbico o vitamina C tienen un efecto de conservación del color natural de ciertas frutas que fácilmente sufren del oscurecimiento enzimático.

En frutas puede ser aplicado en vez del sulfatado, a pesar que no tiene la misma eficiencia. Además, por su acidez cambia ligeramente el sabor del producto. unos minutos.

d) **Salado y almibarado:** En el caso del salado nos referimos a la adición de cloruro de sodio (sal común) que, dependiendo del producto a deshidratar, puede acentuar su sabor original.

e) **Almibarado:** es la adición de sacarosa (azúcar común). La acción común del salado y almibarado es la disminución de la actividad de agua que inhibe el desarrollo microbiano o por lo menos lo retarda. Este procedimiento facilita la primera fase del secado.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Entre los parámetros más importantes de un deshidratador solar se tiene:

- Tipo de sistema
 - Tipo de circulación
 - Flujo de aire
 - Temperatura del aire
 - Velocidad del flujo de aire
 - Rapidez de extracción de humedad
 - Calidad de producto final
 - Dimensiones físicas
 - Costo

A continuación, se hará un análisis de cada una de estas:

3.1.1 Tipo de sistema

Esto hace referencia a la distinta forma de contacto que tiene la fruta con la energía convertida en calor necesaria para deshidratarse, teniéndose; directa, indirecta y mixta.

3.1.2 Tipo de circulación

Hace referencia a la transmisión de calor del fluido (aire) por movimiento de capas desigualmente calientes. Encontrándose dos alternativas; natural y forzada.

3.1.3 Flujo de aire

Es el método de renovación de aire, ya que el aire en contacto con el producto es el encargado de extraer su humedad, encontrándose: sistemas de aire cerrado y sistemas de aire abierto.

3.1.4 Temperatura de aire

Es la temperatura que se alcanza en la cámara de secado, la cual está en contacto con la fruta a deshidratar.

3.1.5 Velocidad de flujo de aire

La velocidad con la que circula el aire adentro de la cámara de secado, este junto al aire son los que se llevan la humedad de la fruta.

3.1.6 Rapidez de extracción de humedad

Tiempo en el cual se demora el proceso de deshidratación, hasta llegar a la humedad recomendada en este caso el plátano esta entre los 8 a 18 °C.

3.1.7 Calidad de producto final

Presentación final del producto, el mismo no debe haber cambiado sus propiedades nutritivas, de igual manera debe de poseer buenas propiedades organolépticas.

3.1.8 Dimensiones físicas

Son las medidas propias de la máquina tales como longitud, ancho y altura.

3.1.9 Costo

El valor que tendrá a consecuencia de los componentes, tecnología y demás utilizada en dicha máquina para su funcionamiento.

3.1.10 Rendimiento

Comprende la eficiencia y calidad final del producto obtenido, tiempos de secado y extracción de humedad.

Para el análisis de los parámetros de los diferentes deshidratadores se han elegido los siguientes:

- Deshidratador directo
- Deshidratador indirecto
- Deshidratador mixto

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.2.1 ALTERNATIVA A: “DESHIDRATADOR SOLAR DIRECTO”



Figura N° 3. 1: Deshidratador solar directo

Fuente: (Moreno G., 2013)[6]

La tabla 3.1 muestra la valoración cualitativa y cuantitativa de los parámetros importantes a tomarse en cuenta:

Tabla N° 3.1: Parámetros para deshidratador directo

Parámetro	Especificación
Tipo de sistema	Directo
Tipo de circulación	Natural
Flujo de aire	Cerrado
Temperatura del aire	50 – 70 °C
Velocidad del flujo de aire	0,1 – 0,3 m/s
Rapidez de extracción de humedad	28 – 32 horas
Calidad de producto final	Regular, al estar en contacto directo a la radiación el producto toma una tonalidad oscura y pierda rápidamente humedad en la superficie haciéndolo quebradizo.
Dimensiones físicas	Para la cantidad pensada ha deshidratar tendría unas dimensiones de 1,2 x 1,2 x 0,5 m.
Costo	Aproximadamente 300 dólares.

Fuente: (Giraldo, E. 2014)[11]
Elaborado por: Autor

3.2.2 ALTERNATIVA B: “DESHIDRATADOR INDIRECTO”



Figura N° 3. 2: Deshidratador solar indirecto
Fuente: (Moreno G., 2013)[6]

Tabla N° 3.2: Parámetros para deshidratador indirecto

Parámetro	Especificación
Tipo de sistema	Indirecto
Tipo de circulación	Natural y forzada
Flujo de aire	Cerrado y abierto
Temperatura del aire	50 – 80 °C
Velocidad del flujo de aire	0,1 – 0,4 m/s (natural); 0,5 – 1 m/s (forzada)
Rapidez de extracción de humedad	28 – 32 horas
Calidad de producto final	Bueno, se obtiene un color adecuado puesto que la fruta se encuentra protegida de los rayos solares. La humedad se consume equitativamente desde el centro hasta la superficie del producto.
Dimensiones físicas	Para la cantidad pensada ha deshidratar tendría unas dimensiones de 3 x 1,2 x 1,5 m.
Costo	Aproximadamente 500 dólares.

Fuente: (Giraldo, E. 2014)[11]
Elaborado por: Autor

3.2.3 ALTERNATIVA C: “DESHIDRATADOR MIXTO”



Figura 4.3 Deshidratador solar mixto
Fuente: (Moreno G., 2013)

Tabla N° 3.3: Parámetros para deshidratador mixto

Parámetro	Especificación
Tipo de sistema	Indirecto y directo
Tipo de circulación	Natural y forzada
Flujo de aire	Cerrado y abierto
Temperatura del aire	40 – 90 °C
Velocidad del flujo de aire	0,1 – 0,3 m/s (natural); 0,4 – 0,7 m/s (forzada)
Rapidez de extracción de humedad	25 – 29 horas
Calidad de producto final	Bueno, se obtiene un color adecuado puesto que la fruta se encuentra protegida de los rayos solares. La humedad se consume equitativamente desde el centro hasta la superficie del producto.
Dimensiones físicas	Para la cantidad pensada ha deshidratar tendría unas dimensiones de 3,5 x 2 x 2 m.
Costo	Aproximadamente 800 dólares.

Fuente: (Giraldo, E. 2014)[11]

Elaborado por: Autor

3.3 MÉTODO PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para seleccionar nuestra mejor alternativa utilizaremos el método de atributos ponderados donde tenemos la Ecuación N° 3.1:

$$R_i = \sum_{j=1}^n W_i V_{ij} \quad \text{Ecuación N° 3. 1}$$

Donde

- R_i = Medida de Evaluación para cada alternativa j
- W_i = Número del Peso de importancia de atributos
- V_{ij} = Valor de atributo i para alternativa j

En caso de que los atributos tengan el mismo peso se considerará

$$W_i = \frac{1}{m} \quad \text{Ecuación N° 3. 2}$$

$$W_i = \frac{\text{puntuación } i \text{ de importancia}}{\sum_{i=1}^m \text{Puntuación } i \text{ de importancia}}$$

Se evaluará a cada uno de los atributos antes mencionados dando un valor de jerarquía basándose en la siguiente asignación.

Tabla N° 3. 4: Asignación de jerarquía según la importancia del atributo.

ATRIBUTO	JERARQUÍA (#)
Muy Bueno	10 - 9
Bueno	8 - 6
Pobre	3 - 5
Muy Pobre	0- 2

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

3.3.1 Asignación de jerarquía

A continuación, se presenta la jerarquía seleccionada a cada uno de los parámetros que intervienen en el diseño:

3.3.1.1 Temperatura del aire

La temperatura al ser un parámetro que debe mantenerse constante a la recomendada para cada fruta se le considera un valor de 8, puesto que, si se llegaría a aumentar esta temperatura, no influenciará de buena manera en la calidad final del producto.

3.3.1.2 Velocidad del flujo de aire

La velocidad del flujo de aire interviene al deshidratado de la superficie, considerando un factor de 7.

3.3.1.3 Rapidez de extracción de humedad

Al ser un factor importante puesto que a mayor rapidez se tendrá una mayor eficiencia de la máquina, se le ha dado un valor de 9. A mayor rapidez se podrá deshidratar más producto.

3.3.1.4 Calidad de producto final

La calidad final del producto toma un valor de diez, puesto que de esta depende si el deshidratador cumple o no las funciones para las que fue construido.

3.3.1.5 Dimensiones físicas

Al no ser tan relevantes para el diseño y funcionamiento del mismo se les otorga un valor de 6.

3.3.1.6 Costo

Al ser un factor tomar en cuenta en lo materiales y sistemas que abarquen con el dinero se le considera un valor de 8.

Tabla N° 3. 5: Valor de Jerarquía asignado para cada atributo.

Parámetro de funcionamiento	Jerarquía
Temperatura del aire	8
Velocidad del flujo de aire	7
Rapidez de extracción de humedad	9
Calidad de producto final	10
Dimensiones físicas	6
Costo	8

Elaborado por: Autor

A continuación, la tabla de atributos con sus respectivos valores de jerarquía para cada una de las alternativas propuestas anteriormente.

Tabla N° 3. 6: Valores de Jerarquía para cada alternativa.

ATRIBUTO	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Temperatura del aire	7	8	9
Velocidad del flujo de aire	5	9	7
Rapidez de extracción de humedad	8	7	6
Calidad de producto final	5	9	10
Dimensiones físicas	8	7	5
Costo	8	8	6

Elaborado por: Autor

3.3.2 Aplicación de método de atributos

$$W_i = \frac{\text{puntuación } i \text{ de importancia}}{\sum_{i=1}^m \text{Puntuación } i \text{ de importancia}}$$

➤ **Temperatura del aire**

$$W_i = \frac{8}{48}$$

$$W_i = 0.1667$$

➤ **Velocidad del flujo de aire**

$$W_i = \frac{7}{48}$$

$$W_i = 0.1458$$

➤ **Rapidez de extracción de humedad**

$$W_i = \frac{9}{48}$$

$$W_i = 0.1875$$

➤ **Calidad de producto final**

$$W_i = \frac{10}{48}$$

$$W_i = 0.2083$$

➤ **Dimensiones físicas**

$$W_i = \frac{6}{48}$$

$$W_i = 0.125$$

➤ **Costo**

$$W_i = \frac{8}{48}$$

$$W_i = 0.1667$$

3.3.2.1 Calculo de la alternativa A

➤ **Temperatura del aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 7$$

$$D.s = 1,667$$

➤ **Velocidad del flujo de aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1458 * 5$$

$$D.s = 0,729$$

➤ **Rapidez de extracción de humedad**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1875 * 8$$

$$D.s = 1,5$$

• **Calidad de producto final**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.2083 * 5$$

$$D.s = 1,042$$

➤ **Dimensiones físicas**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.125 * 8$$

$$D.s = 1$$

➤ **Costo**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 8$$

$$D.s = 1,334$$

Aplicando la Ecuación N° 3.1 tenemos;

$$R_j = \sum_{j=1}^n W_i V_{ij}$$

Ecuación N° 3. 3

$$R_j = \text{Temperatura del aire} + \text{Velocidad de flujo} \\ + \text{Rapidez de } \square \text{umedad Calidad de producto} \\ + \text{Dimensiones físicas} + \text{Costo}$$

$$R_j = 1,667 + 0,729 + 1,5 + 1,042 + 1 + 1,334$$

$$R_j = 7.3$$

3.3.2.2 Cálculo de la alternativa B

➤ **Temperatura del aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 8$$

$$D.s = 1,334$$

➤ **Velocidad del flujo de aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1458 * 9$$

$$D.s = 1,312$$

➤ **Rapidez de extracción de humedad**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1875 * 7$$

$$D.s = 1,313$$

➤ **Calidad de producto final**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.2083 * 9$$

$$D.s = 1,875$$

➤ **Dimensiones físicas**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.125 * 7$$

$$D.s = 0,875$$

➤ **Costo**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 8$$

$$D.s = 1,334$$

Aplicando la Ecuación 3.1 tenemos:

$$R_j = \sum_{j=1}^n W_i V_{ij}$$

$R_j = \text{Temperatura del aire} + \text{Velocidad de flujo}$
 $+ \text{Rapidez de Humedad Calidad de producto}$
 $+ \text{Dimensiones físicas} + \text{Costo}$

$$R_j = 1,334 + 1,312 + 1,313 + 1,875 + 0,875 + 1,334$$

$$R_j = 8,043$$

3.3.2.3 Cálculo de la alternativa C

➤ **Temperatura del aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 9$$

$$D.s = 1,5$$

➤ **Velocidad del flujo de aire**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1458 * 7$$

$$D.s = 1,021$$

➤ **Rapidez de extracción de humedad**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1875 * 6$$

$$D.s = 1,125$$

➤ **Calidad de producto final**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.2083 * 10$$

$$D.s = 2,083$$

➤ **Dimensiones físicas**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.125 * 5$$

$$D.s = 0,625$$

➤ **Costo**

$$D.s = W_i V_{ij}$$

$$D.s = 0.1667 * 6$$

$$D.s = 1$$

Aplicando la Ecuación 3.1 tenemos:

$$R_j = \sum_{j=1}^n W_i V_{ij}$$

$$R_j = \text{Temperatura del aire} + \text{Velocidad de flujo} \\ + \text{Rapidez de extracción de humedad} + \text{Calidad de producto} \\ + \text{Dimensiones físicas} + \text{Costo}$$

$$R_j = 1,667 + 0,729 + 1,5 + 1,042 + 1 + 1,334$$

$$R_j = 7.3$$

Tabla N° 3. 7: Resultado del cálculo por el método de atributos ponderados

ATRIBUTO	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Temperatura del aire	1,667	1,334	1,5
Velocidad del flujo de aire	0,729	1,312	1,021
Rapidez de extracción de humedad	1,5	1,313	1,125
Calidad de producto final	1,042	1,875	2,083
Dimensiones físicas	1	0,875	0,625
Costo	1,334	1,334	1
TOTAL	7,272	8,043	7,354

Fuente: Autor

3.3.3 Representación gráfica de resultados

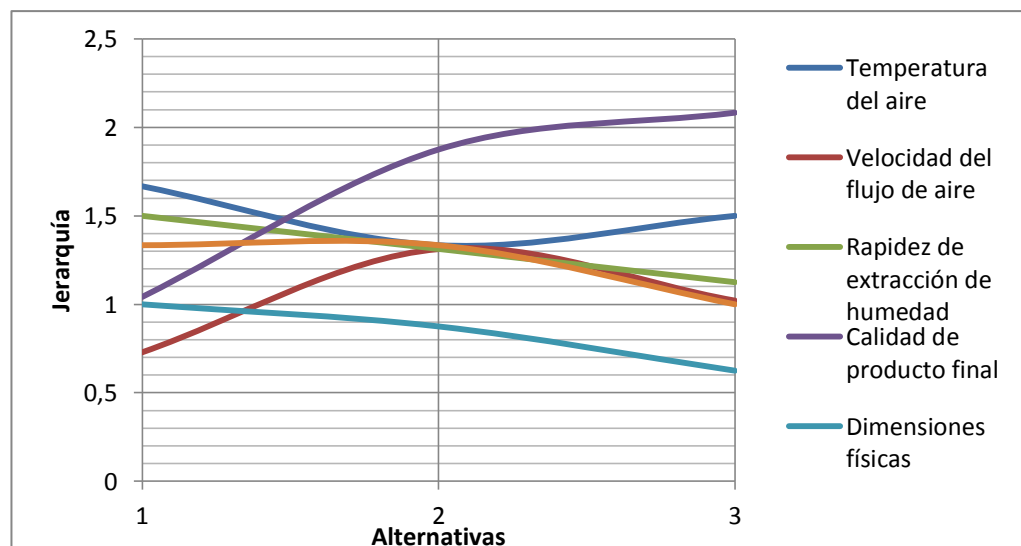


Figura N° 3. 3: Valor total en porcentaje para cada alternativa.

Fuente: Autor



Figura N° 3. 4: Valor Total en porcentaje para cada alternativa.

Fuente: Autor

3.3.4 Comparación entre alternativas A, B Y C

Mediante la representación en porcentaje se puede observar que la Alternativa B supera a la A y C alcanzando un 36% del total.

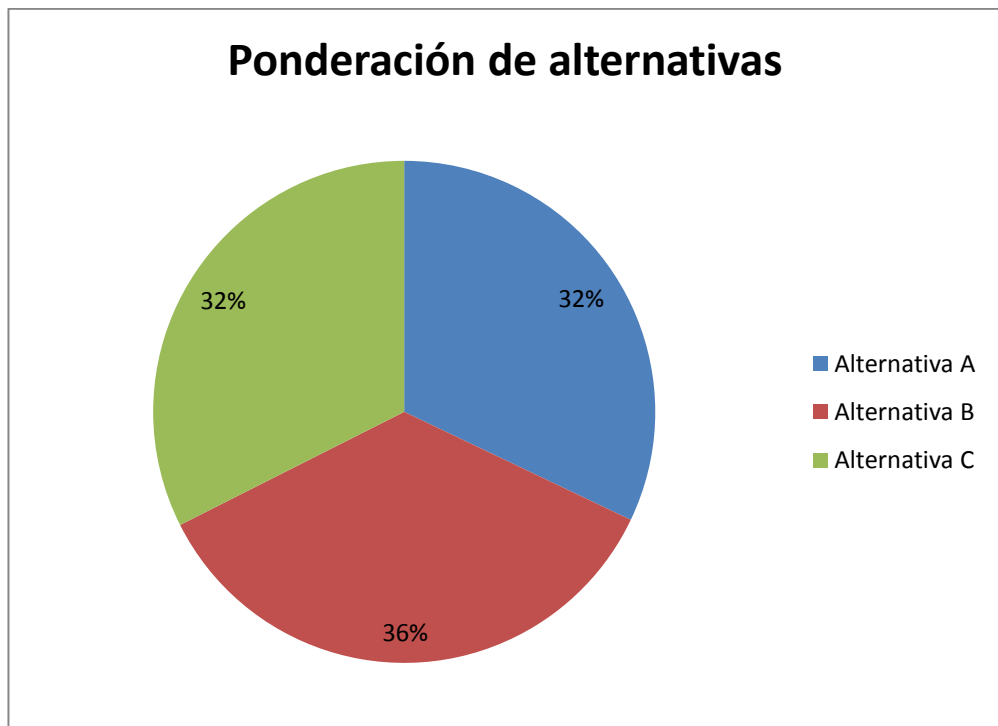


Figura N° 3. 5: Valor Total en porcentaje para cada alternativa.

Fuente: Autor

3.3.5 SIMULACIÓN DEL PROCESO

Análisis del modelo

Temperatura

Usando un software de simulación se observa que, en la parte superior donde incide los rayos solares (vidrio principalmente) del deshidratador alcanzará un máximo de 92.64 °C, mientras que el promedio es de 56.345 °C tal como se muestra de la figura 3.10 hasta la 3.16, capturas de pantalla tomadas en varias posiciones y en diferentes partes del modelo. En la cámara de deshidratado la temperatura se distribuye de una manera que se mantiene alrededor de los 63 °C.

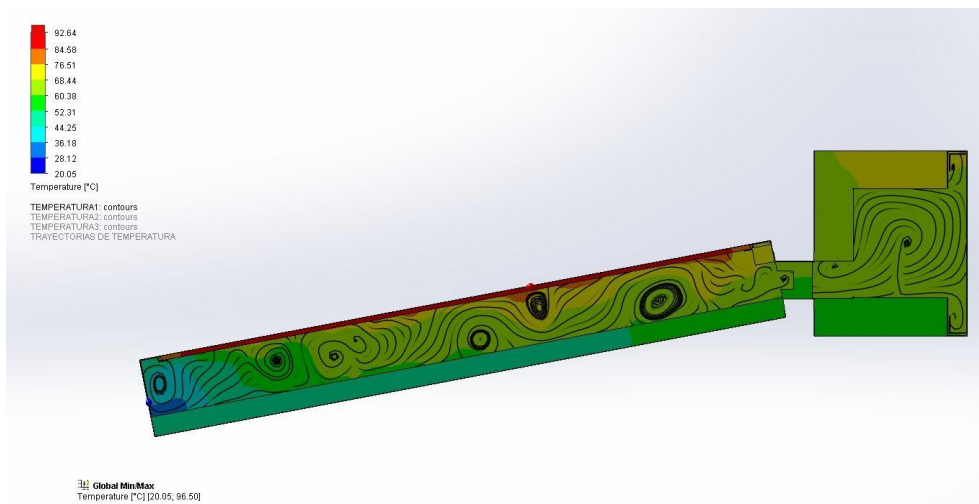


Figura N° 3. 6: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar, derecha
Fuente: Autor

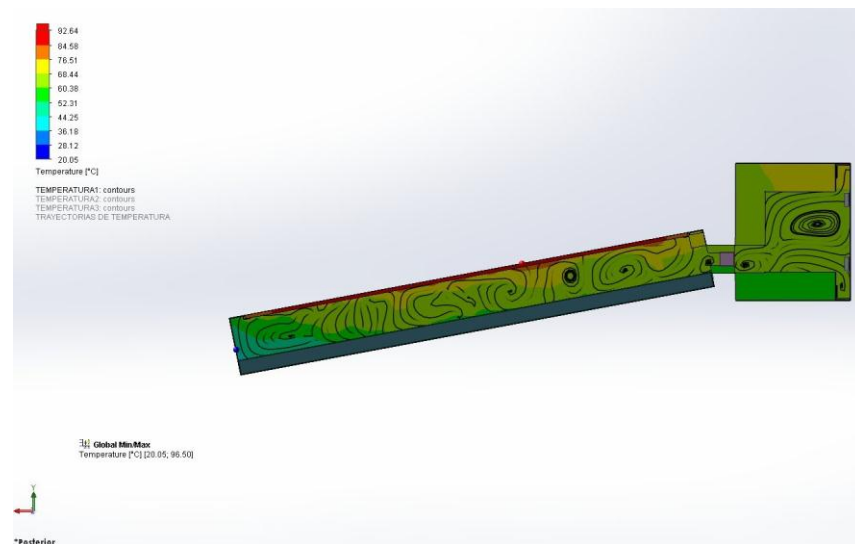


Figura N° 3. 7: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar, izquierda
Fuente: Autor



Figura N° 3. 8: Simulación de temperatura global en la deshidratadora solar.
Fuente: Autor

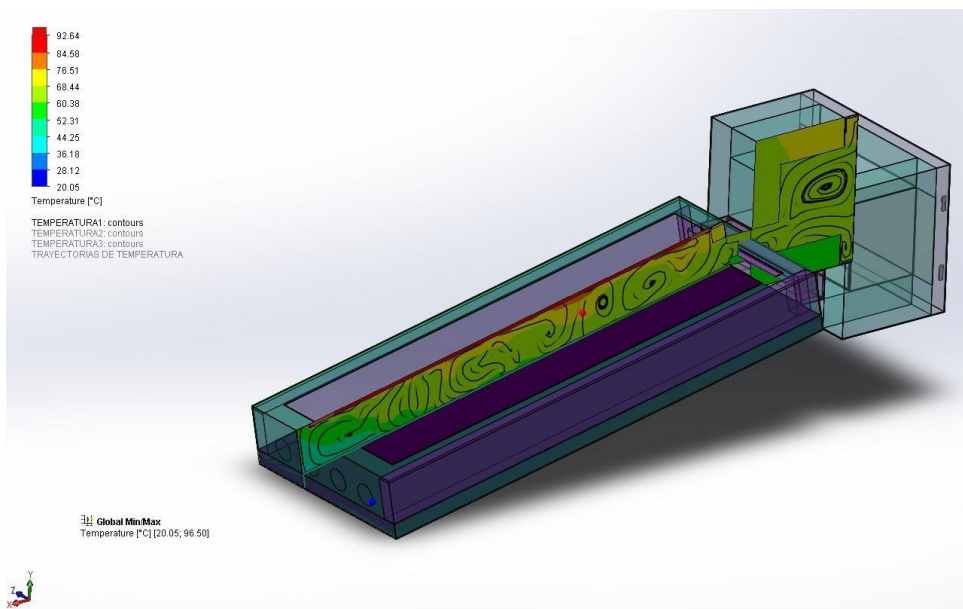


Figura N° 3. 9: Simulación de temperatura en el centro de la deshidratadora solar, en vista isométrica.
Fuente: Autor

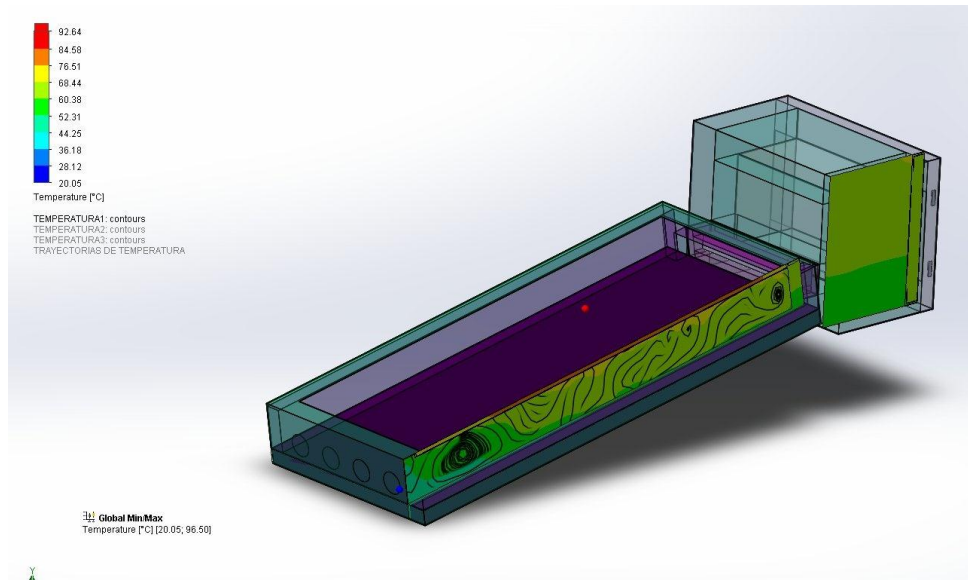


Figura N° 3. 10: Simulación de temperatura en la deshidratadora solar en la pared derecha con vista isométrica.

Fuente: Autor

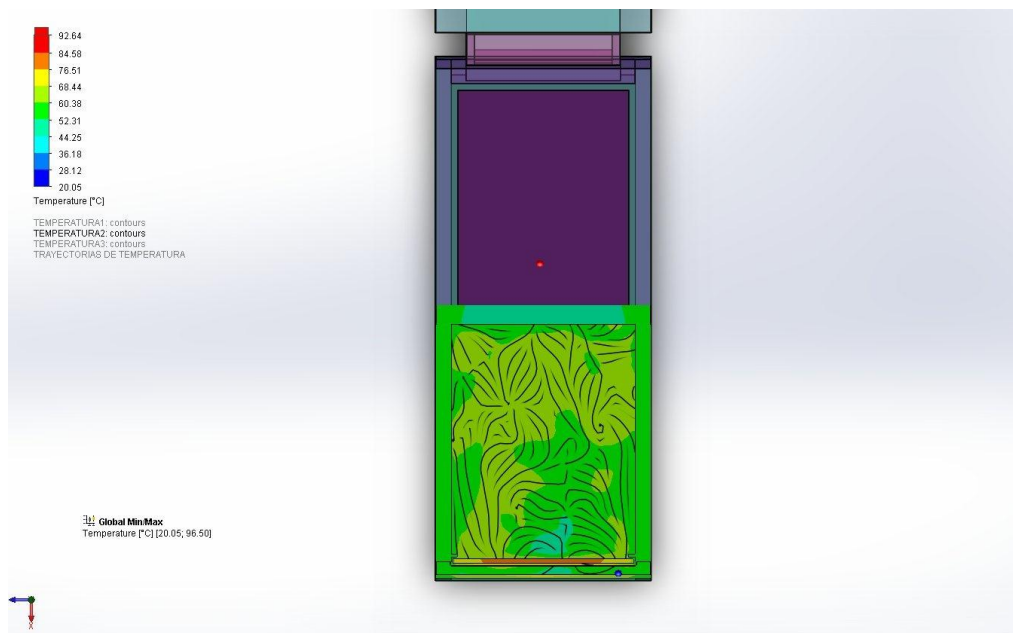


Figura N° 3. 11: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.

Fuente: Autor

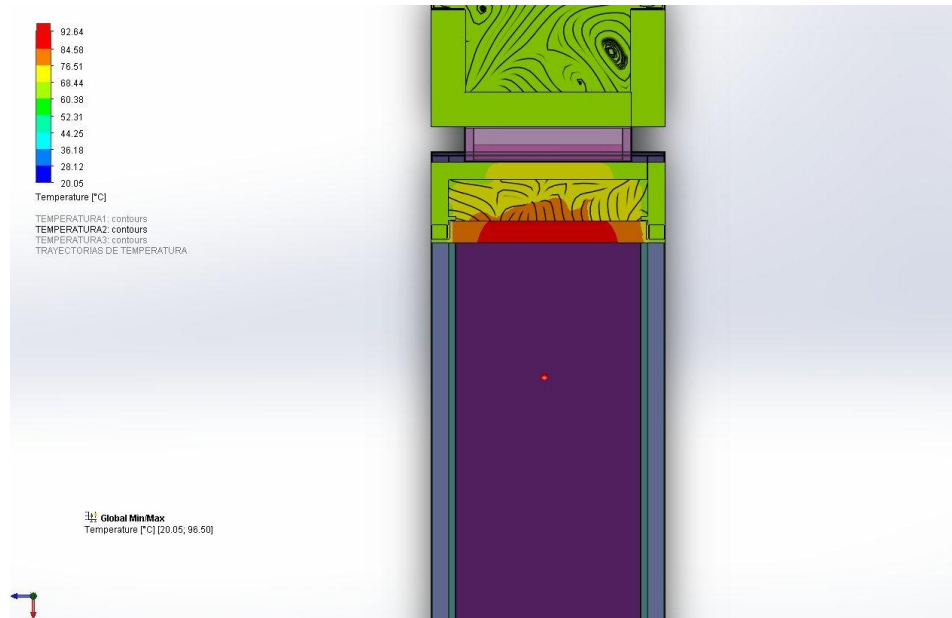


Figura N° 3. 12: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.

Fuente: Autor

Presiones

Las presiones en el modelo se muestran en la figura 3.13, siendo aproximadamente 101 MPa.

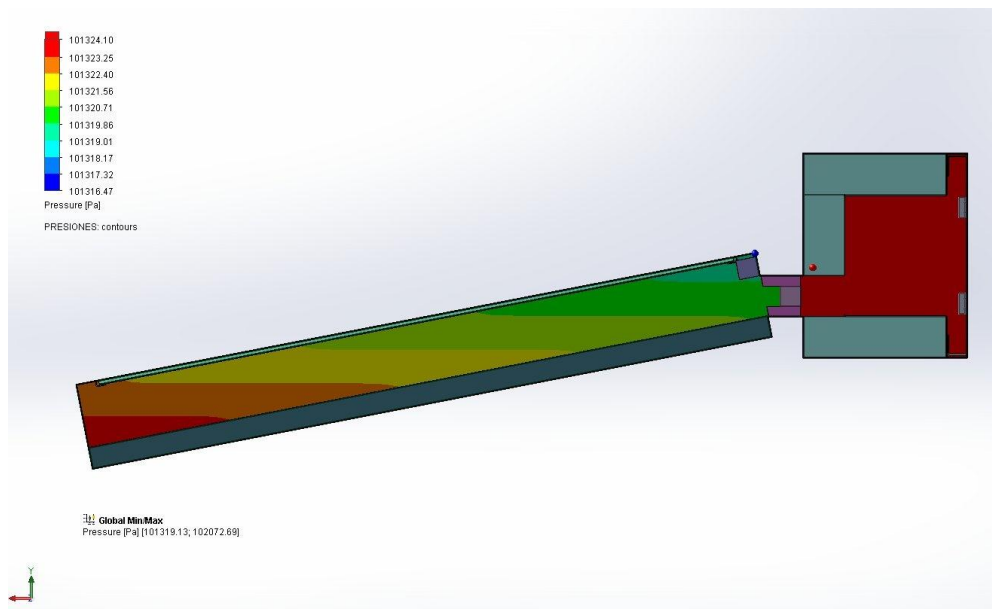


Figura N° 3. 13: Simulación de temperaturas en la deshidratadora solar.

Fuente: Autor

El flujo de aire se observa que se distribuye uniformemente por la cámara y a través del colector, como se muestra en la figura 3.14 y 3.15.

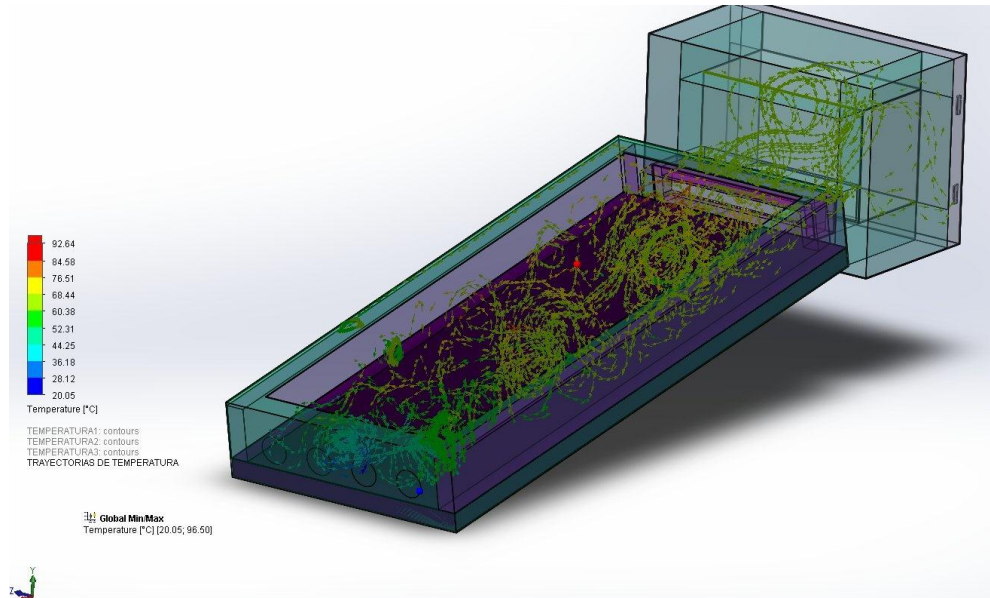


Figura N° 3. 14: Flujo de aire en la cámara de secado y el colector.

Fuente: Autor

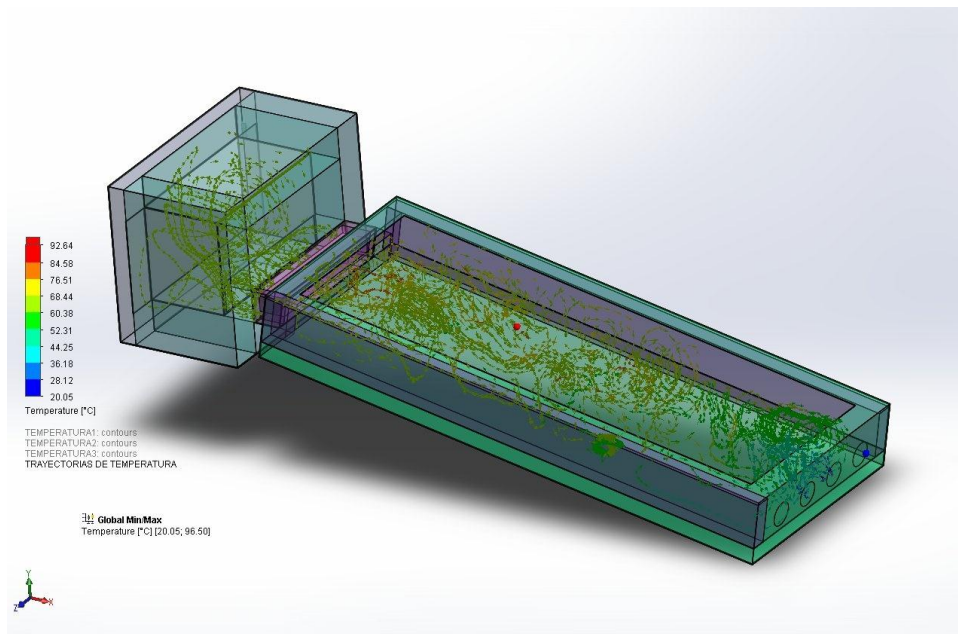


Figura N° 3. 15 Flujo de aire de la deshidratadora solar.

Fuente: Autor

En la figura 3.15 se observa las curvas de temperatura y presión de la deshidratadora solar, pudiendo apreciar que la temperatura en su mayoría se mantiene alrededor de los 63 °C, mientras que la presión del aire es prácticamente constante.

En la figura 3.16 se aprecia la deshidratadora solar terminada, con sus partes principales.

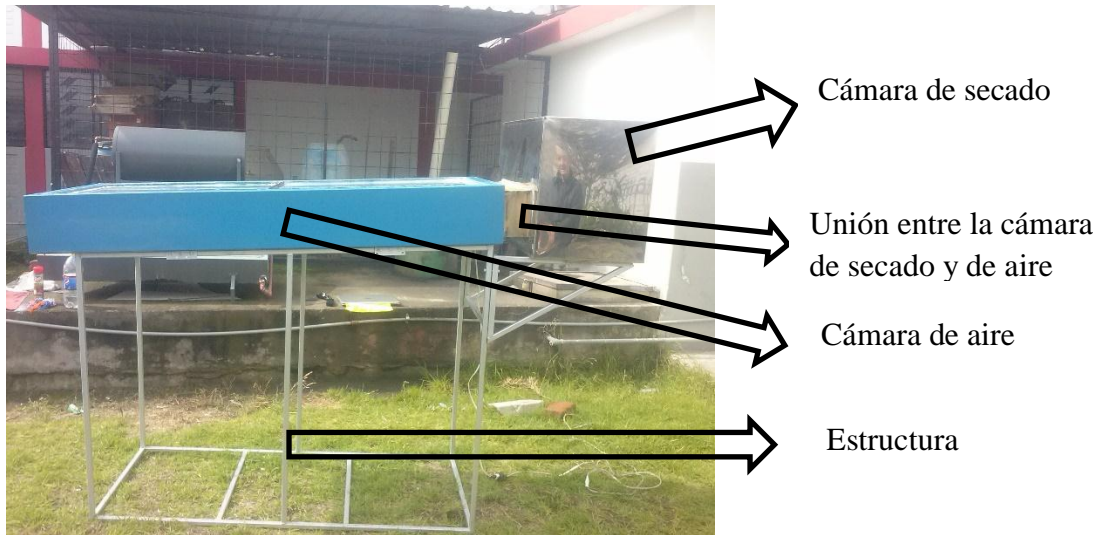


Figura N° 3. 16 Partes principales de la deshidratadora solar.
Fuente: Autor

3.4 CÁLCULOS O MODELO OPERATIVO

3.4.1 Diseño

A continuación, se va a calcular todo lo necesario respecto al diseño mecánico para la construcción del deshidratador solar, partimos de un esquema de las paredes de la cámara del colector (Figura 3.17).



Figura N° 3. 17 Esquema de la configuración de las paredes
Fuente: Autor

DATOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE CENGEL

A continuación, se numera la nomenclatura de las constantes usadas: [1]

$\delta = \text{Densidad}$

$k = \text{Relación de calores específicos}$

$C_p = \text{Calor específico}$

Fibra de vidrio

$\delta = 120 \text{ kg/m}^3$

$k = 0.036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$C_p = 0.96 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$

Poli estireno (EPS)

$\delta = 16 \text{ kg/m}^3$

$k = 0.040 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$C_p = 1.2 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$

Vidrio

$\delta = 2800 \text{ kg/m}^3$

$k = 0.7 \text{ W/m k}$

$C_p = 750 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$

Para T = 300 °K

T = 350 °K

Aceros de carbono con < 1% de Si (Tol)

$\delta = 7817 \text{ kg/m}^3$

$k = 51.9 \text{ W/m k}$

$C_p = 446 \text{ J/Kg k}$

Acero 304 (inoxidable)

$$\delta = 7900 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 14.9 \text{ W/m k}$$

$$Cp = 477 \text{ J/Kg k}$$

Configuraciones del Colector y la Cámara de Secado

Tabla N° 3. 8: Configuración de Cámara de Secado

Elemento	Espesor (mm)
AISI 1010	1.5
EPS	100
Fibra de vidrio	20
AISI 304	1.0

Fuente: Autor

Tabla N° 3. 9: Configuración del Colector

Elemento	Espesor (mm)
Vidrio	5
Aire	150
AISI 1010	1.0
EPS	50
Chapa A36	2.0

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla N° 3.10 la temperatura máxima de deshidratación es de 70 °C según Joslyn, MA, 1963.

Tabla N° 3. 10: Temperatura máxima y mínima de deshidratación del plátano

Fruta	°T min	°T max
Plátano	40 °C	70 °C

Fuente: (Joslyn, MA, 1963)

Para el desarrollo de los cálculos se seleccionará una temperatura de 45°C, puesto que revisando otros trabajos de investigación realizados en zonas de la Región Interandina con climas templados se ha llegado a alcanzar a temperaturas mayores de 50°C, por lo que 45°C aseguraremos el diseño del deshidratador. [10]

Teniéndose los siguientes datos:

$$T = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{HR} = 60\%$$

$$H_{\text{especifico}} = 0.173 \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{aire}}}$$

$$V_{\text{especifico}} = 1.262 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Entalpia} = 2394 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$T_{\text{bulbo humedo}} = 44.9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{de rocio}} = 37.24^{\circ}\text{C}$$

Mediante estos datos vamos a la carta psicométrica de Ortega y tenemos que: [2]

Plátano

$$\delta = 980 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0.481 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 3.99 \text{ KJ/Kg }^{\circ}\text{C}$$

Aire

$$\delta = 1.109 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0.02699 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 1007 \text{ J/Kg }^{\circ}\text{C}$$

$$U_{\text{dinamica}} = 1.941 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$V_{\text{cinematica}} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.7241$$

Vamos a tener en la cámara de secado un Q_e , Q_p , Q_u , Q_s . Donde:

$Q_e = \text{calor de entrada generado por el colector}$

$Q_p = \text{calor de perdidas}$

$Q_u = \text{calor necesario para deshidratar}$

$Q_s = \text{calor de salida}$

Condiciones climatológicas

La ciudad de Ambato se encuentra a 2550 msm entonces, de acuerdo a Cengel tenemos que:

$$T = -1.89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 73.76 \text{ KPa}$$

$$g = 9.799 \text{ m/s}^2$$

$$V_s = 330.2 \text{ m/s}$$

$$\delta = 0.947 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.707 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$k = 0.240 \text{ W/m }^\circ\text{C}$$

El estudio se lo realizará contemplando solo las horas útiles de sol que existe en el Ecuador que son alrededor de las 06:00 a las 18:00. El colector tiene planeado trabajar las horas de mayor incidencia que son desde las 09:00 hasta las 16:00 (7 horas) en las cuales se han tomado datos entre los días 21/03/2016 a 31/03/2016 obteniendo una temperatura promedio de $16 \text{ }^\circ\text{C} \approx 61^\circ\text{F}$ y una humedad relativa de 70%.

Con los valores de temperatura, humedad y a una altura de 2550 msm, se tiene:

$$T = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 73.76 \text{ KPa}$$

$$\text{HR} = 70\%$$

$$\delta = 0.947 \text{ kg/m}^3$$

$$H_{\text{especifico}} = 0.8716 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{aire}}}$$

$$V_{\text{especifico}} = 0.01615 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Entalpia} = 2530.7 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$T. \text{bulbo humedo} = 15.93^{\circ}\text{C}$$

$$T. \text{de rocio} = 10.51^{\circ}\text{C}$$

Este dato se obtuvo mediante la utilización de la carta psicométrica de Ortega, Ed. Imprima, 1996.

Calor necesario para deshidratar plátano

Para determinar el calor necesario para deshidratar el plátano necesitamos la temperatura con la cual se deshidrata el mismo, así como su calor específico y la masa a determinar.

Datos:

$$C_p = 3.59 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

Por encima de su punto de congelación

Plátano

$$\% \text{ inicial humedad} = 80 = i(\%)$$

$$\% \text{ final humedad} = 15 = f(\%)$$

$$T_f = 70^{\circ}\text{C}$$

$$T_i = 16^{\circ}\text{C}$$

$$Q = m c_p \Delta T$$

Ecuación N° 3. 4

$$Q = m (\%ext) c_p \Delta T$$

$$Q = m (\%ext) c_p (T_f - T_i)$$

Se seleccionará como inicio una masa de 2kg a deshidratar

$$\%ext = \% (i) - \% (f)$$

$$\%ext = 80 - 15$$

$$\%ext = 65 \%$$

Entonces:

$$Q = (2 \text{ kg}) \times (0.65) \times \left(\frac{3.59 \text{ KJ}}{\text{Kg}} \right) \times (343 \text{ }^\circ\text{K} - 289 \text{ }^\circ\text{K})$$

Calor necesario para deshidratar

$$Q = 235.17 \text{ KJ}$$

Potencia necesaria para deshidratar

$$Q' = \frac{Q}{t}$$

$$t = 7 \text{ horas}$$

$$t = 25200 \text{ seg}$$

$$Q' = \frac{235.17 \times 10^3 \text{ J}}{25200 \text{ seg}}$$

$$Q' = 9.33 \text{ W}$$

A continuación en la figura 3.18 tenemos un diagrama de como se distribuyen los calores.

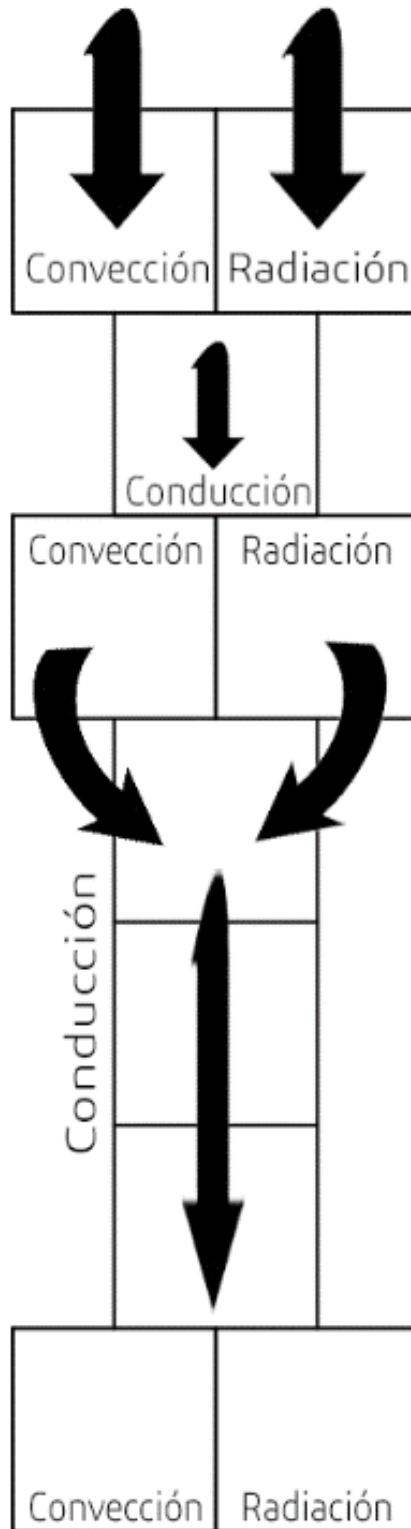


Figura N° 3. 18: Diagrama de distribución de calores
Fuente: Autor

Análisis de pérdidas

A continuación en la figura 3.19 tenemos el equivalente de un diagrama eléctrico de la configuración del colector.

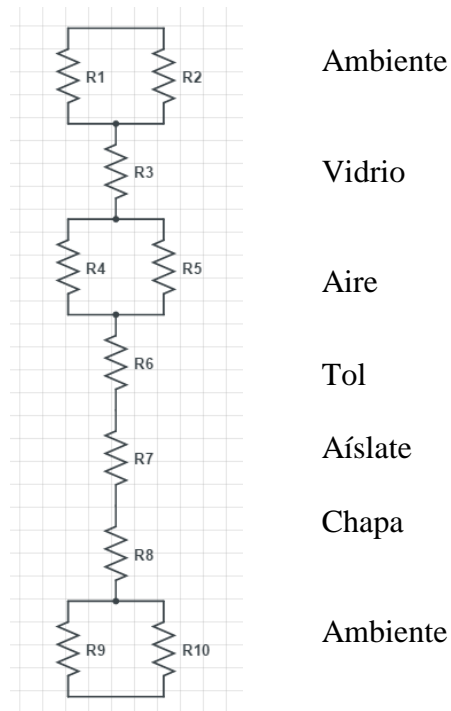


Figura N° 3. 19: Diagrama de resistencias térmicas del colector
Fuente: Autor

Análisis del coeficiente de convección del exterior

Al realizar las mediciones de la velocidad del viento obtuvimos una velocidad promedio de 3.3m/s. entonces tenemos que: [1]

$$hc = 5.7 + 3.8 v$$

$$hc = 5.7 + 3.8 (3.3)$$

$$hc = 18.24 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 1.7 \times 0.7$$

$$A = 1.19 \text{ m}^2$$

Donde:

hc = coeficiente de conveccion

A = área

Entonces:

$$R_1 = \frac{1}{hc A}$$

Ecuación N° 3. 5

$$R_1 = \frac{1}{\left(18.24 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

$$R_1 = 0.046071 \frac{^\circ C}{W}$$

Radiación

Sacaremos el factor de radiación h_{rad} , lo que se calcula con la siguiente expresión:

$$h_{rad} = \varepsilon_{vidrio} \sigma_x (T_1 + T_{cielo}) (T_1^2 + T_{cielo}^2) \quad \text{Ecuación N}^\circ 3.6$$

$$T_{cielo} = 0.0552 T_a^2$$

$$T_{cielo} = 0.0552 (16^{1.5})$$

$$T_{cielo} = 3.5328 \text{ } ^\circ C$$

$$h_{rad} = (0.9) \left(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K^4}\right) \times [(16^\circ C + 3.5^\circ C)((16^\circ C)^2 + (3.5^\circ C)^2)]$$

$$h_{rad} = (0.9) \left(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K^4}\right) [(565.5 \text{ } ^\circ K) ((289^\circ K)^2 + (276.5^\circ K)^2)]$$

$$h_{rad} = 4.614 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{rad} A}$$

$$R_2 = \frac{1}{\left(4.614 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

$$R_2 = 0.18212 \frac{^\circ K}{W}$$

Vidrio

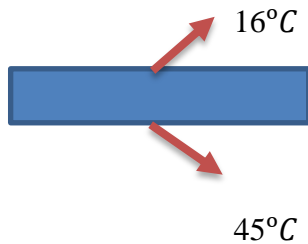
$$R_3 = \frac{L}{k_{vidrio} A} \quad \text{Ecuación N}^\circ 3.7$$

$$R_3 = \frac{5}{(1000) \left(0.7 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

Aclaración: la constante mil se debe a la conversión de unidades de mm a m.

$$R_3 = 6.0024 \times 10^{-3} \frac{k}{W}$$

Canal del aire



$T_m = 30.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura promedio

$$\delta = 1.1587 \frac{kg}{m^3}$$

$$k = 0.02598 \frac{W}{m^\circ\text{C}}$$

$$C_p = 1007 \frac{J}{Kg^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 1.803 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms}$$

$$\nu = 1.62 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0.7278$$

Cálculo de número de Reyleigh

$$R_a = \left(\frac{g \beta (T_{int} - T_{ext}) L^3}{\nu^2} \right) (Pr)$$

Ecuación N° 3. 8

$$R_a = \left(\frac{(9.8) \left(\frac{1}{273k} \right) (318 - 289) (0.15m)^3}{(1.62 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})^2} \right) (0.7278)$$

$$R_a = 9743550.17$$

$R_a = 9.74 \times 10^6$ es laminar ya q su régimen es $< 10^9$

El número de Nusselt tenemos que es igual a:

$$N_u = \frac{h l c}{k}$$

Ecuación N° 3. 9

$$N_u = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 (Ra)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$N_u = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 (9743550.17)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{0.7278}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$N_u = \left(0.6 + \frac{5.65584}{1.2022}\right)^2$$

$$N_u = 28.13$$

Entonces:

$$N_u = \frac{h Lc}{k}$$

$$h = \frac{N_u k}{lc}$$

$$h = \frac{(28.13) \left(0.02598 \frac{W}{m^{\circ}C}\right)}{0.15 m}$$

$$h_{conv} = 4.87 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \text{ Para el canal del aire}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{conv} A}$$

$$R_4 = \frac{1}{\left(4.87 \frac{W}{m^2}^{\circ}C\right) (1.19 m^2)}$$

$$R_4 = 0.1724 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Cuando existe el efecto de invernadero el h de radiación tenemos que va a ser igual a:

$$h_{rad} = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1-\varepsilon_{vidrio}}{\varepsilon_{vidrio}} + \frac{1-\varepsilon_{tol}}{\varepsilon_{tol}}} \quad \text{Ecuación N° 3. 10}$$

$$h_{rad} = \frac{\left(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right) (16^2 + 45^2)(16 + 45)}{\frac{1-0.9}{0.9} + \frac{1-0.92}{0.92}}$$

$$h_{rad} = \frac{6.3549 \frac{W}{m^2 k}}{0.19}$$

$$h_{rad} = 32.08 \frac{W}{m^2 k}$$

$$R_5 = \frac{1}{\left(32.08 \frac{W}{m^2 k}\right) (1.19 m^2)}$$

$$R_5 = 0.0262 \frac{^\circ C}{W}$$

Tol

$$R_6 = \frac{L}{k_{tol} A} \quad \text{Ecuación N° 3. 11}$$

$$R_6 = \frac{1}{(1000) \left(51.9 \frac{W}{m k}\right) (1.19 m^2)}$$

Aclaración: la constante 1000 es por la conversión de unidades de mm a m.

$$R_6 = 1.619 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ C/W$$

Aislante

$$R_7 = \frac{L}{k_{aislante} A} \quad \text{Ecuación N° 3. 12}$$

$$R_7 = \frac{50}{(1000) \left(0.040 \frac{W}{m \cdot K}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

Nota: la constante mil es por la conversión de unidades de mm a m.

$$R_7 = 0.952 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

Chapa

$$R_8 = \frac{L}{k_{chapa} A} \quad \text{Ecuación N}^\circ 3. 13$$

$$R_8 = \frac{2}{(1000) \left(51.9 \frac{W}{m \cdot K}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

Aclaración: la constante mil se debe a la conversión de unidades de mm a m.

$$R_8 = 3.2 \times 10^{-5} \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

Ambiente

$$R_9 = \frac{1}{h_{conv} A} \quad \text{Ecuación N}^\circ 3. 14$$

$$R_9 = \frac{1}{\left(18.24 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1.19 \text{ m}^2)}$$

$$R_9 = 0.04607 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{\sum R}{A}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1.4309}{1.19}$$

La R10 por radiación no se considera al encontrarse por debajo de la deshidratadora, por lo que en este lado no incide los rayos solares directamente en el colector. Siendo su valor mínimo, que no afectan a los cálculos de diseño.

$$U = 0.8316 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q_{perdidas} = A U \Delta T$$

$$Q_{perdidas} = (1.19 \text{ m}^2) \left(0.8316 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) (30 \text{ } ^\circ\text{C} - 16 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{perdidas} = 13.58 \text{ W}$$

El estudio se considera que existirá una convección natural

DISEÑO DEL COLECTOR

Es necesario determinar el factor de remoción del aire mediante la siguiente formula:
[1]

$$F_r = \frac{m_A C_A}{U A} \left(1 - e^{\left(\frac{-F' U A}{m_A C_A} \right)} \right) \quad \text{Ecuación N}^\circ 3. 15$$

Donde:

$$m_A = \text{flujo de masa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$C_A = \text{calor específico} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg k}} \right) \text{aire a } 45^\circ\text{C}$$

$$U = \text{pérdidas} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right)$$

$$A = \text{área del colector} (\text{m}^2)$$

$$F' = \text{factor de eficiencia}$$

Volumen de aire en el colector

$$V = A h \quad \text{Ecuación N}^\circ 3. 16$$

$$V = (1.19 \text{ m}^2)(0.15\text{m})$$

$$V = 0.1785 \text{ m}^3$$

$$\delta = 1.109 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\delta = \frac{m}{V}$$

$$m = \delta V$$

$$m = \left(1.109 \frac{kg}{m^3}\right) (0.1785 m^3)$$

$$m = 0.1979 Kg$$

El tiempo para esta cantidad será de 1 min, teniendo

$$\dot{m} = 3.29 \times 10^{-3} \frac{Kg}{s}$$

Cálculo del factor de eficiencia

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U}{h_{conv} + \frac{1}{h_{rad}}}} \quad \text{Ecuación N° 3. 17}$$

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{0.8316}{4.87 + \frac{1}{32.08}}}$$

$$F' = \frac{1}{1.142}$$

$$F' = 0.855$$

$$F_r = \frac{m_A C_A}{U A} \left(1 - e^{\left(\frac{-F' U A}{m_A C_A}\right)}\right)$$

$$F_r = \frac{(3.29 \times 10^{-3})(1007)}{(0.8316)(1.19)} \left(1 - e^{\left(-\frac{(0.855)(0.8316)(1.19)}{(3.29 \times 10^{-3})(1007)}\right)}\right)$$

$$F_r = (3.347)(1 - e^{-0.2561})$$

$$F_r = 0.7562$$

Calor útil en el colector

$$Q_g = F_r A [\tau \alpha I - U(T_i - T_a)] \quad \text{Ecuación N° 3. 18}$$

$$\alpha = 0.7$$

$$\tau = 0.8$$

$I = 250 \frac{W}{m^2}$ se realizó medidas en las horas especificados teniendo este promedio.

$$Q_g = (0.7562)(1.19) [(0.8)(0.7)(250) - 0.8316(30 - 16)]$$

$$Q_g = 115.506 \text{ W}$$

$$Q_p + Q_u < Q_g$$

$$13.85 + 9.33 < 115.51$$

$$23.18 < 115.51 \quad \text{OK}$$

Lo ideal sería que la suma de $Q_p + Q_u$ sea igual a Q_g pero no lo es ya que está diseñado con una temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$, que es en el peor de los casos. Se recalculo con temperatura de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ obteniendo los siguientes resultados:

$$Q_p = 65.1 \text{ W}$$

$$Q_u = 10 \text{ W}$$

$$Q_g = 78.2 \text{ W}$$

Por lo tanto, tiende a igualarse en calor útil más el perdido al generado, la diferencia está en que no se consideró pequeñas pérdidas de la cámara colectora como es el calor por emiscibilidad, como se muestra en la figura N 3.20



Figura N° 3. 20: Diagrama de pérdidas de calor
Fuente: Autor

3.4.2 Diseño mecánico

A continuación, se calculará los parámetros necesarios para la construcción del deshidratador solar, partiendo que se desea deshidratar 2 Kg de bananas las cuales van a estar cortadas en rodajas de 2 a 3 cm de espesor.

En promedio los 2 Kg equivale a 20 bananas de las cuales se puede obtener 160 rodajas de aproximadamente 2.5 cm de espesor, así:

Número de bandejas

Área de la superficie de cada rodaja de banana:

$$2\text{Kg} \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ bananas} \\ 160 \text{ rodajas} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} A_r \text{ (área por rodaja)} = 12.6 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

Área de las 160 rodajas:

$$A_1 = A_r * \# \text{ de rodajas}$$

$$A_1 = 12.6 * 160$$

$$A_1 = 2010.619 \text{ cm}^2$$

Área total, tomando en cuenta los espacios presentes entre las rodajas, se estima en 75%.

$$A_{total} = A_1 \times 75\% + A_1$$

$$A_{total} = 2010.619 \times 75\% + 2010.619$$

$$A_{total} = 3518.58 \text{ cm}^2$$

Se parte de un aproximado de las medidas de la cámara, que son de 45 cm de la largo y 30 cm de ancho, por lo tanto, tendría un área de 1350 cm^2 . Entonces el número de bandejas requeridas obtenemos dividiendo el área total que ocupan las rodajas para el área de la bandeja, quedando:

$$\#_{bandejas} = 2.6 = 3 \text{ bandejas}$$

Datos

$$L = 600 \text{ mm}$$

$$W = \frac{2}{3} \text{ Kg}$$

$$q = 10.88 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\sum Fy = 0 + \uparrow$$

Por simetría $Ra = Rb$

$$Ra + Rb = q \cdot L$$

Ecuación N° 3. 19

$$2Ra = 10.88 (0.6)$$

$$Ra = \frac{6.53}{2} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

$$\mathbf{Ra = Rb = 3.26 \text{ N}}$$

$$A_1 = \frac{3.26 \times 0.3}{2}$$

$$\mathbf{A_1 = 0.489 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Ecuación N° 3. 20

$$\frac{S_y}{n} = \sigma$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{M}{\frac{bh^2}{6}}$$

$$\frac{310 \text{ MPa}}{1.25} = \frac{0.489 \text{ Nm} \times 6}{0.25 h^2}$$

$$h = 2.17 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$h = 2.17 \text{ mm}$ Espesor de la plancha 2 mm

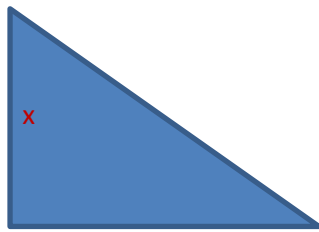


Ángulo de inclinación = $L + (10 \text{ o } S^\circ)$ [3]

Ambato se encuentra a latitud $1^\circ S$

El Ángulo de inclinación se considera de 11°

Las demás medidas se basan con respecto al ángulo de inclinación y la longitud del colector.



$$x = 1.5 \operatorname{sen} 11^\circ$$

$$x = 0.28 \text{ m}$$

$$y = 1.5 \operatorname{cos} 11^\circ$$

$$1.47 \text{ m}$$

y=

y

Al observar que nos dará poca altura se considera realizar una estructura para que la cámara donde se encuentra las frutas no quede cerca del suelo.

Análisis por flexión viga

Datos

$$W = 50 \text{ Kg}$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$q = 326.67 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\sum Fy = 0 \text{ por simetria}$$

$$Ra + Rb = 326.67 \times 1.5$$

$$2Ra = 490 \text{ N}$$

$$\mathbf{Ra = Rb = 245 \text{ N}}$$

$$A = \frac{245 \times 0.75}{2}$$

$$A = 91.875 \text{ m}^2$$

$$Uc = 91.875 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\frac{s_y}{n} = \frac{M}{S}$$

$$\frac{250MPa}{1.25} = \frac{91.875Nm}{S}$$

$$S = 4.593 \times 10^{-7} m^3$$

$$S = 0.459 cm^3$$

De acuerdo al catálogo de DIPAC se elige un tubo cuadrado de 20 x 20 x 1.5.

Análisis por pandeo columnas

$$Ra' = Ra \times \cos 11^\circ$$

$$Ra' = 245 N \times \cos 11^\circ$$

$$Ra' = 240.49N$$

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Ecuación N° 3. 21

$$K = \sqrt{\frac{0.58cm^4}{1.05cm^2}}$$

$$K = 0.743 cm$$

$$K = 7.42 mm$$

Relación de esbeltez

$$\frac{L}{K} = \frac{122 mm}{7.43 mm} = 164.14$$

Entonces

$$C_1 = 2 \text{ (SHIGLEY) (Empotramientos)}$$

Longitud específica

$$l_e = 0.7 L$$

$$l_e = 0.7 \times 1.22 m$$

$$l_e = 0.854 m$$

$$\frac{L}{K} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times C_1 \times E}{S_y}} \quad \text{Ecuación N° 3. 22}$$

$$\frac{L}{K} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \times 270 \times 10^9}{250 \times 10^6}}$$

$$\frac{L}{K} = 206.486$$

$P_{cr} = \text{carga critica}$

$$P_{cr} = \frac{A \times C_1 \times \pi \times E}{\left(\frac{L}{K}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 3. 23}$$

$$P_{cr} = \frac{1.05 \times 2 \times \pi \times 270 \times 10^9}{(164.14)^2}$$

$$P_{cr} = 1085.22$$

$$P_d = n \times P$$

$$P_d = 1.25 \times 240.49$$

$$P_d = 300.6125$$

$P_{cr} > P_d$ **OK** No falla por pandeo y se elige el perfil manifestado

Selección de remaches

$$F_x = W \cos 79^\circ \quad \text{Ecuación N° 3. 24}$$

$$F_x = 50 * 9.8 \cos 79^\circ$$

$$F_x = 93.49 \text{ N}$$

$F_x = \text{fuerza de corte}$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{A}$$

$$\frac{90 \times 10^6 \text{ Pa}}{1.25} = \frac{93.49 \text{ N}}{\pi * r^2}$$

$$r = 6.42 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$d = 1.28 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Se considera entonces un remache de 1/8 de pulgadas de diámetro.

3.5 PRESUPUESTO

Para la construcción de la deshidratadora solar se hizo una cotización, que se muestra en la tabla N 3.11.

Tabla N° 3. 11: Presupuesta de materiales y mano de obra

Detalle	Cant.	Valor
Disco de corte	1	10
Electrodos 6011	0.5 lb	3
Tubo cuadrado 3/4	6	30
Plancha de tol	1	10
Armazón para el colector (incluye plegue)	1	100
Cámara de secado (incluye plegue)	1	150
Cámara interna de secador (incluye pliegue)	1	80
Extractor de aire	1	16
Espuma flex	1	10
Caucho	1	15
Madera		15
Pintura	2 lt	23
Tiñer (anticorrosivo)	0.25 lt	5
Silicona indistrial	3 u	9.75
silicona líquida	1	2
Vidrio	1	8
Papel aluminio	1	1
Imprevistos		30
Mano de obra		400
Total		917.75

Investigación: Autor

3.6 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DE PRUEBA

Durante el tiempo de pruebas para la obtención de los datos, se lo realizo de la siguiente manera:

- Preparación de la máquina: Limpieza de la cámara colectora, de secado, y de las bandejas.
- Preparación del plátano: pelarlo, cortar en rodajas de aproximadamente 2.5 cm de espesor. No se tomó en cuenta las puntas de la fruta ya que no tienen el diámetro calculado para el objetivo del presente trabajo.
- Pesado del guineo con el propósito de tener una referencia antes de la deshidratación.



Figura N° 3. 21: Pesado del plátano
Fuente: Autor

- Colocación de las rodajas en las bandejas con una separación que estuvo alrededor del 1.5 cm.
- Asegurar la puerta de la cámara de secado y dejarlo para que deshidrate, se cuidó que siempre se mantuviera cerrada completamente la cámara para evitar fugas de calor.
- Encendido del extractor: En los siguientes tiempos, 4 horas prendido, y 4 Apagado.
- Al finalizar el día de pruebas se sacó las bandejas de la cámara de secado para pesarlas en una balanza digital. Con el propósito de luego realizar las curvas de secado que se muestran a continuación:



Figura N° 3. 22: Pesado del plátano al final del día
Fuente: Autor

3.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

De los datos obtenidos experimentalmente se logró obtener las siguientes curvas de deshidratado del plátano: en la **Figura N° 3.19** se observa como varia el porcentaje de humedad desde 43% hasta 12.7%, mientras que en la **Figura N° 3.20** que se usó un extractor de aire se puede apreciar que solo se necesitó de dos días para alcanzar la misma humedad de 12.7%. En **Figura N° 3.21** se ve la comparación entre las dos muestras.

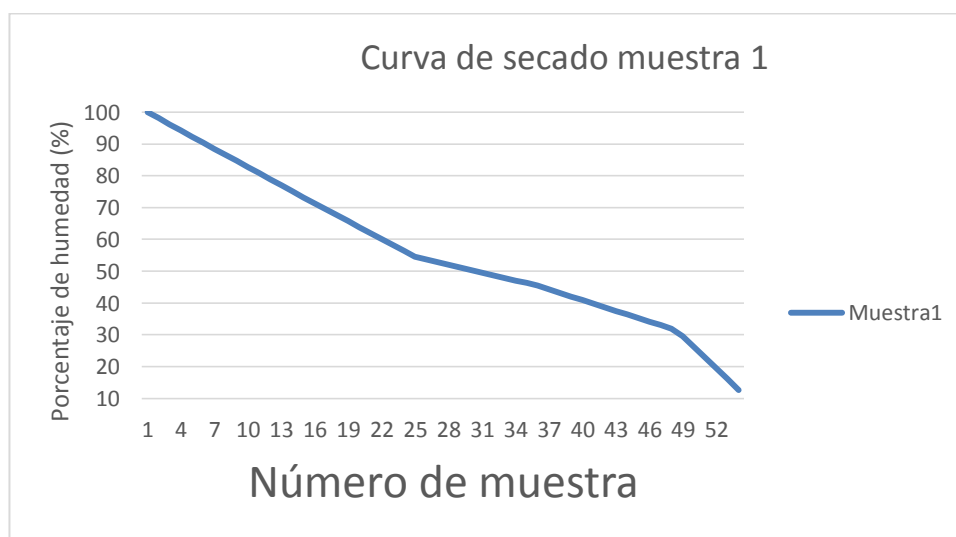


Figura N° 3. 23: Curva de secado muestra 1.
Fuente: Autor

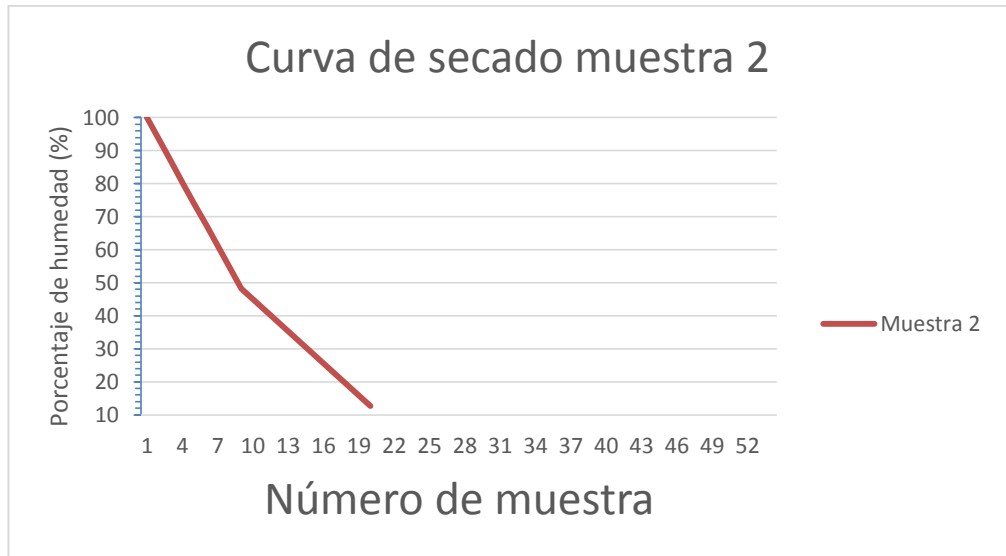


Figura N° 3. 24: Curva de secado muestra 2.
Fuente: Autor

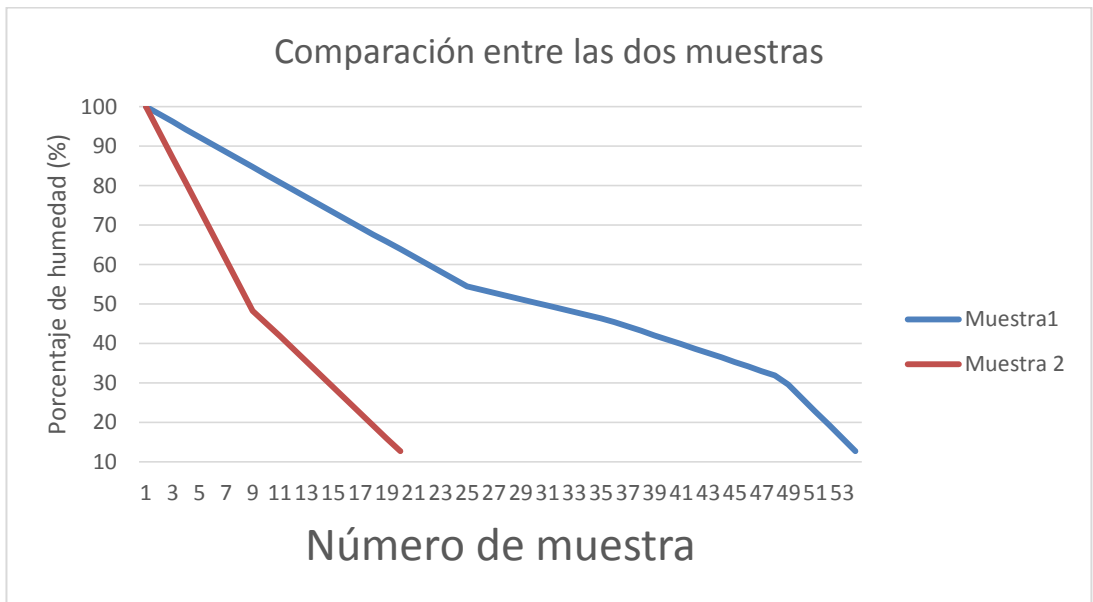


Figura N° 3. 25: Comparación entre las dos curvas de secado.
Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó la deshidratadora solar de plátano, bajo parámetros mecánicos y térmicos, obteniendo como resultado un tiempo de secado del producto (plátano) de 5 días a convección natural.
- Con el objetivo de disminuir el tiempo de secado para obtener menos oxidación en el producto, se adicionó un extractor de aire para obtener convección forzada, con la cual se logró disminuir el tiempo de secado de 5 días a 2.
- Con el uso del método de las ponderaciones se decidió por el diseño y construcción de un deshidratador indirecto, ya que en los cálculos de la selección entre las tres alternativas nos dio un 36%, frente a los 32% de la deshidratadora mixta y la directa respectivamente.
- En la construcción de la deshidratadora se hizo uso de la Norma Ecuatoriana de la Construcción de N° 705, mientras que la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, sirvió para la determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico.
- Para deshidratar el plátano de una manera óptima mediante el experimento se llegó a la conclusión que es de 60°C a una velocidad promedio de viento de 2.3 m/s. además, se notó que los sabores se intensificaron, esto se debe a que se concentraron mediante la eliminación del agua. se obtuvo un color adecuado del plátano puesto que la fruta se encuentra protegida de los rayos solares.

- Mediante simulación del modelo en un software se contrasto los resultados obtenidos del proceso experimental y los datos de la simulación, sin variaciones significativas, así la temperatura media de la simulación fue de 63°C, y las temperaturas obtenidas en el proceso experimental se mantuvieron en un rango de 60 °C a 65 °C.
- La humedad del plátano se consumió equitativamente desde el centro hasta la superficie del producto, logrando deshidratar el plátano hasta un 12.7%, usando una circulación de aire natural y forzada. Este dato fue contrastado con el análisis de humedad por parte del Laboratorio de análisis CONAL de la Universidad Técnica de Ambato.
- Posterior a la obtención del producto final se comprobó que el plátano deshidratado mantuvo el sabor, no presenta perdidas en sus valores nutricionales y su contextura es adecuada para ser comercializada.
- El costo de implantación es bajo y en comparación a las ganancias se lo puede implantar perfectamente.
- Con la realización del presente estudio técnico se concluye que el deshidratador solar por convección natural y forzada posee un gran potencial termodinámico, que permite aprovechar la irradiación directa y difusa del sol, de esta manera se puede aplicar en proceso alimenticios y aprovechar las energías renovables existentes en la zona.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para tener una buena circulación del aire dentro de la cámara es aconsejable dejar espacios suficientes entre los pedazos de plátanos.
- Realizar la toma de datos experimentales a un intervalo más corto, para lograr obtener una curva de secado más exacta. Además, de las horas de poca insolencia solar.
- Se recomienda que los pedazos de plátanos sean homogéneos, para ello se puede utilizar una balanza para pesar la muestra. Esta puede ser antes de someter la

muestra al proceso de secado o para optimizar el secador se puede adicionar de manera interna una balanza que permita obtener un monitoreo constantes de la humedad que se va perdiendo.

- Realizar el deshidratado para otros productos y frutas.
- Promocionar el proyecto para llevar a una escala más grande.

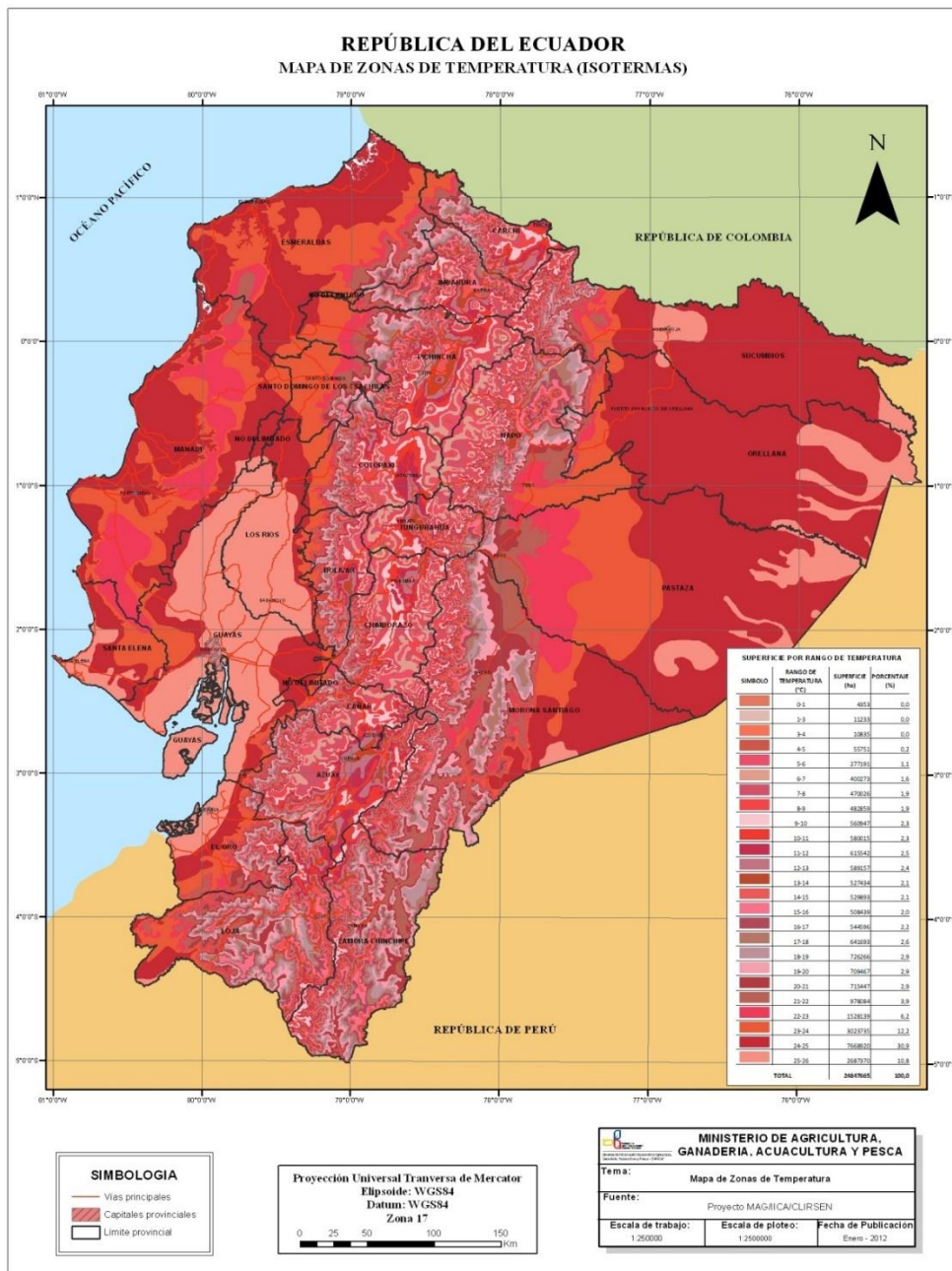
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. Cengel y M. Boles,, Termodinámica, España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L, 2010.
- [2] L. Ortega y P. P., Cartas psicrométricas, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1996.
- [3] G. E., Control de temperatura y humedad relativa para un deshidratador solar de frutas, Pereira: Universidad Tecnológica De Pereira Facultad De Tecnologías, Escuela De Tecnología Mecánica, 2014.
- [4] A. S. & H. S., Estudio de factibilidad para la creación de una planta procesadora de productos derivados de plátano en la Parroquia Roberto Astudillo período 2013-2017, Milagro: Universidad Estatal De Milagro, 2013.
- [5] AGROWASTE, “Secador”. Solar Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación, pp. 5-6, 2012.
- [6] AIGETHERM, «Deshidratadores,» 02 Febrero 2016. [En línea]. Available: www.deshidratadores.cl. [Último acceso: 02 Febrero 2016].
- [7] H. R. (. Alustiza, «Energía solar.,» Universidad Nacional de La Plata, Fac. de Ingeniería. Cátedra Termotecnia, 31 Enero 2016. [En línea]. Available: www.congresos.unlp.edu.ar. [Último acceso: 31 Enero 2016].
- [8] A. A., Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow, Solar Energy, 1997, pp. 121-126.
- [9] P. J. B. A. Delgado E, Secadores solares térmicos para granos y frutas para utilizarlo en zonas remotas, Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral. , 2013.
- [10] M. Farid, «Mathematical Modeling of Food Processing.,» CRC Press, 25 Mayo 2016. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=FbKQaft5FdQC&printsec=frontcover&dq=Mathematical+Modeling+of+Food+Processing&hl=es&sa=X&redir_e. [Último acceso: 26 Mayo 2016].
- [11] G. C., «Quesos los Cameros,» Alforja, 22 Marzo 2016. [En línea]. Available: www.rbi.es/suscripciones/alforja.htm. [Último acceso: 26 Marzo 2016].
- [12] G. L. & M. M. & M. D., «Diseño y construcción de un deshidratador solar de

- frutos tropicales.» Avances Investigación, 2012. [En línea]. Available: www.unilibre.edu.co/revistaavances/Avances_9-2/r9-2_art1.pdf. [Último acceso: 15 Febrero 2016].
- [13] G. J., Deshidratador de alimentos con colectores solares planos y aceite de coco, como fluido de trabajo., México : Doctorado, Instituto Tecnológico De Acapulco, 2014.
- [14] M. C., Tecnología e Higiene de los Alimentos, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata, 2010.
- [15] T. J., Deshidratador de alimentos usando energía solar, Venezuela: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, 2011.
- [16] P. M., Guías de Uso de Cocinas, Hornos y Secaderos Solares, Uruguay: UNESCO, 2012.
- [17] MIDUVI, Norma Ecuatoriana de la Construcción de N° 705, Quito, Ecuador: MIDUVI, 2011.
- [18] Mi Ranchito Cía. Ltda., «Bananas deshidratadas,» Mi Ranchito Cía. Ltda, 2015. [En línea]. Available: www.miranchitobananas.com. [Último acceso: 28 Enero 2016].
- [19] T. Bedri., «Deshidratación,» 2015. [En línea]. Available: www.bedri.es/Comer_y_beber/Conservas_caseras/Metodos_de_conservacion/Deshidratacion.htm. [Último acceso: 29 Enero 2016].
- [20] V. M., «DESHIDRATACIÓN, LA FORMA MÁS ANTIGUA Y SANA DE CONSERVAR LOS ALIMENTOS,» 07 Septiembre 2012. [En línea]. Available: www.conasi.eu. [Último acceso: 30 Enero 2016].
- [21] V. E., «Huerta fotovoltaica de 1,2 Mw, con seguimiento solar y conexión a red en Sevilla,» 2014. [En línea]. Available: www.conama9.conama.org. [Último acceso: 30 Enero 2016].

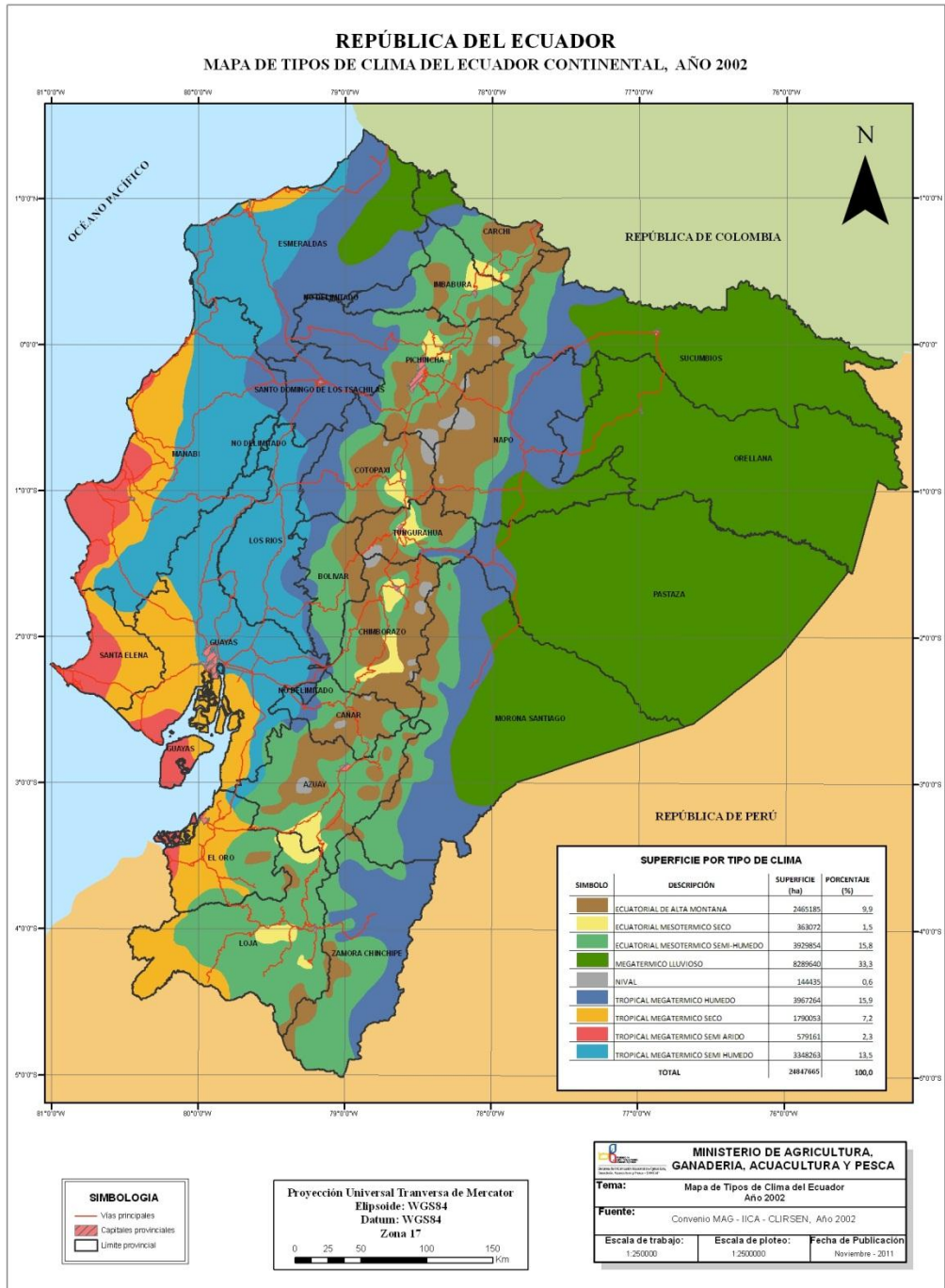
ANEXOS

1. Mapa de isotermas del Ecuador



Fuente: (MAGAP, 2012)

2. Tipos de clima del Ecuador



Fuente: (MAGAP, 2012)

3. Certificado de la LACONAL




UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS
LABORATORIO DE CONTROL Y ANALISIS DE ALIMENTOS



Dir: Av. Los Chasquis y Rio Payamino, Huachi, Telf.: 2 400987 ext. 114, e-mail: laconal@uta.edu.ec; laconal@hotmail.com
Ambato-Ecuador

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No:16-338						R01-5.10 06
Solicitud N°: 16-338						Pág.: 1 de 1
Fecha recepción: 22 de noviembre de 2016			Fecha de ejecución de ensayos: 24 de noviembre de 2016			
Información del cliente:						
Empresa: n/a			C.I./RUC: 0502768435			
Representante: Francisco Franco De la Vega Sánchez			Tif: 2809192			
Dirección: Latacunga			Celular: 0979131865			
Ciudad: Latacunga			E mail: flaco.a.777@hotmail.com			
Descripción de las muestras:						
Producto: Plátano deshidratado			Peso: 146 g			
Marca comercial: n/a			Tipo de envase: funda resellable			
Lote: n/a			No de muestras: una			
F. Elb.: n/a			F. Exp.: n/a			
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:			Almac. en Lab: 7 días			
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:			Muestreo por el cliente: 22 de noviembre de 2016			
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Plátano deshidratado	33816876	Muestra 1	*Humedad	AOAC 934.06 Ed 20, 2016	%	12,7
Conds. Ambientales: 20,6 °C; 41,2%HR						
						
Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						CG
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						

Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado.

No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".

4. Fotografías de la construcción de la deshidratadora

Preparación

Parte inicial de la construcción de la cámara del colector solar, en las siguientes fotografías se ve el corte de los tubos, colocación a 90 grados, soldadura de las uniones y remoción de rebabas.



Cámara de secado



Sellado de la cámara colectora



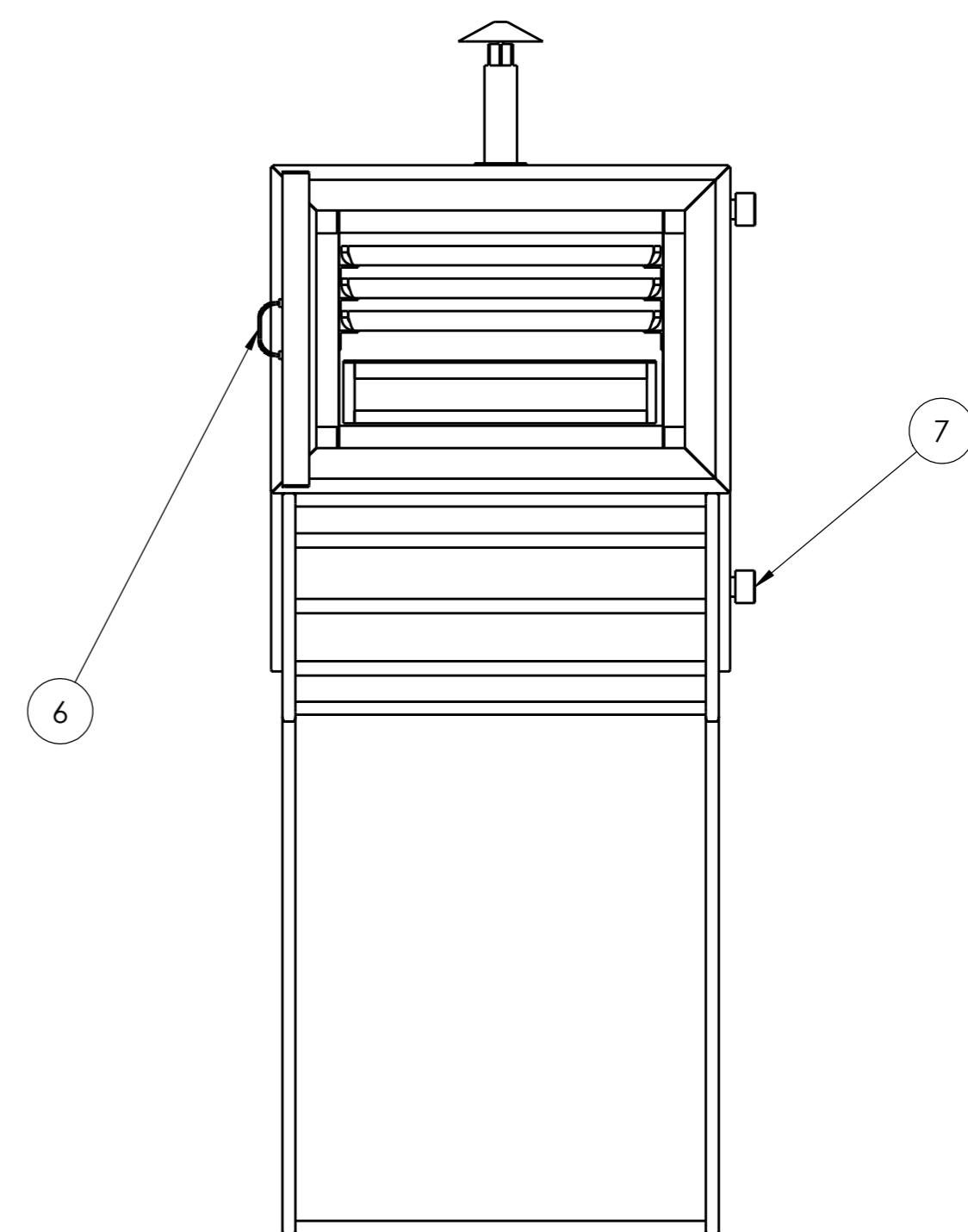
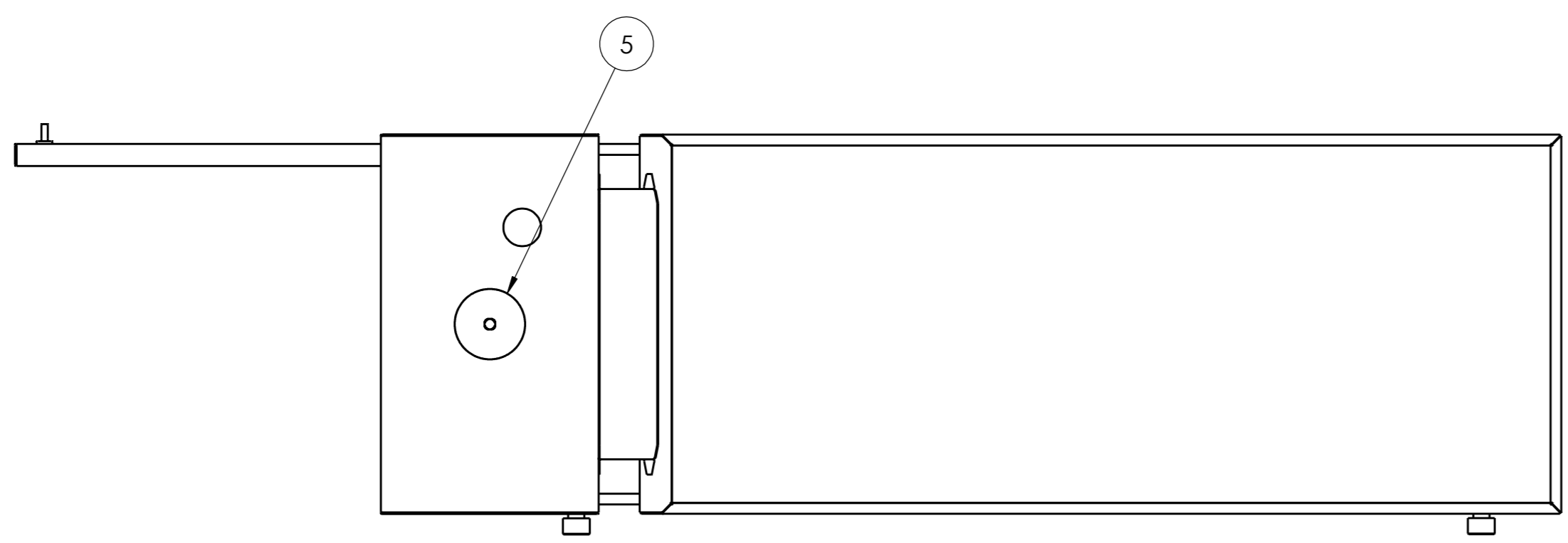
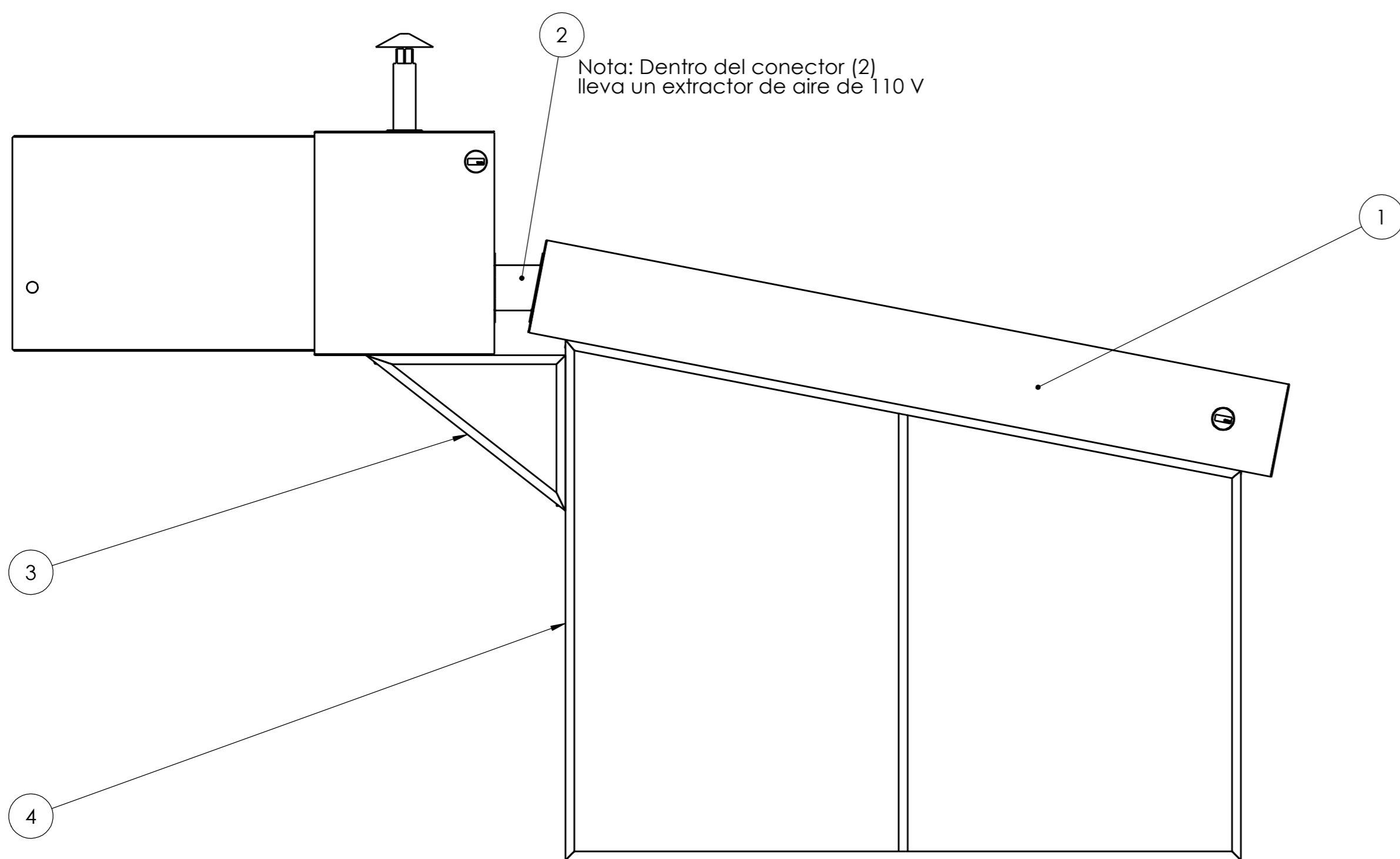
Ubicación de las bandejas en la cámara de secado



Toma de temperatura y velocidad del viento



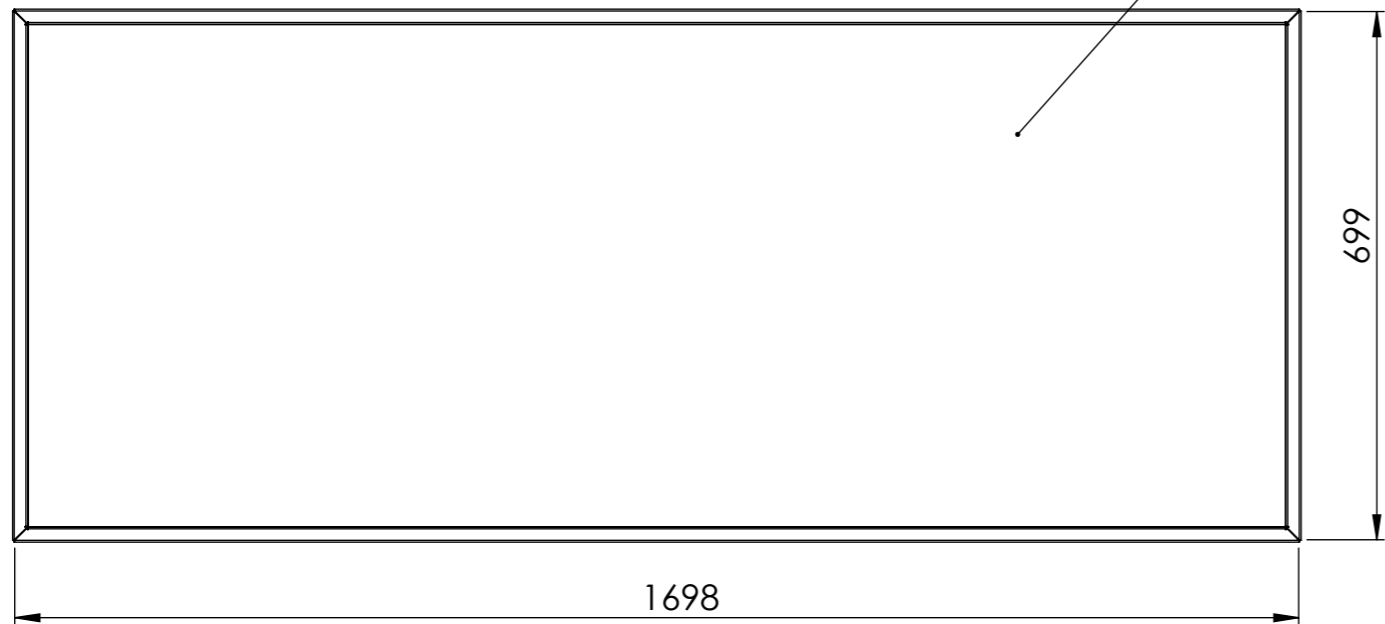
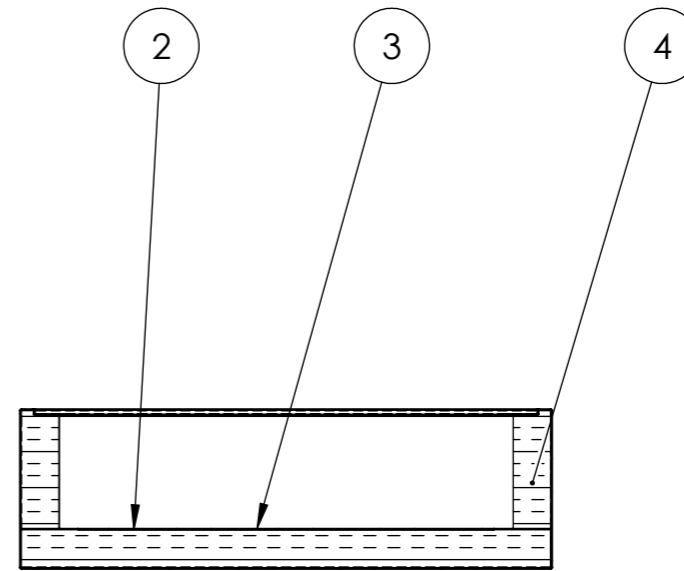
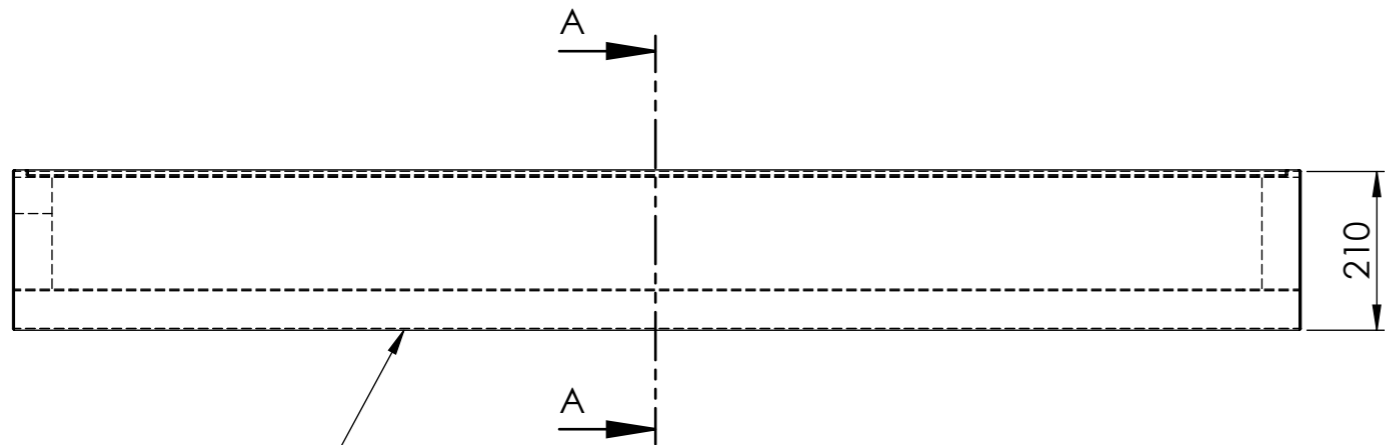




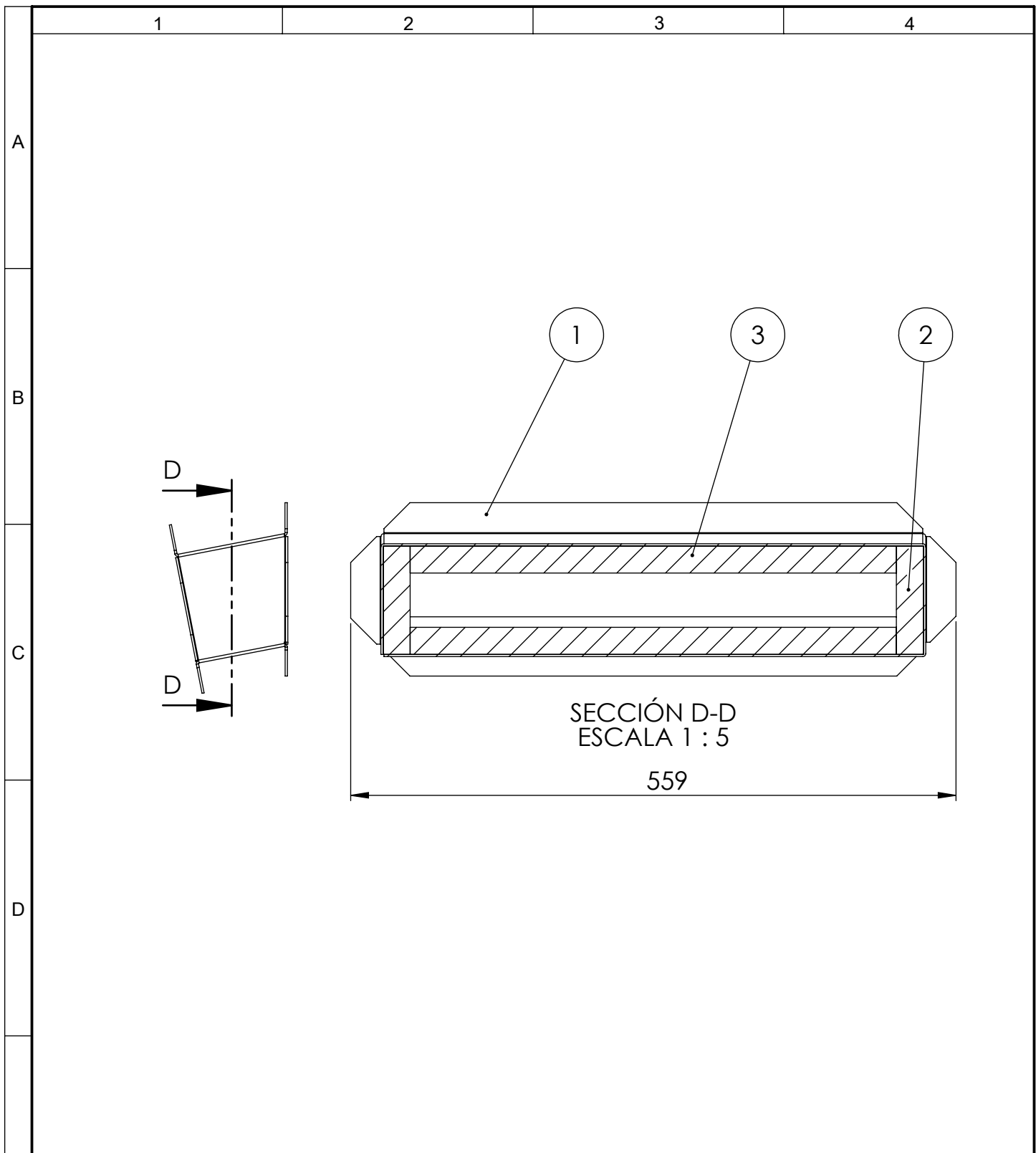
Datos técnicos	
Capacidad	2 Kg
Altura	1.8 m
Ancho	0.7 m
Largo	2.8 m
Capacidad térmica	115.51 W
Volumen del colector de aire	0.1785 m ³
% de humedad final	10% -14%

No. de pieza	Denominación	No. de norma/ Dibujo	Material	No. del modelo/ Semiproducto	Peso (kg)	Observaciones
7	Termometro		Varios	N/A	0.1	
6	Camara de secado		Varios	1200 x 2400	9	
5	Chimenea		Varios	1200 x 2400	0.5	
4	Estructura colector		Varios	20 x 20 x 6000	25	
3	Estructura camara		Varios	20 x 20 x 6000	12	
2	Conector		Varios	1200 x 2400	4	
1	Colector		Varios	1200 x 2400	14	

Tolerancia:		Peso:		Material:	
±1		17,48 kg		Varios	
Fecha		Nombre		Título:	
17/03/2017		DE LA VEGA FRANCISCO		DESHIDRATADOR	
Revisó:		ING. MAYRA PAUCAR		Escala:	
17/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		1:10	
Aprobó:		ING. MAYRA PAUCAR		Número de lámina:	
17/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		1 de 13	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:	



1	Cubierta		Vidrio	5	1200 x 2400		
2	Aislante Lateral		EPP	4	1200 x 2400		
1	Aislante		EPP	3	1200 x 2400		
1	Planca captadora		AISI 1008	2	1200 x 2400		
1	Cuerpo Colector		AISI 1008	1	1200 x 2400		
No. de pieza	Denominación	No. de norma	Material	No. de orden	No. de modelo/semiproducto	Peso (kg)	Observaciones
					Varios		
			Tolerancia:	Peso:			
			± 1	14,65 kg			
			Fecha	Nombre	Título:		Escala:
			Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	COLECTOR		1:10
			Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
			Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
			U.T.A.		Número de lámina:		Registro:
			INGENIERÍA MECÁNICA		2 de 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			

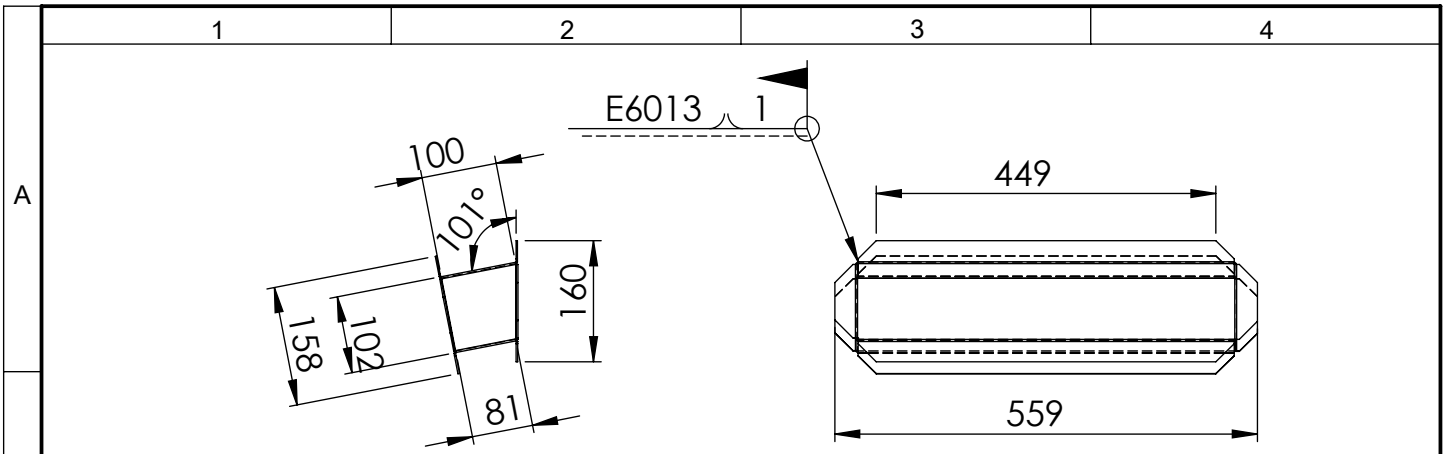


SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 5

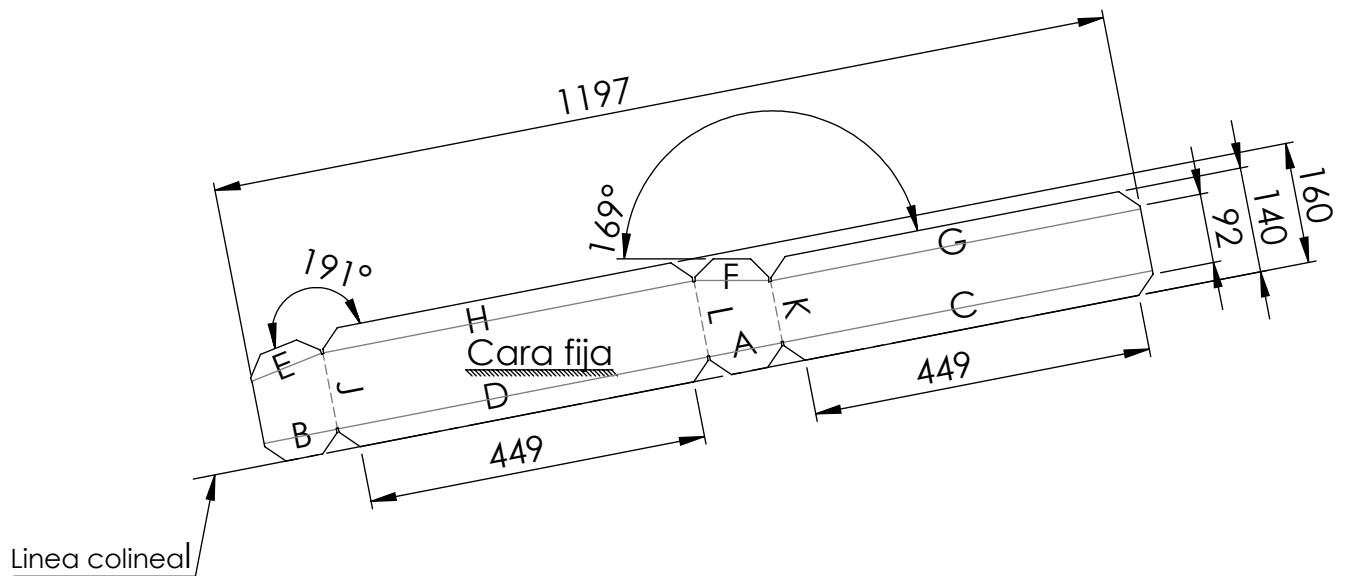
559

2	Aislante lateral		EPP	3	1200 x 2400	0,17	Comprado
2	Aislatnte		EPP	2	1200 x 2400	0,15	Comprado
1	Conector		AISI 1008	1	1200 x 2400	4	Doblado
No. de pieza	Denominación	No. de norma	Material	No. de orden	No. de modelo/semiproducto	Peso (kg)	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:			
+/- 1		4,33 kg		Varios			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó: 22/03/2017		DE LA VEGA FRANCISCO		CONECTOR			1:20
Revisó: 22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR					
Aprobó: 22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR					
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				Número de lámina:			Registro:
				3 de 13			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			



CHAPA DESPELGADA



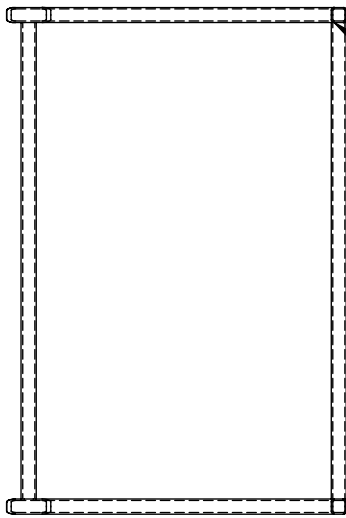
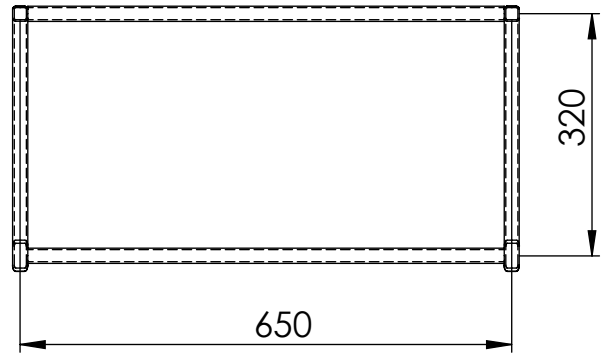
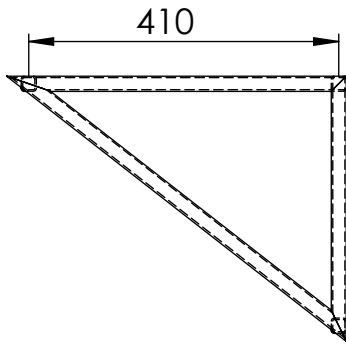
Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ARRIBA	90°	0.74
B	HACIA ARRIBA	90°	0.74
C	HACIA ARRIBA	90°	0.74
D	HACIA ARRIBA	90°	0.74
E	HACIA ARRIBA	90°	0.74
F	HACIA ARRIBA	90°	0.74
G	HACIA ARRIBA	101°	0.74
H	HACIA ARRIBA	79°	0.74
J	HACIA ABAJO	90°	0.74
K	HACIA ABAJO	90°	0.74
L	HACIA ABAJO	90°	0.74

Los plegados se muestran en la tabla del plano.

Se utilizara chapa de 2mm de espesor.

Las uniones en los finales de la estructura se lo realizara con electrodo E308 como se indica en la cota del plano.

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				+/- 1	3,3 kg	Acero AISI 316	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	CONECTOR COLECTOR-CAMARA	1:20
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR		
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						4 de 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			



E6013 2

Las esquinas seran soldadas de acuerdo como se indica en la cota y tabla del plano

TABLA DE CORTES

N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	2	Tubo cuadrado de 3/4	449.07
2	2	Tubo cuadrado de 3/4	350.49
3	2	Tubo cuadrado de 3/4	569.65
4	3	Tubo cuadrado de 3/4	630

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	2	<WELD-FILL>	12	E 6013	4
2	2	<WELD-FILL>	10.88	E 6013	2

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				+/- 1	6,9 kg		
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO		
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR		
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR	Número de lámina:	Registro:
				<p style="text-align: center;">U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA</p>			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	

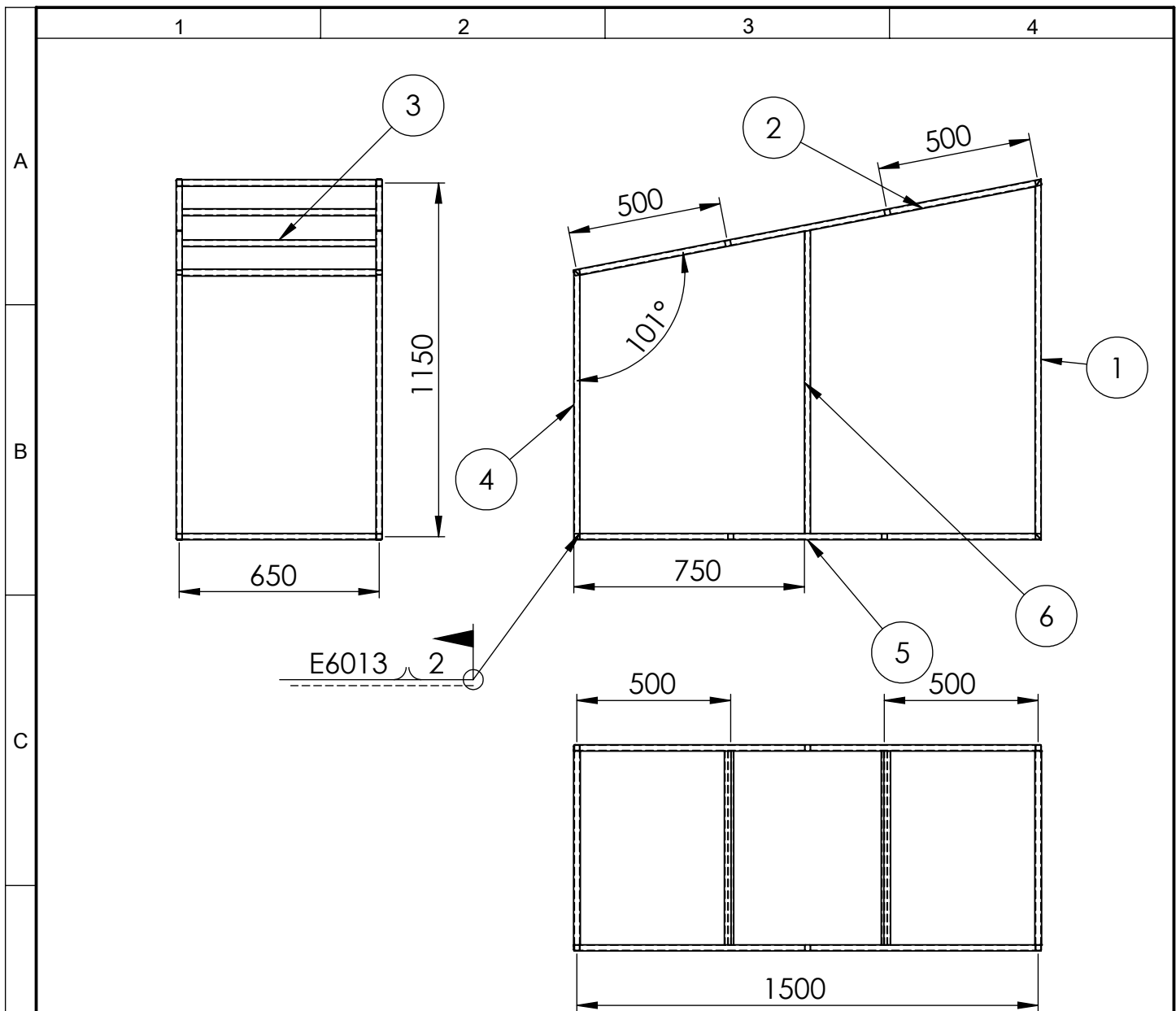
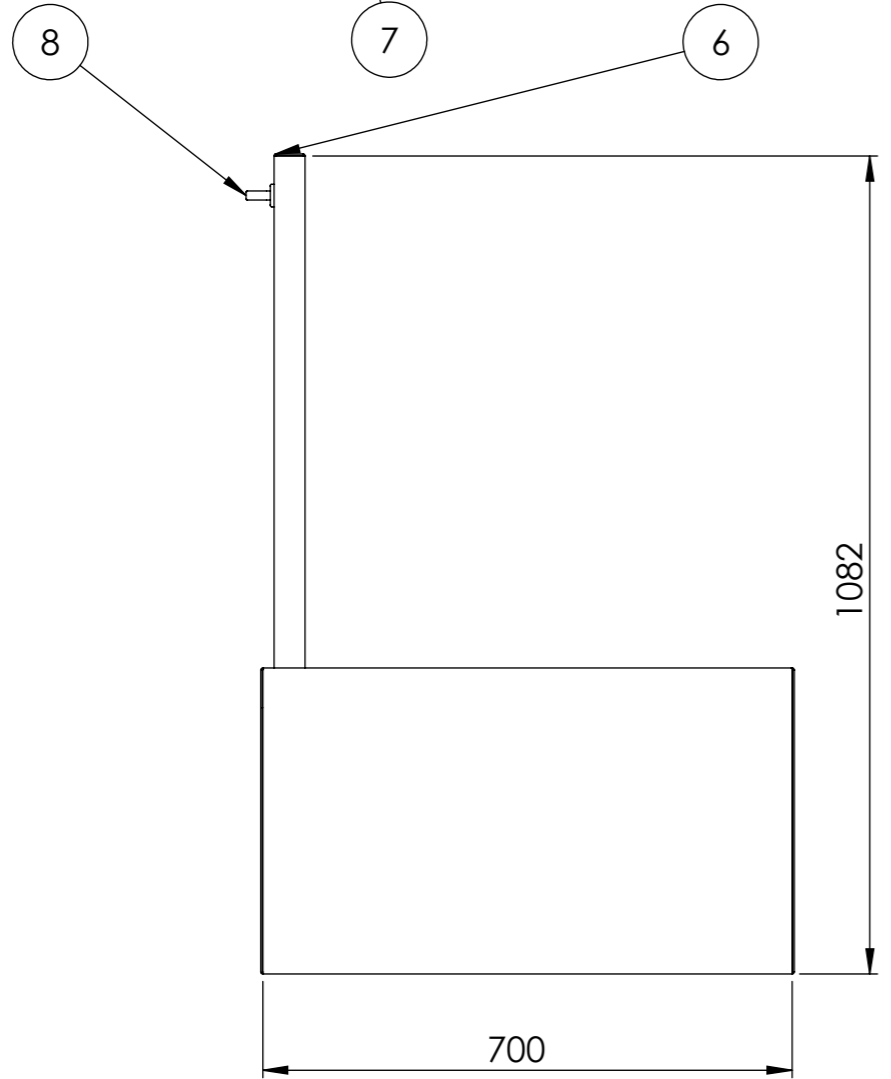
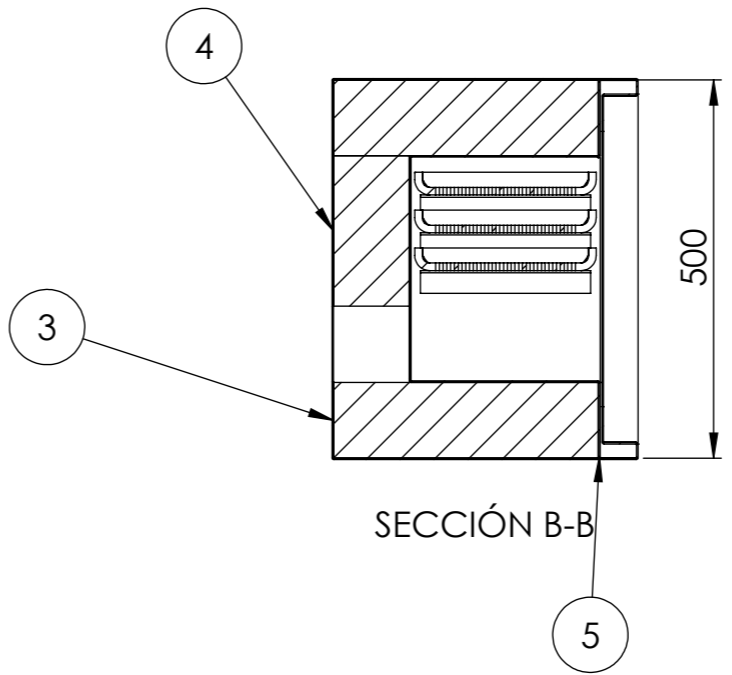
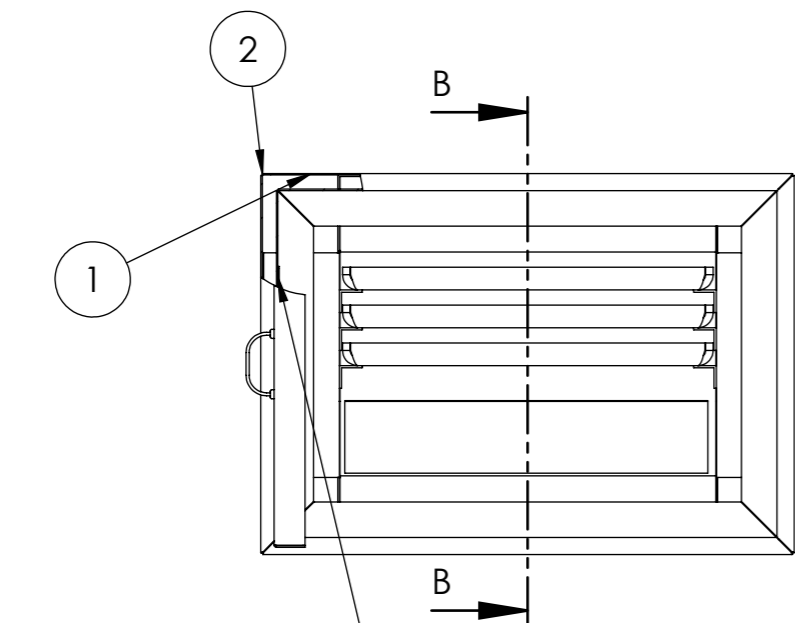


TABLA DE CORTES			
N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	2	Tubo cuadrado de 3/4	1172.13
2	2	Tubo cuadrado de 3/4	1548.45
3	8	Tubo cuadrado de 3/4	630
4	2	Tubo cuadrado de 3/4	876.67
5	2	Tubo cuadrado de 3/4	1520
6	2	Tubo cuadrado de 3/4	985.97

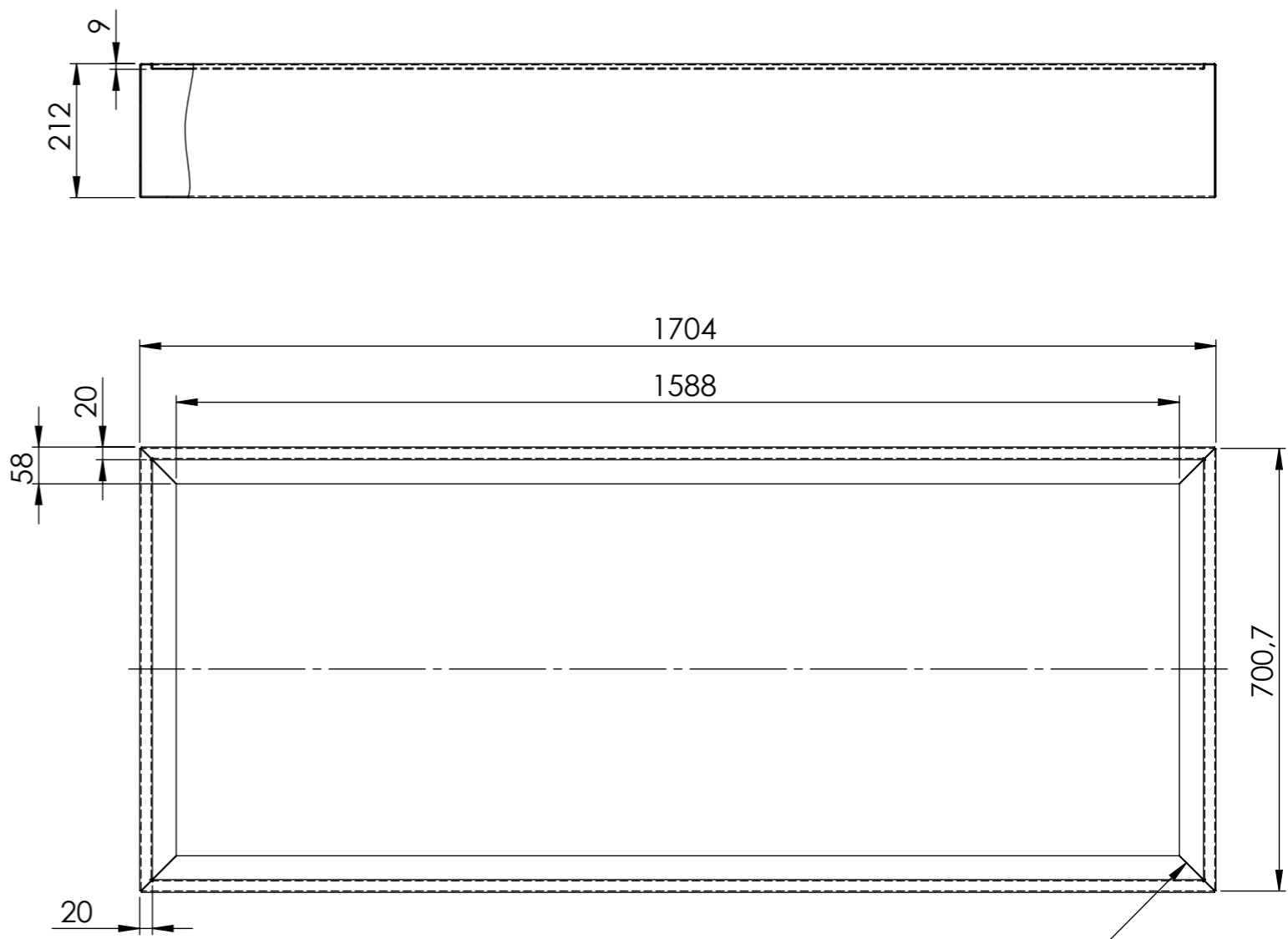
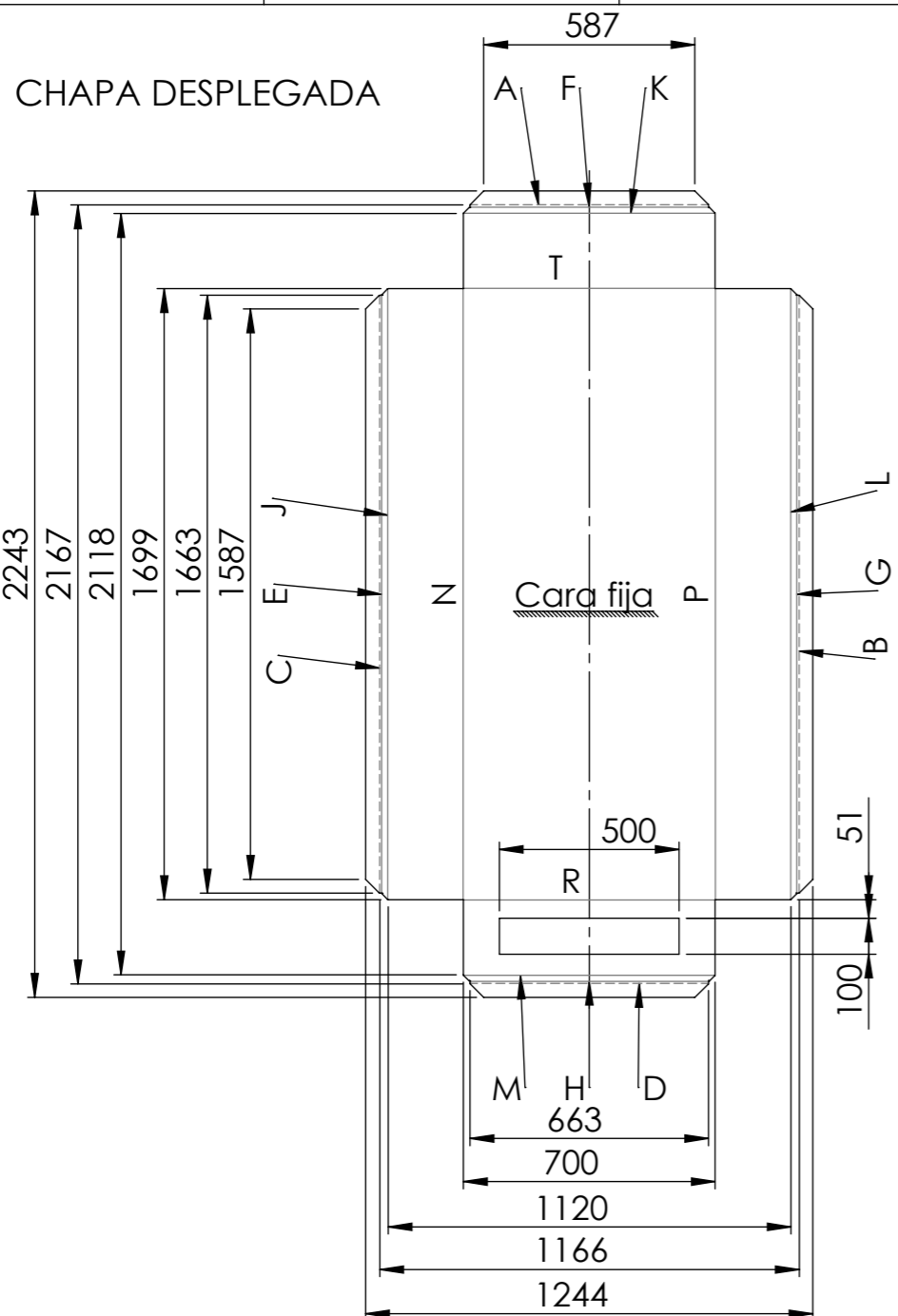
N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	2		12	19

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				± 1	17,9 kg	ASTM A36 Acero		
				Fecha	Nombre	Título:		Escala:
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	ESTRUCTURA BASE DE COLECTOR		1:20
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:		Registro:
						6 de 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:		



No. de pieza	Denominación	No. de norma	Material	No. de orden	No. de modelo/semiproducto	Peso (kg)	Observaciones
1	Manija		AISI 316	8			
1	Bisagra		AISI 316	7			
1	Tapa		AISI 316	6			
1	Camara de almacenamiento		AISI 316	5			
3	Bandejas		AISI 316	4			
2	Aislante lateral		EPP	3			
2	Aislante		EPP	2			
1	Estructura camara		AISI 316	1			

Tolerancia:		Peso:		Material:			
± 1		8,34 kg		Varios			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó: 22/03/2017		DE LA VEGA FANCISCO		CAMARA DE SECADO			1:10
Revisó: 22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		Número de lámina:			Registro:
Aprobó: 22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		7 de 13			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			
				INGENIERÍA MECÁNICA			

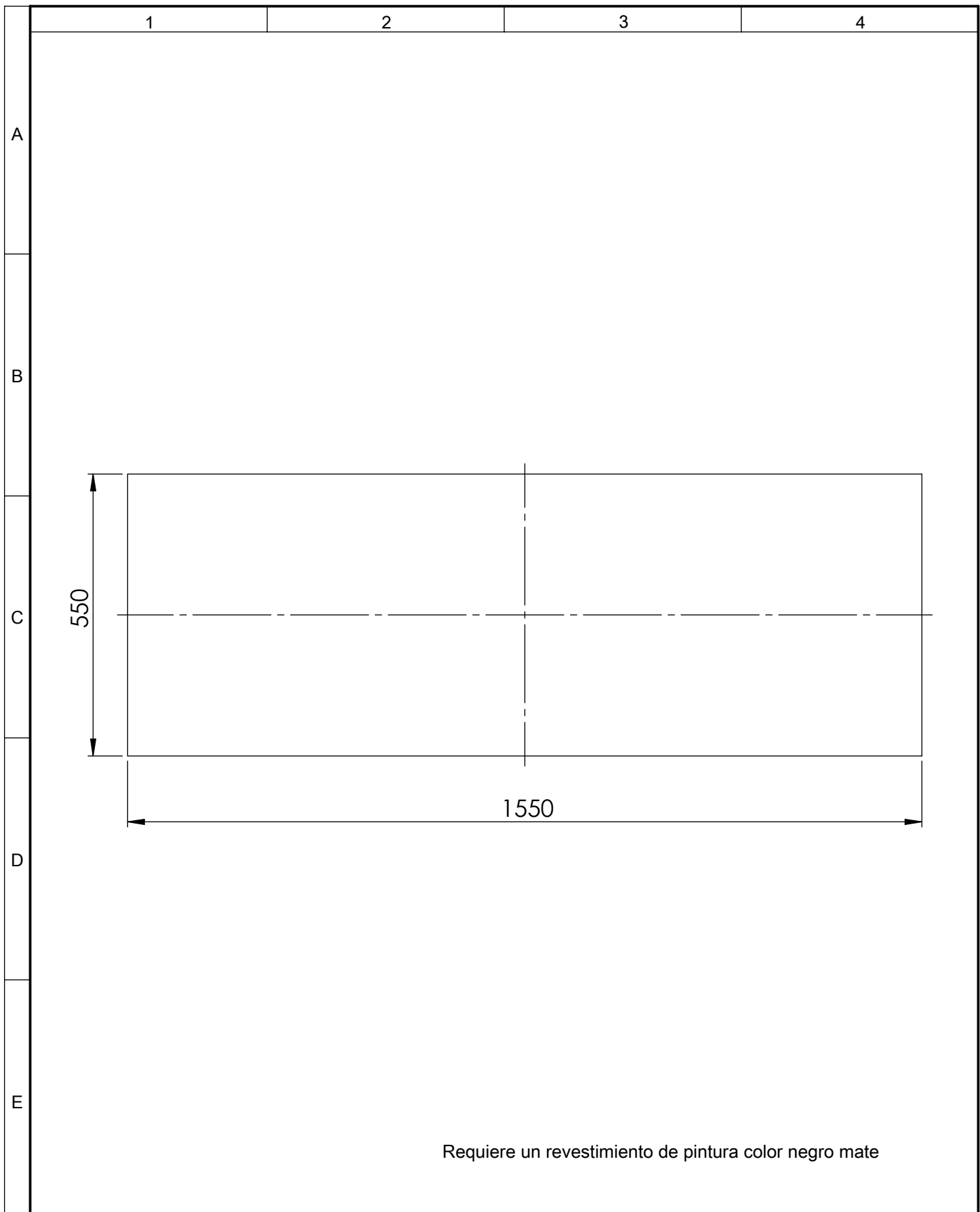


E6013 1

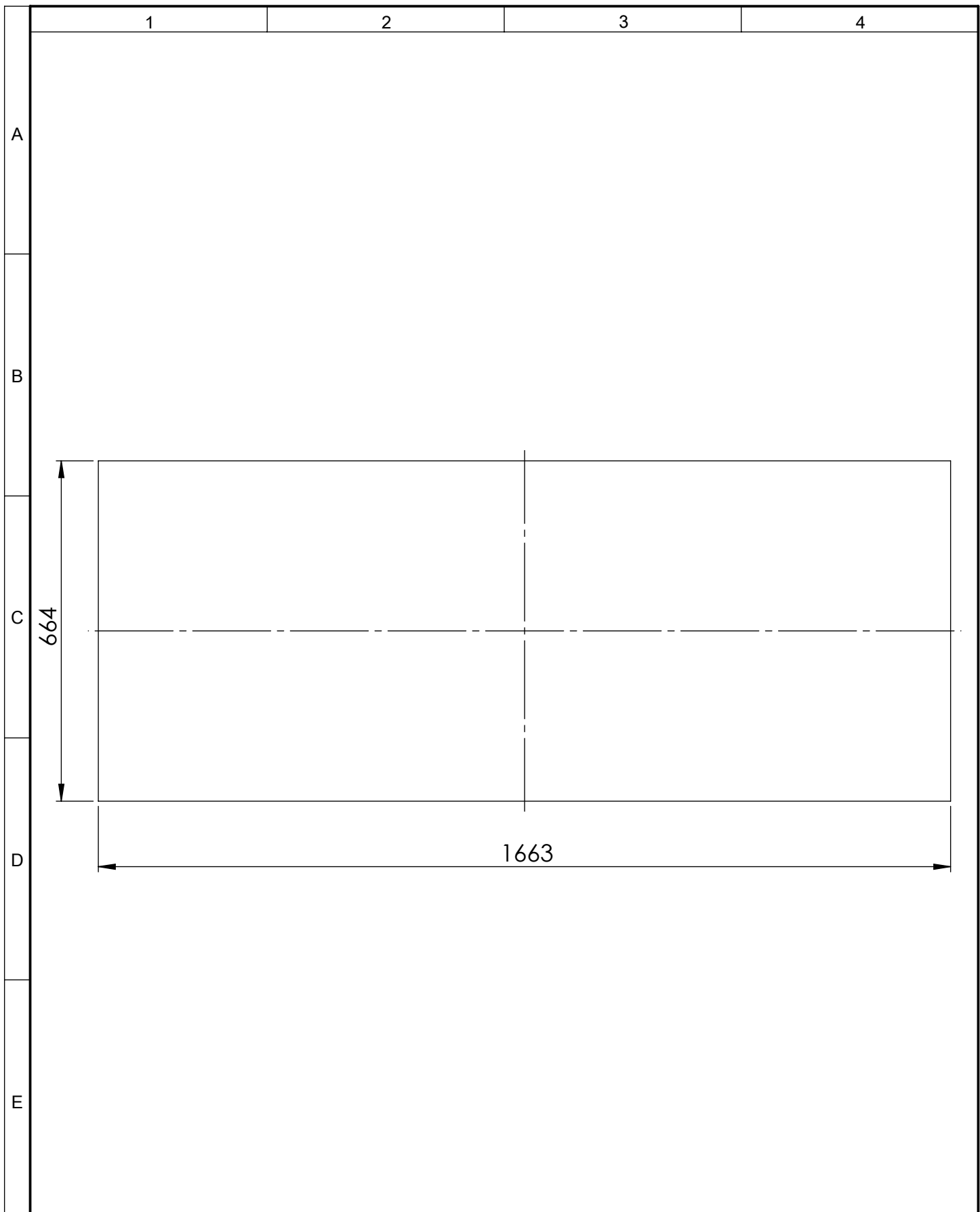
Los plegados se muestran en la tabla del plano.
 Las uniones en los finales de la estructura se lo realizara con electrodo E6013 como se indica en la cota del plano.
 Se eliminaran esquinas cortantes mediante lima o pulidora.

Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	90°	0.35
B	HACIA ABAJO	90°	0.35
C	HACIA ABAJO	90°	0.35
D	HACIA ABAJO	90°	0.35
E	HACIA ARRIBA	90°	0.35
F	HACIA ARRIBA	90°	0.35
G	HACIA ARRIBA	90°	0.35
H	HACIA ARRIBA	90°	0.35
J	HACIA ARRIBA	90°	0.35
K	HACIA ARRIBA	90°	0.35
L	HACIA ARRIBA	90°	0.35
M	HACIA ARRIBA	90°	0.35
N	HACIA ARRIBA	90°	0.35
P	HACIA ARRIBA	90°	0.35
R	HACIA ARRIBA	90°	0.35
T	HACIA ARRIBA	90°	0.35

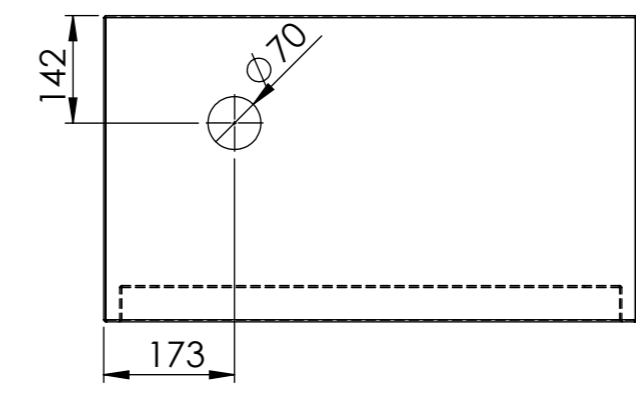
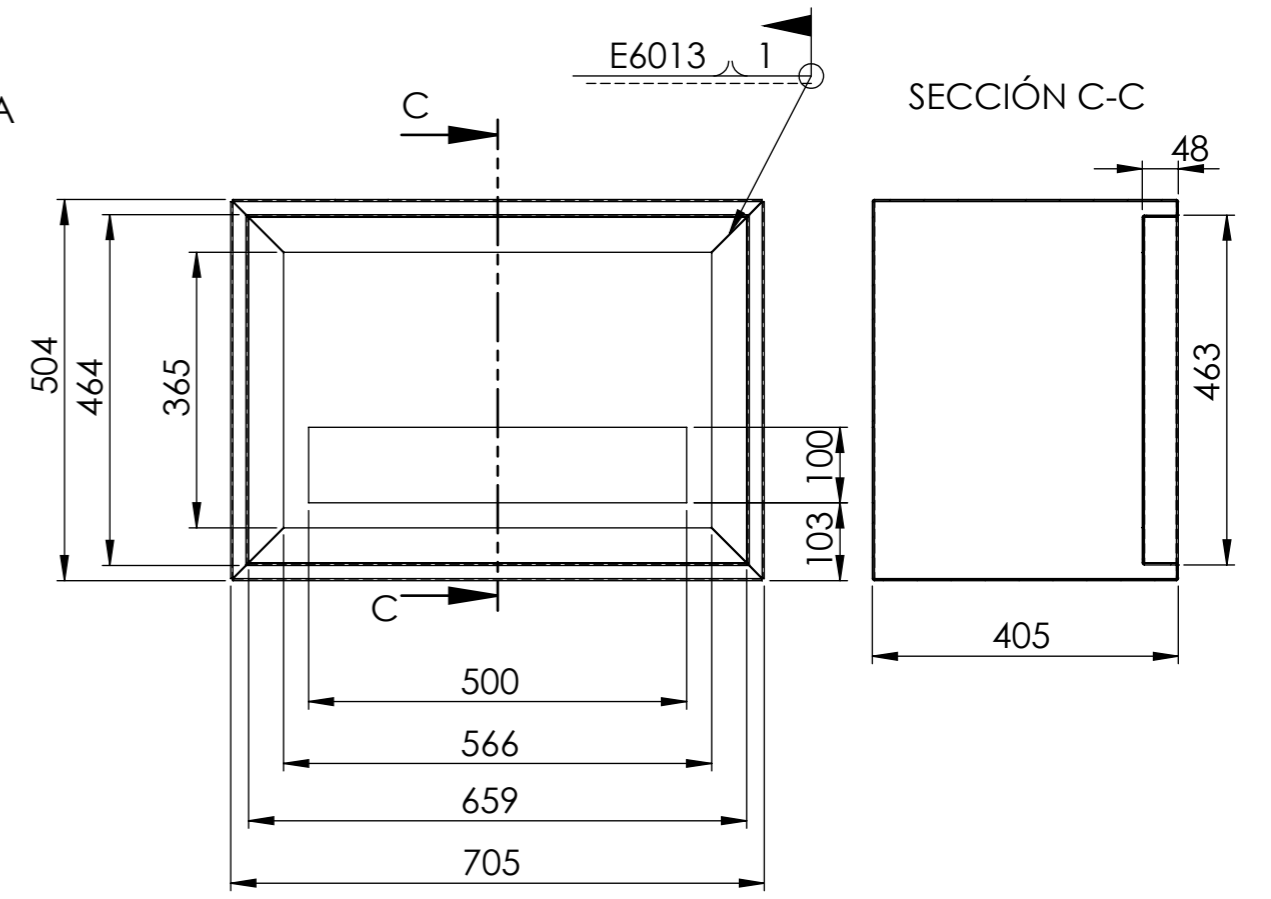
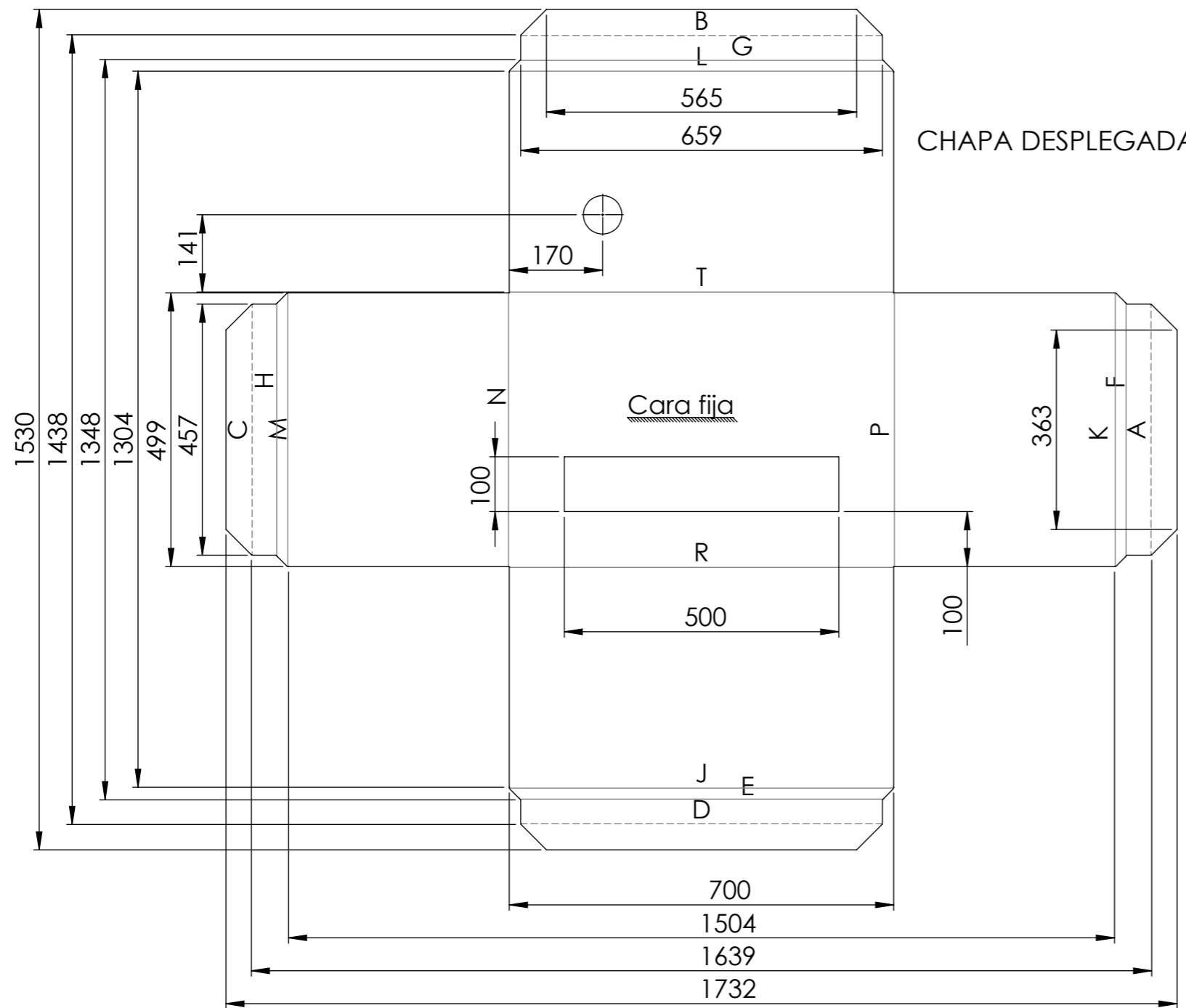
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 1	14,65 kg	1023 Chapa de acero al carbono (SS) e=2mm	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	ESTRUCTURA DE COLECTOR	
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR	Escala: 1:10	
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR	Número de lámina: 8 de 13	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				± 1	1,9 kg	1023 Chapa de acero al carbono (SS) e=2mm			
					Fecha	Nombre	Título:		Escala:
				Dibujó:	22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	PLACA CAPTADORA DE COLECTOR		1:10
				Revisó:	22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				Aprobó:	22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				U.T.A.			Número de lámina:		Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA			9 de 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:					



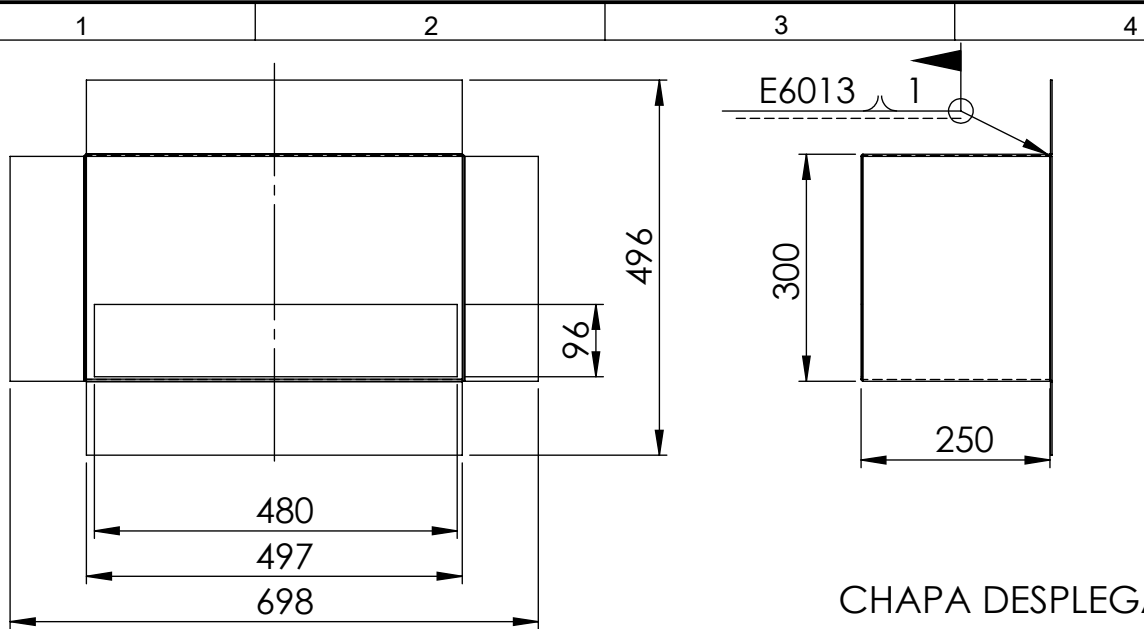
				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				± 1	2,9 kg	Vidrio e=5mm			
					Fecha	Nombre	Título: VIDRIO		Escala:
				Dibujó:	22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO			1:20
				Revisó:	22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				Aprobó:	22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR			
				U.T.A.			Número de lámina:		Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA			10de 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución:		



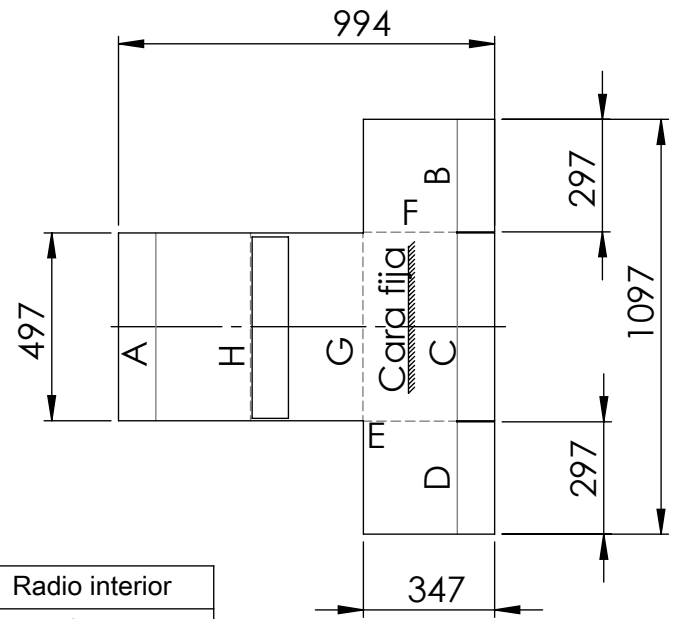
Las uniones en los finales de la estructura se lo realizara con electrodo E6013 como se indica en la cota del plano.

Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	90°	0.74
B	HACIA ABAJO	90°	0.74
C	HACIA ABAJO	90°	0.74
D	HACIA ABAJO	90°	0.74
E	HACIA ARRIBA	90°	0.74
F	HACIA ARRIBA	90°	0.74
G	HACIA ARRIBA	90°	0.74
H	HACIA ARRIBA	90°	0.74
J	HACIA ARRIBA	90°	0.74
K	HACIA ARRIBA	90°	0.74
L	HACIA ARRIBA	90°	0.74
M	HACIA ARRIBA	90°	0.74
N	HACIA ARRIBA	90°	0.74
P	HACIA ARRIBA	90°	0.74
R	HACIA ARRIBA	90°	0.74
T	HACIA ARRIBA	90°	0.74

Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		14,65 kg		1023 Chapa de acero al carbono (SS) e=2mm	
Fecha		Nombre		Título:	
22/03/2017		DE LA VEGA FRANCISCO		ESTRUCTURA CAMARA DE SECADO	
Revisó:		ING. MAYRA PAUCAR		Escala:	
22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		1:10	
Aprobó:		ING. MAYRA PAUCAR		Número de lámina:	
22/03/2017		ING. MAYRA PAUCAR		11de 13	
Edición				Registro:	
Modificación				Sustitución:	
Fecha					
Nombre				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA	



CHAPA DESPLEGADA



Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ARRIBA	90°	0.74
B	HACIA ARRIBA	90°	0.74
C	HACIA ARRIBA	90°	0.74
D	HACIA ARRIBA	90°	0.74
E	HACIA ABAJO	90°	0.74
F	HACIA ABAJO	90°	0.74
G	HACIA ABAJO	90°	0.74
H	HACIA ABAJO	90°	0.74

Los plegados se muestran en la tabla del plano.

Las uniones en los finales de la estructura se lo realizara con electrodo E308 como se indica en la cota del plano. Se eliminaran esquinas cortantes mediante lima o pulidora.

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 1	3,3 kg	AISI 316 Chapa de acero inoxidable (SS) e=2mm	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	ALMACENAMIENTO	
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR	Escala:	
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR	1:20	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	
						12de 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:		Registro:	

1 2 3 4

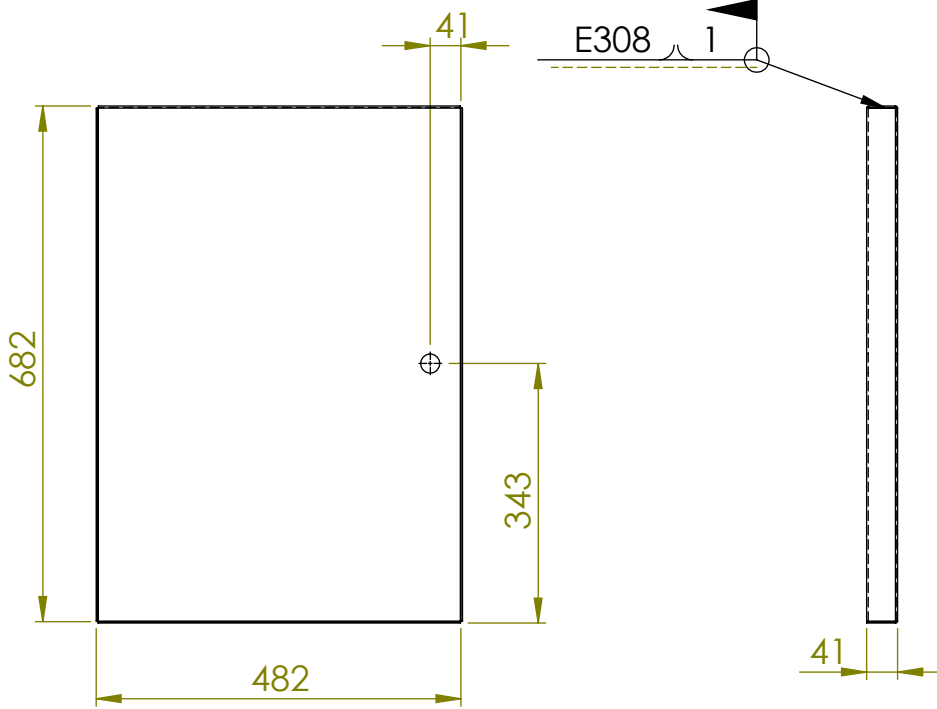
A

B

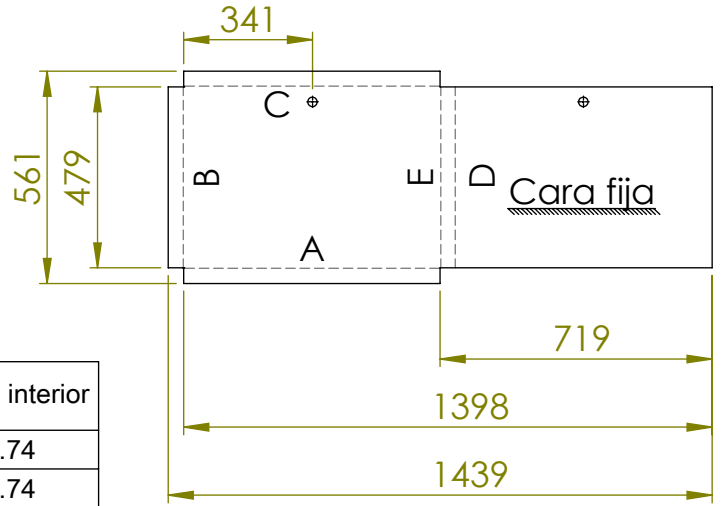
C

D

E



CHAPA DESPLEGADA



Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	90°	0.74
B	HACIA ABAJO	90°	0.74
C	HACIA ABAJO	90°	0.74
D	HACIA ABAJO	90°	0.74
E	HACIA ABAJO	90°	0.74

Los plegados se muestran en la tabla del plano.

Las uniones en los finales de la estructura se lo realizara con electrodo E308 como se indica en la cota del plano. Se eliminaran esquinas cortantes mediante lima o pulidora.

				Tolerancia: ± 1	Peso: 3,3 kg	Material: AISI 316 Chapa de acero inoxidable (SS) e=2mm	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 22/03/2017	DE LA VEGA FRANCISCO	TAPA	
				Revisó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR		
				Aprobó: 22/03/2017	ING. MAYRA PAUCAR		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 13 de 13	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	

