

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño, construcción y evaluación de un deshidratador solar para  
tomate

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Mauricio Andréa Guillén Álvarez

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala

2019



Diseño, construcción y evaluación de un deshidratador solar para  
tomate

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño, construcción y evaluación de un deshidratador solar para  
tomate

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Mauricio Andréa Guillén Álvarez

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala

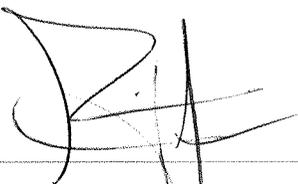
2019

Vo. Bo.:

(f)   
Ing. Cristián Rossi Sosa

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Víctor Hugo Ayerdi

(f)   
Ing. Rony Herrarte

(f)   
Ing. Cristián Rossi Sosa

Guatemala 21 de junio de 2019

## PREFACIO

El presente trabajo de graduación se realizó con el fin proponer una alternativa para el procesamiento post cosecha del tomate Saladette. Se realizó una investigación preliminar sobre la problemática asociada al cultivo de tomate, se indagó sobre posibles soluciones y finalmente se trabajó en la solución planteada.

Estoy inmensamente agradecido con Dios, por haberme dado la fortaleza necesaria para perseverar en mis metas; a la Virgen María por ser mi consuelo en los momentos más duros de mi vida.

Agradezco inmensamente a mis padres y hermano, por su gran amor y apoyo incondicional. De igual manera, agradezco a Diego Orellana y a Pamela Peña, por sus consejos y ayuda a lo largo de la elaboración del presente trabajo.

Quiero agradecer especialmente al ingeniero Cristián Rossi, por su guía y amistad. También agradezco al ingeniero Víctor Ayerdi y al catedrático Édgar Castillo.

## ÍNDICE

PREFACIO .....	iii
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. GENERAL .....	2
B. ESPECÍFICOS .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	5
A. GENERALIDADES DEL TOMATE .....	5
1. Origen .....	5
2. Taxonomía del cultivo .....	5
3. Requerimientos de cultivo .....	5
4. Sistemas de producción .....	6
B. IMPLICACIONES EN LA NUTRICIÓN Y SALUD .....	6
C. CULTIVO DE TOMATE EN GUATEMALA .....	7
D. PROBLEMÁTICA ASOCIADA CON EL CULTIVO DEL TOMATE .....	9
E. ACTIVIDADES POSTCOSECHA .....	10
1. Parámetros de calidad y nutrición vegetal .....	10
2. Procesamiento y almacenaje .....	11
3. Transporte .....	13
F. DESECACIÓN DE ALIMENTOS .....	13
1. Generalidades .....	13
2. Importancia .....	14
3. Tipos de desecación .....	14
4. Curva de secado .....	16
G. SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN .....	16
1. Deshidratador de bandejas o gabinete .....	17
2. Deshidratadores de túnel .....	17

3.	“Puff drying” .....	17
4.	Deshidratador de lecho fluidizado .....	17
5.	Deshidratador de spray (spray drying) .....	18
6.	Liofilización .....	18
H.	RADIACIÓN SOLAR .....	18
1.	Generalidades .....	18
2.	Radiación global.....	18
3.	Radiación solar en Guatemala .....	19
I.	SECADO AL SOL CONTRA DESHIDRATADORES SOLARES .....	20
J.	DESHIDRATADORES SOLARES.....	21
1.	Deshidratador tipo tienda .....	23
2.	Deshidratadores de caja.....	24
3.	Deshidratador de gabinete .....	25
4.	Deshidratador de túnel .....	25
5.	Deshidratador híbrido.....	26
K.	ENERGÍA RENOVABLE .....	27
1.	Generalidades.....	27
2.	Energía solar fotovoltaica.....	27
L.	TRANSFERENCIA DE CALOR Y FLUJO DE AIRE.....	27
1.	Transferencia de calor .....	27
2.	Flujo de aire .....	28
M.	EFICIENCIA .....	29
N.	MALLA DE ALUMINIO .....	29
V.	ANTECEDENTES.....	30
A.	SECADO DE TOMATE AL SOL EN NUBARIA, FAO .....	30
B.	SECADOR SOLAR DE GABINETE PARA MAÍZ, GUATEMALA.....	31
VI.	METODOLOGÍA.....	32
A.	CARACTERIZACIÓN DEL TOMATE .....	32
B.	CURVA DE SECADO.....	32
C.	PROCESO DE DISEÑO.....	33
1.	Investigación preliminar.....	33

2. Especificaciones de desempeño.....	33
3. Selección.....	33
4. Diseño detallado.....	34
5. Construcción y pruebas.....	34
VII. RESULTADOS.....	36
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
IX. CONCLUSIONES.....	45
X. RECOMENDACIONES.....	46
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	47
XII. ANEXOS.....	50
Anexo1. Especificaciones de equipo de control y medición.....	50
Anexo 2. Proceso caracterización tomate.....	51
Anexo 3. Resultados primera prueba de secado.....	52
Anexo4. Resultados segunda prueba de secado.....	54
Anexo5. Resultados tercera prueba de secado.....	56
Anexo 6. Resultados cuarta y quinta prueba de secado.....	57
Anexo7. Cálculo de radiación absorbida por el colector.....	58
Anexo8. Cálculo coeficiente total de pérdidas térmicas.....	66
Anexo 9. Cálculo flujo másico aire seco.....	68
Anexo10. Cálculo calor requerido calentamiento aire.....	71
Anexo11. Cálculo área colector solar.....	71
Anexo12. Eficiencias.....	71
Anexo13. Selección de materiales.....	74
Anexo 14. Temperaturas y brillo solar abril 2019, INSIVUMEH.....	76
Anexo 15. Inversión y costos de operación.....	76
Anexo 16. Variación humedad relativa en la salida de la cámara de secado.....	77
Anexo 17. Programación Arduino Uno.....	77
Anexo 18. Planos.....	82

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Taxonomía del cultivo.....	5
Ilustración 2. Requerimientos de cultivo.....	5
Ilustración 3. Principales sistemas de producción de tomate con cubiertas temporales .....	6
Ilustración 4. Volumen y monto de las exportaciones, 2012 – 2016 .....	8
Ilustración 5. Porcentaje de producción en quintales territorio nacional .....	9
Ilustración 6. Cadena comercial del tomate en Guatemala .....	10
Ilustración 7. Análisis de diferentes tipos de empaque para tomate deshidratado .....	12
Ilustración 8. Malas prácticas de transporte de tomate .....	13
Ilustración 9. Buenas prácticas de transporte de tomate .....	13
Ilustración 10. Contenido humedad en función del tiempo... ..	16
Ilustración 11. Curva de rapidez de secado.....	16
Ilustración 12. Irradiación horizontal global .....	19
Ilustración 13. Irradiación normal solar directa en Guatemala .....	20
Ilustración 14. Clasificación general deshidratadores solares .....	23
Ilustración 15. Deshidratador tipo tienda .....	24
Ilustración 16. Deshidratador de caja .....	24
Ilustración 17. Deshidratador de gabinete .....	25
Ilustración 18. Deshidratador tipo túnel .....	26
Ilustración 19. Deshidratador híbrido.....	26
Ilustración 20. Esquemas de transferencia de calor .....	28
Ilustración 21. Secador solar híbrido, Huehuetanango .....	31
Ilustración 22. Cambio de masa de muestras de tomate en el tiempo.....	36
Ilustración 23. Curva de secado estándar tomate Saladette obtenida en proceso de secado .....	37
Ilustración 24. Diagrama proceso caracterización .....	52
Ilustración 25. Distribución de temperaturas 04 de abril, primera prueba .....	53
Ilustración 26. Distribución de humedades relativas 04 de abril, primera prueba .....	53
Ilustración 27. Colocación tomate sobre bandeja .....	54
Ilustración 28. Colocación bandeja en deshidratador .....	54
Ilustración 29. Distribución de temperaturas 11 de abril, segunda prueba .....	55
Ilustración 30. Distribución de humedades relativas 11 de abril, segunda prueba.....	55
Ilustración 31. Deshidratador configuración techo con chimenea .....	56
Ilustración 32. Distribución de temperaturas 12 de abril, tercera prueba.....	56
Ilustración 33. Distribución de humedad relativa del aire 12 de abril, tercera prueba .....	57
Ilustración 34. Temperatura cámara de secado 19 de abril, cuarta prueba.....	58
Ilustración 35. Distribución irradiación total sobre superficie no vertical, 12 de abril .....	62
Ilustración 36. Distribución de radiación absorbida por colector solar, 12 de abril .....	65

## LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Especificaciones de desempeño del deshidratador .....	33
Tabla 2. Matriz de decisión selección de deshidratador .....	34
Tabla 3. Cambio total de masa por proceso de secado del tomate .....	36
Tabla 4. Ficha técnica deshidratador solar .....	38
Tabla 5. Resultados reducción de humedades .....	40
Tabla 6. Eficiencia de transferencia de calor .....	40
Tabla 7. Eficiencia de secado .....	41
Tabla 8. Materiales de construcción para el diseño propuesto del deshidratador .....	75
Tabla 9. Equipo medición .....	75
Tabla 10. Cálculo costos de operación .....	77

## RESUMEN

La pérdida del alimento en actividades post cosecha representa dos tercios de las pérdidas anuales en el sector alimenticio. Dentro de la cadena de suministro del tomate encontramos tres puntos críticos en donde ocurre la mayor pérdida del producto: Cosecha, abarcando un 7% de pérdida, operaciones de empaque y almacenamiento con un 8% y por último distribución, donde ocurre el mayor porcentaje de pérdida con un 12%.

Se diseñó, construyó y evaluó un deshidratador solar de gabinete con el fin de ofrecer una alternativa para el procesamiento del tomate. De esta manera se pretendió reducir las pérdidas post cosecha del tomate y agregar valor a la cadena de producción. Se diseñó un deshidratador de tomate que consta de dos elementos primarios: el colector solar y la cámara de secado. Se calculó un área del colector solar de  $0.95 \text{ m}^2$  y una cámara de secado con capacidad para 10 kg de tomate por lote de secado. El flujo de aire requerido se abasteció por medio de la implementación de dos ventiladores de 12 V, alimentados por un panel solar de 10 W.

El deshidratador solar tiene una eficiencia de secado de 40.57%, completando el secado de un lote de 10 kg de tomate en cuatro días, teniendo una humedad final de 11.72%. Se recomienda la implementación de un sistema auxiliar de secado o un sistema de almacenaje de calor, con el fin de disminuir tiempos de secado y garantizar un suministro de calor durante condiciones adversas.

# I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se plantea una solución para reducir la pérdida del alimento en actividades post cosecha, así como brindar una oportunidad de dar al tomate un valor agregado. Dicha pérdida representa dos tercios de las pérdidas anuales en el sector alimenticio. Dentro de la cadena de suministro del tomate encontramos tres puntos críticos en donde ocurre la mayor pérdida del producto: Cosecha, abarcando un 7% de pérdida; operaciones de empaque y almacenamiento con un 8%; y distribución, donde ocurre el mayor porcentaje de pérdida con un 12%. Al no ser adecuadamente manipulado el tomate, el producto sufre un deterioro acelerado, lo que conlleva al desecho de este.

Se evaluaron diferentes alternativas para el diseño del deshidratador. Para esto se realizó una matriz de decisión, en donde se compararon los diseños factibles de acuerdo con diferentes criterios de selección, como el tiempo de secado, costo, capacidad y facilidad de implementación. Se diseñó, construyó y evaluó un deshidratador solar de gabinete con el fin de ofrecer una alternativa para el procesamiento del tomate, el cual consta de dos elementos primarios: el colector solar y la cámara de secado. Para el proceso de diseño se elaboró la curva de secado estándar de tomate a una temperatura de 60 °C en condiciones controladas, con el fin de obtener el tiempo de residencia del producto para en el cual la deshidratación se lleva a cabo. Se obtuvo un tiempo de ocho horas. Se automatizó la obtención de datos en una hoja de Excel, con el fin de obtener la irradiación total dependiente de la posición geográfica relativa al Sol. Se hizo un balance de masa con el fin de determinar la cantidad de aire seco requerida para lograr la deshidratación de 10 kg de tomate. De acuerdo con los resultados obtenidos, se obtuvo un área del colector solar de 0.95 m<sup>2</sup>. La eficiencia de transferencia de calor de este fue de 35.82%. Se diseñó una cámara de secado con capacidad para 10 kg de tomate por lote de secado. El flujo de aire requerido se abasteció por medio de la implementación de dos ventiladores de 12 V alimentados por un panel solar de 10 W. De igual manera, con el fin de mejorar el flujo de aire a través de la cámara de secado, se instaló una chimenea de 70 cm de altura.

El deshidratador solar tiene una eficiencia de secado de 40.57%, completando el secado de un lote de 10 kg de tomate en cuatro días, teniendo una humedad final de 11.72%. Se recomienda la implementación de un sistema auxiliar de secado o un sistema de almacenaje de calor, con el fin de disminuir tiempos de secado y garantizar un suministro de calor durante condiciones adversas.

## II. OBJETIVOS

### A. GENERAL

Diseñar, construir e implementar un deshidratador solar para tomate rojo saladette, para reducir el porcentaje de humedad del producto en un rango de 10% a 15%.

### B. ESPECÍFICOS

- a. Construir la curva de secado estándar para tomate rojo saladette, realizando pruebas en condiciones controladas de temperatura, humedad y flujo de aire.
- b. Diseñar la cámara de secado para que la temperatura del aire a utilizar se encuentre entre  $50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}^1$  y donde se tenga un flujo de aire, para obtener un proceso adecuado de deshidratación, en el cual las características de calidad del producto (color, sabor, propiedades nutricionales) no se pierdan.
- c. Diseñar un deshidratador de tomate usando energía solar para reducir la humedad del tomate a un porcentaje final entre 10% - 15%<sup>2</sup> que posea un mecanismo para regular la entrada de aire, con el fin de controlar la temperatura y flujo de aire que ingresa al deshidratador.
- d. Determinar el factor de eficiencia del colector solar y la eficiencia del proceso de secado.
- e. Evaluar inversión y los costos de operación, para proponer mejoras en diseño y lograr una mejor eficiencia de operación.

---

<sup>1</sup> Rango de temperaturas de secado apropiado para la conservación de las propiedades del producto

<sup>2</sup> Rango de humedad aceptado por la FAO para garantizar un almacenamiento adecuado

### III. JUSTIFICACIÓN

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo en Guatemala, representando su cultivo un total de US\$ 63,642,697.80 de ingresos para el país, abarcando un 1.37% del PIB agrícola (MAGA, 2010). Según datos del informe “El agro en cifras 2016” presentado por la dirección de planeamiento del MAGA, durante el 2016 la producción de tomate a nivel nacional se ubicó en 6,935,700 millones de quintales en una superficie de 11,700 manzanas (DIPLAN MAGA, 2016). Siendo el tomate saladette, más comúnmente conocido como tomate de cocina, el más cultivado.

Una gran problemática relacionada con la industria alimenticia de Guatemala radica en los altos índices de desperdicio de comida, habiendo en Guatemala un desecho de 52,000 toneladas métricas de alimento según reporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2013). Dos tercios de este ocurre durante la producción, manejo y procesado del alimento. El tercio restante se produce durante el consumo del alimento. Los principales daños que sufre el tomate se deben a plagas, enfermedades y manipulación del producto (DIPLAN MAGA, 2017). En época de cosecha alta, el cultivo de tomate no es rentable para el agricultor debido a que el precio de venta no tiene el retorno de inversión suficiente para cubrir el costo de la cosecha. De igual manera, el tomate fresco tiene un corto tiempo de caducidad después de cosecha. Debido a estos factores el tomate es utilizado para consumo interno o es desechado.

El tomate posee un porcentaje de humedad del 94%. La deshidratación a un porcentaje de humedad entre el 10% - 16% de este, aporta múltiples beneficios al producto. Dentro de estos se encuentra la eliminación de bacterias y hongos, y una mejor conservación del producto por un periodo más prolongado (Brennand, 1994). Si las condiciones son las adecuadas, el producto puede ser almacenado hasta por dos años (FAO, 2018). Así mismo, debido a la reducción de masa y volumen que conlleva la deshidratación, los costos de transporte y almacenaje se reducen, lo que aumenta en forma significativa el beneficio económico obtenido.

Puesto que el deshidratador está dirigido a productores de tomate a pequeña escala, se utilizó la energía térmica proveniente del sol para el calentamiento del aire utilizado en el proceso de deshidratación. Esto debido a que el utilizar energía solar disminuye los costos de operación notablemente, y a su vez, no se producen gases de efecto invernadero u otras emisiones dañinas.

Por lo anterior, se propuso evaluar la alternativa de procesar el tomate para obtener un producto deshidratado como un método efectivo para reducir las pérdidas y desecho innecesario del tomate. También se pretendía crear una nueva cadena de valor para el agricultor que le permita entrar en un nuevo nicho de mercado (tomate deshidratado, tomate en polvo). Según datos del Banco de Guatemala, durante el presente año 2019, el concentrado de tomate (tomate en polvo), el cual se encuentra bajo la partida arancelaria

2002901000, representa US\$ 5,520.00 de ingresos mensuales por exportaciones para el país. De igual manera se ha importado US\$ 503,396.00 mensuales. Esto nos indica que sí existe una demanda dentro del país para la compra de este producto.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. GENERALIDADES DEL TOMATE

#### 1. Origen

El tomate es un fruto de la especie *Solanum lycopersicum*, pertenece a la familia de las solanáceas. Su origen como planta cultivada se ubica en México, en donde el cultivo del mismo existía desde antes de la colonización española. Sin embargo, la especie botánica de donde la especie *Solanum lycopersicum* surgió, tiene su origen en la región andina desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile (Monardes, 2009).

#### 2. Taxonomía del cultivo

Ilustración 1. Taxonomía del cultivo

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>lycopersicum</i>

(SINAVIMO, 2019)

#### 3. Requerimientos de cultivo

Ilustración 2. Requerimientos de cultivo

CONDICIONES	AREAS FAVORABLES
<b>a). Climáticas</b>	
Temperaturas medias anuales	15-25 °C
Precipitaciones anuales	800 a 2,000 mm
<b>b). Topográficas</b>	
Altitud sobre el nivel del mar	De 400 a 1,700 msnm
Pendientes del terreno	Menores al 32%
<b>c). Edáficas</b>	
Drenaje	Buen drenaje
Profundidad efectiva	Moderada
pH	5.5 a 7

(DIPLAN MAGA, 2017)

#### 4. Sistemas de producción

En Guatemala, el tomate se cultiva en diversas condiciones dependiendo de la región en donde se realice la actividad. Sin embargo, se pueden agrupar los diversos sistemas de producción en dos: Cubierta temporal malla e invernadero tecnificado. En el primer sistema, se adquieren los pilones (postes de madera) que servirán como base para la estructura y sobre esto se establece una infraestructura de malla. Dentro de la estructura construida se realiza la siembra del tomate. En el segundo sistema, todo el ciclo es bajo condiciones de invernadero tecnificado. Esto implica que las condiciones, tales como la humedad relativa y temperatura, son constantemente monitoreadas y se mantienen bajo control, con el fin de favorecer el desarrollo del cultivo. (Dirección de Sanidad Vegetal, VISAR, 2015)

*Ilustración 3. Principales sistemas de producción de tomate con cubiertas temporales*



(Dirección de Sanidad Vegetal, VISAR, 2015)

## B. IMPLICACIONES EN LA NUTRICIÓN Y SALUD

El tomate es uno de los 26 productos que integran la canasta básica alimentaria. En Guatemala, el tomate juega un papel muy importante en la alimentación; es un producto básico en los hogares, una encuesta agroalimentaria del INCAP reveló que el tomate está presente en un 95% de los hogares, incluso más que el maíz (80%). En promedio un hogar consume media libra de tomate diaria (Gamarro, 2017).

El tomate está compuesto principalmente por agua y su macronutriente mayoritario son los hidratos de carbono. Entre las vitaminas que aporta el consumo de este producto, encontramos un aporte significativo de vitamina A y vitamina C. Una ración de tomate cubre el 61% de la ingesta recomendada de vitamina C (Fundación Española de la Nutrición, 2013). De igual manera, el tomate posee un alto contenido de licopeno, el cual es un antioxidante que da al tomate su color rojo. Según estudios, en el humano la ingesta de licopeno tiene efectos beneficiosos en la salud, como por ejemplo la prevención de distintos tipos de cáncer y evitar la formación de colesterol malo en la sangre. De igual manera, el tomate es una fuente de potasio, niacina, vitamina B6 y folato. En conjunto, estos componentes disminuyen la presión alta y el riesgo a ataques al corazón (North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services).

## C. CULTIVO DE TOMATE EN GUATEMALA

La importancia del cultivo de tomate a nivel mundial radica en su alto aporte a la generación de empleo, en cada una de las diferentes etapas de la cadena agroalimentaria. Su demanda aumenta continuamente, en conjunto con su cultivo, producción y comercio. Está considerada como la hortaliza más importante del mundo, dada la variedad de usos y su generalizado consumo, así como su alto valor económico (AKIANTO, 2009). El incremento del cultivo y producción de tomate se debe en gran parte al aumento en el rendimiento (tonelada de producto por hectárea). En Guatemala, según datos de DIPLAN, en el año 2011 el rendimiento tuvo un valor de 34.6 t/ha (rendimiento promedio del maíz, 1.77 t/ha).

El cultivo de tomate en Guatemala es una actividad de importancia alta, debido a la trascendencia social y económica que gira en torno a esta tarea, ya que una parte considerable de la población económicamente activa se encuentra involucrada directa o indirectamente con el cultivo de tomate, en las diversas etapas de la cadena agroalimentaria. Según datos del BANGUAT, en una hectárea de tomate se generan 600 jornales al año en dos cosechas. Durante el año 2010 la cosecha de tomate generó un total de 5,293,080 jornales de empleo directo en el campo, equivalente a 19,604 empleos permanentes. De igual manera, el cultivo de tomate genera un importante ingreso a la economía guatemalteca. Este representa US\$ 63,642,697.80 de ingresos para el país, abarcando un 1.37% del PIB agrícola y un 0.15% con respecto al PIB nacional (MAGA, 2010).

La comercialización del tomate tiene diversos destinos para el mercado local y para la exportación. Durante el año 2011, se contabilizó una producción de tomate de 305,426.8 t, siendo un 15% destinado a exportación (DIPLAN MAGA, 2011), siendo El Salvador el principal mercado del tomate guatemalteco, representando un 80% de las exportaciones.

Ilustración 4. Volumen y monto de las exportaciones, 2012 – 2016

Año	2012	2013	2014	2015	2016
TM	63,052.16	72,939.76	66,426.81	65,807.87	52,387.62
US\$	18,475,001.00	24,905,389.00	21,523,390.00	16,142,980.00	15,000,226.00

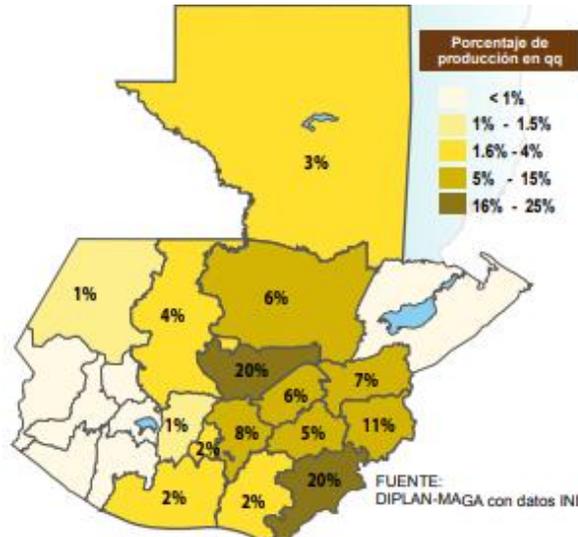


(DIPLAN MAGA, 2011)

La producción de tomate en Guatemala se encuentra distribuida en todo el territorio del país. Sin embargo, el 72.1% de la superficie de cosecha se encuentra concentrada en siete departamentos: Jutiapa 20.2%, Baja Verapaz 20%, Chiquimula 11%, Guatemala 8%, Zacapa 7%, Alta Verapaz 6.5%, El Progreso 6.1% y Jalapa 6%.

De esta manera, la producción en quintales por departamento se encuentra distribuida de la siguiente forma: Jutiapa 20%, Baja Verapaz 20%, Chiquimula 11%, Guatemala 8%, Zacapa 7%, El Progreso 6%, Alta Verapaz 6%, Jalapa 5% y los demás departamentos conforman el 17% restante de la producción nacional de tomate. (DIPLAN MAGA, 2016)

Ilustración 5. Porcentaje de producción en quintales territorio nacional



(DIPLAN MAGA, 2016)

## D. PROBLEMÁTICA ASOCIADA CON EL CULTIVO DEL TOMATE

Los factores que afectan el cultivo del tomate se ven englobados en tres grandes grupos: Plagas, enfermedades y manipulación. A nivel mundial, se han identificado más de 200 enfermedades que atacan la planta del tomate. Estas enfermedades se agrupan de acuerdo con el agente que las causa; así se tienen las causadas por hongos, por bacterias, por nemátodos, por virus y por fitoplasmas.

Un estudio publicado por la FAO (Food and Agriculture of the United Nations) revela las principales causas de las pérdidas en la cadena de suministro del tomate en Trinidad y Tobago. La cadena de suministro está conformada por tres grandes áreas: proveedores, producción y distribución. Dentro de la cadena de suministro del tomate encontramos tres puntos críticos en donde ocurre la mayor pérdida del producto: Cosecha, abarcando un 7% de pérdida, operaciones de empaque y almacenamiento con un 8% y por último distribución, donde ocurre el mayor porcentaje de pérdida con un 12%. (FAO., 2018)

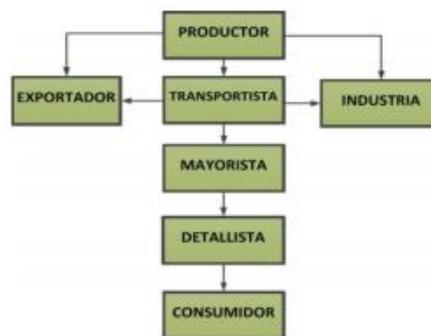
Como primer punto se tiene la pérdida durante la cosecha debida al método utilizado por agricultores para esta actividad, el cual consiste en seleccionar los tomates que se encuentran dentro de los parámetros requeridos de madurez y cortarlos del tallo de la planta con la mano. Esto resulta en un debilitamiento del tomate, lo que conlleva a un deterioro acelerado del producto.

El segundo punto de pérdida ocurre en el proceso de empaque y almacenamiento. En esta etapa, el producto es almacenado, distribuido y clasificado según su grado de maduración. Lesiones que el tomate haya sufrido,

como golpes, imperfecciones, desgarramientos, punzadas, se hacen visibles en esta etapa. De igual manera, un almacenaje bajo condiciones inadecuadas, como humedad y temperatura altas, resulta en un deterioro del producto.

Por último, se tiene la etapa de distribución. Este eslabón de la cadena de suministro es el responsable de la mayor pérdida del producto. En esta etapa, todo el daño que el tomate haya sufrido en etapas anteriores se hace visible. El mal manejo del producto, ocasionado por las malas condiciones en los centros mayoristas, en donde el producto no es adecuadamente almacenado, ni manipulado, conlleva a mayores pérdidas. De igual manera, durante el transporte, el producto no se maneja apropiadamente, dado que en la mayoría de las ocasiones este se ve expuesto al sol, lo que propicia su deterioro, y disminuye la calidad del producto final. Debido a esto, al no cumplir con los estándares de calidad, el producto debe ser desechado.

*Ilustración 6. Cadena comercial del tomate en Guatemala*



(DIPLAN MAGA, 2017)

## E. ACTIVIDADES POSTCOSECHA

### 1. Parámetros de calidad y nutrición vegetal

Según información obtenida de la empresa Yara, la calidad de tomate se basa en un número de parámetros que definen los criterios de calidad del producto. Los estándares de calidad difieren dependiendo del tipo de tomate, dónde se cultiva y el mercado al cual está dirigido. Dentro de los criterios de calidad encontramos: aspecto físico, color, firmeza y su vida de almacén. La calidad del tomate está fuertemente ligada con la nutrición vegetal del producto.

El aspecto físico del tomate es uno de los parámetros más importantes en la comercialización del tomate. El tomate para el consumo fresco debe tener un aspecto uniforme en cuanto a simetría y tamaño. Si el tomate

es procesado, se tienen distintos parámetros de calidad dependiendo del país. El magnesio es de suma importancia en la nutrición del tomate, para que el producto final esté bien formado.

En cuanto al color del producto, es ideal que se obtenga un producto brillante y con color uniforme, sin parches o puntos verdes inmaduros. El carotenoide licopeno es el responsable de la coloración roja del tomate. El color del tomate es medido a través de distintos instrumentos y pruebas, como por ejemplo la espectrofotometría y colorimetría. El magnesio y el potasio tienen un papel importante en la coloración y maduración del tomate. Niveles bajos de potasio provocan una síntesis reducida de licopeno, lo que conlleva a una pobre coloración. Por otro lado, el magnesio promueve una maduración uniforme del fruto.

La firmeza del tomate es un criterio de suma importancia que influye en la calidad del producto. La firmeza del tomate disminuye conforme el tiempo de maduración. La firmeza del tomate se determina mediante la utilización de una prensa cizalla. Dependiendo del procesamiento final del tomate, ciertos estándares de calidad son requeridos. Por ejemplo, los tomates destinados a conservas deben tener paredes gruesas y firmes. El nitrógeno, el calcio y el boro tienen efectos positivos en la firmeza y vida útil del tomate. Niveles óptimos de nitrógeno y calcio garantizan una buena estructura del tomate, teniendo como resultado un producto de mayor firmeza. El boro es esencial para reducir el riesgo de grietas o daños en la piel del tomate. Es de suma importancia prevenir la formación de grietas, ya que provocan pérdidas de agua y favorecen el ataque de agentes patógenos.

## 2. Procesamiento y almacenaje

Procesar tomate es una alternativa para extender la disponibilidad y vida de anaquel. El procesamiento de tomate incluye producto mínimamente procesado, tomate pelado y enlatado, jugos, purés, salsas y pastas. El tomate puede ser procesado de diferentes formas.

El producto mínimamente procesado, es el producto fresco sometido a pocas operaciones o procesos que aumentan su valor comercial y facilitan su consumo. Las operaciones que se suelen realizar en un producto mínimamente procesado son selección, lavado y empaque. Los productos frescos mínimamente procesados se presentan listos para consumir.

Otra presentación consiste en tomate enteros con mayor valor agregado. Este procesamiento del producto incluye operaciones de lavado, desinfección y empaque apto para el consumo final del consumidor. Con el fin de mantener los parámetros de calidad del producto, se desecha el tomate en mal estado, ya sea por daños físicos en la estructura de este, aspecto no uniforme o enfermedades.

Un tipo de procesamiento que ha aumentado en las últimas décadas es el tomate deshidratado. Se pueden elaborar varios productos deshidratados utilizando tomate, como por ejemplo pastas, trozos de tomate deshidratado, salsas y conservas. (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica)

El fruto de tomate se comercializa en cajas de madera, las cuales tienen un peso promedio que oscila entre 50 a 54 libras, cuando el tomate es maquinado a granel, para el mercado guatemalteco. Pero cuando lo compran comerciantes salvadoreñas, las mismas cajas de madera llegan a alcanzar pesos que oscilan entre 75 a 85 libras (MAGA & USAID, 1993). Según estudio presentado por la FAO, las cajas de plástico es el mejor método de almacenaje, ya que proveen protección contra el daño por compresión. Así mismo, su uso resulta conveniente ya que facilitan el almacenaje, son reusables y la limpieza de estas se realiza con mayor facilidad, a comparación de las cajas de madera en donde se corre el riesgo de deterioro del material. Bolsas de plástico y sacos no son apropiados para el almacenaje del tomate, debido a que propician el deterioro del producto debido a daños en la estructura (FAO, 2018).

Al finalizar el secado del producto, se toman muestras de este con el fin de evaluar el cumplimiento de los parámetros de calidad e inocuidad. Estos de acuerdo a las necesidades de comercialización, almacenamiento o consumo propio. Tras las inspecciones necesarias, el tomate deshidratado debe ser empaquetado inmediatamente en empaques sellados herméticamente, con el fin de evitar la rehidratación del producto seco por la humedad presente en el ambiente. A su vez, una vez empacado el tomate, se recomienda el almacenamiento del producto en una bodega o lugar seco, en donde el producto no sea expuesto directamente al Sol.

Un estudio publicado en la revista *International Journal of Agricultural Technology*, publicó un estudio sobre la producción del tomate en polvo y la aceptabilidad del producto. Como parte del estudio, se analizaron distintos materiales para el empaquetado del producto en un periodo de tiempo de 6 meses, analizando en intervalos de dos meses las propiedades del producto. Finalizado el periodo de evaluación, se concluye que el mejor empaque para el producto deshidratado es el de triple aluminio laminado, utilizado en envases PET (K.G.L.R. Jayathunge, 2012).

*Ilustración 7. Análisis de diferentes tipos de empaque para tomate deshidratado*

Packaging material	Storage period (Months)	Quality parameter		
		Moisture	Water activity	Rehydration ratio
	Initial	7.4	0.61	6.3
Polypropylene (PP)	Two	7.5	0.61	6.3
	Four	7.9	0.62	5.3
	Six	12.3	0.65	2.2
Polystyrene (PS)	Two	8.0	0.63	5.3
	Four	9.8	0.69	2.3
	Six	16.5	0.71	2.2
Polyvinyl chloride (PVC)	Two	12.0	0.69	5.2
	Four	15.6	0.75	3.5
	Six	22.0	0.77	2.9
Triple laminated aluminium (PET/Al/PE)	Two	7.4	0.61	6.3
	Four	7.4	0.61	6.3
	Six	7.4	0.61	6.3

(K.G.L.R. Jayathunge, 2012)

### 3. Transporte

El principal objetivo del transporte es asegurar que el tomate arribe en su mejor estado, procurando que sus características de calidad se conserven. El tomate pasa por tres etapas de transporte: del área de cultivo al centro de distribución, del centro de distribución a los centros de mayoreo y de los centros de mayoreo al mercado minorista, en donde el tomate es adquirido por el consumidor (FAO, 2018).

*Ilustración 8. Malas prácticas de transporte de tomate*



(FAO, 2018)

*Ilustración 9. Buenas prácticas de transporte de tomate*



(FAO, 2018)

## F. DESECACIÓN DE ALIMENTOS

### 1. Generalidades

El secado de alimentos es uno de los métodos más antiguos para la preservación de alimentos. Los intentos de desecación artificial con aire caliente datan a finales del siglo dieciocho. El término deshidratación de alimentos indica la desecación artificial bajo condiciones controladas. Esto implica la eliminación casi

completa de agua de los alimentos que puede o no causar cambios en las propiedades de los alimentos (Hotchkiss, 1995). Al llevar a cabo esta operación, la actividad de agua presente en el alimento se reduce. Esto conlleva una disminución en la actividad de agua. Esta se define como la humedad relativa en equilibrio del producto, y representa el agua libre dentro del producto. Esta se mide en un rango de 0.2 a 0.99, mientras menor sea el parámetro, menor cantidad de agua libre disponible tendrá el producto. Consecuentemente, el desarrollo microbiano y decaen las tasas de otras reacciones responsables del deterioro del producto.

## 2. Importancia

El principal objetivo de la deshidratación es la conservación del alimento con el fin de reducir las pérdidas postcosecha. Se estima que las pérdidas anuales de frutas y vegetales representan el 35% - 40% de la producción total (Carl W. Hall, 1980). El control de la humedad, principalmente por medio de la operación de secado, permite reducir las pérdidas que ocurren durante la cosecha, procesamiento y almacenaje.

La conservación del alimento es la principal causa por la cual se realiza este proceso, sin embargo, no es la única (Hotchkiss, 1995). Los alimentos pueden deshidratarse para disminuir la masa, mejorando la eficiencia en el transporte, ya que se puede movilizar una mayor cantidad de producto utilizando una menor cantidad de recursos. De igual manera, se logra un almacenaje más efectivo, debido a que los requerimientos de espacio disminuyen y la vida de anaquel aumenta.

El alimento deshidratado permite obtener un producto que puede resultar en ser más conveniente para el consumo del cliente, tal es el caso de la leche en polvo, café, puré de papa o extractos secos de frutas que al ser rehidratados se obtiene jugo. Desde el punto de vista del productor, la operación de deshidratado posibilita la obtención de un producto diferente que permite ingresar a un nuevo mercado.

## 3. Tipos de desecación

### a. Liofilización

La liofilización es un método para remover agua de fluidos o de sólidos, en donde el producto es congelado. Para el secado de líquidos congelados, una porción del líquido congelado es centrifugado para remover los cristales de hielo, o el producto es lentamente calentado con el fin de causar la fusión de los cristales de hielo y el agua resultante es removida por drenaje. En el caso de sólidos congelados, el agua es removida al someter los cristales de hielo al vacío, provocando de esta manera la sublimación de estos (Carl W. Hall, 1980).

#### b.Descomposición del agua por medios químicos

El agua es removida del sólido por reacciones químicas, por ejemplo, la reacción del carburo de calcio o el hidruro de calcio. El carburo de calcio reacciona con el agua creando acetileno e hidróxido de calcio (Carl W. Hall, 1980).

#### c.Adsorción

Usualmente, el agua es removido de un gas por medio del mecanismo de adsorción al ser fijado en un sólido, usualmente se utiliza un material poroso. La sustancia adsorbida se mantiene sobre la superficie del material de sorción, formando una capa de líquido o gas. Alúmina y gel de sílice son utilizados para secar aire por adsorción (Carl W. Hall, 1980).

#### d.Absorción

Agua o vapor de agua puede ser removida de sólidos o gases por el fenómeno de capilaridad de materiales porosos. El agua, la cual se puede encontrar en estado líquido o gaseoso, pasa a través de la superficie del absorbente y es distribuida sobre este. Como ejemplo, la acción de absorción del cloruro de calcio sobre el agua es similar a la absorción del agua por una esponja (Carl W. Hall, 1980).

#### e.Separación mecánica

La humedad puede ser removida de un material mediante la aplicación de fuerzas centrífugas o gravedad. La fuerza centrífuga es utilizada para remover agua de textiles, lana y remolacha (Carl W. Hall, 1980).

#### f. Vaporización

La vaporización es el método más importante de secado en los cultivos. Calor es suministrado al producto húmedo con el fin de vaporizar el agua presente. La cantidad de calor requerido depende de la temperatura y presión a las cuales el proceso se lleve a cabo. El calor es tomado del aire a temperatura ambiente en el caso de secado natural. De igual manera, la vaporización puede ocurrir bajo condiciones controladas en deshidratadores industriales (Carl W. Hall, 1980).

#### g.Disecantes químicos

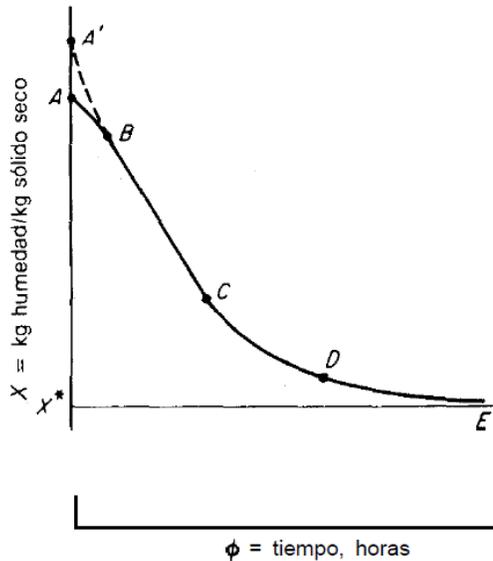
Disecantes químicos para los cultivos puede ser utilizado para que el producto reduzca su tiempo de maduración (Carl W. Hall, 1980).

#### 4. Curva de secado

Con el fin de fijar horarios de secado y determinar las dimensiones del equipo es necesario conocer el tiempo que se requerirá para secar una sustancia a partir de su contenido de humedad bajo condiciones específicas. La rapidez de secado puede determinarse sometiendo una muestra del producto a una corriente de aire a cierta velocidad y temperatura establecidas. El peso de la muestra secada puede medirse en función del tiempo, para luego graficar los datos obtenidos (Treybal, 1988).

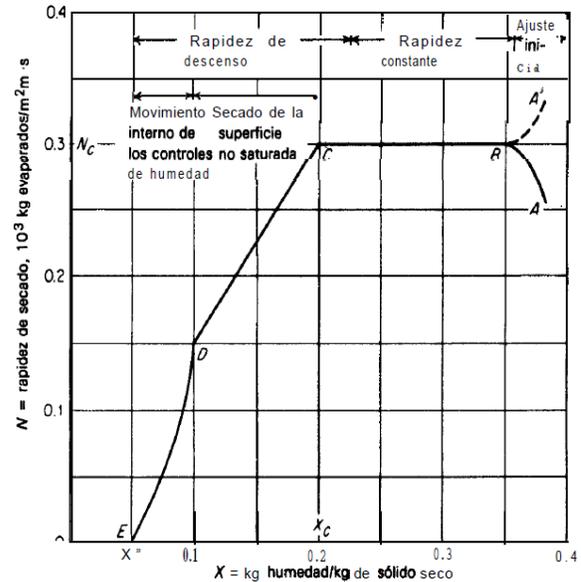
La curva de rapidez de secado se obtiene al graficar los cambios de la pendiente de la curva de contenido de humedad en función del tiempo. Hay dos partes principales en esta curva, un periodo de rapidez constante y uno de rapidez decreciente (Treybal, 1988).

Ilustración 10. Contenido humedad en función del tiempo



(Treybal, 1988)

Ilustración 11. Curva de rapidez de secado



## G. SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN

Un sistema de deshidratación, comúnmente conocido como deshidratador, realiza la operación de remover la humedad intrínseca del alimento. Los sistemas de deshidratación de alimentos de mayor eficiencia son los que logran mantener los gradientes de temperatura y presión de vapor entre el aire y el interior del producto. Estas condiciones, junto con coeficientes de convección altos sobre la superficie del producto, pueden ser logradas por diversos sistemas de deshidratación (Singh R. P., 2009).

## 1. Deshidratador de bandejas o gabinete

Este tipo de sistema de secado utiliza bandejas u otro tipo de sujetadores para permitir la exposición del producto al aire caliente en un espacio confinado. Al exponer las bandejas cargadas con el producto al aire calentado, se lleva a cabo el proceso de deshidratación. El flujo del aire sobre el producto debe ser continuo, con el fin de asegurar un eficiente intercambio de calor y masa entre aire y el producto.

Este sistema se puede modificar al crear un vacío en la cámara de secado. Esta modificación se realiza con el fin de disminuir y mantener la menor presión de vapor posible alrededor del producto. Esta reducción de presión conlleva a una disminución de temperatura a la cual ocurre la evaporación de la humedad del producto.

El secado mediante la utilización de este tipo de deshidratador es comúnmente realizado por lotes. Presenta la desventaja de secado no uniforme en distintas ubicaciones dentro de la cámara de secado, debido a esto se debe rotar el producto (Singh R. P., 2009)

## 2. Deshidratadores de túnel

En este tipo de deshidratadores el aire caliente ingresa por un extremo del túnel y se mueve a una velocidad preestablecida en el interior. El aire fluye a través de bandejas cargadas de producto, las cuales, dependiendo de la sensibilidad del producto, se mueven en dirección contraria o en la misma dirección del flujo de aire a una durante un tiempo que garantice un periodo de exposición adecuado para el producto. Al realizar esto, el proceso de deshidratación se lleva a cabo (Singh R. P., 2009).

## 3. “Puff drying”

Este proceso relativamente nuevo, consiste en exponer una pequeña cantidad de producto a altas presiones y temperaturas en un corto periodo de tiempo. Una vez concluido este lapso, el producto es expuesto a presión atmosférica, lo que conlleva a una rápida evaporación en forma de explosión. Este proceso es realizable sobre alimentos cuya estructura sea porosa (Singh R. P., 2009).

## 4. Deshidratador de lecho fluidizado

En este sistema, pequeños pedazos del producto son suspendidos sobre aire caliente durante el tiempo requerido para el secado. El movimiento del producto a través del sistema se debe a la diferencia de masa entre las diferentes partículas al ocurrir la evaporización. El movimiento del producto por partículas fluidizadas resulta en un secado uniforme del producto. Una clara desventaja que este método presenta es la limitación del tamaño de partículas que permiten un secado eficiente. (Singh R. P., 2009).

## 5. Deshidratador de spray (spray drying)

Este tipo de secado se utiliza para alimentos líquidos. La remoción de humedad ocurre cuando el líquido es atomizado dentro de una cámara de secado con aire caliente. Mientras las gotas de alimento líquido se mueven junto con el aire seco, el agua es evaporada y sale del sistema a través del aire saliente. Después de esto, el producto es separado del aire a través de una centrifugadora (Singh R. P., 2009).

## 6. Liofilización

El proceso de liofilización consiste en reducir la temperatura del producto hasta que la mayor parte de humedad se encuentre en una fase sólida. Una vez descendida la temperatura, el producto es sometido a presiones bajas con lo que se logra la sublimación del hielo (Singh R. P., 2009).

# H. RADIACIÓN SOLAR

## 1. Generalidades

La radiación como mecanismo de transferencia de calor se caracteriza porque no requiere la presencia de un medio material para llevarse a efecto. El fundamento teórico de la radiación fue establecido en 1864 por el físico James Clerck Maxwell, quién postuló que las corrientes eléctricas cambiantes dan lugar a campos eléctricos y magnéticos. Estos campos reciben el nombre de ondas electromagnéticas o radiación electromagnética. Aun cuando todas las ondas electromagnéticas tienen las mismas características, las ondas de distinta longitud difieren en su comportamiento (Cengel, 2011).

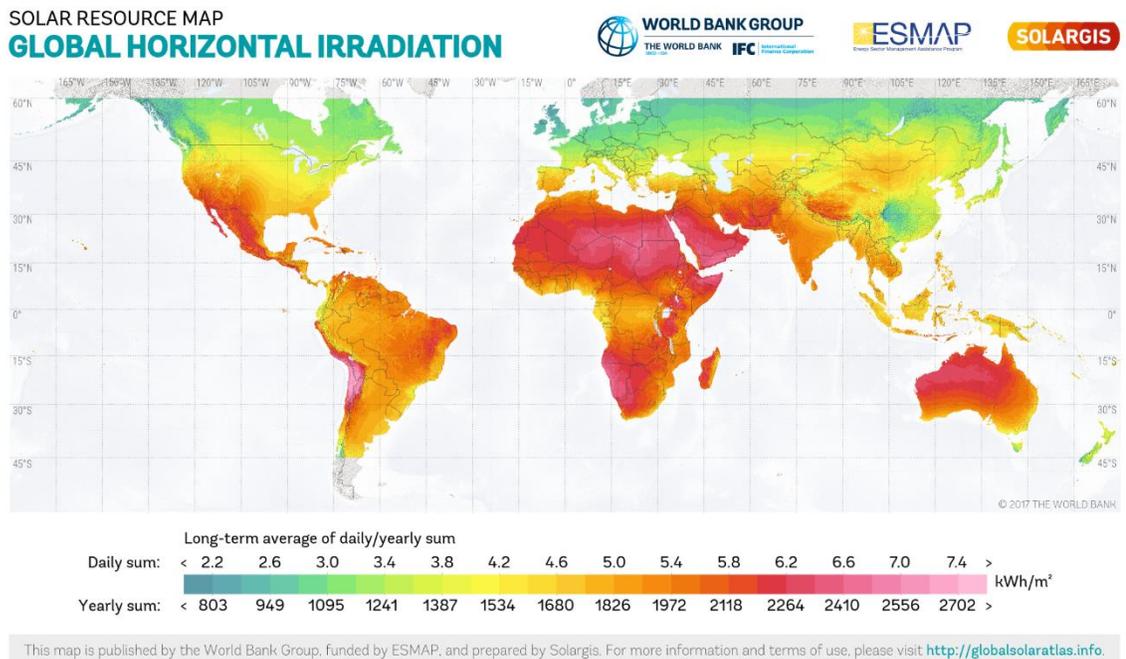
Un cuerpo que emite alguna radiación en el rango visible recibe el nombre de fuente luminosa. El Sol es la principal fuente luminosa dentro de nuestro sistema solar. La radiación electromagnética producida por el Sol se denomina radiación. Esta radiación, la cual percibimos como luz y calor, es el resultado de reacciones nucleares de fusión que ocurren constantemente en el Sol.

## 2. Radiación global

La duración de la luz solar depende de la época del año, las condiciones climáticas y de la ubicación geográfica. De esta manera, en regiones cercanas al ecuador se registran valores de radiación global en una superficie horizontal de hasta  $2,200 \text{ kWh/m}^2$ . Mientras que, en otras regiones más lejanas al ecuador, como el norte de Europa, los valores son cercanos a  $1,100 \text{ kWh/m}^2$ .

La radiación global está compuesta por radiación directa y difusa. La radiación directa es la que proviene de la dirección del sol, mientras que la difusa es la componente de radiación resultante después de la dispersión en varias direcciones por parte de la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera. Entre más alta sea la fracción de radiación difusa, menor será el contenido de energía de la radiación global.

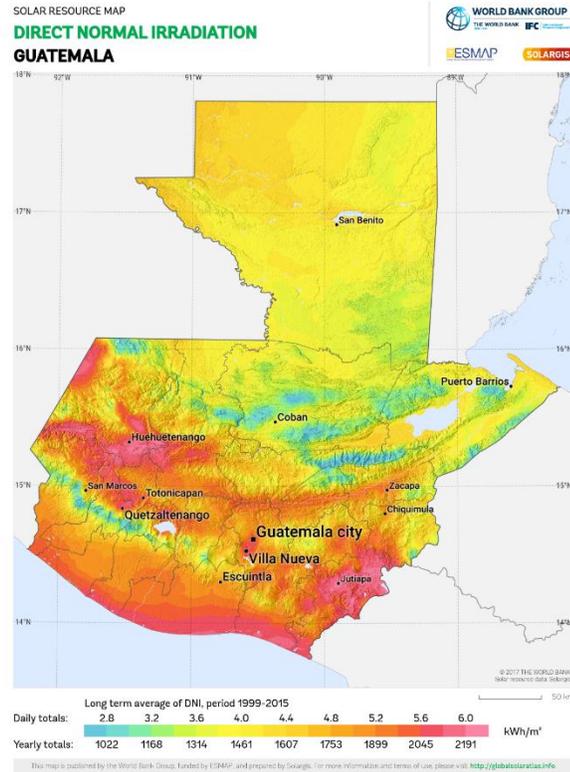
Ilustración 12. Irradiación horizontal global



### 3. Radiación solar en Guatemala

En Guatemala, los departamentos que presentan un mayor índice de radiación a lo largo del año son Zacapa, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Chiquimula, Huehuetenango y San Marcos.

Ilustración 13. Irradiación normal solar directa en Guatemala



## I. SECADO AL SOL CONTRA DESHIDRATADORES SOLARES

El secado de alimentos por medio de la exposición directa al Sol representa uno de los métodos más antiguos y tradicionales utilizados para la preservación de alimentos. Este método consiste en dispersar el producto que se desea secar directamente sobre el suelo o sobre alguna superficie. La deshidratación del alimento se lleva a cabo por la exposición directa al Sol y al aire circulante a temperatura ambiente. Calor es transferido al producto por medio de convección y por radiación solar directa y difusa.

El secado o deshidratado de un producto por medio de deshidratadores solares es un posible reemplazo del secado al Sol. Uno de los principales obstáculos al que se enfrenta el secado por medio de deshidratadores solares es que el secado al Sol es un método tradicional, que se encuentra altamente fomentado en los posibles usuarios de un deshidratador solar, a pesar de que el secado al Sol posee una eficiencia muy baja. El secado al sol presenta problemas como variabilidad en los tiempos de secado, problemas con el producto derivados

por la contaminación, daño por lluvias o insectos, etc. A pesar de que el secado de productos usando deshidratadores solares soluciona la mayoría de los problemas relacionados con el secado al Sol, algunas de las razones por las cuales no se ha tenido éxito en la implementación de los deshidratadores se listan a continuación:

- Los deshidratadores solares resultan costosos, ya que se necesita una alta inversión inicial.
- Los deshidratadores solares han sido complicados de implementar; no se ha dado la capacitación adecuada a los usuarios.
- Con el fin de hacer más asequible el deshidratador solar, muchas veces estos se diseñan para un tiempo de vida corto.
- No existe un incentivo verdadero que justifique la inversión en un deshidratador solar por parte de los agricultores. El consumidor está dispuesto a pagar un precio menor por un producto que presenta algún daño o presenta decoloración. En consecuencia, el productor no tiene un verdadero incentivo en invertir una mayor cantidad de dinero en un deshidratador con el fin de entregar un producto de mayor calidad.

Al comparar el deshidratado usando un equipo diseñado para el efecto, contra el secado convencional con exposición directa al Sol, se encuentran los siguientes puntos a favor y en contra:

- Los deshidratadores solares deben tener mejores especificaciones de desempeño en cuanto a términos de capacidad de secado, calidad del producto, el costo total del secado y trabajo requerido.
- El movimiento del aire, su mayor temperatura y menor humedad conllevan a un aumento en la velocidad de secado.
- Debido a que el producto se encuentra contenido en un espacio cerrado, se evita la contaminación por polvo, insectos, pájaros y otros animales. De igual manera, el producto no sufre daño por exposición directa al Sol.
- El producto no debe ser movido en caso de lluvia, debido a que el deshidratador es a prueba de agua.
- Debido al aumento de la velocidad de secado, el peligro de deterioro por microorganismos se reduce.
- Se debe analizar la viabilidad de la implementación de un sistema auxiliar de secado, con el fin de asegurar el secado en momentos críticos cuando se tiene mal clima.

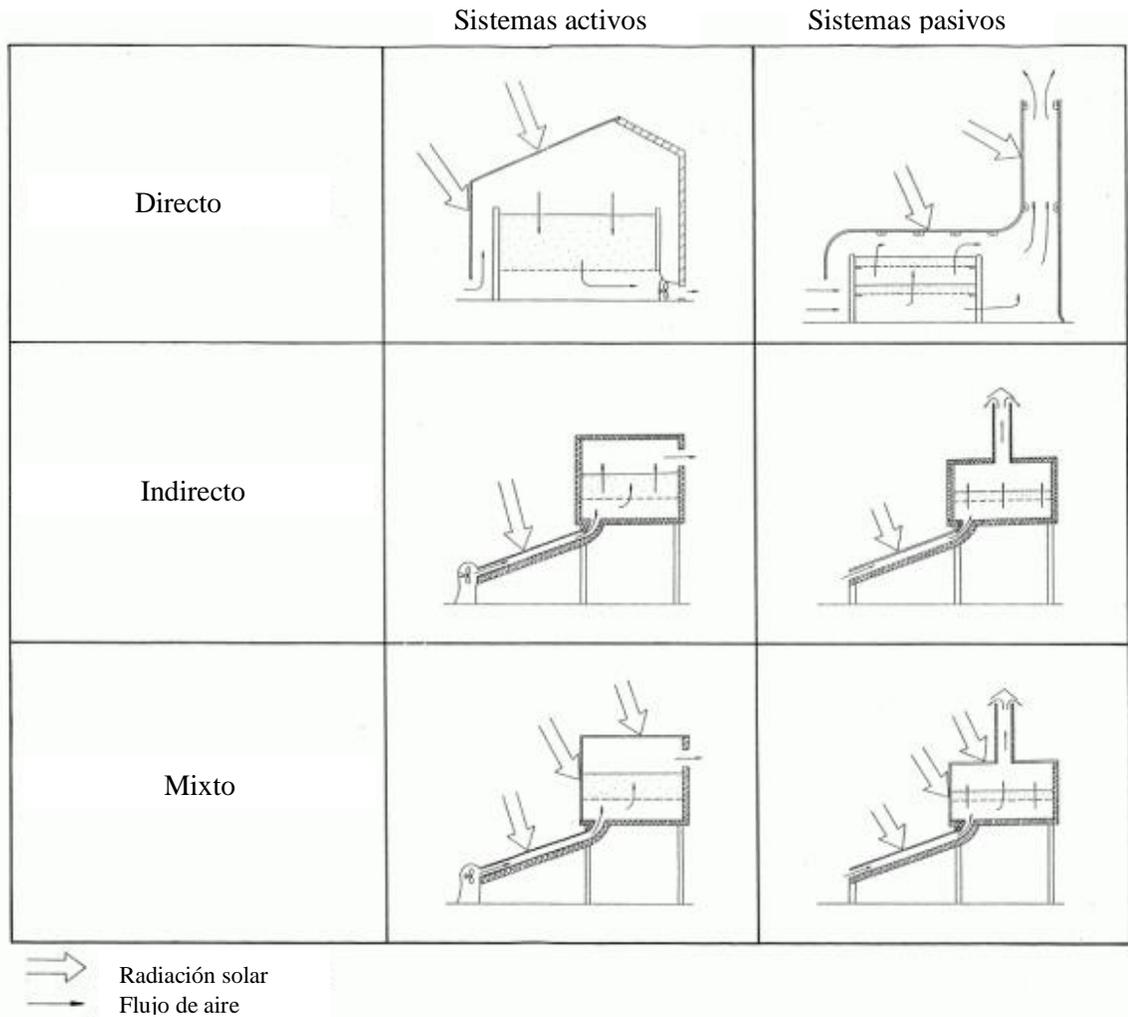
## J. DESHIDRATADORES SOLARES

Los sistemas de secado se pueden clasificar acorde a su temperatura de secado en dos grupos principales: deshidratadores de alta temperatura y deshidratadores de baja temperatura. Sin embargo, los deshidratadores

son comúnmente clasificados de acorde a la fuente de calor utilizada, siendo estos los deshidratadores cuyo calentamiento se base en la quema de un combustible fósil y los deshidratadores solares.

Según Ekechukwu, los deshidratadores solares pueden ser clasificados de acuerdo con el sistema de calentamiento y la manera en que el calor es utilizado. En términos generales, los deshidratadores pueden ser clasificados en dos clases: Sistemas activos y sistemas pasivos. Los sistemas activos utilizan un flujo inducido por medio de un ventilador, mientras que los sistemas pasivos utilizan un flujo forzado, el cual ocurre por la diferencia de presión causada por la diferencia de densidades del aire en la entrada y salida del deshidratador. Los dos grupos se pueden subdividir en tres subclasificaciones, siendo estas directo, indirecto y mixto. En los sistemas directos, el producto se encuentra expuesto directamente a la radiación solar. Para esto, la estructura debe estar cubierta por un material transparente. En los sistemas indirectos, el producto no es expuesto directamente a la radiación solar. La radiación solar incidente es absorbida por otra superficie, la cual transmite el calor al producto por medio del aire. Por último, encontramos los deshidratadores que utilizan ambos sistemas al mismo tiempo. En estos deshidratadores mixtos, el producto es expuesto directamente a la radiación y a una corriente de aire precalentado.

Ilustración 14. Clasificación general deshidratadores solares



(Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC)

Dentro de esta clasificación podemos encontrar diferentes tipos de deshidratadores solares, que varían en su construcción, materiales, utilización de la energía solar, capacidad, aplicaciones, componentes extra añadidos para mejorar el desempeño, entre otros.

### 1. Deshidratador tipo tienda

El deshidratador tipo tienda es barato y de fácil construcción. Consiste en un marco de madera cubierto de un plástico. El tiempo de secado no representa una mejora significativa a comparación del secado al aire libre; de igual manera otra desventaja es que se daña fácilmente al ser expuesto a fuertes vientos. Se utilizan

principalmente para proteger el producto de lluvias, polvo, insectos y otros agentes contaminantes (Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC).

*Ilustración 15. Deshidratador tipo tienda*



(Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC)

## 2. Deshidratadores de caja

Este tipo de deshidratador es comúnmente utilizado para lotes pequeños de producción. Este deshidratador consiste en una caja de madera, cuya tapa es transparente. Debido a que el producto es secado con el efecto de convección y la exposición directa al Sol, no es recomendable para productos que puedan presentar daños por exposición directa al Sol.

*Ilustración 16. Deshidratador de caja*



(Fodor, 2005)

### 3. Deshidratador de gabinete

Este tipo de deshidratador consiste en dos partes esenciales; la primera la comprende el colector solar y la segunda la cámara de secado. En la primera etapa, el aire es calentado por la transferencia de calor por medio de convección y radiación, para después entrar a la cámara de secado en donde el aire previamente calentado remueve el agua del producto. Debido a que el producto no se expone directamente al Sol, se recomienda su uso para productos que al ser expuestos al Sol sufran daño. El producto se encuentra suspendido sobre bandejas dentro de la cámara de secado. El costo varía dependiendo del tamaño del deshidratador (Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC).

*Ilustración 17. Deshidratador de gabinete*



(Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC)

### 4. Deshidratador de túnel

El uso de los deshidratadores tipo túnel se recomienda a productores a mediana escala o pequeñas cooperativas. Este tipo de deshidratador permite tiempos de secados menores en comparación de los métodos tradicionales. Sin embargo, estos requieren de un área superficial bastante amplia para su implementación (Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC). Funciona de manera similar al deshidratador de gabinete, con la variación de que el flujo de aire y la construcción del deshidratador es horizontal, no vertical como en el caso de los deshidratadores de gabinete.

*Ilustración 18. Deshidratador tipo túnel*

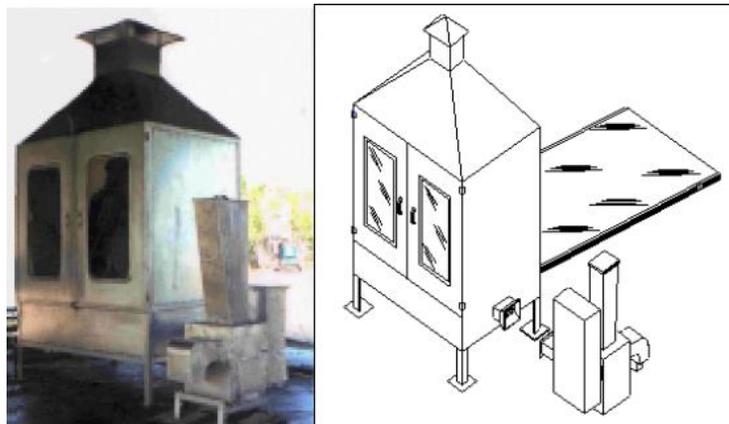


(Foto tomada de agroalimentario.com)

## 5. Deshidratador híbrido

Este tipo de sistema consiste en la implementación de un sistema auxiliar, que otorga una fuente de calor extra al sistema. Este tipo de deshidratador es más costoso, dado la construcción del sistema auxiliar. Sin embargo, la implementación resulta ser beneficiosa ya que reduce los tiempos de secado al garantizar una mayor temperatura de secado durante un periodo de tiempo mayor.

*Ilustración 19. Deshidratador híbrido*



(Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC)

## K. ENERGÍA RENOVABLE

### 1. Generalidades

Los recursos energéticos renovables se definen como aquellos recursos que tienen como característica común que se producen de forma continua y que son inagotables. Existen diferentes fuentes de energía renovable, dependiendo de los recursos naturales utilizados para la generación. Dentro de estos recursos se tienen la energía hidráulica, geotérmica, eólica, biomasa, solar térmica y fotovoltaica (Dirección General de Energía, 2018).

### 2. Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados células o paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial y una corriente aprovechable (Asociación de Empresas de Energías Renovables, 2019).

Las células fotovoltaicas más empleadas están construidas con silicio cristalino. Una de las grandes ventajas de las células es su aspecto modular, permitiendo variar las dimensiones del panel o la cantidad de paneles según la aplicación que se le quiera dar.

## L. TRANSFERENCIA DE CALOR Y FLUJO DE AIRE

### 1. Transferencia de calor

El calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura. La ciencia que trata la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía por medio de calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura. El calor se puede transmitir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación (Cengel, 2011).

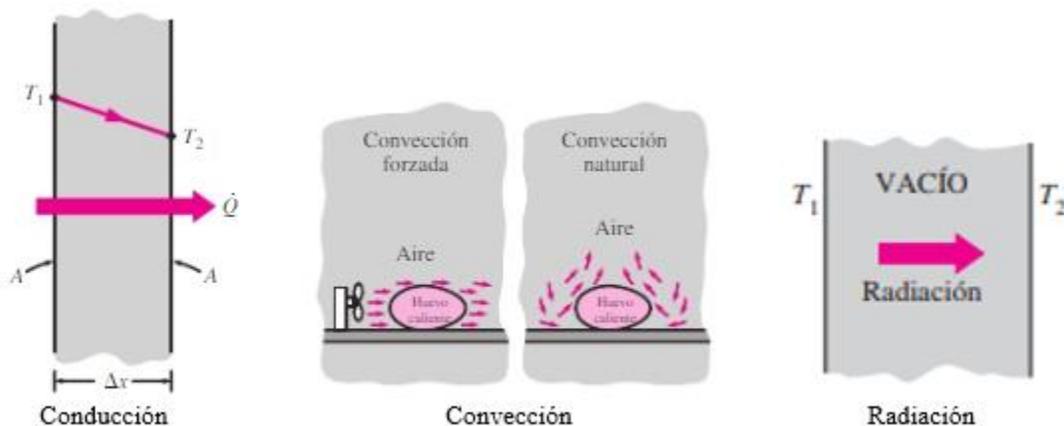
La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. En otras palabras, la conducción es un mecanismo de transmisión que ocurre por contacto directo entre dos cuerpos que se

encuentran a diferente temperatura. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases (Cengel, 2011).

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un fluido adyacente. La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie del sólido por medio externos. Por otra parte, se le llama convección natural si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son causadas por las diferencias de densidad provocadas a los cambios en la temperatura (Cengel, 2011).

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio intervector (Cengel, 2011).

Ilustración 20. Esquemas de transferencia de calor



Adaptación de (Cengel, 2011)

## 2. Flujo de aire

El flujo de aire se puede obtener por medio de dos diferentes medios; tiro forzado o tiro natural. En el tiro natural, el movimiento del fluido se produce por una diferencia de presión entre la entrada y la salida, causada por un diferencial de temperatura que causa una variación en la densidad. Es producido por la implementación de una chimenea. El aire a mayor temperatura dentro de la chimenea es más ligero que el aire a menor temperatura que se encuentra en el ambiente. El tiro depende principalmente de dos factores: el diferencial de temperatura entre el aire dentro de la chimenea y el aire atmosférico, y de la altura de la chimenea. A mayor diferencial de temperatura, más grande el diferencial de presión. De igual manera, el tiro en una chimenea de mayor altura también es mayor, debido al aumento de la diferencia de masa entre la columna

de aire caliente dentro de la chimenea y la de aire atmosférico (externo), por el incremento de altura (Singh O. , 2003).

El tiro forzado se obtiene por la utilización de un medio externo, como un ventilador o un soplador. El equipo utilizado es el responsable de generar el flujo requerido, y empuja el mismo dentro del equipo.

## M. EFICIENCIA

La eficiencia de secado es fundamental para la evaluación del desempeño del secador. Es la relación entre las kcal mínimas necesarias para evaporar el agua de una masa determinada de producto y la cantidad de kcal realmente consumidas (de Dios, 1998). La eficiencia del secado depende en gran medida del tipo de producto que se desee deshidratar; en el caso de los granos, la eficiencia de secado es menor debido a que el agua del grano está más fuertemente ligada a la estructura de la semilla.

## N. MALLA DE ALUMINIO

La malla o red de aluminio es un tipo de tela tejida de alambres. El aluminio es un metal de color plateado de baja densidad; es un buen conductor de calor y electricidad, resistente a la corrosión. Debido a su resistencia a la corrosión y no toxicidad es utilizado en la industria alimenticia.

## V. ANTECEDENTES

### A. SECADO DE TOMATE AL SOL EN NUBARIA, FAO

Egipto es el país más poblado de la región del NENA (The Near East and North Africa), con más de 92 millones de habitantes y 120 millones proyectados para el 2050. A pesar del aumento en la necesidad de alimentos, la pérdida y desperdicio de alimentos se mantienen en índices altos.

De acuerdo con Hussein Gadain, representante de la FAO en Egipto, a pesar de ser Egipto uno de los mayores productores de tomate a nivel mundial, más del 50% de estos tomates se desperdician en las etapas de producción, cosecha, venta minorista y mayorista de la cadena de valor. Según esto, la FAO en colaboración con el Ministerio de Agricultura y Recuperación de Tierras y la Agencia Italiana para el Desarrollo y Cooperación, brindó una unidad de procesamiento de tomates secados al sol a la Cooperativa de Comercialización de Frutas y verduras en Bangar El Sokar, Nubaria, como parte del proyecto “Pérdida de Alimentos y Reducción de Desperdicios; desarrollo de la Cadena de valor para la Seguridad Alimentaria en Egipto y Túnez”.

El objetivo del proyecto consiste en reducir las pérdidas en cultivos agrícolas, con un enfoque de desarrollo de cadena de valor, centrandose en las etapas de post cosecha, comercialización y procesamiento. A su vez se busca una solución eficaz y simple para reducir el desperdicio de tomates, crear un valor agregado local en el sector agroindustrial, controlar la producción de tomates y reducir las fluctuaciones en el precio del tomate al transformar los tomates en un producto que puede almacenarse hasta por dos años.

Este proyecto usa dos técnicas para la unidad de procesamiento de tomates secados al sol. Una de ellas utiliza el secado del producto sobre el suelo cubierto de una película de plástico. La segunda técnica usa secado sobre tablas elevadas del suelo por una estructura de metal para secar los tomates. El primer método es de bajo costo y garantiza una mayor producción al utilizar el 70-80% de la superficie total del terreno para el secado, sin embargo, la desventaja es la necesidad de un mayor control para reducir la contaminación biológica y química. El segundo sistema es más costoso en comparación con el primero y solo se puede utilizar aproximadamente el 50% del área total del terreno, pero su riesgo de contaminación es menor, produciendo un producto de mejor calidad y color (FAO, 2018).

El proyecto aún se encuentra en etapa de implementación y aún no se tienen resultados finales.

## B. SECADOR SOLAR DE GABINETE PARA MAÍZ, GUATEMALA

El trabajo de investigación presentado por la ingeniera Mayarí Pérez en la Universidad del Valle de Guatemala consistió en la implementación de un secador híbrido solar conectado a una estufa ahorradora de leña para el secado de granos de maíz. El secador construido posee una capacidad de secado de 40.6 lb en 12.5 horas solares con un colector solar de 5 m<sup>2</sup>. La eficiencia térmica fue de 10.6%, mientras que la eficiencia promedio de transferencia de calor fue de 29.3%.

Como parte de los resultados encontrados, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Implementar sistemas de convección forzada para mejorar el flujo de aire dentro del colector.
- Con el fin de hacer más atractiva la implementación de un sistema de deshidratación solar por parte del agricultor, se recomendó aumentar la capacidad del secador.
- Se recomendó la investigación de mecanismos de almacenamiento térmico.

*Ilustración 21. Secador solar híbrido, Huehuetanango*



(Pérez Tay, 2017)

## VI. METODOLOGÍA

### A. CARACTERIZACIÓN DEL TOMATE

Como primer paso se realizó la caracterización física del tomate rojo saladette. Para esto se analizaron tres lotes distintos de tomates, en promedio treinta tomates por lote, comprados en el Supermercado La Torre de Cayalá y en el mercado La Palmita zona 5. Los parámetros medidos fueron: volumen, peso, largo, diámetro máximo, diámetro medio del tomate y porcentaje de humedad. Para esto se utilizó una probeta de 1000 mL marca NALGENE, una balanza SCOUT PRO SP2001 marca OHAUS y un vernier marca STANLEY del laboratorio de Operaciones Unitarias del departamento de Ingeniería Química. Para la medición del volumen, se introdujo el tomate en la probeta previamente llenada de agua y se registró el volumen desplazado por el tomate. Las mediciones obtenidas se pueden observar en el anexo 2.

### B. CURVA DE SECADO

Se realizó la curva estándar de secado del tomate bajo condiciones controladas. El tomate se cortó transversalmente en rodajas, de un espesor promedio de 3 mm, y se colocó sobre tres bandejas distribuidas en los tres niveles dentro del deshidratador de gabinete en el laboratorio de Operaciones Unitarias en el Departamento de Ingeniería Química. Así mismo, se colocó cuatro muestras de tomate sobre una bandeja de 5cm de largo por 2cm de ancho fabricada de papel de aluminio para facilitar la toma de datos. Se monitoreó la temperatura dentro del deshidratador, utilizando un medidor de temperatura TM25 EXTECH en la parte media del deshidratador, con el fin de obtener una medición representativa de la temperatura interna. Se midió la reducción de la masa de las muestras en intervalos de 5 minutos durante dos horas. Una vez transcurridas las primeras dos horas, se procedió a realizar la toma de mediciones en espacios de 15 minutos por 4 horas y durante las últimas 2 horas las mediciones se realizaron cada 30 minutos. Se graficó el conjunto de datos obtenidos utilizando la herramienta de gráficas en Excel versión 16.21 (190108), con el fin de obtener gráficas de líneas que ilustre la variación de la masa a lo largo del tiempo.

Con las gráficas obtenidas, se calcularon los valores de velocidad de secado para realizar las gráficas de curvas de secado. La curva estándar final utilizó el promedio de los valores obtenidos en las otras gráficas y muestra la velocidad de secado del tomate en función del porcentaje de humedad de este.

## C. PROCESO DE DISEÑO

Se tomó como base la metodología del proceso de diseño planteada por Robert L. Norton, en el libro diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos.

### 1. Investigación preliminar

En esta primera etapa se reunió información relevante de fondo sobre la problemática a resolver. Se investigó sobre la situación actual de los productores a pequeña escala de tomate, limitaciones que tienen, necesidades específicas, entre otras. Se indagó sobre soluciones al problema anteriormente planteado, tipos de deshidratadores solares, deshidratación de frutas, entre otros.

### 2. Especificaciones de desempeño

*Tabla 1. Especificaciones de desempeño del deshidratador*

La estructura externa e interna del deshidratador debe ser resistente a la corrosión.
La temperatura dentro de la cámara de secado debe estar dentro de un rango de 50 °C – 60 °C.
La cámara de secado debe tener una capacidad de 10 kg (base práctica de cálculo).
La utilización del deshidratador no debe implicar la contaminación del producto durante el secado.
El diseño del deshidratador debe permitir la obtención del flujo de aire requerido para llevar a cabo la remoción de humedad.
El deshidratador no debe generar un ruido mayor a 87 dB(a). <sup>3</sup>
El diseño del deshidratador debe considerar la minimización de esfuerzos del usuario.
El diseño del deshidratador debe considerar la limpieza de los componentes que conforman el deshidratador.

### 3. Selección

Se seleccionó el mejor diseño de los diseños potencialmente factibles para el secado del tomate. Para esto se realizó un análisis comparativo entre las opciones potencialmente factibles usando una matriz de decisión (Tabla 2), en donde se analizan los factores críticos definidos de acuerdo con los objetivos planteados para

---

<sup>3</sup> Nivel de exposición diaria máxima para un trabajador, Directiva Europea 2003/10/CE sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido)

cada alternativa. Los evaluados fueron los siguientes: Costo, área ocupada, durabilidad, tiempo de secado, facilidad de implementación y capacidad. A cada categoría se le asignó un factor de ponderación. Finalmente se escoge el diseño que haya obtenido la mayor puntuación, el cual fue el deshidratador solar de gabinete.

Tabla 2. Matriz de decisión selección de deshidratador

	Costo	Tiempo de secado	Facilidad de implementación	Temperatura cámara de secado	Capacidad	Ponderación
Factor de ponderación	0.3	0.2	0.15	0.2	0.15	1
Deshidratador túnel	8/2.40	4/0.80	8/1.20	6/1.20	8/1.6	7.20
Deshidratador tienda	10/3.0	3/0.60	10/1.50	4/0.80	3/0.45	6.35
Deshidratador caja	8/2.10	7/1.40	8/1.20	7/1.40	6/0.90	7.00
Deshidratador gabinete	7/2.10	8/1.60	7/1.05	8/1.60	6/0.90	7.25
Deshidratador híbrido	2/0.60	10/2.0	5/0.75	10/2.0	8/1.35	6.70

#### 4. Diseño detallado

Este paso incluyó los cálculos que involucran transferencia de calor, balance masa y energía, selección de materiales y finalmente, el dimensionamiento del deshidratador.

Los cálculos del balance de masa, con el fin de determinar la cantidad de aire seco requerido para la deshidratación del tomate, se realizaron de acuerdo con el método descrito por Robert E. Treybal en el libro *Operaciones de Transferencia de Masa*. El dimensionamiento del colector solar se realizó con el método descrito por John A. Duffie en el libro *Solar Engineering of Thermal Processes*. Se realizó un juego de planos utilizando el programa Autodesk Inventor 2018 (ver anexo17).

#### 5. Construcción y pruebas

Una vez finalizada la cotización de materiales, se procedió a la compra de estos y se construyó el deshidratador solar con la empresa Estructuras Vásquez, utilizando los planos (ver anexo 18). Al finalizar, se realizó las pruebas de secado del tomate en la terraza del edificio M-101 en la Universidad del Valle de Guatemala. Con el fin de tener más información sobre el desempeño del deshidratador, se instaló un juego de sensores de humedad y temperatura en conjunto con diferentes módulos controlados por un Arduino Uno. El primer sensor de humedad y temperatura se encontraba a la intemperie, a 30 cm del deshidratador colocado

sobre el suelo, con el fin de registrar las condiciones a las cuales el deshidratador estaba expuesto y las características del aire entrante. El segundo sensor se instaló dentro de la cámara de secado en el punto de unión con el colector solar. Este sensor registró las condiciones del aire a la entrada de la cámara de secado. El último sensor se instaló en la salida de aire de la cámara de secado, con el fin de evaluar la remoción de humedad real. Los datos recolectados fueron almacenados en una tarjeta microSD, de donde se exportaron a un archivo Excel para su análisis posterior. Adicional a esto, se evaluó la implementación de una chimenea de 70 cm de alto y 10.5 cm de diámetro, con el fin de mejorar el tiro dentro del deshidratador. Para esto se midió la velocidad del aire utilizando el anemómetro REED LM-81AM a la salida de la cámara de secado, primero utilizando únicamente un techo sin chimenea y posteriormente con la implementación de la chimenea.

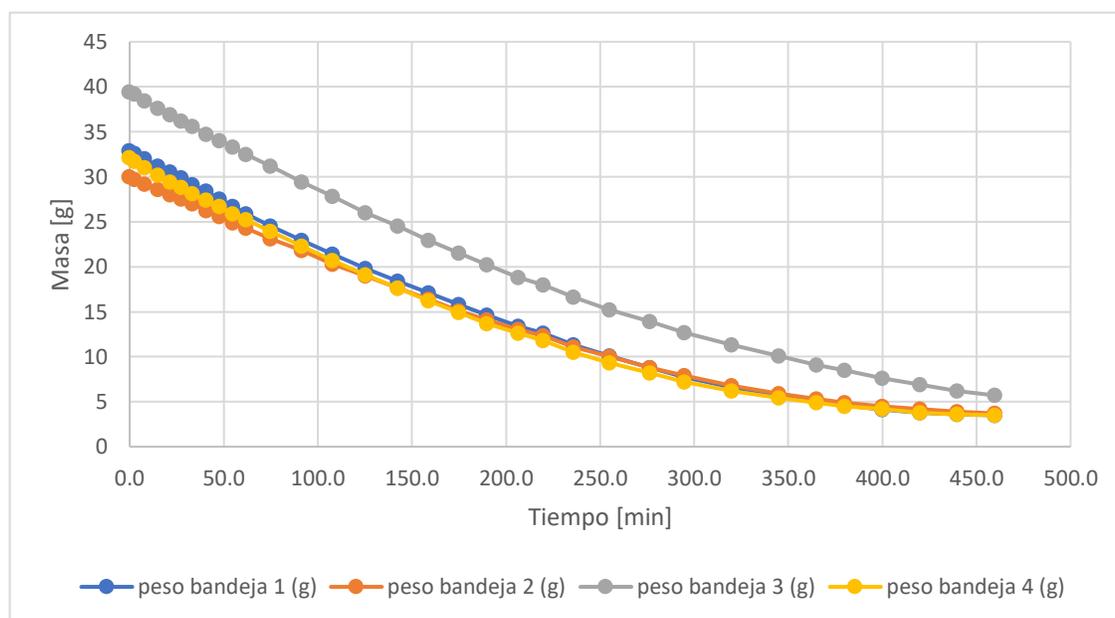
Al utilizar el deshidratador con su máxima capacidad, se rotó las bandejas con el fin de garantizar una homogeneidad de secado en el producto. La humedad final del lote se obtuvo promediando las humedades finales de las tres bandejas utilizadas. Para esto se tomó una muestra representativa de cada bandeja (tres en total) y se midió la humedad final de cada muestra utilizando la balanza de humedad OHAUS MB120 del laboratorio de Operaciones Unitarias del departamento de Ingeniería Química. Finalmente se promedió la humedad final de cada muestra y se obtuvo el porcentaje de humedad final del lote de secado de 10 kg de tomate.

## VII. RESULTADOS

### A. Curva de secado promedio

La toma de datos para la elaboración de la gráfica de secado tuvo una duración total de 7 horas con 40 minutos, tiempo en el cual se monitoreó el cambio de masa de las muestras de tomate sobre las 4 bandejas de aluminio. La temperatura promedio dentro de la cámara de secado fue de 59.4°C (56°C – 61°C). Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 3. En la Ilustración 22 se puede observar la curva de la variación de la masa en el tiempo de las cuatro bandejas.

Ilustración 22. Cambio de masa de muestras de tomate en el tiempo



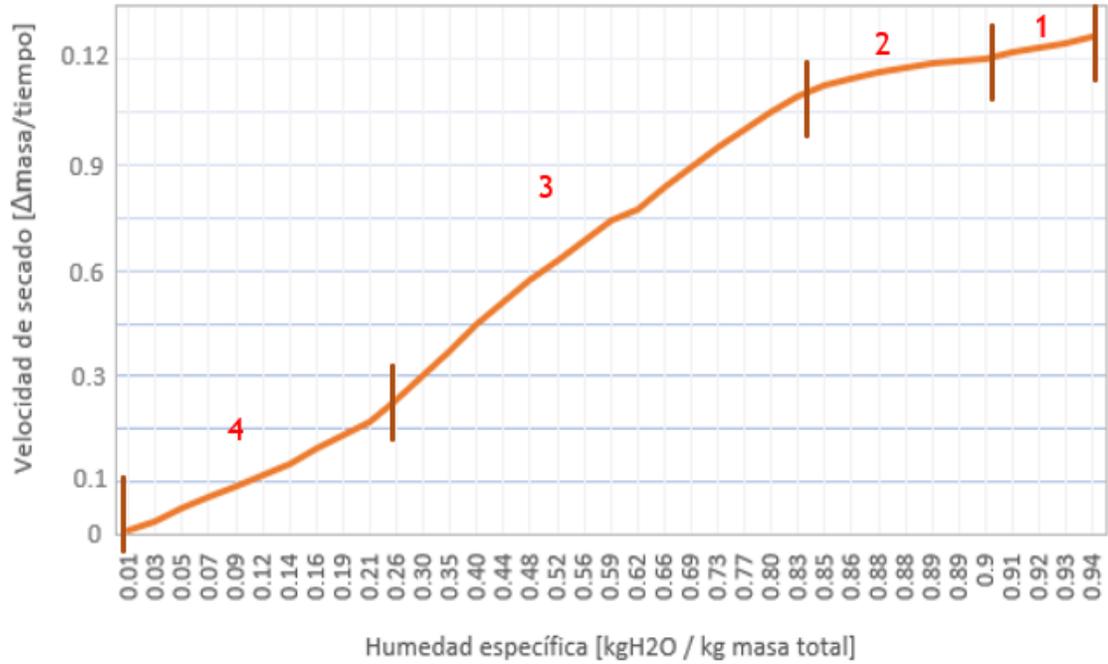
(Elaboración propia)

Tabla 3. Cambio total de masa por proceso de secado del tomate

	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4
Masa inicial [g]	32.9	30	39.4	32.1
Masa final [g]	3.5	3.7	5.7	3.5
% de reducción	89%	88%	86%	89%

(Elaboración propia)

Ilustración 23. Curva de secado estándar tomate Saladette obtenida en proceso de secado<sup>4</sup>



(Elaboración propia)

<sup>4</sup> La curva ilustrada es el promedio de las cuatro curvas obtenidas por cada bandeja introducida al deshidratador. Las etapas de secado determinar la velocidad de deshidratación del producto en función del porcentaje de humedad de este. En el eje y se tiene el cambio de masa del tomate en el tiempo.

## B. Ficha técnica

Tabla 4. Ficha técnica deshidratador solar

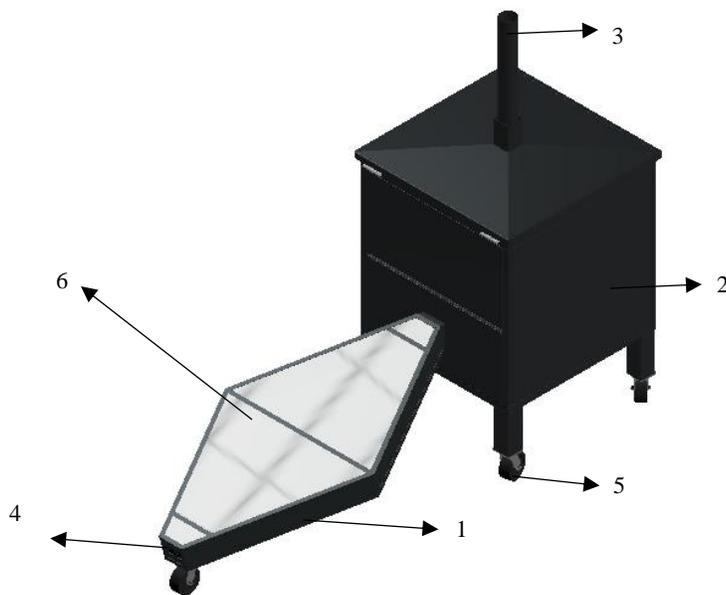
<b>Tipo de deshidratador: Solar de gabinete</b>			
<b>Especificaciones técnicas de diseño</b>			
<b>Cámara de secado</b>		<b>Colector solar</b>	
Dimensiones (l x a x h)	(1 x 1 x 1) m	Largo	1.80 m
Material	Lámina negra	Ancho máximo	0.90 m
Capacidad	10 kg	Ancho mínimo	0.10 m
Temperatura de operación	60 °C	Altura	0.15 m
Eficiencia de secado	40.57%	Área	0.95 m <sup>2</sup>
		Material colector	Lámina troquelada
<b>Chimenea</b>		Material base	Lámina negra
Diámetro	10.5 cm	Cubierta	Vidrio claro 5mm
Altura <sup>5</sup>	70 cm	Temperatura de operación	70.0 °C
Velocidad de salida	1.5 m/s	Factor de eficiencia	35.82%
		<b>Aislamiento térmico<sup>6</sup></b>	
<b>Ventiladores</b>		Plancha espuma poliuretano	
Dimensiones (l x a x h)	(4 x 4 x 1) cm	Espesor	0.05 m
Potencia	1.56 W	Coeficiente conducción	0.0029 W/m <sup>2</sup> °C
Corriente	130 mA		
Voltaje	12 V	<b>Panel solar</b>	
Velocidad	2 m/s	Potencia máxima	10 W
Número de ventiladores	2	Voltaje	12 V
		Dimensiones (l x a x h)	(35 x 15 x 2) cm
<b>Bandejas</b>		Tipo de panel	Policristalino
Número de bandejas	3		
Material malla	Tela de aluminio		
<b>Especificaciones de desempeño</b>			
<b>Cámara de secado</b>		<b>Colector solar</b>	
Temperatura máxima	53.4 °C	Temperatura máxima	74.7 °C
Temperatura promedio	46.8 °C	Temperatura promedio	62.8 °C
Temperatura mínima	35.2 °C	Temperatura mínima	42.8 °C
Capacidad	10 kg de tomate		
<b>Descripción técnica</b>			

<sup>5</sup> Altura utilizada en secadores solares (Sogari, 1998)

<sup>6</sup> El aislamiento térmico se colocó en las paredes laterales e inferior del colector solar.

Deshidratador solar tipo gabinete para tomate Saladette. Circulación de aire por tiro forzado por ventiladores DC de 12V y una chimenea de 70 cm de altura. Capacidad de secado de 10 kg de tomate, cortado en rodajas de 3 mm de espesor. Reducción de humedad de tomate a valores finales entre 10 % - 15 % en un periodo de 3.5 días, en un rango de brillo solar por día entre 8 h - 10 h. Cubierta de vidrio desmontable para permitir limpieza interna del colector solar. Movilizable por rodos giratorios soldados a la base del deshidratador. El deshidratador es manipulable por dos personas.

**Esquema**



- 1. Colector solar
- 2. Cámara de secado
- 3. Chimenea
- 4. Ventiladores
- 5. Rodos
- 6. Cubierta de vidrio

Esquema deshidratador solar de gabinete

## C. Deshidratación

Tabla 5. Resultados reducción de humedades

Inicio de prueba	04 de abril	11 abril	19 de abril	24 de abril
Cantidad de tomate [kg]	3	3	5	10
Brillo solar promedio <sup>7</sup> [h/día]	8.7	9.2	7.76	8.43
Temperatura ambiente [°C]	22.4	23.5	25.4	23.7
Humedad relativa ambiente	54.2%	58.9%	48.4%	54.6%
configuración del escape de aire húmedo	sin chimenea	sin chimenea	con chimenea	con chimenea
tiempo de secado [días]	4	1	3	3.5
humedad final del tomate [%]	17.13	82.78	2.62	11.72

(Elaboración propia)

## D. Eficiencia

### 1. Factor de eficiencia de aprovechamiento de calor<sup>8</sup>

Se obtuvo el valor de factor de eficiencia del deshidratador de  $F' = 35.82\%$ .

### 2. Eficiencia de transferencia de calor<sup>9</sup>

Tabla 6. Eficiencia de transferencia de calor

	04 de abril	11 de abril <sup>10</sup>	12 de abril	19 de abril
Configuración escape de aire	Aperturas	Aperturas	Chimenea	Chimenea
Eficiencia promedio [%]	61.14	22.23	35.65	38.58
Eficiencia máxima [%]	83.62	42.84	45.45	51.53
Eficiencia mínima [%]	38.42	0.4	22.04	20.16
Desviación estándar [%]	9.56	7.58	6.37	8.48
Tiempo de muestreo [h]	3.5	6.8	3.5	10

(Elaboración propia)

<sup>7</sup> Tiempo total durante el cual incide luz solar sobre una superficie. Datos oficiales de INSIVUMEH anexo 14. Se tomó promedio de brillo solar de la cantidad de días que duró la prueba.

<sup>8</sup> Procedimiento en anexo 12, sección a.

<sup>9</sup> Procedimiento en anexo 12, sección b.

<sup>10</sup> El deshidratador solar no estuvo totalmente cerrado durante esta prueba.

### 3. Eficiencia de secado<sup>11</sup>

Tabla 7. Eficiencia de secado

Prueba	04 de abril	11 de abril	19 de abril	24 de abril
Eficiencia $\eta$	12.11 %	34.04 %	27.23 %	40.57 %

(Elaboración propia)

### E. Inversión y costos de operación

Material	Cantidad	Precio total
Lámina negra 1/16 in (3 ft x 7 ft)	3	Q. 450.00
Tubo cuadrado 1in	4	Q. 125.00
Angular hierro negro 1 in	3	Q. 150.00
Angular hierro negro ¾ in	2	Q. 100.00
Lámina troquelada 10 in	1	Q. 150.00
Vidrio claro 5 mm	1.80 m <sup>2</sup>	Q. 400.00
Rodo giratorio 100 mm	4	Q. 316.80
Libra de electrodo	5	Q. 75.00
Galón de pintura negra anticorrosiva	1	Q.163.00
Galón solvente tipo “thinner”	1	Q.77.00
Tela de aluminio	5 yardas	Q. 52.25
Plancha de espuma de poliuretano (50 x 100 x 3) cm	5	Q. 72.50
Otros (tornillos, silicón, lija, estaño, etc.)		Q. 150.00
Ventilador	2	Q.134.00
Panel solar 10 W 12 V	1	Q. 85.00
Total		Q. 2,500.55

Se tiene una inversión inicial de Q. 2,500.55.

Costos de operación<sup>12</sup> Q. 385.76.

<sup>11</sup> Procedimiento en anexo 12, sección c. Variación debido a condiciones de secado.

<sup>12</sup> Anexo14

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con las curvas de secado realizadas, se determinó que el periodo de residencia del tomate Saladette correspondía a ocho horas, dato que se utilizó para el diseño inicial del deshidratador. La Ilustración 22 muestra el comportamiento de la velocidad de secado del tomate Saladette en función de la humedad de este. La primera etapa de la curva de secado corresponde al rango de humedad del tomate entre 91% y 94%. En esta primera etapa se tiene una alta velocidad de deshidratación, esto se debe al alto porcentaje de humedad inicial del tomate, encontrándose inicialmente la superficie cubierta por una delgada capa de líquido, después de los cortes. Esta humedad no ligada, al ser expuesta al aire caliente, incurre en un desprendimiento casi inmediato. Una vez concluida esta primera etapa, se observó un periodo constante de deshidratación en el rango de humedad de 91% a 83%. Esta etapa se caracteriza por una rápida deshidratación del tomate hasta alcanzar el contenido crítico de humedad. Una vez alcanzado este, se inicia la primera etapa de decaimiento en la velocidad de secado. La primera etapa ocurre en el rango de humedad de 80% a 26%, mientras que la segunda etapa ocurre en un rango de 20% a 0%. Este decaimiento de la velocidad de secado ocurre debido a que la película superficial de humedad se reduce en gran medida por evaporación. El secado posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie (Treybal, 1988). Estos puntos secos reducen la superficie de contacto y disminuyen la difusividad del tomate.

En la Ilustración 21 se pueden observar las gráficas obtenidas del cambio de masa de las muestras de tomate en el tiempo. Se determinó que el tomate Saladette debe permanecer durante 8 horas dentro de una cámara de secado, a una temperatura de 60 °C, bajo un flujo de aire constante, para alcanzar la deshidratación deseada. De igual manera, se observó durante la última hora de secado, la disminución en la masa era mínima (1.82% de la masa inicial). Se infiere que en las últimas etapas de secado se necesita un gran aporte de calor para una reducción mínima de masa.

Con el fin de evaluar el efecto del tiempo de residencia del tomate dentro de la cámara de secado, se aumentó el tiempo de secado de la muestra por un día. El resultado obtenido corresponde al lote 3 de secado, el cual tenía una masa de 5 kg. Se obtuvo una humedad final de 2.62%. Se puede corroborar el comportamiento de la deshidratación de tomate encontrado en la curva de velocidad de secado (Ilustración 22).

Dentro de la deshidratación existen dos parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta para el diseño del deshidratador, el área del colector solar, la cual incide directamente en el calor utilizado para el calentamiento del aire, y el flujo de aire dentro del sistema, el cual es fundamental para la remoción de humedad del tomate. Según los cálculos realizados tomando en consideración las pérdidas térmicas y la

radiación incidente sobre el deshidratador, se determinó que se debía tener un área en el colector solar de  $0.95 \text{ m}^2$  (Anexo 11). La construcción de este se realizó en forma de hexágono, con el fin de reducir las pérdidas por fricción al eliminar esquinas. De igual manera, por el tamaño de los ventiladores, esta configuración permite el aprovechamiento máximo del flujo de aire. Para la deshidratación de un lote de 10 kg de tomate Saladette se debe tener un flujo másico de aire de  $0.0024 \text{ kg/s}$  (Anexo 9). Se optó por la implementación de un ventilador de 12 V, el cual genera un flujo másico de  $0.0032 \text{ kg/s}$ . Se midió la velocidad de salida del aire por las salidas de ventilación de la cámara de secado, pero no se logró medir un valor de velocidad. Con el fin de garantizar un flujo de aire dentro de la cámara de secado, se diseñó e implementó una chimenea (Anexo 14) en el deshidratador. Se registró una velocidad de salida de  $1.5 \text{ m/s}$ .

Se fijó como objetivo que el aire a la salida de la cámara de secado debía tener una humedad relativa de 60%. En las pruebas realizadas se obtuvo una humedad a la salida de la cámara de secado dentro de un rango de 15% - 30%, variando este con respecto a la hora del día. La Ilustración 32 nos muestra de forma más clara la reducción de la humedad relativa en el aire tras pasar por el colector solar. Se tiene una disminución promedio en la humedad relativa de 17.44%, siendo esta disminución mayor en las primeras horas de secado debido al mayor contenido de humedad del aire. Debido a esta diferencia entre la humedad relativa teórica a la salida de la cámara de secado y la obtenida en las pruebas realizadas, el flujo másico de aire seco requerido para deshidratar un lote de 10 kg de tomate se duplica. Debido a esto, el tiempo de secado aumenta de dos días de secado a cuatro días de secado (Anexo 15). Se pudo validar el aumento en la duración del proceso de secado al realizar la quinta prueba de secado. El lote de 10 kg de tomate estuvo durante 32 horas útiles de secado, correspondientes a cuatro días de secado, dentro del deshidratador. Se obtuvo una humedad final de 11.72%, la cual se encuentra de los parámetros aceptables definidos.

El colector presentó una temperatura máxima de operación de  $74.7 \text{ }^\circ\text{C}$  alcanzada el jueves 04 de abril de 2019 y una temperatura promedio de  $64.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , tomando las temperaturas medidas de 10:00 am a 4:00pm. Por otra parte, la temperatura dentro de la cámara de secado alcanzó un máximo de  $53.4 \text{ }^\circ\text{C}$  y tuvo una media de  $47.6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se tuvo una eficiencia de secado de 27.23 %.

El colector solar tuvo un factor de eficiencia de  $F' = 35.82\%$ . El factor compara la ganancia de energía obtenida contra la ganancia energética si el fluido hubiera estado a la temperatura de la placa del colector solar, asumiendo de esta manera que no se tienen pérdidas térmicas. En la Tabla 7 se observan los valores de eficiencia de transferencia de calor. Esta eficiencia está determinada por la temperatura del aire a la salida de la cámara de secado, a la salida del colector solar y la temperatura ambiente. La eficiencia de transferencia de calor máxima obtenida fue 83.62%, la cual corresponde a la primera prueba de secado con el deshidratador sin chimenea. Esto se debe a que el aire caliente está más tiempo en contacto con el tomate. En la Tabla 8 se

encuentran las eficiencias del proceso de secado; en la Tabla 9 se observan los resultados de cada prueba de secado realizada. La eficiencia mínima de secado se obtuvo en la primera prueba realizada, con un valor de 12.11%. mientras que la eficiencia máxima se obtuvo en la última prueba de secado, con un valor de 40.57%.

Se observa el efecto adverso que el mal clima tiene sobre el proceso de deshidratado. Se obtuvo una eficiencia de secado de 12.11% para la primera prueba de secado. El primer lote de secado de 3 kg permaneció dentro del deshidratador durante cuatro días debido al alto índice de nubosidad y lluvias. Se tuvo una humedad final de 17.13%. En la Ilustración 24 anexo3, se puede observar el efecto de la nubosidad sobre el desempeño del colector solar. Se tuvo un alto índice de nubosidad de 3:00 p.m. a 5:30 p.m. Durante estas horas se tiene una caída drástica en la temperatura del colector solar, esto debido a que la nubosidad disminuye la radiación incidente sobre el colector. Esta disminución de temperatura en el colector afecta de manera directa la temperatura dentro de la cámara de secado.

La segunda prueba tuvo un valor de eficiencia de secado de 34.04%. La temperatura máxima en la salida del colector solar fue de 62.8 °C y a la salida de la cámara de secado fue de 47.8 °C. Se puede observar en la ilustración 26, el efecto positivo que tuvo la remoción del aislamiento dentro de la cámara de secado, ya que se tuvo una temperatura promedio de 44.2 °C. Esta temperatura promedio es mayor a la temperatura promedio en la primera prueba de secado realizada. Durante esta segunda prueba no se cerró correctamente el deshidratador. Se puede observar en las ilustraciones 26 y 27 el efecto adverso que esto tiene sobre el secado del producto. La temperatura y humedad dentro del colector solar y cámara de secado tienden a la temperatura y humedad de las condiciones atmosféricas, la cual fue alcanzada a las 6:00 p.m. Debido a la alta probabilidad de rehidratación del tomate durante la noche, al día siguiente se midió la humedad del tomate en la balanza de humedad. Se obtuvo una humedad de 82.78%, con lo que se comprueba que el producto sufrió rehidratación y se reafirma la importancia de garantizar que el deshidratador no tenga entradas de aire ajenas al sistema.

La quinta prueba correspondiente al 24 de abril tuvo una eficiencia de secado de 40.57%. Se valida la implementación de la chimenea con el fin de optimizar la remoción de humedad del tomate al mejorar el flujo de aire dentro de la cámara de secado.

La inversión inicial es de Q. 2,500.55 y el costo de operación por lote de 10 kg de tomate es de Q. 385.76. La inversión inicial se encuentra dentro de los parámetros aceptables, tomando como referencia el salario mínimo agrícola autorizado de Q. 2,893.21.

## IX. CONCLUSIONES

1. La curva de secado elaborada bajo una temperatura promedio de 59.25 °C estipuló un tiempo de secado del tomate de ocho horas. Según cálculos realizados de radiación incidente sobre la superficie, se tiene cinco horas diarias de calor aprovechable para la deshidratación del producto. Debido a esto se definió un tiempo de secado en el deshidratador de dos días.
2. La implementación de ventiladores aseguró el flujo másico requerido para el proceso de secado. A su vez, la instalación de una chimenea mejoró la circulación de aire, obteniendo una velocidad de salida de 1.5 m/s.
3. La cámara de secado tiene una capacidad máxima de 10 kg de tomate. Operó a una temperatura promedio de 46.8 °C. Su temperatura máxima de operación fue 53.4 °C y la mínima 35.2 °C.
4. El colector solar tiene un área 0.95 m<sup>2</sup>, con un factor de eficiencia de aprovechamiento de calor de 35.82%. Operó a una temperatura máxima de 74.7 °C, una temperatura promedio de 62.8 °C y una temperatura mínima de 42.8 °C.
5. Se obtuvo una humedad final de 2.62% en un lote de 5 kg en un tiempo de secado total de 3 días con un brillo solar promedio de 7.76 a una temperatura promedio de 46.6 °C y a una velocidad de salida del aire de 1.5 m/s. El producto obtenido puede ser utilizado para la elaboración de polvo de tomate para pastas y salsas de tomate.
6. El deshidratador solar ubicado en la latitud 14.6 ° y longitud 90.48 ° orientado hacia el sur, tiene una eficiencia de secado de 40.57%, completando el secado de un lote de 10 kg de tomate en cuatro días, bajo un brillo solar promedio de 8.4 horas diarias. Se obtuvo una humedad final promedio de 11.72%.

## X. RECOMENDACIONES

1. Realzar curvas de secado a diferentes temperaturas de operación, con el fin de evaluar si existe una diferencia significativa en el tiempo de secado en función de la temperatura.
2. Tomar en cuenta las condiciones meteorológicas adversas en el momento de realizar el diseño, de acuerdo con datos históricos del clima proporcionados por el INSIVUMEH.
3. Evaluar materiales de menor costo con el fin de determinar la posibilidad de disminuir la inversión inicial del deshidratador, sin afectar la durabilidad del deshidratador.
4. Evaluar las pérdidas de presión por fricción en diferentes configuraciones del deshidratador, especialmente en el área del colector solar.
5. Evaluar la implementación de un sistema auxiliar de calentamiento, con el fin de disminuir los tiempos de secado y garantizar un suministro de calor en condiciones adversas.
6. En el área del colector solar, se recomienda evaluar otros diseños con el fin de reducir el área requerida para el calentamiento. Dentro de estos se propone la implementación de espejos con el fin de aumentar la radiación recibida.
7. Evaluar diferentes alturas de chimenea con el fin de aumentar la eficiencia de transferencia de calor al reducir la velocidad de salida de la cámara de secado, con lo que se aumenta el tiempo en el cual el aire caliente está en contacto con el producto.
8. Modificar el diseño del deshidratador para que este sea desmontable, dividiéndolo en dos componentes principales; la cámara de secado y el colector solar. Esto con el fin de facilitar su transporte.
9. Instalar recubrimiento o protección en caso se utilicen sensores de medición y otros componentes electrónicos, con el fin de evitar daños por lluvias u otras adversidades.
10. Utilizar aceite mineral grado alimenticio sobre las bandejas, para evitar que el producto se adhiera.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- AKIANTO. (2009). Tomate. *Agronegocios*, 1-24.
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2011). *Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de calor de la isla de calor urbana*. Mendoza-Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Arbeitsgemeinschaft Erneubarene Energie INTEC. (s.f.). *Solar Drying*. Gleisdorf: AEE INTEC.
- Asociació de Empresas de Energías Renovales. (28 de mayo de 2019). APPA. Obtenido de <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- Brennand, C. P. (Agosto de 1994). *UtahState University Extension*. Obtenido de [https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1605&context=extension\\_histall](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1605&context=extension_histall)
- Carl W. Hall, P. (1980). DRYING AND STORAGE OF AGRICULTURAL CROPS. En P. Carl W. Hall, *DRYING AND STORAGE OF AGRICULTURAL CROPS* (págs. 1-11). Westport, Connecticut: THE AVI PUBLISHING COMPANY, INC.
- Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. México: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- de Dios, C. A. (1998). *Secado de granos y secadoras*. Santiago Chile.
- DIPLAN MAGA. (2011). *El Agro en Cifras*. Guatemala.
- DIPLAN MAGA. (2016). *El agro en cifras 2016*. Guatemala.
- DIPLAN MAGA. (2017). *Ficha de mercado, tomate*. Guatemala.
- Dirección de Sanidad Vegetal, VISAR. (2015). *Plan de Manejo Integrado de Enfermedades del Tomate en Guatemala (Solanum lycopersicum L.)*. Guatemala.
- Dirección General de Energía. (2018). *Las Energías Renovables En La Generación Eléctrica En Guatemala*. Guatemala.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ekechukwu, O. (1987). *Experimental studies of integral-type natural-circulation solar-energy tropical crop dryers*, PhD.
- FAO. (2018). *FAO hands over a sun-dried tomato processing unit in Nubaria as a means to reduce tomato losses*. Nubaria.

- FAO. (14 de agosto de 2018). <http://www.fao.org/egypt/news/detail-events/en/c/1149075/>.  
Obtenido de <http://www.fao.org/egypt/news/detail-events/en/c/1149075/>
- FAO. (2018). *Post-harvest management of tomato for quality and safety assurance*. Roma.
- FAO. (2018). Food loss analysis: causes and solutions- Tomato supply chain in Trinidad y Tobago. *FAO/Bulletin*, 2.
- Fodor, E. (2005). The Solar Food Dryer. En E. Fodor, *The Solar Food Dryer*. Canada: New Society Publishers.
- Fundación Española de la Nutrición. (2013). *Fundación Española de la Nutrición*. Obtenido de <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/tomate.pdf>
- Gamarro, N. G. (9 de agosto de 2017). *Los cinco factores que influyeron en el aumento del precio del tomate*. Obtenido de Prensa Libre: <https://www.prensalibre.com/economia/nueva-cosecha-estabilizara-precio/>
- Hotchkiss, N. B. (1995). Ciencia de los Alimentos. En N. B. Hotchkiss, *Ciencia de los Alimentos* (págs. 221-223). Zaragoza: Acribia, S.A.
- K.G.L.R. Jayathunge, R. K. (2012). Development of a methodology for production of dehydrated tomato powder and study the acceptability of the product. *Journal of Agricultural Technology*.
- MAGA & USAID. (1993). El Cultivo del Tomate. En J. D. Ramírez, *El Cultivo del Tomate, proyecto de desarrollo agrícola "PDA"* (pág. 143). Guatemala.
- MAGA. (2010). *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional*. Guatemala.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (s.f.). *Manual de Manejo Poscosecha de Tomate*. Costa Rica. Obtenido de [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec-poscosecha-tomate-cap-VI-VIII-anexo.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-poscosecha-tomate-cap-VI-VIII-anexo.pdf)
- Monardes, H. (2009). *Manual de Cultivo de Tomate*. Chile: Universidad de Chile. Obtenido de [http://www.hortyfresco.cl/docs/manuales\\_innova/Manual\\_cultivo\\_tomate.pdf](http://www.hortyfresco.cl/docs/manuales_innova/Manual_cultivo_tomate.pdf)
- North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services. (s.f.). *North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services*. Obtenido de Food and Drug Protection Division: <http://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/Tomate.pdf>
- Pérez Tay, M. (2017). *Diseño, construcción e implementación de un secador solar para disminuir el contenido de humedad del grano de maíz (Zea mays) en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango, Guatemala*. Guatemala.
- PNUMA. (24 de Mayo de 2013). *La Hora*. Obtenido de <https://lahora.gt/hemeroteca-lh/guatemala-desperdicia-50-mil-toneladas-de-alimentos/>

- SINAVIMO. (23 de 03 de 2019). *Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de plagas*. Obtenido de <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/solanum-lycopersicum>
- Singh, O. (2003). Applied Thermodynamics. En O. Singh, *Applied Thermodynamics* (pág. 354). New Delhi: New Age International Limited (P), Publishers.
- Singh, R. P. (2009). *Introduction to Food Engineering*. Burlington: ELSEVIER.
- Sogari, C. N. (1998). Deshidratación de especies aromáticas utilizando un prototipo de secadero solar. *Avancer en Energías Renovables*, 33.
- Treybal, R. E. (1988). Operaciones de transferencia de masa. En R. E. Treybal, *Operaciones de transferencia de masa* (págs. 737-738). Ciudad de México: McGraw-Hill.

## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Especificaciones de equipo de control y medición

#### a. Arduino Uno

El Arduino UNO es un microcontrolador basado en el microchip ATmega328P. Consta de 14 pines de salidas/entradas digitales y 6 pines de entradas analógicas, los cuales pueden ir interconectados a otros componentes electrónicos. Además, consta de un cristal de cuarzo de 16 MHz, conexión USB, entrada de alimentación de corriente y un botón de reset. El Arduino Uno puede ser programado mediante el uso del Arduino Software IDE.

#### b. Sensor de humedad y temperatura DHT22

El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Muestra los datos mediante una señal digital en el pin de salida, por lo que no requiere utilizar entradas analógicas.

#### c. Módulo RTC DS3231

El módulo RTC (Real Time Clock) es un reloj en tiempo real, el cual mantiene registro de segundos, minutos, horas, día de la semana, mes y año. La fecha es ajustada automáticamente a final de mes para meses con menos de 31 días, incluyendo las correcciones para año bisiesto. El oscilador interno con compensación de temperatura hace del DS3231 un módulo muy preciso. El módulo es alimentado por una batería de litio tipo botón de 3 volts.

#### d. Módulo para memoria microSD

El módulo para memoria microSD es una tarjeta de interfaz que está diseñada para acceder a la memoria microSD, con el fin de leer la información dentro de ella o almacenar datos. Tiene un circuito de conversión de voltaje para comunicarse a 3.3 V o 5 V.

#### e. Memoria microSD

Una tarjeta de memoria SD (Secure Digital), se utiliza para almacenar distintos tipos de archivos (imagen, video, audio, multimedia, etc.) en equipos portátiles. Las tarjetas SD se diferencian por sus medidas, su capacidad para almacenar contenidos y la velocidad de transmisión de los datos.

#### f. Anemómetro REED LM-81AM

El anemómetro es un instrumento de medición que mide la velocidad del viento. El modelo LM-81AM puede realizar medidas de aire en fpm, m/s, kph, mph y nudos.

g. **Probeta NALGENE**

Se utilizó una probeta marca NALGENE durante la caracterización del tomate. La probeta tiene una capacidad de 1000 mL con una incertidumbre de  $\pm 50$  mL.

h. **Balanza OHAUS SP2001**

La balanza se utiliza para tomar medidas de peso. La balanza modelo SP2001 de la marca OHAUS tiene un rango de 2000 g, con una incertidumbre de  $\pm 0.1$  g.

i. **Balanza de humedad OHAUS MB120**

La balanza de humedad MB120 es utilizada para la determinación del porcentaje de humedad, determinación del porcentaje de recuperación de humedad, determinación del porcentaje de sólidos y pesaje. Posee un rango de temperatura de calentamiento de 40 °C a 230 °C.

j. **Indicador de temperatura TM25 EXTECH**

Este indicador compacto de temperatura cuenta con una sonda de penetración de acero inoxidable. Mide la temperatura en un rango de -40 °C a 200 °C con una incertidumbre de  $\pm 1$  °C. Es alimentado por una batería de 3 V.

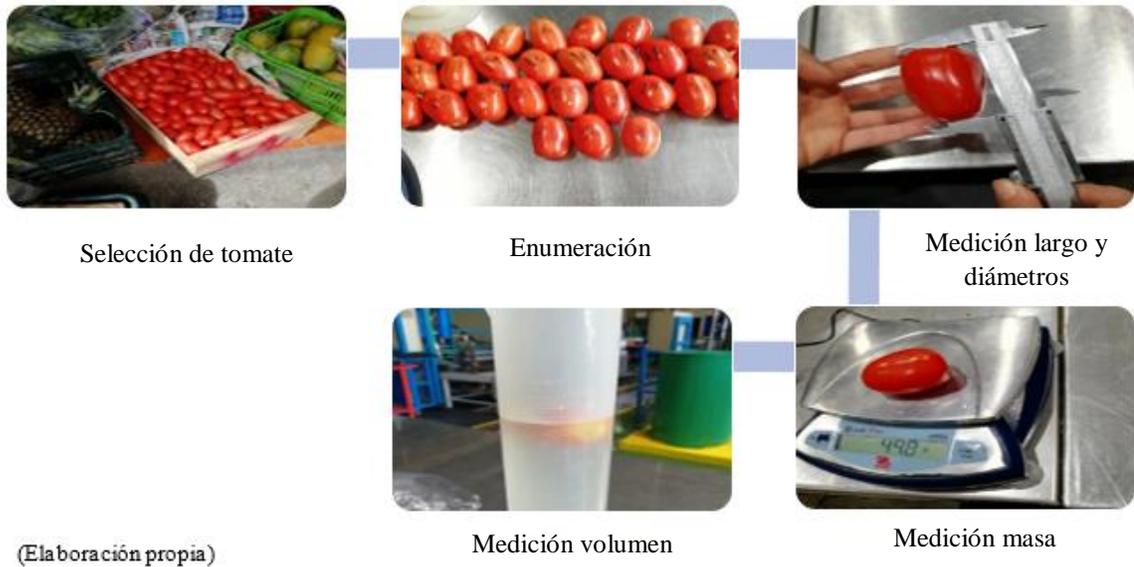
k. **Vernier Stanley**

El vernier es un instrumento de medición que permite tomar medidas de longitud. El vernier Stanley de calibración manual posee un rango de medición de 2000 mm con una incertidumbre de  $\pm 0.02$  mm.

## Anexo 2. Proceso caracterización tomate

1. Una vez comprados los tomates, se procedió a enumerarlos con el fin de facilitar su identificación. Los tomates que no cumplían con el color adecuado fueron desechados y no fueron tomados en cuenta la caracterización. Esto con el fin de tener homogeneidad en las muestras de tomate.
2. Se procede a realizar las mediciones utilizando el vernier del largo, diámetro máximo y el diámetro en  $\frac{1}{4}$  del largo del tomate
3. Se pesó el tomate utilizando la balanza.
4. Para determinar el volumen de tomate se utilizó la probeta. Para esto, se llenó la probeta con agua hasta un punto previamente establecido y se observó el cambio en la altura del agua al introducir el tomate. Esta etapa tuvo un doble propósito, ya que los tomates que se encontraban en mal estado, pero a simple vista no era observable, se hundían.

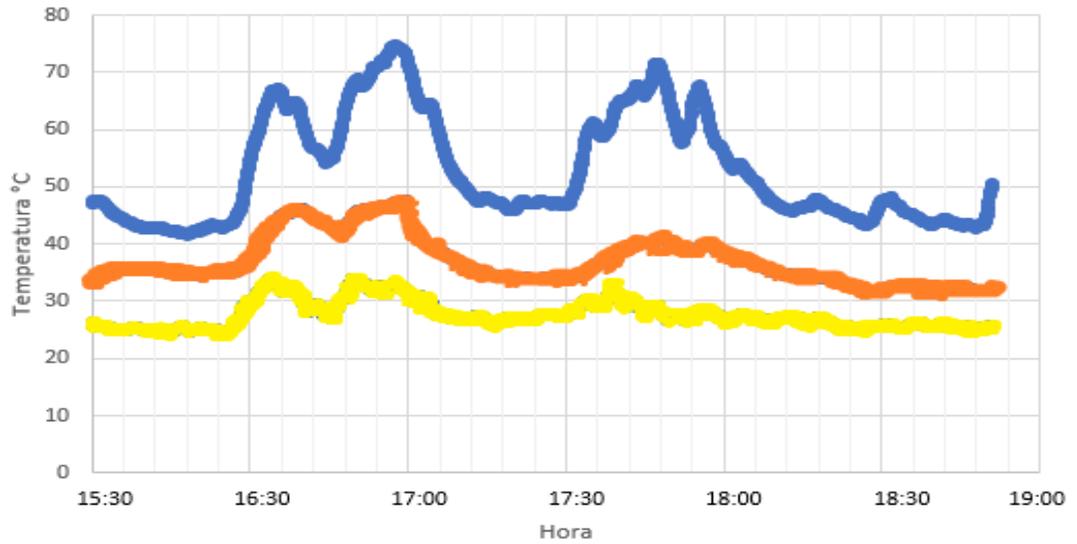
Ilustración 24. Diagrama proceso caracterización



### Anexo 3. Resultados primera prueba de secado

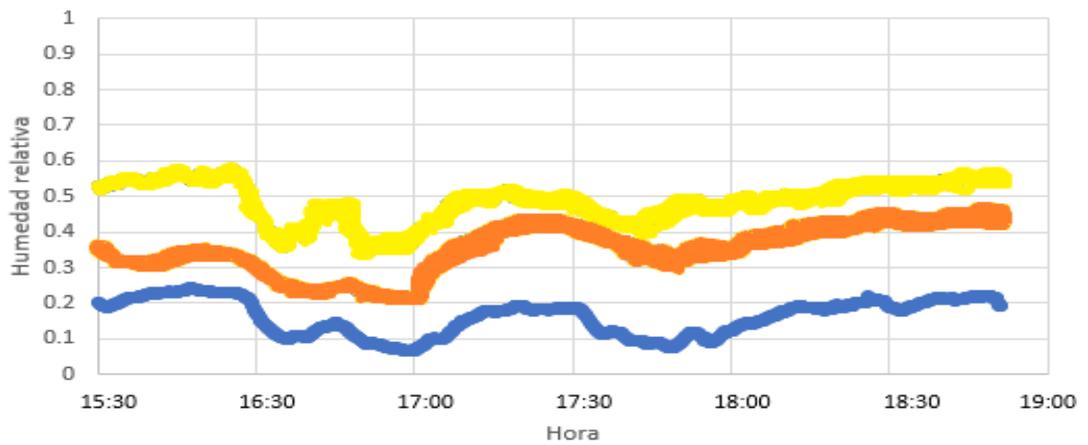
La primera prueba de secado tuvo una duración de cuatro días. Se realizó el jueves 4 de abril de 2019, el tomate se retiró del deshidratador el lunes 8 de abril a las 8:00 a.m. Se deshidrató un total de 3 kg de tomate Saladette. Para esta primera prueba, el deshidratador se probó con el techo sin chimenea, por lo que la salida de aire ocurrió por las tres ventanas de salida localizadas en la parte posterior del deshidratador. De igual manera, se probó el deshidratador con aislamiento dentro de la cámara de secado. La toma de datos inició a las 11:35 a.m. y terminó a las 07:00 p.m.

Ilustración 25. Distribución de temperaturas 04 de abril, primera prueba



■ Temperatura colector solar    ■ Temperatura cámara de secado    ■ Temperatura ambiente  
(Elaboración propia)

Ilustración 26. Distribución de humedades relativas 04 de abril, primera prueba



■ Humedad relativa colector solar    ■ Humedad relativa cámara de secado    ■ Humedad relativa ambiente  
(Elaboración propia)

#### Anexo4. Resultados segunda prueba de secado

La segunda prueba de secado se realizó el día 11 de abril, de 9:45 a.m. a 6:10 p.m. Se secó un total de 3kg de tomate. Para esta prueba se utilizó nuevamente la configuración del deshidratador con techo sin chimenea, pero se removió el asilamiento que se tenía dentro de la cámara de secado.

*Ilustración 27. Colocación tomate sobre bandeja*



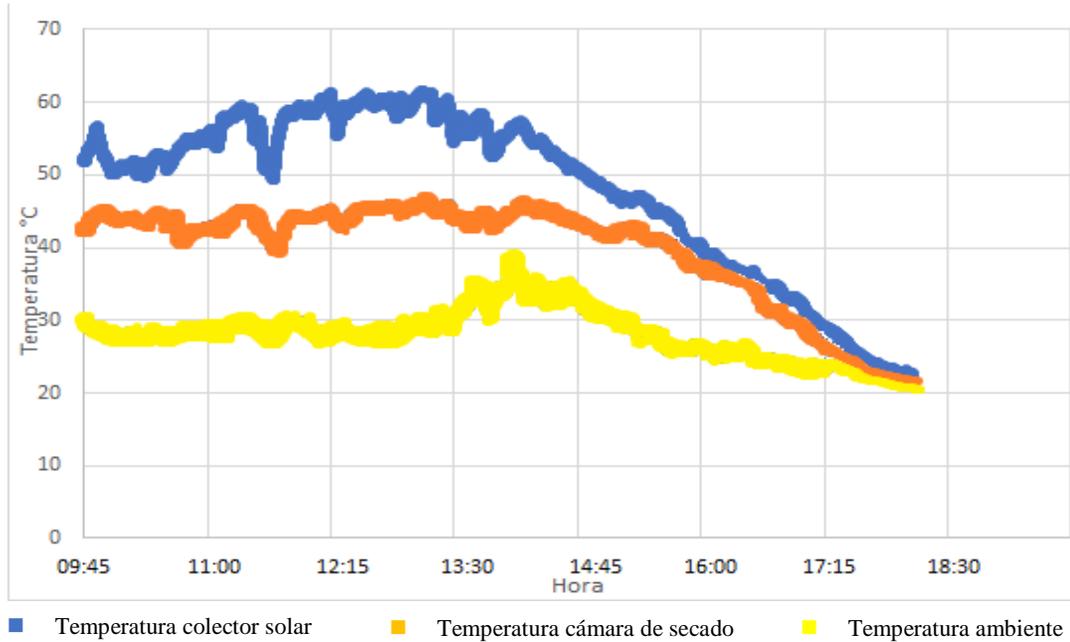
(Fotografía propia)

*Ilustración 28. Colocación bandeja en deshidratador*



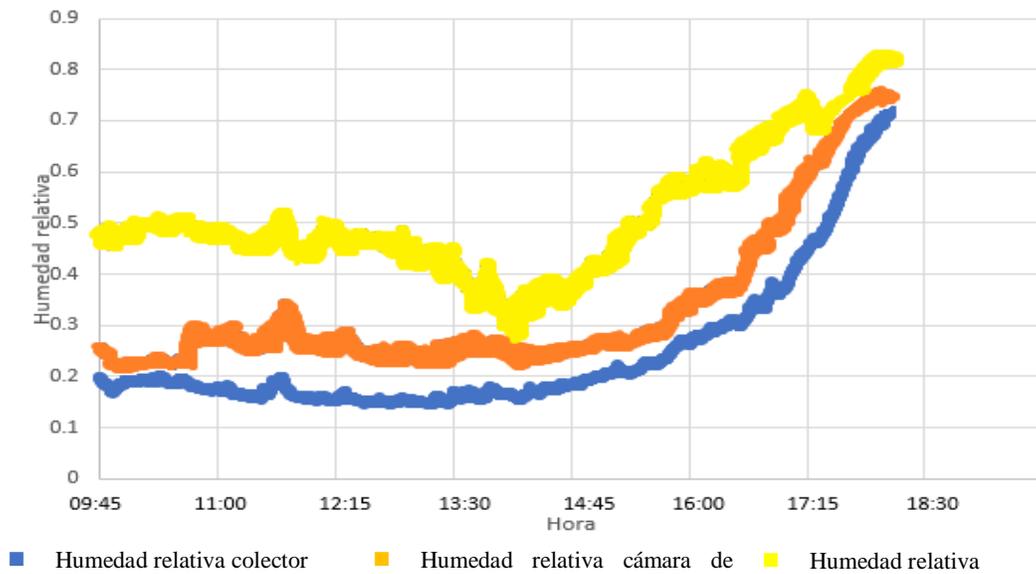
(Fotografía propia)

Ilustración 29. Distribución de temperaturas 11 de abril, segunda prueba



(Elaboración propia)

Ilustración 30. Distribución de humedades relativas 11 de abril, segunda prueba



(Elaboración propia)

## Anexo5. Resultados tercera prueba de secado

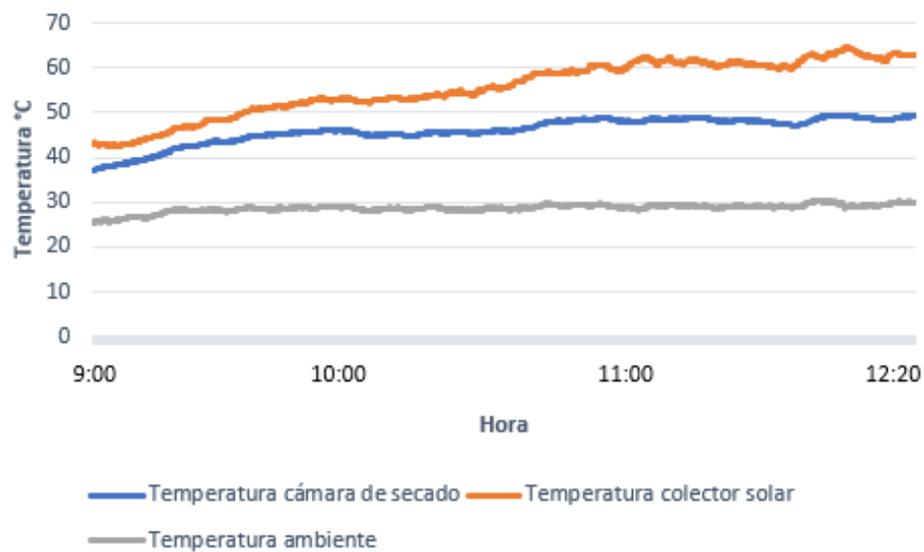
La tercera prueba de secado se realizó el 12 de abril. Se continuó con el secado del lote número dos. El secado se realizó con la configuración de deshidratador de techo con chimenea. La prueba realizada fue interrumpida a las 12:20 debido a que el equipo de medición sufrió daños por lluvia.

*Ilustración 31. Deshidratador configuración techo con chimenea*



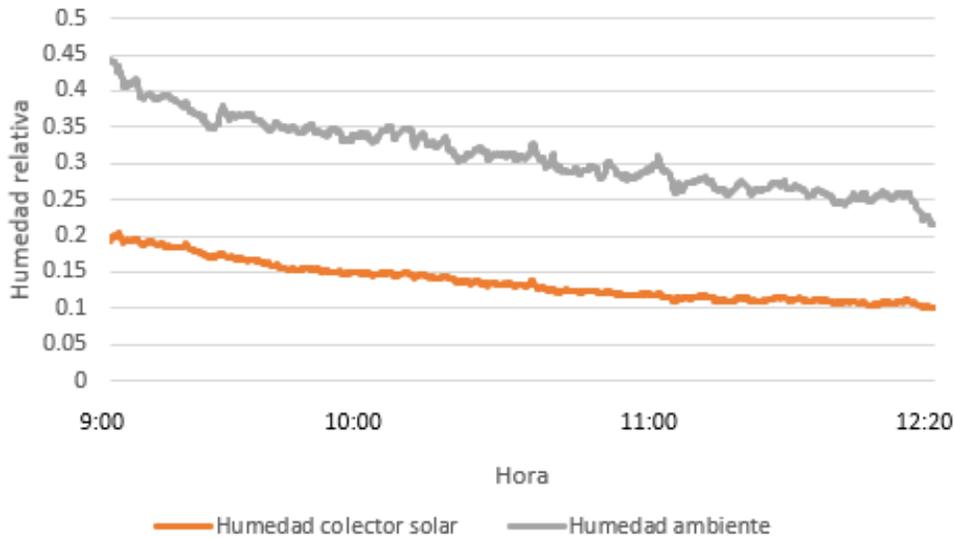
(Foto propia)

*Ilustración 32. Distribución de temperaturas 12 de abril, tercera prueba*



(Elaboración propia)

Ilustración 33. Distribución de humedad relativa del aire 12 de abril, tercera prueba



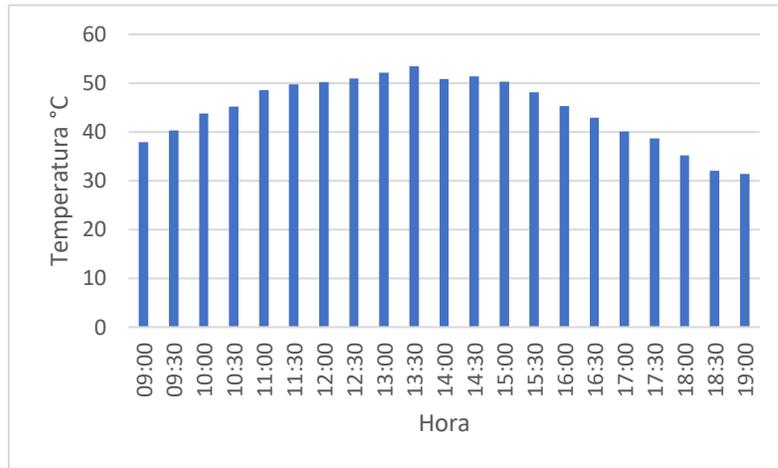
(Elaboración propia)

## Anexo 6. Resultados cuarta y quinta prueba de secado

La cuarta prueba se realizó el viernes 19 de abril. Para esta prueba se utilizó 5 kg de tomate distribuidos sobre dos bandejas. No se realizó un monitoreo de la temperatura y humedad con los sensores instalados, únicamente se tomó la temperatura dentro de la cámara de secado y el colector solar en intervalos de 20 minutos, utilizando la sonda del indicador de temperatura. Se tomó la decisión de dejar el lote de tomate durante tres días en vez de dos, con el fin de verificar si existe un cambio significativo en el contenido de agua del tomate.

La quinta y última prueba tuvo una duración de cuatro días, comenzando lunes 22 a las 9:00 a.m. y terminando el jueves 26 a las 5 p.m. Para esta última prueba se utilizó un total de 10 kg de tomate, lo cual corresponde al cupo máximo de la cámara de secado. El miércoles 24 a las 8:30 a.m. se cambió de lugar la bandeja superior con la inferior, con el fin de garantizar la homogeneidad de secado. No se monitoreó la temperatura ni humedad, únicamente se midió la humedad final del tomate con el fin de validar la carga del deshidratador.

Ilustración 34. Temperatura cámara de secado 19 de abril, cuarta prueba



(Elaboración propia)

## Anexo7. Cálculo de radiación absorbida por el colector

La radiación absorbida por el colector solar depende directamente de la radiación incidente. Esta última depende de la posición geográfica relativa al Sol y de las condiciones atmosféricas locales. Los parámetros y ecuaciones utilizados para la estimación de la posición geográfica relativa al Sol y la radiación incidente fueron los siguientes:

- $l$  Latitud
- $\delta$  Declinación
- $h$  ángulo horario

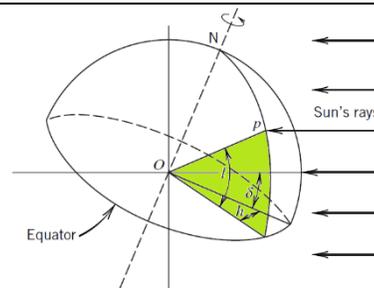


Figure 7-2. Latitude, hour angle, and sun's declination.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\beta</math> ángulo de altura solar</li> <li>• <math>\theta_z</math> ángulo del zenit del sol</li> <li>• <math>\Phi</math> ángulo del acimut solar</li> <li>• <math>\Upsilon</math> acimut solar de superficie</li> <li>• <math>\Psi</math> acimut de superficie<sup>13</sup></li> <li>• <math>\theta</math> ángulo de incidencia</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\alpha</math> ángulo de inclinación</li> </ul>	

- LCT – Local Civil Time, hora determinada por la longitud en la que se encuentra el observador.
- ST – Standard Time, hora civil local para el meridiano central en un huso horario.
- LST – Local Solar Time,  $LST = LCT + EOT$
- EOT – Equation of time, se utilizaron los valores de corrección obtenidos en el siguiente enlace

<http://www.ppowers.com/EoT.htm>

- Declinación  $\delta$

$$\delta = 0.3963723 - 22.9132745 \cos N + 4.0254304 \sin N - 0.3872050 \cos 2N + 0.05196728 \sin 2N - 0.1545267 \cos 3N + 0.08479777 \sin 3N$$

$$N = (n - 1) \left( \frac{360}{365} \right)$$

*n es el número de día en el año,  $1 \leq n \leq 365$*

<sup>13</sup> Se utilizó el valor de  $180^\circ$ , debido a que la superficie debe estar orientada al Sur.

- Ángulo de altura solar  $\beta$

$$\sin \beta = \cos l \cos h \cos \delta + \sin l \sin \delta$$

- Ángulo del zenit del sol  $\theta_z$

$$\beta + \theta_z = 90^\circ$$

- Ángulo del acimut solar

$$\cos \phi = \frac{\sin \delta \cos l - \cos \delta \sin l \cos h}{\cos \beta}$$

- Acimut solar de superficie

$$\gamma = |\phi - \psi|$$

- Ángulo de incidencia  $\theta$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \gamma \sin \alpha + \sin \beta \cos \alpha$$

- Irradiación total. Se utilizó el modelo ASHRAE Clear Sky Model para la determinación de la irradiación total. Esta está conformada por la radiación directa  $G_{ND}$ , radiación difusa  $G_D$  y radiación reflejada  $G_R$ .

$$G_t = G_D + G_d + G_R$$

- Irradiación solar  $G_{ND}$

$$G_{ND} = \frac{A}{e^{\left(\frac{B}{\sin \beta}\right)}} CN$$

**Table 7-2** Solar Data for Twenty-First Day of Each Month<sup>a</sup>

	Equation of Time, min	Declination, degrees	A, Btu/hr-ft <sup>2</sup>	A, W/m <sup>2</sup>	B, Dimensionless	C, Dimensionless
Jan	-11.2	-20.2	381.0	1202	0.141	0.103
Feb	-13.9	-10.8	376.2	1187	0.142	0.104
Mar	-7.5	0.0	368.9	1164	0.149	0.109
Apr	1.1	11.6	358.2	1130	0.164	0.120
May	3.3	20.0	350.6	1106	0.177	0.130
June	-1.4	23.45	346.1	1092	0.185	0.137
July	-6.2	20.6	346.4	1093	0.186	0.138
Aug	-2.4	12.3	350.9	1107	0.182	0.134
Sep	7.5	0.0	360.1	1136	0.165	0.121
Oct	15.4	-10.5	369.6	1166	0.152	0.111
Nov	13.8	-19.8	377.2	1190	0.142	0.106
Dec	1.6	-23.45	381.6	1204	0.141	0.103

<sup>a</sup>A, B, C, coefficients are based on research by Machler and Iqbal (6).  
Source: Reprinted by permission from ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd ed., 1992.

- Radiación directa  $G_D$

$$G_D = G_{ND} \cos \theta$$

- Radiación difusa  $G_d$  &  $G_{d\theta}$

Radiación difusa superficie horizontal  $G_d = (C)G_{ND}$

Radiación difusa superficie no vertical  $G_{d\theta} = (C)G_{ND}F_{WS}$

factor de configuración entre pared y cielo  $F_{WS} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$

- Radiación reflejada  $G_R$

$$G_R = (G_d + G_D)\rho_g F_{wg}$$

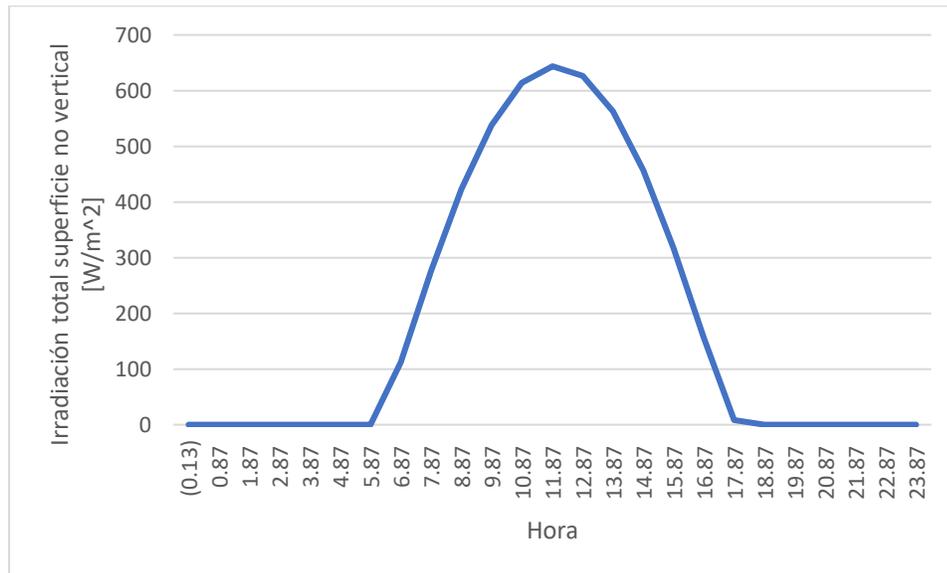
$$F_{wg} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

$$\text{reflectancia} = \rho_g = 0.05^{14}$$

Las ecuaciones fueron ingresadas a una hoja de Excel, con el fin de obtener la irradiación total en diferentes horas durante un día específico, en función de la posición geográfica con respecto al Sol del observador.

<sup>14</sup> El valor de reflectancia utilizado fue 0.05, este corresponde a un estándar o patrón SRI (Índice de Reflectividad Solar) negro (Alchapar, Correa, & Cantón, 2011).

Ilustración 35. Distribución irradiación total sobre superficie no vertical, 12 de abril



(Elaboración propia)

Se procedió al cálculo de la radiación absorbida por el colector. Para esto se siguió el procedimiento planteado por Duffie & Beckman en el libro “Solar Engineering of Thermal Process”.

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho_g (\tau\alpha)_g \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

$$\text{factor de visión del colector al cielo} \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

$$\text{factor de visión del colector al suelo} \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right)$$

$$\text{factor geométrico } R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

#### Terminología

I Radiación incidente

R relación entre

$\beta$  inclinación superficie

$\alpha$  Absortividad placa

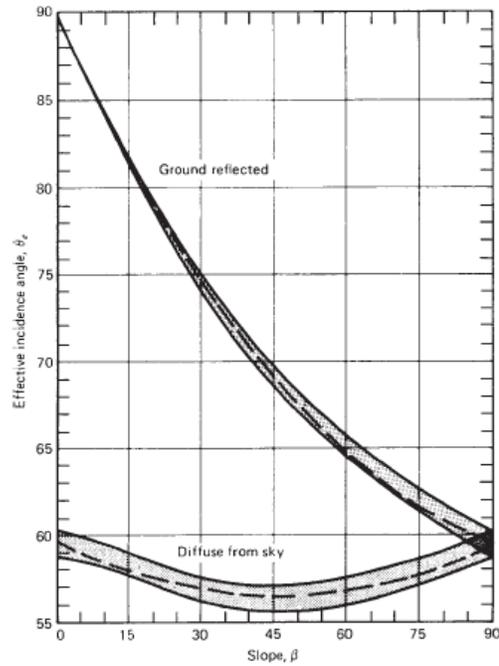
Subíndices

b beam (directa)

d diffuse (difusa)

g ground (reflejada)

Se utiliza la figura 5.4.1 en conjunto con las ecuaciones 5.4.1 y 5.4.2 para encontrar el ángulo efectivo de incidencia de radiación difusa y reflejada.



**Figure 5.4.1** Effective incidence angle of isotropic diffuse radiation and isotropic ground-reflected radiation on sloped surfaces. From Brandemuehl and Beckman (1980).

The dashed lines shown in Figure 5.4.1 are given for ground-reflected radiation by

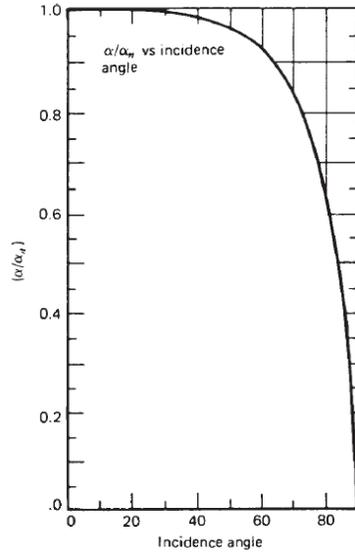
$$\theta_{e,g} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2 \quad (5.4.1)$$

and for diffuse radiation by

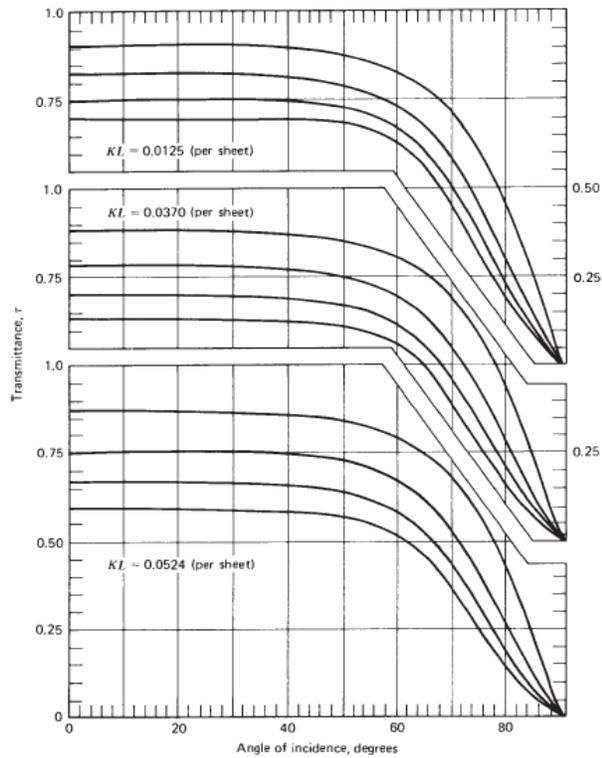
$$\theta_{e,d} = 59.7 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2 \quad (5.4.2)$$

(Duffie & Beckman, 2006)

Una vez encontrados los ángulos de incidencia, se utiliza la figura 4.11.1 para encontrar el valor de absorptancia y la figura 5.3.1 para los valores de transmitancia.



**Figure 4.11.1** Ratio of solar absorptance and solar absorptance at normal incidence for a flat black surface. From Beckman et al. (1977).



**Figure 5.3.1** Transmittance (considering absorption and reflection) of one, two, three, and four covers for three types of glass.

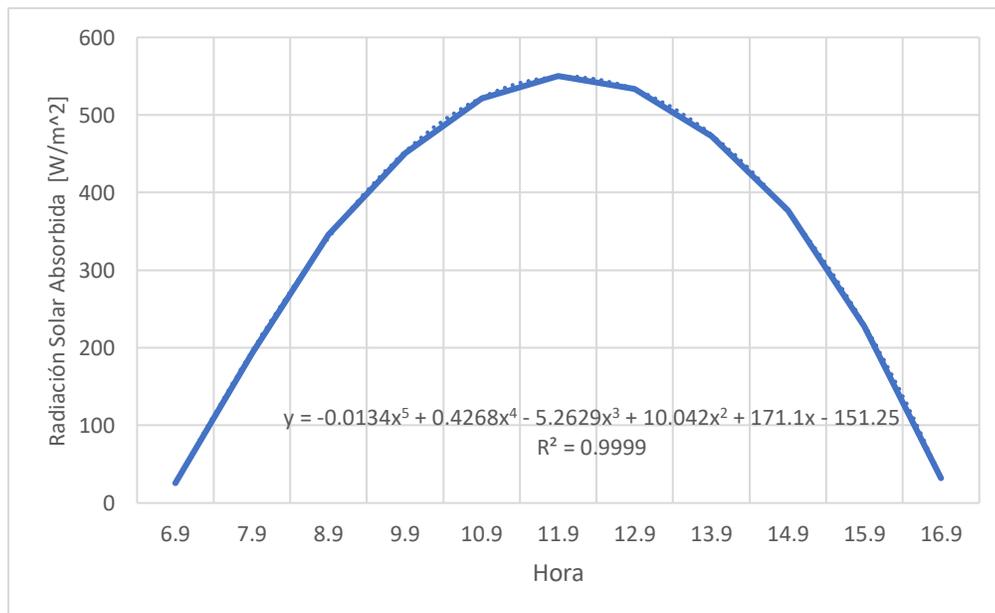
(Duffie & Beckman, 2006)

En la obtención de la transmitancia, se utilizó el valor de 0.0370 para  $KL$ , siendo  $K$  el factor de extinción del vidrio y  $L$  el grosor del vidrio utilizado. Para el valor  $K$ , los valores varían desde  $4m^{-1}$  para el “vidrio blanco” (aparenta ser blanco al observarlo desde un costado) hasta  $32m^{-1}$  para el vidrio con alto contenido de óxido de hierro (se divide verde al ser observado desde un costado) (Duffie & Beckman, 2006).

Se utiliza la siguiente ecuación para obtener los valores de  $(\tau\alpha)_d$  y  $(\tau\alpha)_b$ .

$$(\tau\alpha)_d \cong 1.01\tau\alpha$$

Ilustración 36. Distribución de radiación absorbida por colector solar, 12 de abril



(Elaboración propia)

Se encuentra la función que describe la gráfica, la cual es una función polinómica de quinto grado. Se integra con respecto al tiempo con el fin de encontrar la radiación total absorbida por el colector.

$$\int_{8.5}^{16.9} (-0.0134x^5 + 0.4268x^4 - 5.2629x^3 + 10.042x^2 + 171.1x - 151.25)dx = 6,677.41 \frac{W}{m^2 \text{ día}}$$

## Anexo8. Cálculo coeficiente total de pérdidas térmicas

Se toma el modelo de Duffie & Beckman para el cálculo de pérdidas térmicas.

El coeficiente de pérdida térmica total está conformado por el coeficiente de pérdida superior, inferior y lateral. El coeficiente de pérdida térmica lateral es despreciable debido a que el área lateral es pequeña en comparación con el área superior e inferior del colector y a que se recubre con aislamiento térmico (Duffie & Beckman, 2006).

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Suposiciones

Inclinación $\beta$	15°
Temperatura placa inferior	70°C
Temperatura placa superior	50°C
Temperatura promedio del aire dentro del colector	60°C
Emitancia del vidrio	0.88
Emitancia placa	0.95
Coefficiente de transferencia de calor del viento	$10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Temperatura colector solar $T_p$	70°C
Temperatura vidrio $T_c$	50°C
Temperatura ambiente $T_a$	20°C
Temperatura cielo $T_s$	10°C
Aceleración $g$	$9.81 \frac{m}{s^2}$
Separación entre placas $L$	0.127 m
Diferencia de temperatura colector – vidrio $\Delta T$	

Propiedades del aire a 1atm y temperatura promedio 60°C

Conductividad térmica $k$	$0.0287 \frac{W}{m \cdot K}$
Temperatura [K]	333.15 K
Coefficiente de expansión volumétrico $\beta'$	$0.003 \frac{1}{K}$

Viscosidad cinemática $\nu$	$1.87913 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
Difusividad térmica $\alpha$	$2.69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
Viscosidad	$1.059 \frac{kg}{m^3}$
Viscosidad dinámica $\mu$	$1.99 Pa \cdot s$

$$\begin{aligned} \text{Número de Nusselt} = Nu &= 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos\beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos\beta} \right] + \left[ \left( \frac{Ra \cos\beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \\ &= 12.91 \end{aligned}$$

$$\text{Número de Rayleigh} = Ra = \frac{g \beta' \Delta T L^3}{\nu \alpha} = 3,415,077.67$$

Cálculo pérdida térmica superior

$$\text{coeficiente de convección cubierta - placa} = h_{c,p-c} = Nu \left( \frac{k}{\Delta T} \right) = 2.92 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\text{coeficiente de radiación placa - cubierta} = h_{r,p-c} = \left( \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p - T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \right) = 6.80 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\text{coeficiente de radiación cubierta - aire} = h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c - T_s) = 5.35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Se calcula la temperatura del vidrio. Se compara con el valor asumido; si es diferente se realizan varias iteraciones hasta que el valor converja.

$$T_c = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} = 39.52$$

Se cambia la temperatura del vidrio a 39°C.

$$T_c = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} = 39.35$$

$$\text{pérdida térmica superior } U_t = \left( \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} = 5.91 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Cálculo coeficiente pérdida térmica inferior

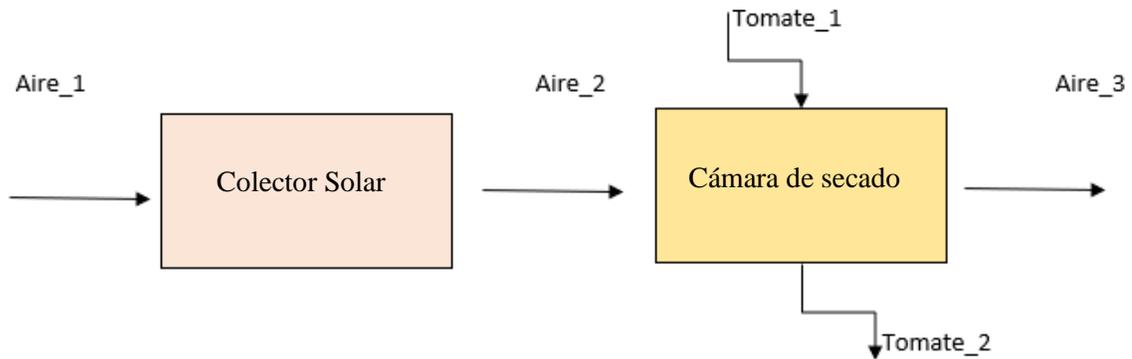
Se utiliza duroport de 5cm de espesor como aislamiento térmico, con una conductividad térmica de

$$k = 0.0029 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$\text{coeficiente pérdida térmica inferior } U_b = \frac{k}{L} = 0.06 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$\text{coeficiente de pérdida de calor total } U_L = U_t + U_b + U_e = 5.97 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

## Anexo 9. Cálculo flujo másico aire seco



(Elaboración propia)

Se utilizó la carta psicrométrica para determinar las propiedades del aire a diferentes temperaturas y humedades relativas. La temperatura y humedad relativa del aire en el punto 1 se obtienen según a datos promedios del INSIVUMEH. En el punto 3, correspondiente a la salida de la cámara de secado, se asume una humedad relativa de 30%, así como una temperatura de 55°C.

Propiedades del aire

<b>Propiedades Aire punto 1</b>		
Temperatura	20	°C
Humedad relativa	50	%
Humedad específica	0.0087	kg H2O / kg aire_s
volumen específico	1.01	m <sup>3</sup> / kg
Entalpía	42.3	kJ / kg

<b>Propiedades Aire punto 2</b>		
Temperatura	60	°C
Humedad relativa	8	%
Humedad específica	0.012	kg H2O / kg aire_s
volumen específico	1.15	m <sup>3</sup> / kg
Entalpía	91.6	kJ / kg

<b>Propiedades Aire punto 3</b>		
Temperatura	55	°C
Humedad relativa	60	%
Humedad específica	0.0784	kg H2O / kg aire_s
volumen específico	1.2537	m <sup>3</sup> / kg
Entalpía	259.24	kJ / kg

Masa de agua removida por kg de aire seco

$$\begin{aligned}
 \text{Humedad específica}_3 - \text{Humedad específica}_2 &= (0.078 - 0.012) \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} \\
 &= 0.0664 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}}
 \end{aligned}$$

Se determina la cantidad de agua removida del tomate. El tomate inicia el proceso de deshidratado con una humedad relativa de 94%, y finaliza la etapa de deshidratación con una humedad final máxima de 15%. Se realizan los cálculos asumiendo un lote de 10kg de producto.

Entrada tomate		Salida tomate	
Masa seca	0.6 kg	Masa seca	0.6 kg
Porcentaje de humedad	94 %	Porcentaje de humedad	15 %

$$\frac{X \text{ kg}_{H_2O_f}}{X \text{ kg}_{H_2O_f} + 0.6 \text{ kg}_{masa_{seca}_f}} = 0.15 \frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{H_2O} + \text{kg}_{masa_{seca}}}$$

$$X \text{ kg}_{H_2O_f} = 0.15 (X \text{ kg}_{H_2O_f} + 0.6 \text{ kg}_{producto_{seco}_f})$$

$$0.85 X \text{ kg}_{H_2O_f} = 0.09 \text{ kg}_{producto_{seco}_f}$$

$$masa_{H_2O_f} = \frac{0.09}{0.85} = 0.1058 \text{ kg}_{H_2O}$$

Masa de agua removida durante el proceso de deshidratado

$$masa_{H_2O_i} - masa_{H_2O_f} = (9.4 - 0.11) \text{ kg}_{H_2O} = 9.29 \text{ kg}_{H_2O}$$

Se determina la cantidad de aire requerido para la remoción de agua del tomate y el flujo másico de aire.

$$\frac{masa_{H_2O} \text{ removida}}{masa_{H_2O} \text{ por kg de aire seco}} = \frac{9.29 \text{ kg}_{H_2O}}{0.0664 \frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}}} = 139.9484 \text{ kg}_{\text{aire seco}}$$

<b>tiempo de secado</b>	
días	2
horas por día	8
segundos	<b>57600</b>

$$\text{Flujo másico de aire} = \frac{m}{t} = \frac{139.9484 \text{ kg}_{\text{aire}}}{57,600 \text{ s}} = 0.0024 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{s}}$$

<b>cantidad aire requerido</b>	
139.9484	kg aire
0.0024	kg aire/ s

Se seleccionan dos ventiladores de 12V con el fin de generar el flujo másico requerido.

### Especificaciones técnicas ventilador

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12V</li> <li>• 130mA</li> <li>• 1.56W</li> <li>• Dimensiones(4x4x1) cm</li> <li>• Velocidad 2 m/s</li> <li>• Flujo másico 0.0032 kg/s</li> </ul>
---	---

(Steren)

### Anexo10. Cálculo calor requerido calentamiento aire

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p \Delta T = 0.0024 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 258 \text{ W}$$

### Anexo11. Cálculo área colector solar

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

$$258 \text{ W} = A_c \left[ 435 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} - 5.97 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \right]$$

$$A_c = 0.95 \text{ m}^2$$

### Anexo12. Eficiencias

a. Factor de eficiencia F'

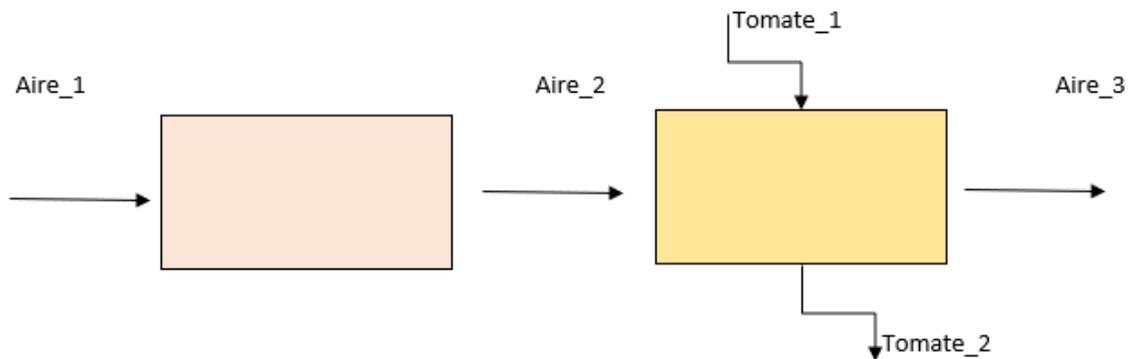
$$F' = \frac{h_{r,p-c} h_{r,c-a} + h_{c,p-c} U_t + h_{c,p-c} h_{r,p-c} + h_{r,c-a} h_{c,p-c}}{(U_t + h_{r,p-c} + h_{r,c-a})(U_b + h_{c,p-c} + h_{r,p-c}) - h_{r,p-c}^2}$$

$$= \frac{6.80 * 5.35 + 2.92 * 5.91 + 2.92 * 6.80 + 5.35 * 2.92}{(5.91 + 6.80 + 5.35)(0.06 + 2.92 + 6.80) - 6.80^2} = 35.82\%$$

### b. Eficiencia de transferencia de calor

La eficiencia del deshidratador solar se obtiene siguiendo el modelo planteado por la FAO. Esta eficiencia se basa en las temperaturas de operación del deshidratador.

$$\eta_s = \frac{T_{aire\ 2} - T_{aire\ 3}}{T_{aire\ 2} - T_{aire\ 1}} * 100$$



### c. Eficiencia de secado

Se utiliza el procedimiento planteado por (Sogari, 1998). Se utiliza el flujo másico del agua evaporada, área de colector solar, radiación solar neta y el calor latente de evaporación del agua para determinar la eficiencia del deshidratador.

Se obtiene el flujo másico de entrada a partir de

$$\dot{m}_1 = \frac{m_t}{t}$$

Donde

$$\dot{m}_1 = \text{flujo másico de entrada} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$t = \text{tiempo de residencia} [s]$$

$$m_t = \text{masa total tomate} [kg]$$

Prueba	$m_t$	t	$\dot{m}_1$
1	3 kg	115200	$2.60 \times 10^{-5}$
2	3 kg	28800	$1.04 \times 10^{-4}$
3	5 kg	86400	$5.79 \times 10^{-5}$
4	10 kg	115200	$8.68 \times 10^{-5}$

Se obtiene el flujo másico de salida a partir de

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1(1 - X_{w1})}{1 - X_{w2}}$$

Donde

$$\dot{m}_2 = \text{flujo másico de salida} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$X_{w1} = \text{humedad inicial de tomate} \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{sólido}} \right]$$

$$X_{w2} = \text{humedad final de tomate} \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{sólido}} \right]$$

Prueba	$X_{w1}$	$X_{w2}$	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$
1	0.94	0.1713	$2.60 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-6}$
2	0.94	0.8278	$1.04 \times 10^{-4}$	$3.63 \times 10^{-5}$
3	0.94	0.0262	$5.79 \times 10^{-5}$	$3.57 \times 10^{-6}$
4	0.94	0.1172	$8.68 \times 10^{-5}$	$5.90 \times 10^{-6}$

El flujo másico de agua evaporada se obtiene a partir de

$$m_w = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

Prueba	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_w$
1	$2.60 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-6}$	$2.42 \times 10^{-5}$
2	$1.04 \times 10^{-4}$	$3.63 \times 10^{-5}$	$6.79 \times 10^{-6}$
3	$5.79 \times 10^{-5}$	$3.57 \times 10^{-6}$	$5.43 \times 10^{-5}$
4	$8.68 \times 10^{-5}$	$5.90 \times 10^{-6}$	$8.09 \times 10^{-5}$

La eficiencia del deshidratador del deshidratador se obtiene a partir de

$$\eta = \frac{(\dot{m}_w \lambda) 100}{R_n A}$$

Donde

$$\eta = \text{eficiencia de secado [\%]}$$

$$\lambda = \text{calor latente de evaporación} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{H_2O}} \right]$$

$$R_n = \text{radiación solar neta} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right]$$

$$A = \text{área de colector solar} [\text{m}^2]$$

Prueba	$\dot{m}_w$	$\lambda$	$R_n^{15}$	$A$	$\eta$
1	$2.42 \times 10^{-5}$	2382	50	0.95	12.11
2	$6.79 \times 10^{-6}$	2382	50	0.95	34.04
3	$5.43 \times 10^{-5}$	2382	50	0.95	27.23
4	$8.09 \times 10^{-5}$	2382	50	0.95	40.57

### Anexo13. Selección de materiales

Una vez finalizada la etapa de diseño, se seleccionó y cotizó los materiales para la construcción del deshidratador.

<sup>15</sup> Se tomó como valor estándar  $50 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ s}}$ ; este valor corresponde a la radiación solar promedio neta en la ciudad de Guatemala según datos del INSIVUMEH

Tabla 8. Materiales de construcción para el diseño propuesto del deshidratador

Material	Cantidad	Precio total
Lámina negra 1/16 in (3 ft x 7 ft)	3	Q. 450.00
Tubo cuadrado 1in	4	Q. 125.00
Angular hierro negro 1 in	3	Q. 150.00
Angular hierro negro ¾ in	2	Q. 100.00
Lámina troquelada 10 in	1	Q. 150.00
Vidrio claro 5 mm	1.80 m <sup>2</sup>	Q. 400.00
Rodo giratorio 100 mm	4	Q. 316.80
Libra de electrodo	5	Q. 75.00
Galón de pintura negra anticorrosiva	1	Q.163.00
Galón solvente tipo “thinner”	1	Q.77.00
Tela galvanizada	5 yardas	Q. 52.25
Plancha de espuma de poliuretano (50 x 100 x 3) cm	5	Q. 72.50
Otros (tornillos, silicón, lija, estaño, etc.)		Q. 150.00
Ventilador	2	Q.134.00
Panel Solar 10W 12V	1	Q. 85.00
Total		Q. 2,500.55

Tabla 9. Equipo medición

Equipo	Cantidad	Precio total
Arduino 1	1	Q. 140.00
Protoboard	1	Q. 55.00
Juego de cables jumpers	3	Q. 102.00
Memoria microSD	1	Q. 44.90
Módulo para memoria SD	1	Q. 55.00
Módulo DHT22 temperatura-humedad	3	Q. 240.00
Módulo DS3231 RTC	1	Q. 45.00
Total		Q. 681.90

## Anexo 14. Temperaturas y brillo solar abril 2019, INSIVUMEH

mes	día	temperatura_max	temperatura_min	temperatura_prom	brillo_solar_total
4	1	29.4	16.6	22.2	8.7
4	2	28.4	15.7	21.9	8.7
4	3	26.4	15.6	21.5	8.3
4	4	28	17.6	21.8	8.7
4	5	25.7	16.3	20.7	-99.9
4	6	26.8	17	20.7	8.4
4	7	26.4	16	20.6	-99.9
4	8	26	17.5	20.9	6.3
4	9	31.4	18.2	19.9	4.3
4	10	26.6	16	21.6	8.6
4	11	25.6	16.1	20.7	9.2
4	12	26.8	16.4	21.1	9.8
4	13	27	16.5	21.3	10.1
4	14	29.4	16.4	23.1	10.1
4	15	28.2	17.4	22.9	9.1
4	16	28.2	17	22.1	8.3
4	17	27.2	17	21.6	6.8
4	18	25.2	19	21.8	6.6
4	19	25.2	17.5	20.3	3.7
4	20	26	14	21	9.4
4	21	25	15.2	21.5	10.2
4	22	29.4	14.4	21.2	9.1
4	23	27.4	16	21.9	10
4	24	26.4	17.5	22	-99.9
4	25	25.4	17.7	21	9.7
4	26	29	18.5	23.4	6.7
4	27	29	18.5	24.1	8.9
4	28	29.6	17.5	23.6	9.5
4	29	30.2	16.5	23.9	9.4
4	30	28.6	17.5	23.2	7.7

(INSIVUMEH)

## Anexo 15. Inversión y costos de operación

- Inversión inicial de Q. 2,500.55 calculada en base a materiales requeridos para construcción.
- Costos de operación reducidos a recurso humano.

Tabla 10. Cálculo costos de operación

Tiempo de operación	Salario mensual agrícola <sup>16</sup>	Salario diario [8 horas]	Costo recurso humano por lote de secado <sup>17</sup>
32 h	Q. 2,893.21	Q. 96.44	Q. 385.76

## Anexo 16. Variación humedad relativa en la salida de la cámara de secado

Datos teóricos			Datos experimentales		
Propiedades Aire 3			Propiedades Aire 3		
T	55	°C	T	55	°C
humedad rel.	60	%	humedad rel.	30	%
humedad esp.	0.078411	kg H <sub>2</sub> O / kg aire <sub>s</sub>	humedad esp.	0.0368811	kg H <sub>2</sub> O / kg aire <sub>s</sub>
volumen esp	1.25	m <sup>3</sup> / kg	volumen esp	1.18	m <sup>3</sup> / kg
entalpía	259.24	kJ / kg	entalpía	150.2	kJ / kg

capacidad remoción aire	
0.066411	kg H <sub>2</sub> O / kg aire seco

capacidad remoción aire	
0.0248811	kg H <sub>2</sub> O / kg aire seco

cantidad aire requerido	
139.948467	kg aire seco
0.00242966	kg aire seco / s

cantidad aire requerido	
373.5412682	kg aire seco
0.003242546	kg aire seco / s

Área	
0.95	m <sup>2</sup>

Área	
0.95	m <sup>2</sup>

tiempo de secado	
días	2
horas por día	8
segundos	3600
	57600

tiempo de secado	
días	4
horas por día	8
segundos	3600
	115200

VENTILADOR		
flujo másico	0.0032	kg / s

## Anexo 17. Programación Arduino Uno

Se presenta la programación utilizada para el control de los sensores de humedad y temperatura en conjunto con los módulos.

<sup>16</sup> Salario agrícola autorizado 2017

<sup>17</sup> Se toma en cuenta el tiempo de preparación del producto (limpieza y cortado del tomate, colocación de bandejas, entre otros)

```

#include "DHT.h" // para sensor DHT22
#include <Wire.h> // para RTC
#include "RTClib.h" //para RTC
#include <SD.h> // para tarjeta SD
#include <SPI.h> // para el SD module

// Definir pines de sensores
#define DHT1PIN 2
#define DHT2PIN 3
#define DHT3PIN 4

//definir tipo de sensor
#define DHT1TYPE DHT22
#define DHT2TYPE DHT22
#define DHT3TYPE DHT22

//inicializar sensores
DHT dht1(DHT1PIN, DHT1TYPE);
DHT dht2(DHT2PIN, DHT2TYPE);
DHT dht3(DHT3PIN, DHT3TYPE);

// microSD CS
const int chipSelect = 9;

// archivo para almacenar datos
File myFile;

// RTC
RTC_DS3231 rtc;
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(3000);
  Serial.println("INICIO");

  dht1.begin();
  dht2.begin();
  dht3.begin();

  // setup para módulo RTC
  #ifndef ESP8266
  while (!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero
  #endif

  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }

  if (rtc.lostPower()) {
    Serial.println("RTC lost power, lets set the time!");
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }
}

```

```

// setup para tarjeta SD
Serial.print("Initializing SD card...");

if(!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("initialization failed!");
  return;
}
Serial.println("initialization done.");

//abrir archivo
myFile=SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);

// Si el archivo abre; escribir:
if (myFile) {
  Serial.println("Archivo abierto ok");
  // print the headings for our data
  myFile.println("Date,Time,Temperature °C");
}
myFile.close();
}

void loggingTime() {
  DateTime now = rtc.now();
  myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    myFile.print(now.year(), DEC);
    myFile.print('/');
    myFile.print(now.month(), DEC);
    myFile.print('/');
    myFile.print(now.day(), DEC);
    myFile.print(';');
    myFile.print(now.hour(), DEC);
    myFile.print(',');
    myFile.print(now.minute(), DEC);
    myFile.print(',');
    myFile.print(now.second(), DEC);
    myFile.print(':');
  }
}

```

```

Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.println(now.day(), DEC);
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.println(now.second(), DEC);
myFile.close();

delay(1000);
}

void loggingTemperatureHumidity() {
  // Delay entre mediciones
  delay(2000);

  float h1 = dht1.readHumidity();
  // Leer la temperatura sensor 1
  float t1 = dht1.readTemperature();

  float h2 = dht2.readHumidity();
  // Leer la temperatura sensor 2
  float t2 = dht2.readTemperature();

  float h3 = dht3.readHumidity();
  // Leer la temperatura sensor 3
  float t3 = dht3.readTemperature();
}

```

```

// Revisar que los valores de retorno sean válidos (que sean números)
if (isnan(t1) || isnan(h1)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT #1");
} else {
  Serial.print("Humidity 1: ");
  Serial.print(h1);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperature 1: ");
  Serial.print(t1);
  Serial.println(" °C");
}
if (isnan(t2) || isnan(h2)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT #2");
} else {
  Serial.print("Humidity 2: ");
  Serial.print(h2);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperature 2: ");
  Serial.print(t2);
  Serial.println(" °C");
}
if (isnan(t3) || isnan(h3)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT #3");
} else {
  Serial.print("Humidity 3: ");
  Serial.print(h3);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperature 3: ");
  Serial.print(t3);
  Serial.println(" °C");
}
myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
  Serial.println("open with success");

  myFile.print("Humidity 1: ");
  myFile.print(h1);
  myFile.print(" %\t");
  myFile.print(':');
  myFile.print("Temperature 1: ");
  myFile.print(t1);
  myFile.print(':');
  myFile.print(" °C");
  myFile.print(':');
}

```

```

myFile.print("Humidity 2: ");
myFile.print(h2);
myFile.print(" %\t");
myFile.print(':');
myFile.print("Temperature 2: ");
myFile.print(t2);
myFile.print(':');
myFile.print(" *C");
myFile.print(':');

myFile.print("Humidity 3: ");
myFile.print(h3);
myFile.print(" %\t");
myFile.print(':');
myFile.print("Temperature 3: ");

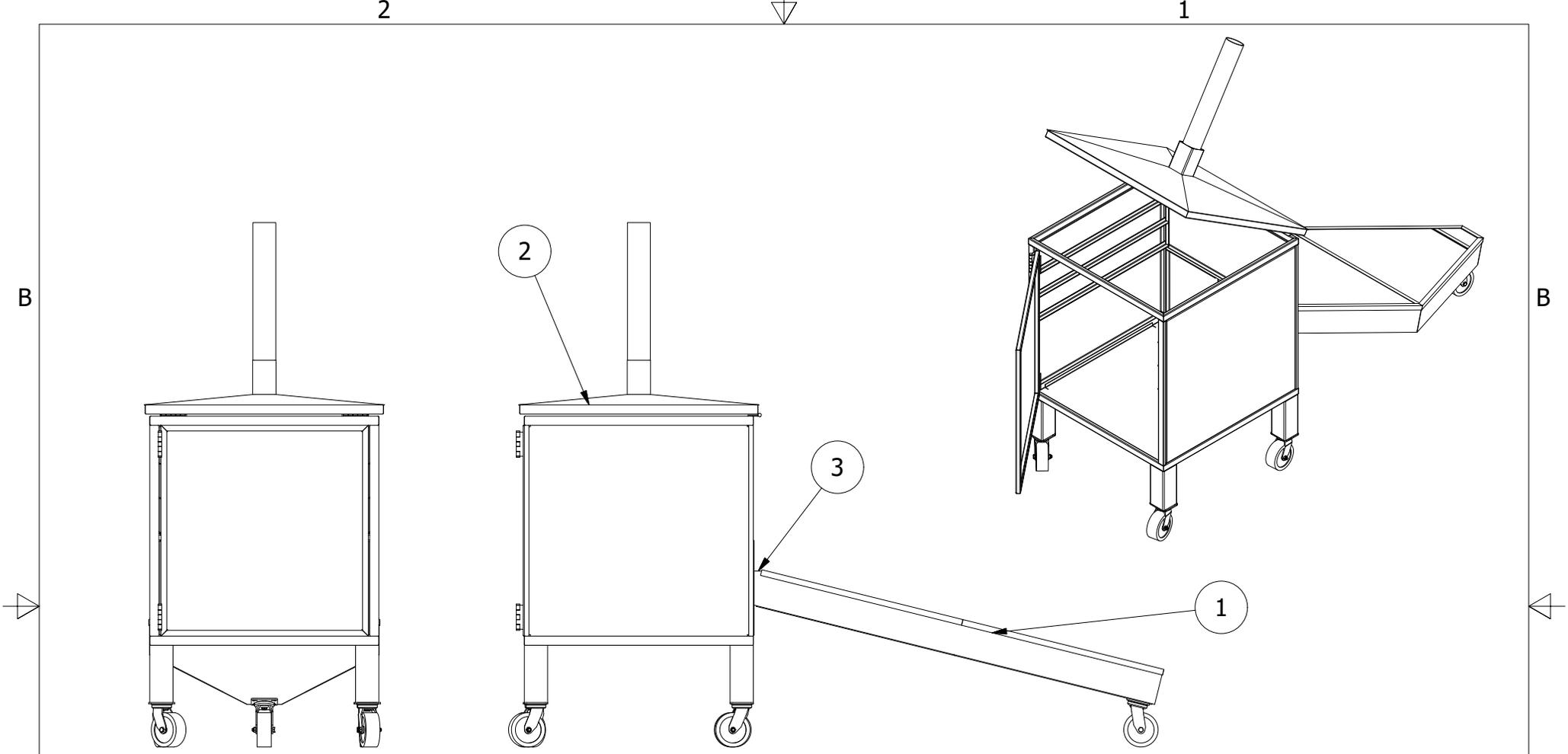
myFile.print(t3);
myFile.print(':');
myFile.println(" *C");
}
myFile.close();
Serial.println();
}

void loop() {
  loggingTime();
  loggingTemperatureHumidity();
  delay(5000);
}

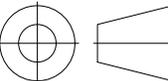
```

## Anexo 18. Planos

Se presenta el juego de planos utilizados para la construcción del deshidratador.



LISTA DE PARTES		
ITEM	PARTE	QTY
1	COLECTOR	1
2	ENSAMBLAJE DESHIDRATADOR	1
3	UNIÓN COLECTOR-HORNO	1

ENSAMBLAJE DESHIDRATADOR-COLECTOR		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:25	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 1	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.

2

1

B

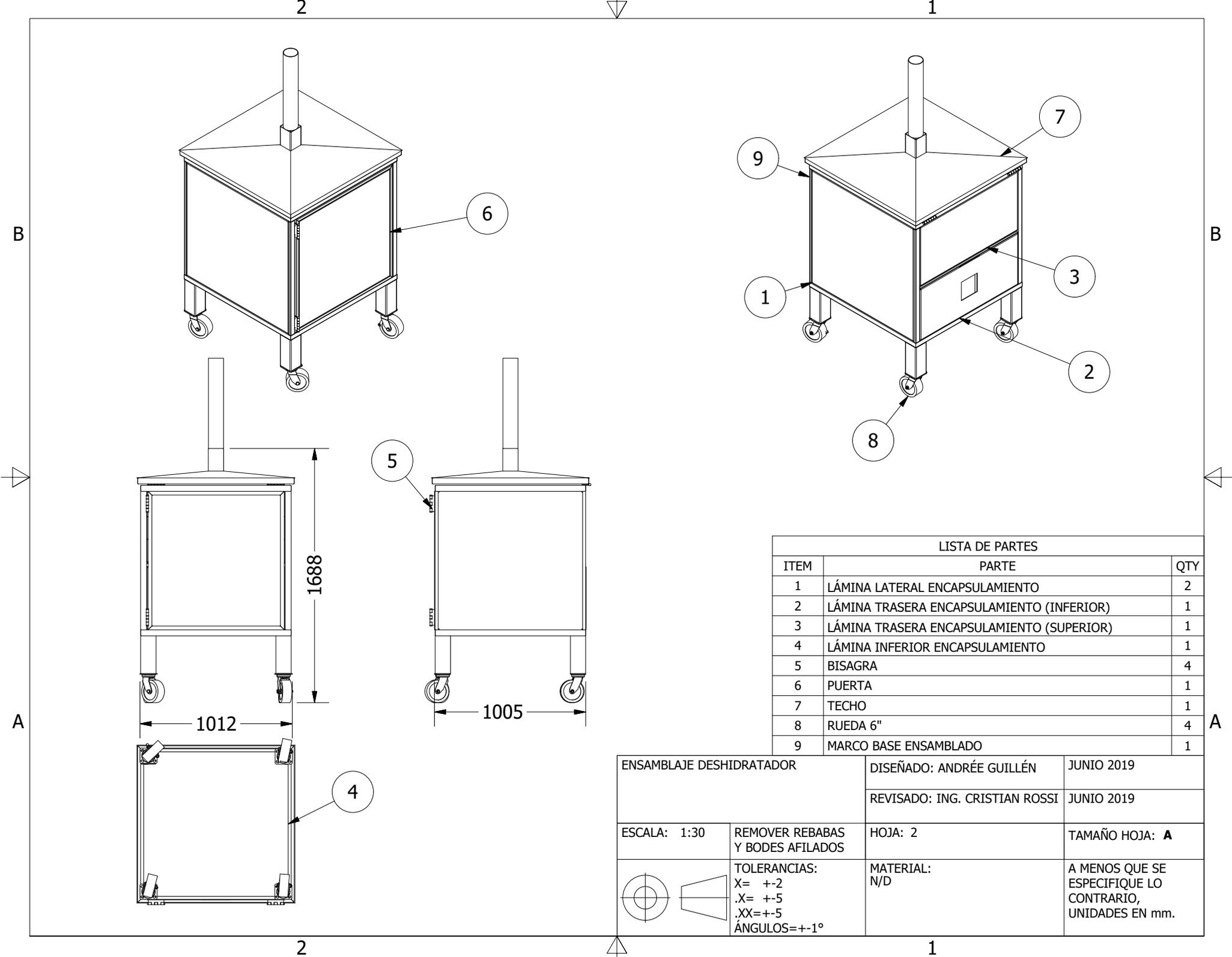
B

A

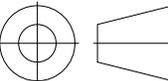
A

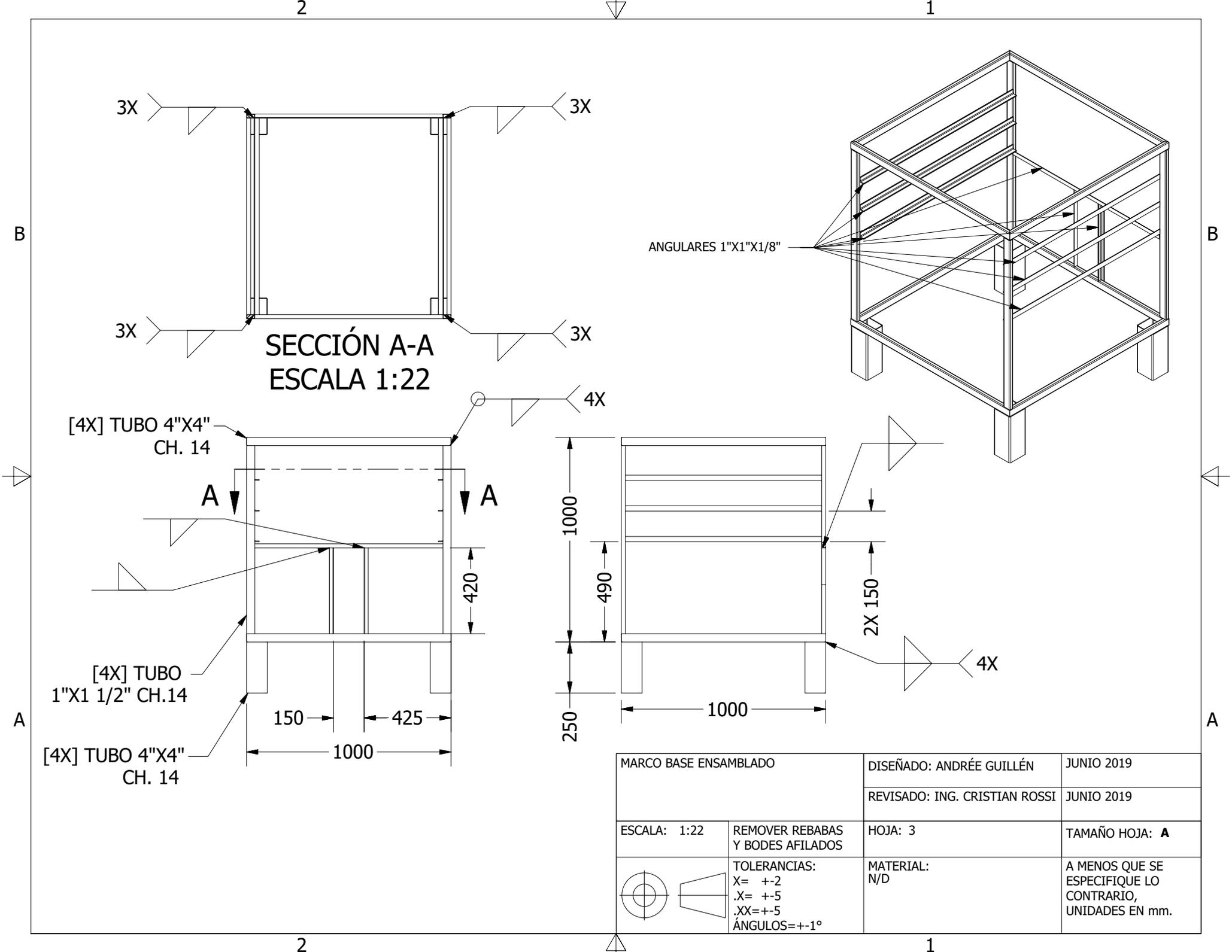
2

1



LISTA DE PARTES		
ITEM	PARTE	QTY
1	LÁMINA LATERAL ENCAPSULAMIENTO	2
2	LÁMINA TRASERA ENCAPSULAMIENTO (INFERIOR)	1
3	LÁMINA TRASERA ENCAPSULAMIENTO (SUPERIOR)	1
4	LÁMINA INFERIOR ENCAPSULAMIENTO	1
5	BISAGRA	4
6	PUERTA	1
7	TECHO	1
8	RUEDA 6"	4
9	MARCO BASE ENSAMBLADO	1

ENSAMBLAJE DESHIDRATADOR		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:30	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 2	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



**SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:22**

ANGULARES 1"X1"X1/8"

[4X] TUBO 4"X4"  
CH. 14

A

420

[4X] TUBO  
1"X1 1/2" CH.14

150

425

1000

1000

490

250

1000

2X 150

4X

MARCO BASE ENSAMBLADO		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:22	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 3	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.

2

1

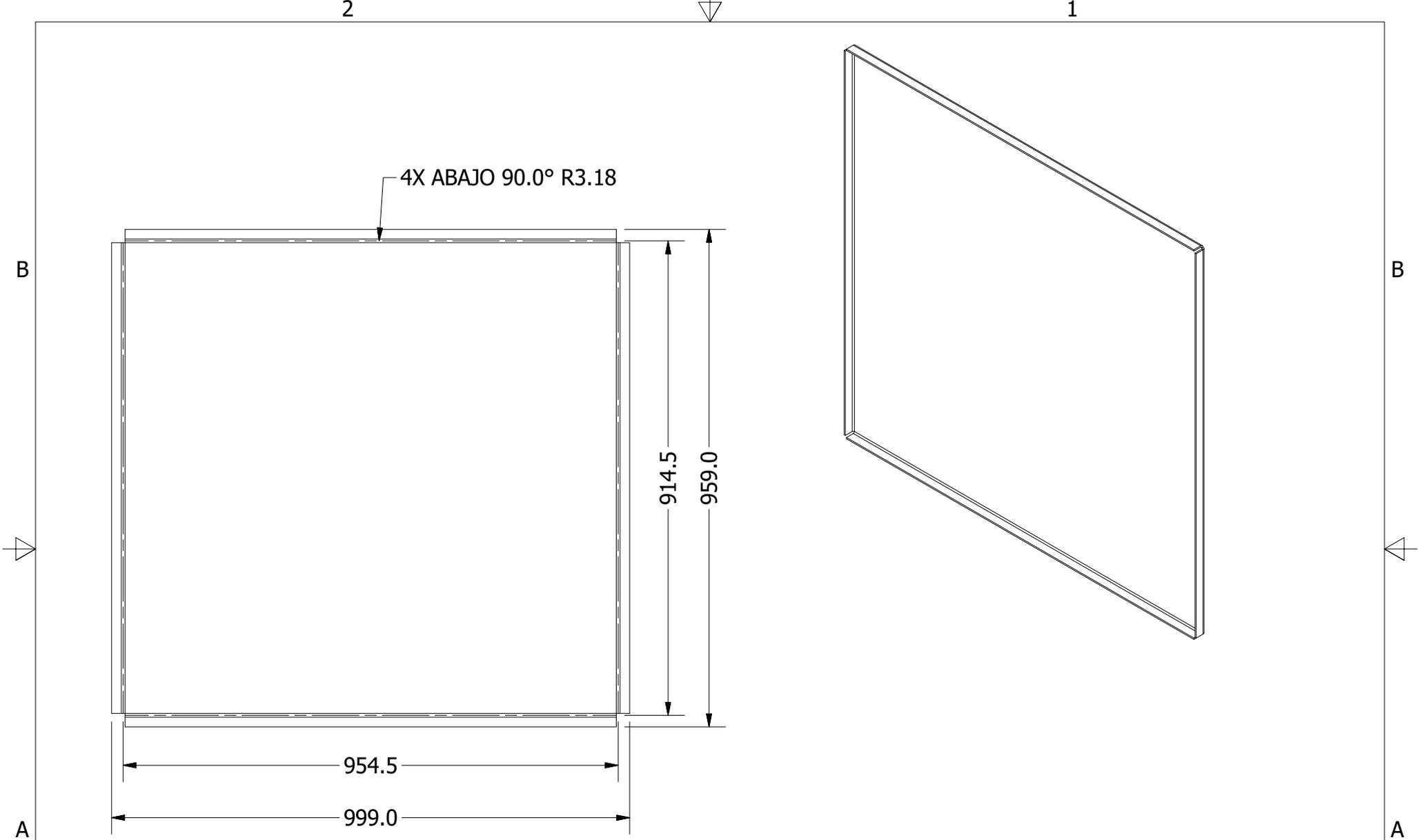
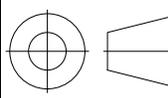


LÁMINA LATERAL ENCAPSULAMIENTO		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:10	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 4	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: LÁMINA 1/16" DE HIERRO ROLADA EN CALIENTE	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.

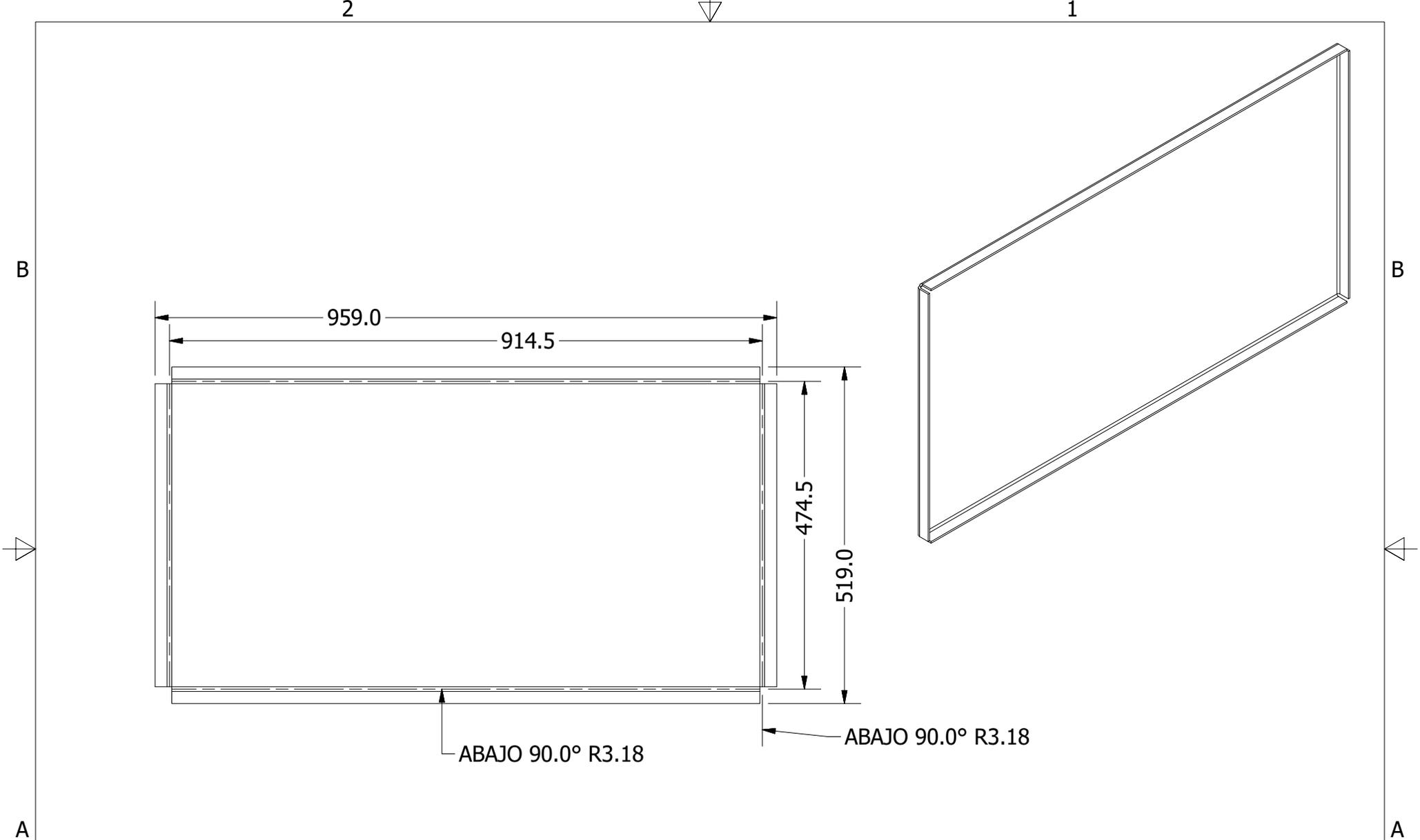
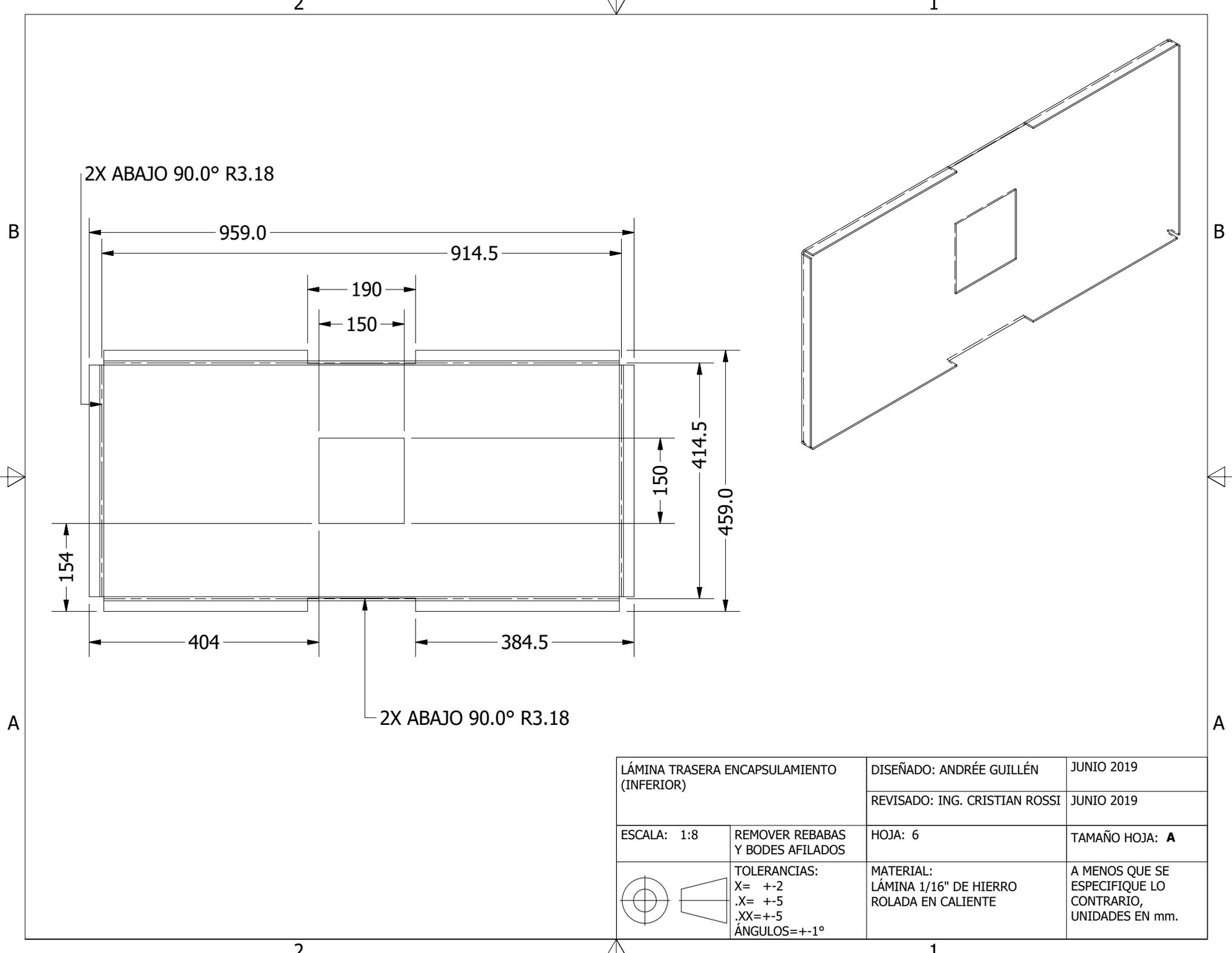


LÁMINA TRASERA ENCAPSULAMIENTO (SUPERIOR)		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:8	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 5	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
		TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: LÁMINA 1/16" DE HIERRO ROLADA EN CALIENTE
		MATERIAL: LÁMINA 1/16" DE HIERRO ROLADA EN CALIENTE	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



2X ABAJO 90.0° R3.18

959.0

914.5

190

150

154

404

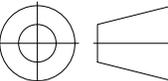
150

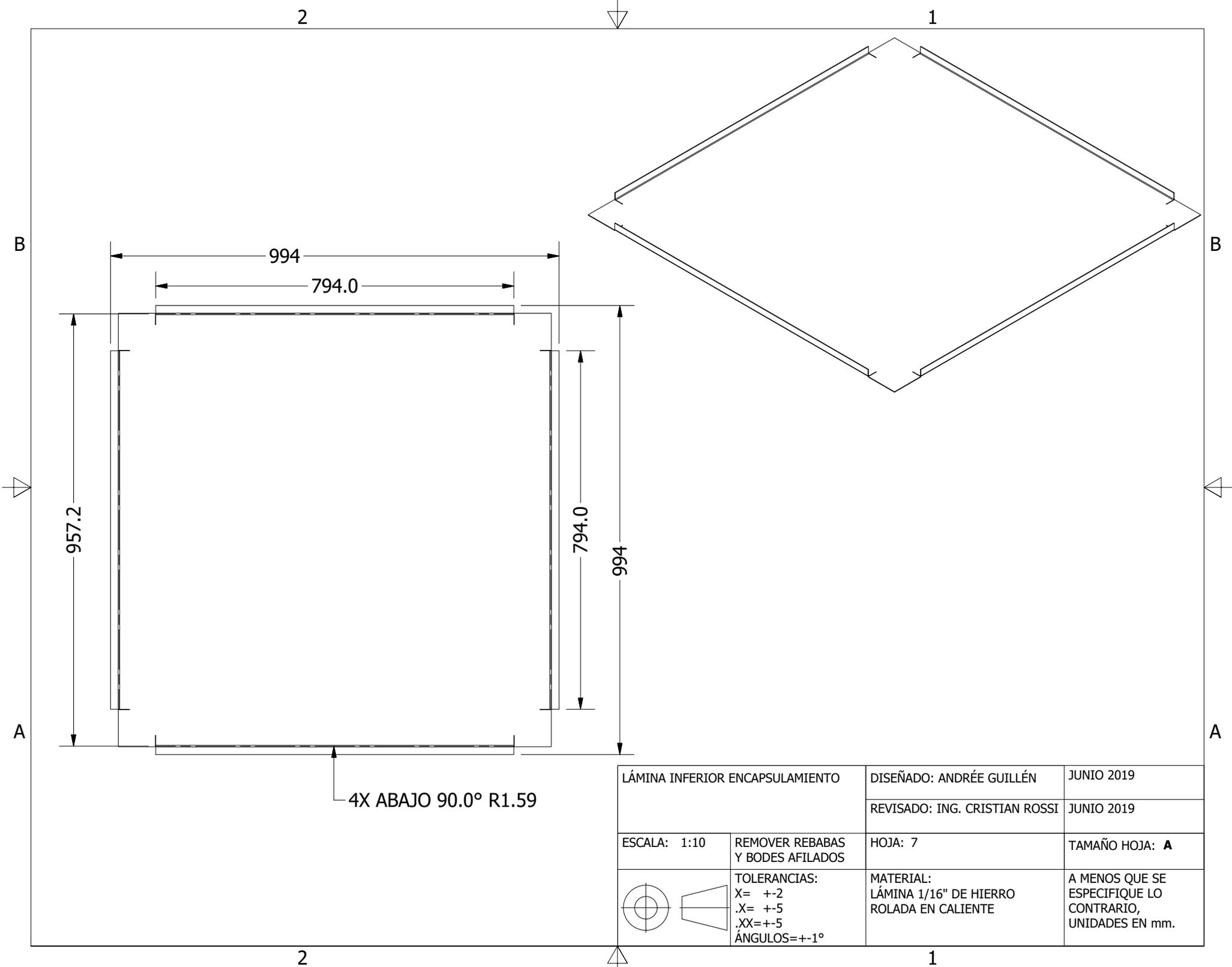
414.5

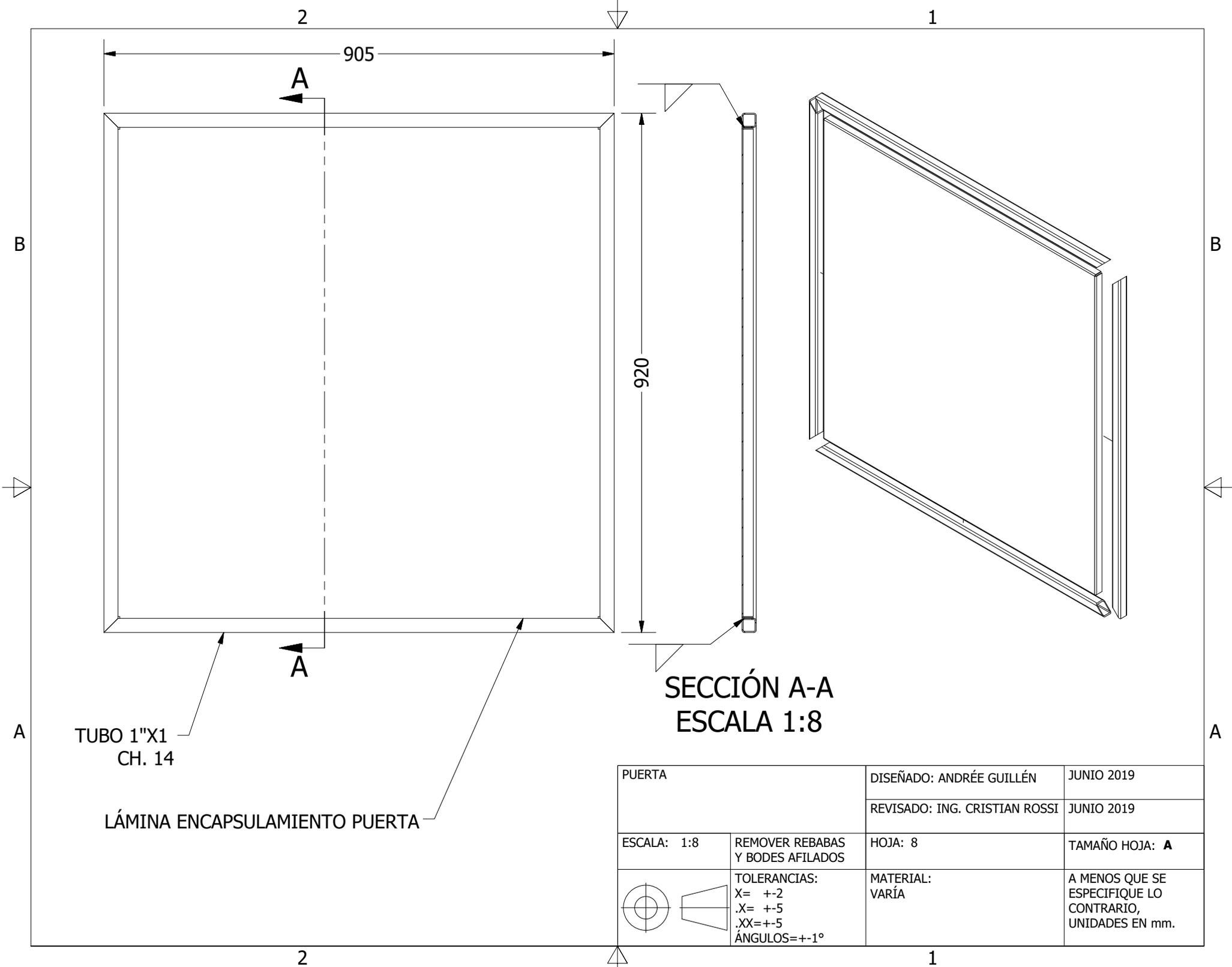
459.0

384.5

2X ABAJO 90.0° R3.18

LÁMINA TRASERA ENCAPSULAMIENTO (INFERIOR)		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:8	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 6	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: LÁMINA 1/16" DE HIERRO ROLADA EN CALIENTE	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.

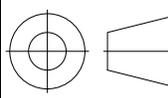




TUBO 1"X1  
CH. 14

LÁMINA ENCAPSULAMIENTO PUERTA

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:8

PUERTA		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:8	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 8	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: VARÍA	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.

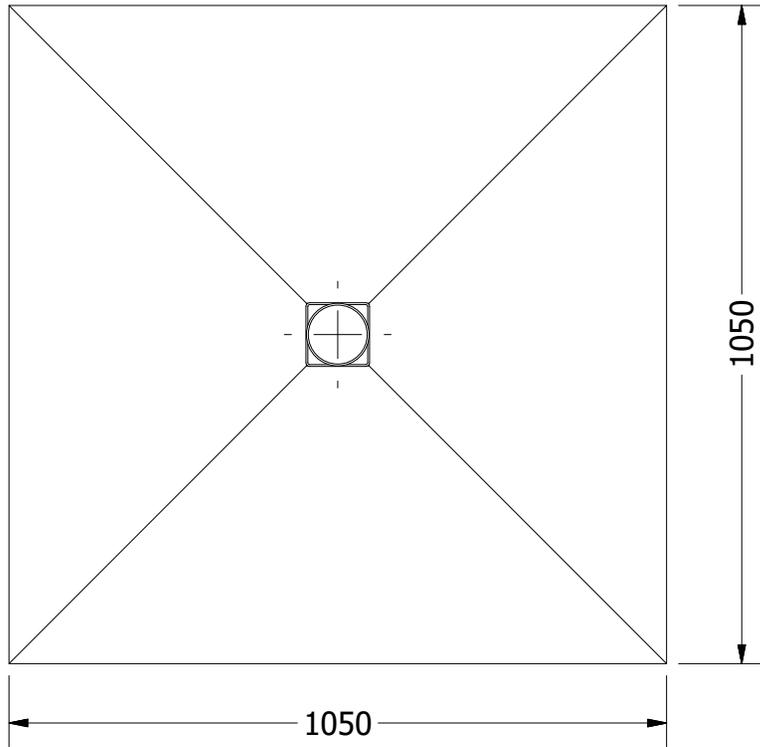
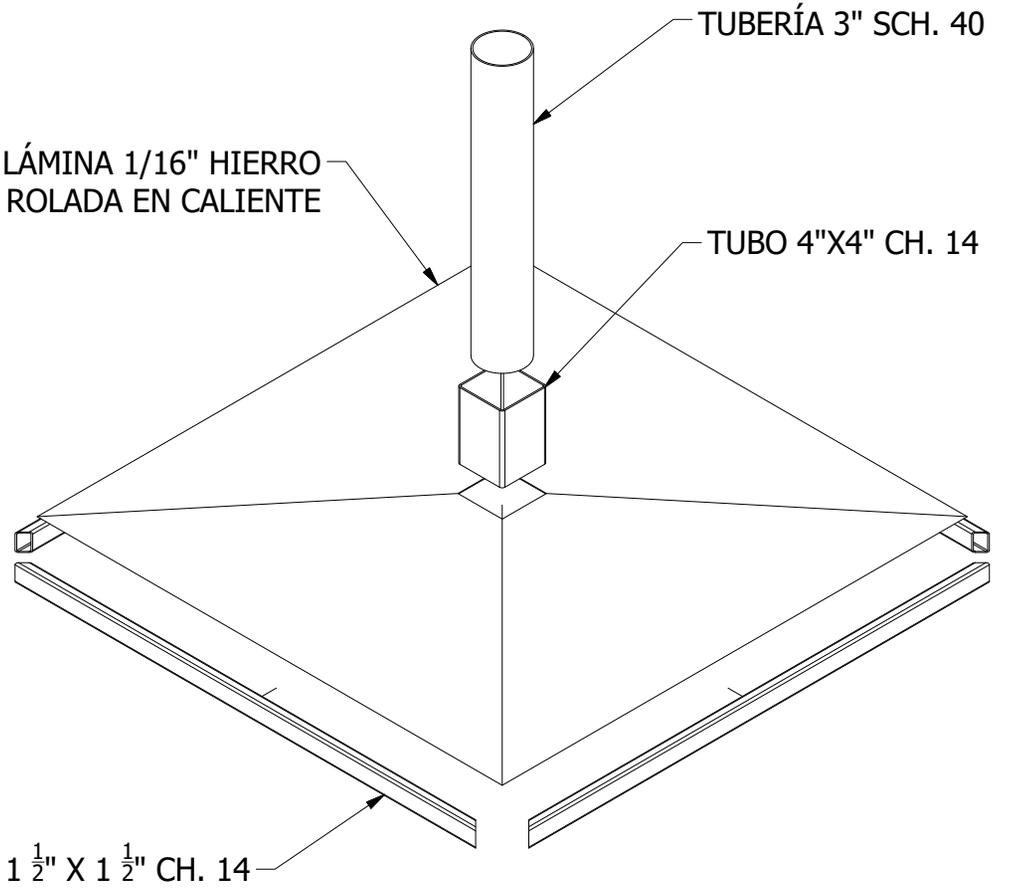
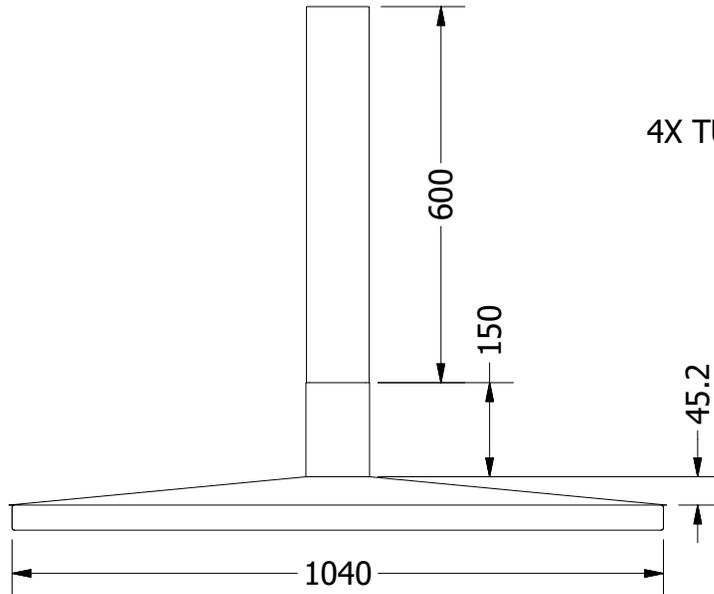


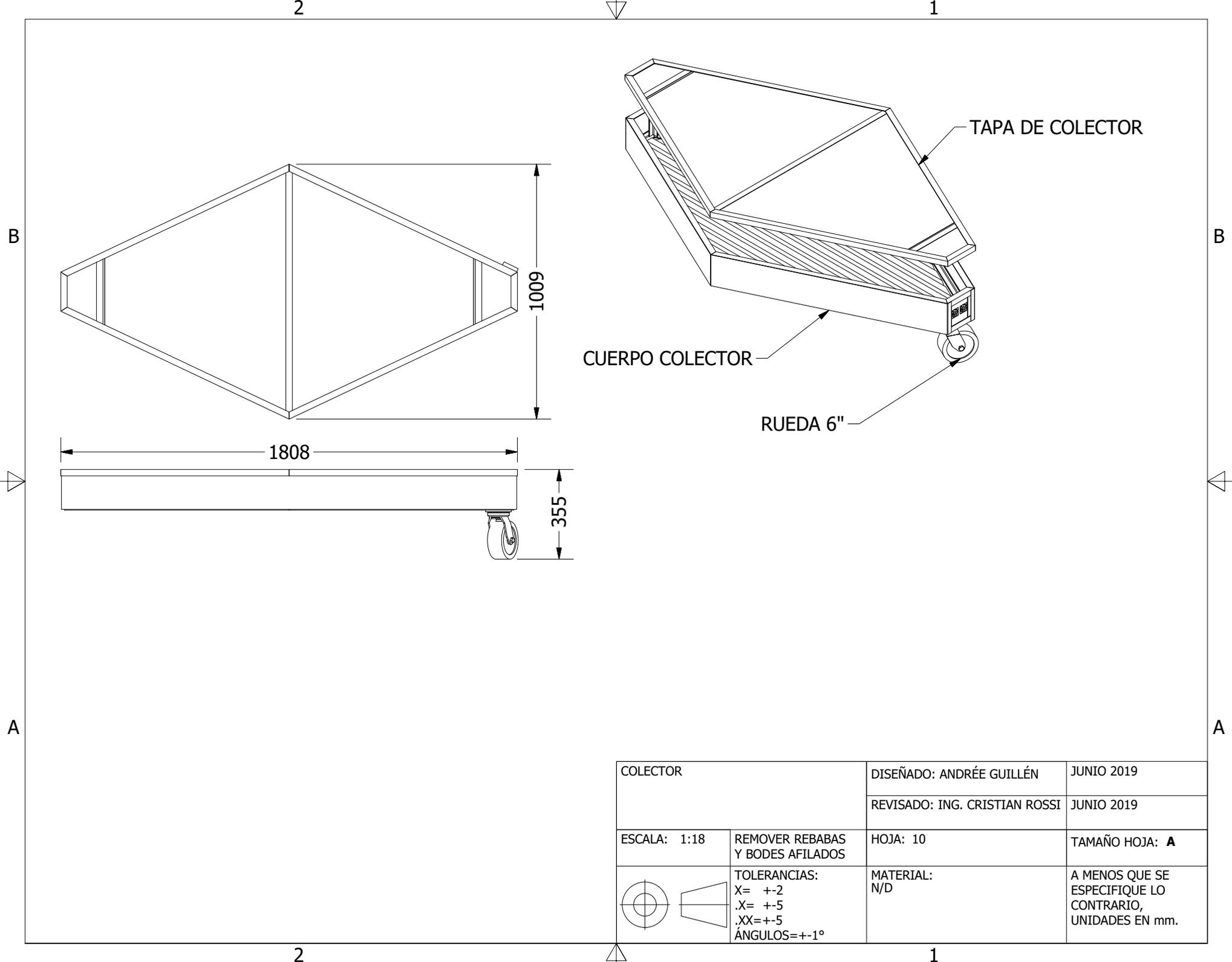
LÁMINA 1/16" HIERRO  
ROLADA EN CALIENTE

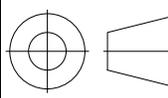


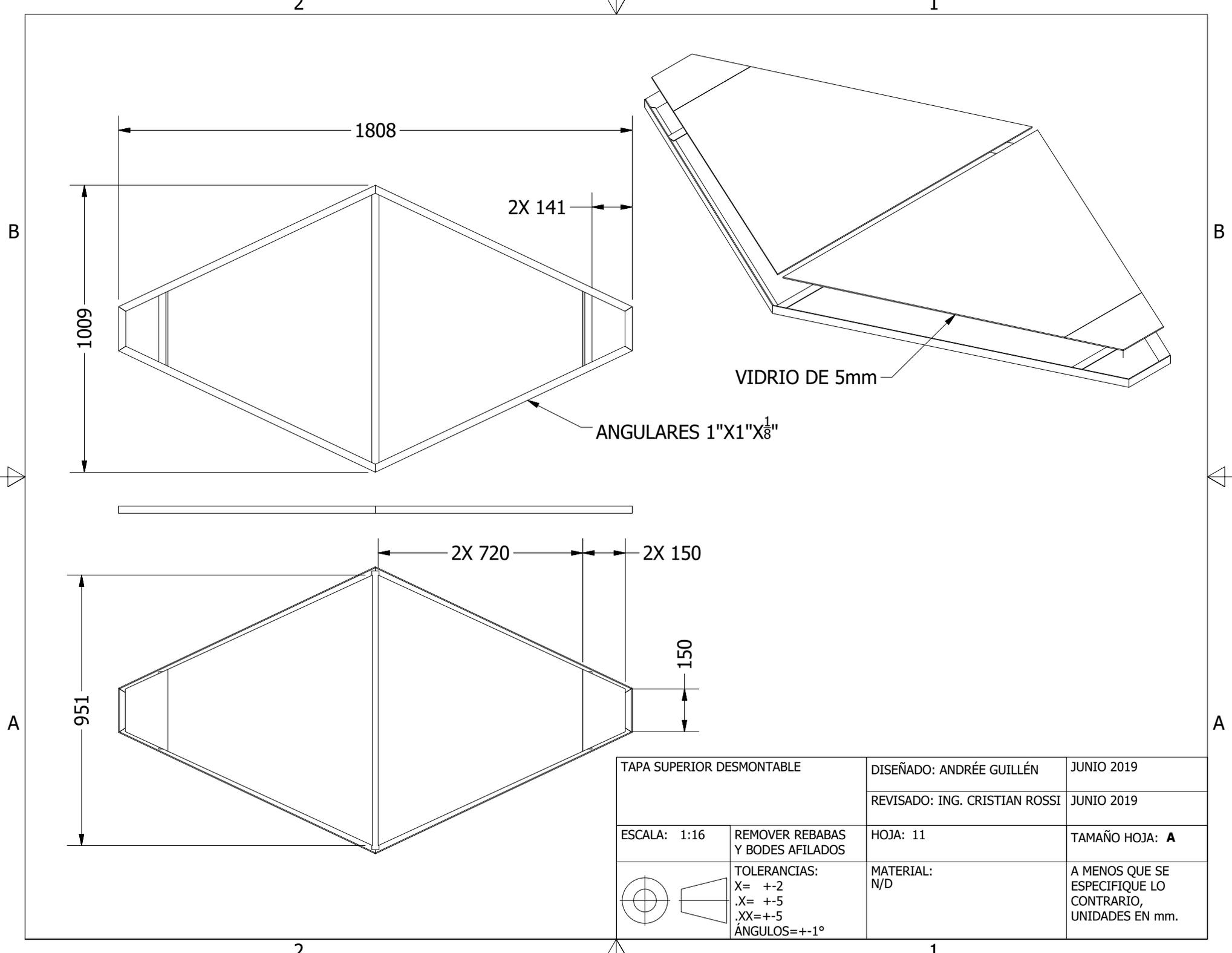
4X TUBO 1 1/2" X 1 1/2" CH. 14

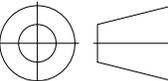


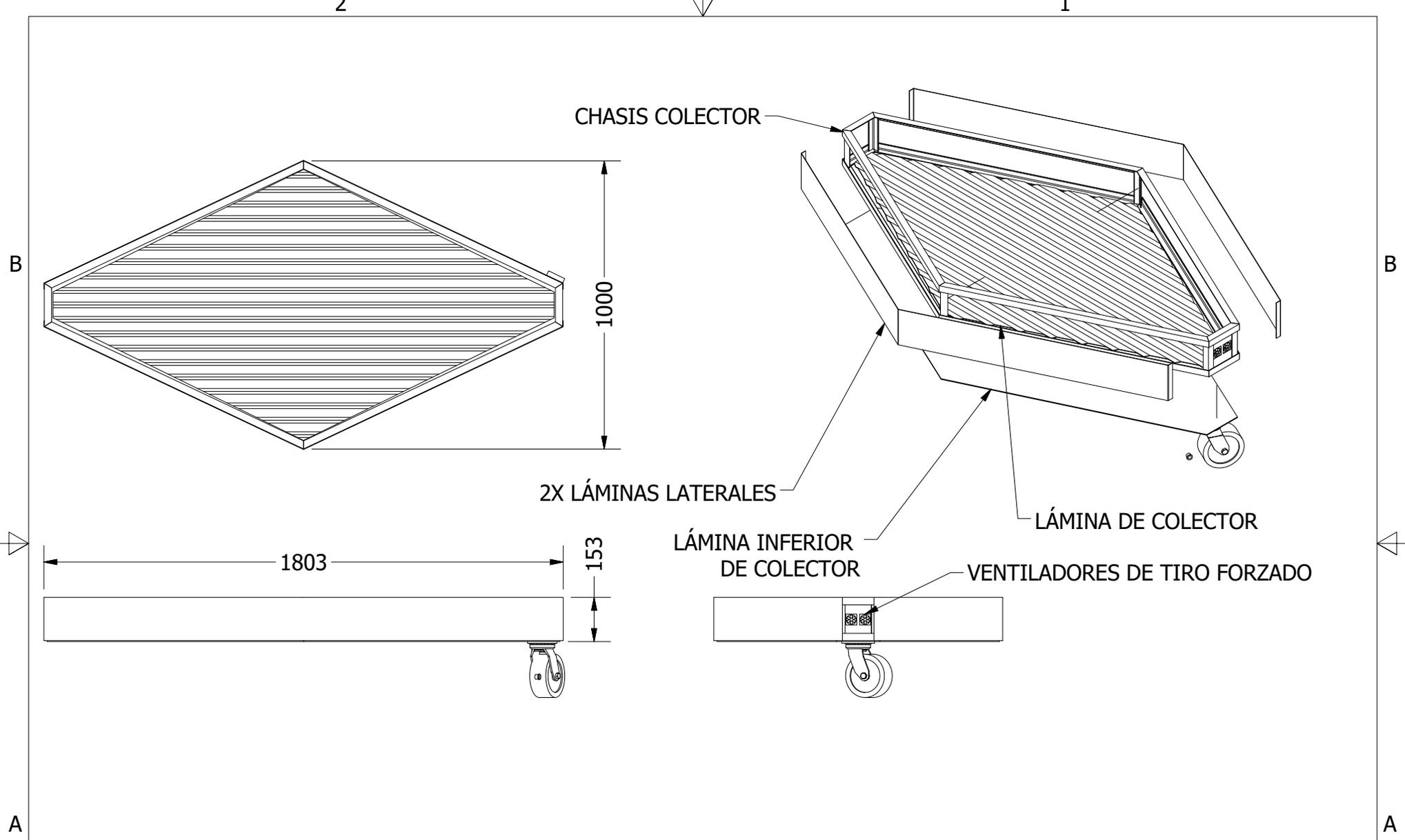
TECHO		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:12	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 9	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
		TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D
			A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



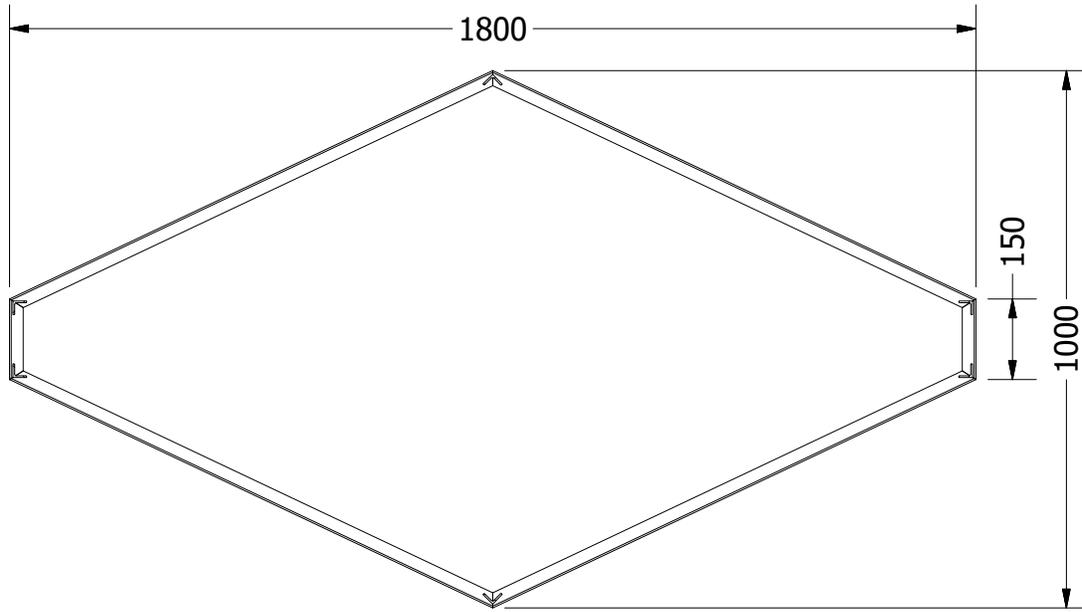
COLECTOR		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:18	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 10	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



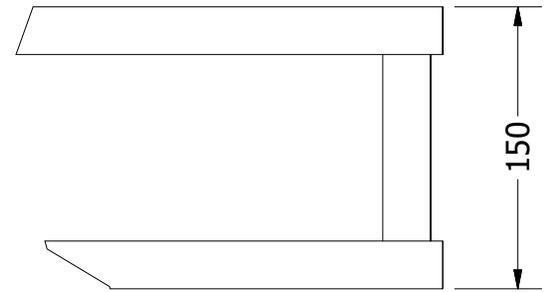
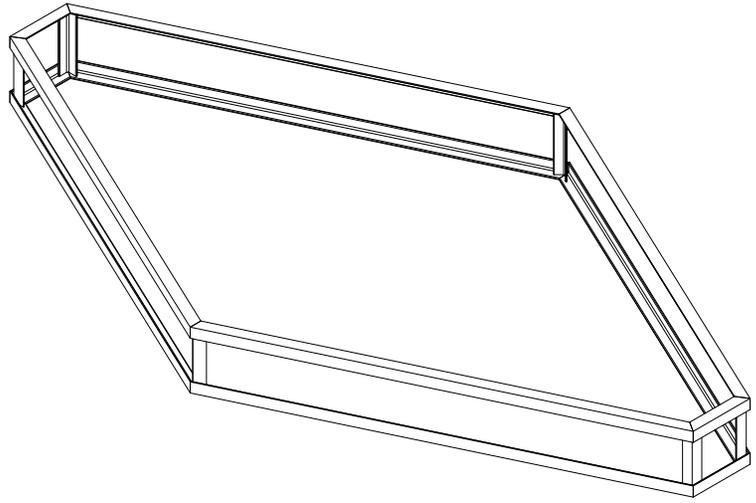
TAPA SUPERIOR DESMONTABLE		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:16	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 11	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



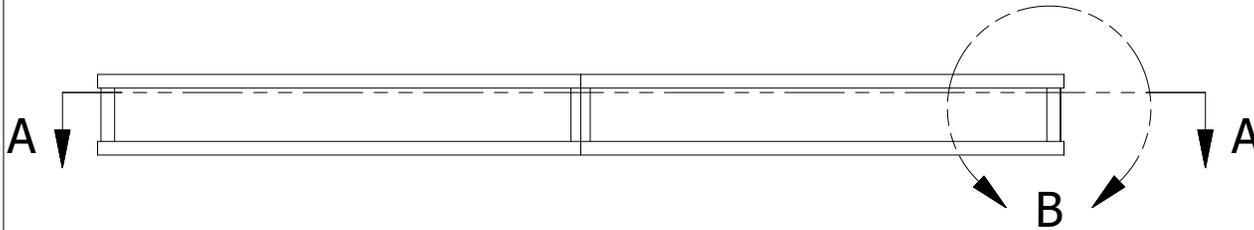
CUERPO COLECTOR		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:18	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 12	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: N/D	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:14



DETALLE B  
ESCALA 1:4



CHASIS COLECTOR		DISEÑADO: ANDRÉE GUILLÉN	JUNIO 2019
		REVISADO: ING. CRISTIAN ROSSI	JUNIO 2019
ESCALA: 1:14	REMOVER REBABAS Y BODES AFILADOS	HOJA: 13	TAMAÑO HOJA: <b>A</b>
	TOLERANCIAS: X= +-2 .X= +-5 .XX=+-5 ÁNGULOS=+-1°	MATERIAL: ANGULARES DE 1"X1"X1/8"	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, UNIDADES EN mm.