



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño mecánico de un  
deshidratador geotérmico de  
alimentos de flujo vertical

TESIS

Que para obtener el título de  
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A

Garduño Rodríguez Alberto Miguel

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Héctor Miguel Aviña Jiménez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A mi madre, Laura, quien ha sido la persona más importante a lo largo de mi desarrollo como persona, enseñándome valores, principios y a jamás rendirme ante la adversidad, apoyándome en cada momento de mi vida siempre con una sonrisa. Demostrándome día con día que con trabajo duro y dedicación se puede lograr lo que quieras.

A mis hermanos, Alan, Adrián y Juan, quienes siempre me brindaron su ayuda en los momentos que los necesité, manteniendo una buena relación familiar que me ayudó a seguir mis objetivos.

A mi pareja, Jennypher, quien siempre me brindó su apoyo y su tiempo para salir adelante, impulsándome siempre a ser una mejor persona, no solo en el ámbito profesional, sino también en el personal, por cada momento feliz y cada vez que me sentí una persona amada y bendecida por tenerla a mi lado durante estos últimos 4 años, gracias por todo el amor y entrega.

A mis mejores amigos de toda la vida, Víctor, Misael, Chava y Saúl, quienes a pesar de la distancia y el poco tiempo que nos podemos ver en la actualidad, siempre me han apoyado en lo que requiero y brindado sus buenos deseos para mí, así como momentos de risas y reflexión que me apoyan a continuar.

A mis segundos padres, Verónica y Roberto, quienes desde el inicio me apoyaron a que no me faltaran herramientas para finalizar mis estudios con éxito.

A las señoras, Mago y Juanita, quienes me brindaron la oportunidad de tener un trabajo que me ayudara a pagar mis gastos diarios en la escuela durante los últimos 10 años, gracias por brindarme un ingreso que hiciera mi vida más cómoda y a enseñarme la responsabilidad y el valor de un trabajo digno.

A mis compañeros de la facultad, Joel, Carlos, Cesar y a todos los demás, quienes compartieron conmigo momentos felices y difíciles a lo largo de la carrera, apoyándonos cada semestre por ser mejores ingenieros; con una dedicatoria especial a uno de mis mejores amigos, José Alejandro Trejo García, quien lamentablemente por motivos del destino no logro terminar con nosotros la carrera, que descanses en paz hermano mío, este trabajo es para ti.

A mis compañeros del instituto de ingeniería, Valentín, Roberto, Carlos, quienes me apoyaron a desarrollarme de una mejor manera como profesional, y en los momentos que eran necesarios me apoyaron en la construcción del prototipo final de este trabajo, especialmente a Diego Andrés González Marín, con quien se realizó este trabajo conjunto, apoyándonos en cada momento por entregar un trabajo de calidad, principalmente por esos momentos en los cuales terminar el deshidratador parecía una tarea muy complicada y tus palabras me alentaron a seguir adelante, te lo agradezco mucho.

A los ingenieros Antonio Alpizar, Eduardo Pérez y principalmente al Dr. Héctor Aviña, por brindarme su apoyo para ser un mejor ingeniero, enseñándome y guiándome en el camino de convertirme en un

profesional. Apoyándome a lo largo de este trabajo con ideas y correcciones para obtener un trabajo de gran calidad.

A mi alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, principalmente a la facultad de ingeniería y a los profesores que me inculcaron dentro de ella el conocimiento necesario para convertirme en ingeniero, por brindarme todo su esfuerzo día a día para otorgarme clases de calidad y una buena actitud que hizo que amara la idea de ser ingeniero.

Finalmente quiero agradecer al CONACYT, y puntualmente al CeMIE-Geo, quien financió en su totalidad este proyecto, por parte de la investigación del **CeMIE-Geo proyecto 207032 Conacyt/Sener** “Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía” perteneciente al Instituto de Ingeniería, gracias a su apoyo este trabajo pudo materializarse en la realidad y no quedar simplemente en una idea.

## Contenido

Agradecimientos.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	14
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	15
Introducción .....	16
Objetivos .....	17
Objetivos específicos.....	17
Capítulo 1 Diseño mecánico .....	17
1.1 Metodologías de diseño .....	18
1.1.1 Método de “tanteos” o iterativo.....	18
1.1.2 Método de pensamiento lateral.....	18
1.1.3 Método de la lluvia de ideas .....	18
1.1.4 Método de análisis morfológico.....	18
1.2 Proceso de diseño .....	19
1.2.1 Desarrollo del concepto .....	19
1.2.2 Requerimiento.....	19
1.2.3. Especificación .....	19
1.2.4 Diseño conceptual.....	21
1.2.5 Diseño de configuración.....	21
1.2.6 Diseño de detalle.....	21
1.3 Diseño higiénico .....	22
1.3.1 Legislación .....	22
1.3.2. Materiales.....	24
1.3.2.1 Aceros inoxidable.....	25
1.3.2.2 Aluminio y sus aleaciones.....	26
1.3.2.3 Cobre y sus aleaciones .....	26
1.3.2.4 Materiales poliméricos.....	26
1.3.2.5 Materiales NO aconsejables.....	27
1.3.3 Principios generales del diseño higiénico.....	27
1.3.3.1 Ausencia de depósitos.....	27

1.3.3.2	Facilidad de desmantelamiento y montaje .....	28
1.3.3.3	Accesibilidad .....	28
1.3.3.4	Drenaje .....	28
1.3.3.5	Superficies exteriores .....	28
Capítulo 2	Deshidratadores de alimentos .....	29
2.1	Tipos de deshidratadores .....	29
2.1.1	Deshidratadores solares .....	29
2.1.2	Deshidratadores dieléctricos .....	30
2.1.3	Deshidratador de bandejas .....	31
2.1.4	Deshidratador de túnel .....	31
2.1.5	Deshidratador de lecho fluidizado .....	32
2.1.6	Deshidratador de tambor rotatorio .....	32
2.1.7	Deshidratadores por aspersion .....	33
2.1.8	Deshidratador rotatorio .....	33
2.1.9	Deshidratadores al vacío .....	34
2.1.10	Métodos distintos .....	34
2.1.10.1	Deshidratado por liofilización .....	34
2.1.10.2	Deshidratación osmótica .....	35
2.2	Selección de los diferentes tipos de deshidratador .....	35
2.3	Deshidratadores geotérmicos .....	36
2.3.1	Energía geotérmica .....	36
2.3.1.1	Gradiente geotérmico .....	37
2.3.1.2	Clasificación de los yacimientos geotérmicos .....	37
2.4	Deshidratador geotérmico de alimentos (DGA) de baja entalpía IIDEA .....	38
2.4.1	Dimensiones .....	38
2.4.2	Condiciones de operación .....	40
2.4.3	Resultados obtenidos .....	40
Capítulo 3	Propuesta de diseño .....	41
3.1	Análisis de la problemática .....	41
3.2	Elección de tipo de deshidratador .....	41
3.3	Componentes o subsistemas .....	41

3.3.1 Intercambiador de calor de tubos aletados (ICTA).....	42
3.3.2 Cámara de deshidratado .....	46
3.3.3 Estructura del deshidratador.....	51
3.3.3.1 Estructura de la cámara de deshidratado .....	53
3.3.4 Difusores.....	55
3.3.4.1 Difusor soplador-intercambiador de calor .....	55
3.3.4.2 Difusor intercambiador de calor-Cámara de deshidratado .....	57
3.3.5 Sistema de limpieza .....	57
3.3.5.1 Sistema de limpieza-tarja .....	58
3.3.5.2 Sistema de limpieza-carrito .....	61
3.3.6 Ventilador/Soplador .....	63
3.3.7 Espigueros .....	64
3.3.8 Charolas .....	64
3.3.9 Puerta (s) .....	66
3.3.10 Instrumentación .....	67
3.3.10.1 Instrumentación del aire .....	67
3.3.10.2 Instrumentación del agua.....	68
3.3.11 Diseño final.....	69
Capítulo 4 Simulaciones del prototipo .....	71
4.1 Simulación de la estructura del deshidratador .....	71
4.2 Simulación del intercambiador de calor de tubos aletados.....	76
4.3 Simulación de la cámara de deshidratado .....	78
Capítulo 5 Manufactura del deshidratador.....	85
5.1 Intercambiador de calor de tubos aletados .....	85
5.2 Soplador/ventilador .....	87
5.3 Charolas.....	88
5.4 Cámara de deshidratado .....	89
5.5 Estructura del deshidratador.....	110
5.6 Difusores.....	116
5.6.1 Difusor Soplador-intercambiador de calor.....	119
5.6.2 Difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado.....	127

5.7 Sistema de limpieza.....	133
5.7.1 Ducto para tarja.....	134
5.7.2 Tarja.....	139
5.7.3 Carrito.....	142
5.7.4 Banco para carrito .....	144
5.8 Instrumentación .....	145
5.9 Prototipo finalizado .....	148
Capítulo 6 Puesta en marcha y pruebas experimentales.....	150
6.1 Pruebas de deshidratado .....	151
6.2 Resultados .....	157
6.2.1 Prueba 1 .....	157
6.2.2 Prueba 2 .....	159
6.2.3 Prueba 3 .....	160
6.2.4 Promedio de las pruebas anteriores .....	162
6.3 Análisis de resultados.....	163
6.4 Pruebas extra de deshidratado .....	165
6.4.1 Prueba con capacidad neta de papaya.....	165
6.4.2 Prueba con capacidad neta de mango .....	168
6.4.3 Prueba con capacidad neta de zanahoria .....	170
6.4.4 Costo aproximado de producto deshidratado .....	172
6.4.5 Uso de cámara termográfica para visualización de proceso.....	173
Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones .....	177
Bibliografía.....	179
Cursos asistidos para elaboración del documento.....	181
Anexos .....	181
Protocolo de limpieza de jitomate .....	181
Planos constructivos.....	185
Costo aproximado del equipo .....	202



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Configuración típica de deshidratador solar.....	30
Fig. 2 Efecto dieléctrico .....	30
Fig. 3 Configuración de un deshidratador de bandejas que funciona con energía geotérmica .....	31
Fig. 4 Configuración de un deshidratador de túnel.....	31
Fig. 5 Esquema de un deshidratador de lecho fluidizado .....	32
Fig. 6 Diagrama de un deshidratador con doble tambor .....	32
Fig. 7 Diagrama de un deshidratador por aspersión .....	33
Fig. 8 Diagrama de un deshidratador rotatorio.....	33
Fig. 9 Deshidratador al vacío .....	34
Fig. 10 Deshidratador por liofilización.....	34
Fig. 11 Esquema de la osmosis .....	35
Fig. 12 Distribución de recursos en las diferentes capas de la Tierra .....	36
Fig. 13 Grafica del gradiente geotérmico .....	37
Fig. 14 Diagrama del DGA IIDEA (Baeza, 2009) .....	39
Fig. 15 Modelo 3D del DGA10 (Baeza, 2009) .....	40
Fig. 16 Características geométricas de los tubos aletados. a) Tubo con aletas anulares b) Tubo con aletas cuadradas c) Tubo con aletas en espiral (Pysmennyy, Polupan, Carvajal M., & Sánchez S., 2007) .....	43
Fig. 17 Pasos entre tubos para los arreglos a) en triángulo b) en cuadro (Pysmennyy, Polupan, Carvajal M., & Sánchez S., 2007) .....	43
Fig. 18 Vista lateral del ICTA .....	44
Fig. 19 Vista frontal del ICTA .....	45
Fig. 20 Vista isométrica del ICTA .....	45
Fig. 21 Vista isométrica del ICTA con carcaza.....	45
Fig. 22 Medidas promedio del cuerpo de la población femenina del sector floricultor (SOMERSET I+D+i, 2017).....	47
Fig. 23 Medidas promedio de la mano de la población femenina del sector floricultor (SOMERSET I+D+i, 2017).....	48
Fig. 24 Modelo 3D de la cámara de deshidratado .....	50
Fig. 25 Modelo 3D de la pared perforada con su corredera .....	50
Fig. 26 Vista frontal de la estructura del deshidratador .....	52
Fig. 27 Vista de planta de la estructura del deshidratador .....	53
Fig. 28 Modelo 3D de la estructura del deshidratador .....	53
Fig. 29 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado .....	54
Fig. 30 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado con aislante .....	54
Fig. 31 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado con láminas externas .....	55
Fig. 32 Vista de planta del difusor soplador-intercambiador de calor .....	56
Fig. 33 Modelo 3D del difusor soplador-intercambiador de calor .....	56
Fig. 34 Vista de planta del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado.....	57

Fig. 35 Modelo 3D del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado .....	57
Fig. 36 Modelo 3D de la ductería de limpieza .....	58
Fig. 37 Vista de planta de la ductería de limpieza .....	59
Fig. 38 Modelo 3D de la tarja .....	59
Fig. 39 Vista frontal del CAD de la tarja.....	60
Fig. 40 Modelo 3D del ensamble ductería de limpieza-tarja.....	60
Fig. 41 Corte transversal del ensamble ductería de limpieza-tarja.....	60
Fig. 42 Vista de planta del carrito.....	61
Fig. 43 Vista frontal del carrito .....	61
Fig. 44 Modelo 3D del carrito.....	62
Fig. 45 Modelo 3D del ensamble carrito-estructura del deshidratador.....	62
Fig. 46 Modelo 3D del banco para carrito .....	63
Fig. 47 Modelo 3D del ensamble del soplador .....	63
Fig. 48 Modelo 3D del ensamble de los espigueros en la lámina perforada .....	64
Fig. 49 Charola comercial de acero inoxidable perforada.....	65
Fig. 50 Modelo 3D del ensamble de charolas en espigueros dentro de la cámara.....	65
Fig. 51 Modelo 3D de ensamble de las puertas cerradas .....	66
Fig. 52 Modelo 3D del ensamble de las puertas abiertas .....	67
Fig. 53 Ubicación de sensores de humedad y temperatura.....	68
Fig. 54 Modelo 3D del DGA VERTICAL (puertas abiertas) .....	69
Fig. 55 Vista frontal del DGA VERTICAL (puertas abiertas) .....	69
Fig. 56 Vista lateral del DGA VERTICAL (puertas abiertas).....	70
Fig. 57 Modelo 3D DGA VERTICAL completo.....	70
Fig. 58 Resultado de la simulación estática en la estructura de la cámara, se muestran las deformaciones en cada tramo de acero (escala de la deformación 114) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fig. 59 Resultado de la simulación estática en la estructura de la cámara, se muestra el factor seguridad en la estructura .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fig. 60 Modelo 3D de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados .....	77
Fig. 61 Vista lateral de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados.....	78
Fig. 62 Vista frontal de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados .....	78
Fig. 63 Modelo 3D del DGA10 (realizado en este trabajo).....	79
Fig. 64 Modelo 3D de la simulación de flujo realizada en la cámara de deshidratado del DGA10.....	79
Fig. 65 Vista frontal de la simulación de flujo realizada en la cámara de deshidratado del DGA10.....	80
Fig. 66 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara sin charolas y lamina perforada .....	81
Fig. 67 Modelo 3D de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara sin charolas y lamina perforada .....	81
Fig. 68 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas y lamina perforada .....	82

Fig. 69 Vista Isométrica de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas y lamina perforada .....	82
Fig. 70 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas, lamina perforada y baffles (desviadores de flujo).....	83
Fig. 71 Modelo 3D de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas, lamina perforada y baffles (desviadores de flujo).....	84
Fig. 72 Plano constructivo del tubo aletado.....	85
Fig. 73 Plano constructivo de intercambiador de calor de tubos aletados.....	86
Fig. 74 parte frontal del intercambiador de calor de tubos aletados .....	86
Fig. 75 parte lateral del intercambiador de calor de tubos aletados .....	87
Fig. 76 Vista frontal del soplador.....	87
Fig. 77 Vista posterior del soplador.....	88
Fig. 78 Charolas de acero inoxidable perforadas .....	88
Fig. 79 Tramos de PTR de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio cortados.....	91
Fig. 80 Ángulos de aluminio cortados y barrenados .....	91
Fig. 81 Lámina cortada con pestañas para dobles .....	92
Fig. 82 Dobles de lámina en dobladora de caja en el CDM de la facultad de ingeniería de la UNAM.....	93
Fig. 83 Laminas dobladas y barrenadas para formar las paredes internas de la cámara de deshidratado ..	93
Fig. 84 Ensamble de las láminas de aluminio con el PTR para formar la estructura.....	94
Fig. 85 Barrenado del neopreno y el PTR para la unión con la lámina de aluminio por medio de remaches .....	94
Fig. 86 Colocación de los remaches y corte del sello de neopreno a medida.....	95
Fig. 87 Estructura de PTR con láminas de aluminio y neopreno .....	95
Fig. 88 Colocación del marco de ángulo de aluminio y neopreno .....	96
Fig. 89 Vista frontal del Marco de aluminio y cámara de deshidratado .....	96
Fig. 90 Corte de la circunferencia medio el uso de esmeril y cortes radiales .....	97
Fig. 91 Instalación de chimenea .....	97
Fig. 92 Vista interna de la chimenea dentro de la cámara, con neopreno como sello .....	97
Fig. 93 Lamina de aluminio doblada y barrenada para puerta .....	98
Fig. 94 marco interno de PTR 2x2 para brindar rigidez.....	98
Fig. 95 Instalación de la manija por la parte posterior de la puerta .....	99
Fig. 96 Vista frontal de la puerta con la manija.....	99
Fig. 97 Colocación de sellos internos de solera.....	100
Fig. 98 Lana mineral con recubrimiento de aluminio utilizada como aislante.....	100
Fig. 99 Puerta con aislante .....	101
Fig. 100 Bridas para puerta colocadas con remaches .....	101
Fig. 101 Puerta derecha finalizada .....	102
Fig. 102 Puerta terminadas junto con seguros de puertas corredizos instalados .....	102
Fig. 103 Aislante en la pared derecha de la cámara.....	103
Fig. 104 Aislante colocado en la pared izquierda de la cámara .....	103

Fig. 105 Aislante colocado en la parte superior de la cámara.....	104
Fig. 106 Vista final de la cámara terminada .....	104
Fig. 107 Piso de la cámara de deshidratador terminado.....	105
Fig. 108 Piso de la cámara de deshidratado con perfiles de aluminio para carriles de rodamientos.....	105
Fig. 109 Techo de la cámara de deshidratado con perfiles de aluminio para carriles de rodamientos .....	106
Fig. 110 Lamina perforada de acero al carbón cortada con esmeril .....	106
Fig. 111 Lamina de acero al carbón con rodamientos para los carriles de aluminio .....	107
Fig. 112 Ensamble de la lámina perforada y los carriles dentro de la cámara de deshidratado .....	107
Fig. 113 Espigueros colocados en las láminas perforadas para soportar las charolas.....	108
Fig. 114 Guillotina para láminas de metal en el CDM de la Facultad de ingeniería UNAM .....	108
Fig. 115 Láminas de aluminio cortadas a diferente medida para realizar los baffles .....	109
Fig. 116 Láminas de aluminio con dobleces a 90° para su ensamble y 45° para realizar curvatura del baffle .....	109
Fig. 117 Ensamble de los baffles en la lámina perforada .....	110
Fig. 118 Vista lateral de los baffles dentro de la cámara de deshidratado .....	110
Fig. 119 Marco superior de la estructura soldado .....	112
Fig. 120 Corte a 45° entre uniones y cordón de soldadura en esta unión .....	113
Fig. 121 Estructura del deshidratador con las patas y el marco inferior soldados .....	113
Fig. 122 Tramos de acero cortados a 45[°].....	114
Fig. 123 Refuerzos a 45[°] soldados al marco inferior.....	114
Fig. 124 Carriles de ángulo soldados .....	115
Fig. 125 Carriles colocados en el marco inferior, con parte frontal sobrante.....	115
Fig. 126 Corte con esmeril del tramo sobrante de perfil angulado .....	116
Fig. 127 Planos de construcción de campanas (Tamato M.).....	118
Fig. 128 Planos de construcción de campanas (Tamato M.).....	118
Fig. 129 Representación del difusor soplador-intercambiador de calor como el plano de construcción lo solicita.....	119
Fig. 130 Croquis del difusor soplador-intercambiador de calor con las medidas de la tabla 38 .....	120
Fig. 131 Croquis del difusor soplador-intercambiador de calor con las medias de la tabla 38 con pestañas de 1.5 [In] (cotas en [m]) .....	121
Fig. 132 Lámina creada en Solidworks con base a la figura 131 .....	121
Fig. 133 Difusor soplador-intercambiador de calor .....	122
Fig. 134 Croquis de la Fig. 131 dibujado en lámina de aluminio y cortado con caladora .....	123
Fig. 135 Lamina cortada con la geometría para doblar.....	123
Fig. 136 Tapa cortada del difusor soplador-intercambiador de calor .....	124
Fig. 137 Dobleces realizados con la ayuda de la dobladora de caja del CDM y con el apoyo de un transportador .....	124
Fig. 138 Difusor con su tapa sin unir .....	125
Fig. 139 Dobleces de las pestañas apoyadas de la prensa mecánica.....	125

Fig. 140 Dobleces de las pestañas apoyados de tramos de ángulo de acero de 50.8 x 3.175 [mm] (2X1/8")	126
Fig. 141 Vista frontal del difusor ensamblado al soplador con tornillos autoperforantes y con sello de neopreno	126
Fig. 142 Vista lateral del difusor ensamblado al soplador con tornillos autoperforantes y con sello de neopreno	127
Fig. 143 Croquis del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado con las medidas solicitadas (cotas en [mm])	127
Fig. 144 Croquis del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado con las medidas solicitadas con pestañas de 38.1 [mm] (1.5 [in]) (cotas en [mm])	128
Fig. 145 Lámina creada en Solidworks con base a la figura 144	128
Fig. 146 Difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado	129
Fig. 147 Croquis de la Fig. 144 dibujado en lámina de aluminio y cortado con caladora	129
Fig. 148 Tapa del difusor trazado en lámina de aluminio	130
Fig. 149 Croquis de la Fig. 148 cortado	130
Fig. 150 Lamina doblada junto con las pestañas	131
Fig. 151 Unión del difusor con su tapa para completar el ensamble	131
Fig. 152 Ensamble de los difusores a la cámara, al intercambiador de calor y al soplador	132
Fig. 153 Laminas dobladas en caja y U para el ducto de limpieza	135
Fig. 154 Configuración de las láminas dobladas para formar el ducto de limpieza	135
Fig. 155 Instalación de perfil angulado de aluminio y barrenado de orificio para colocar tubería de desagüe	136
Fig. 156 Vista lateral del ensamble del tubo de desagüe con la lámina doblada para el ducto de limpieza	136
Fig. 157 Ensamble de todos los componentes con un sello de neopreno	137
Fig. 158 Ensamble con tornillos autoperforantes del ducto de limpieza con el intercambiador de calor	137
Fig. 159 Broches de baúl instalados en perfiles angulados de aluminio	138
Fig. 160 Ensamble del ángulo de aluminio con la pestañas del ducto para limpieza	138
Fig. 161 4 pares de broches de baúl instalados para el fácil ensamble y desmontaje	139
Fig. 162 Vista de planta del CAD de la tarja	139
Fig. 163 Impresión 3D de la tarja	140
Fig. 164 Piezas impresas de la tarja	140
Fig. 165 Piezas unidas por termofusion para completar la tarja	141
Fig. 166 Parte posterior de la tarja con el aditamento para colocarle una manguera de desagüe	141
Fig. 167 Tarja instalada en el ducto de limpieza	141
Fig. 168 Tramos de acero para el carrito colocados sobre el intercambiador de calor	142
Fig. 169 Soldadura de los tramos de acero para el carrito	143
Fig. 170 Barrenado de los tramos con taladro de banco para la instalación de la llantas	143
Fig. 171 8 ruedas instaladas para el deslizamiento del carrito en los carriles de la estructura del deshidratador	144

Fig. 172 Corte y soldado de los tramos para construir el banco .....	145
Fig. 173 Soldado de los tramos de acero para hacer el banco .....	145
Fig. 174 Panel de control del soplador y los sensores.....	146
Fig. 175 Vista frontal de la instrumentación .....	146
Fig. 176 Instrumentación instalada a la estructura del deshidratador .....	147
Fig. 177 Panel de control con los valores de humedad que otorgan los sensores .....	147
Fig. 178 DGA VERTICAL completo .....	148
Fig. 179 Vista frontal del DGA VERTICAL completo .....	148
Fig. 180 Vista lateral del DGA VERTICAL completo .....	149
Fig. 181 Vista frontal del DGA VERTICAL completo (puertas abiertas) .....	149
Fig. 182 DTI de instalación y proceso del DGA VERTICAL.....	150
Fig. 183 Sistema hidráulico del DGA VERTICAL hacia el deshidratador .....	151
Fig. 184 Sistema hidráulico del DGA VERTICAL hacia el boiler.....	151
Fig. 185 Limpieza de lugar de trabajo y charolas según protocolo .....	152
Fig. 186 Lavado de jitomate según protocolo .....	152
Fig. 187 Lavado de deshidratador y sitio de deshidratado según protocolo .....	153
Fig. 188 Desmontaje de componentes para facilidad de limpieza del deshidratador .....	153
Fig. 189 Limpieza de cámara de deshidratado con mayor espacio libre para movilidad .....	154
Fig. 190 Charolas con jitomate rebanado.....	155
Fig. 191 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA VERTICAL .....	155
Fig. 192 Charolas colocadas en los espigueros de la cámara de deshidratado.....	156
Fig. 193 Jitomate deshidratado después de 5 horas de proceso .....	156
Fig. 194 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA10.	163
Fig. 195 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA VERTICAL .....	165
Fig. 196 Charolas con papaya rebanada.....	166
Fig. 197 Papaya deshidratada embolsada.....	166
Fig. 198 Charolas con mango rebanado .....	168
Fig. 199 Mango deshidratado embolsado.....	169
Fig. 200 Charolas de acero con zanahoria rebanada.....	170
Fig. 201 Zanahoria deshidratada embolsada .....	171
Fig. 202 Captura termográfica del DGA VERTICAL .....	174
Fig. 203 Captura termográfica de la cámara de deshidratado abierta al inicio del proceso .....	174
Fig. 204 Captura termográfica de la cámara de deshidratado abierta a 5 horas del proceso .....	174
Fig. 205 Captura termográfica del ICTA.....	175
Fig. 206 Captura termográfica del proceso de deshidratado en una charola con jitomate .....	175
Fig. 207 Esquema de lavado de manos .....	182
Fig. 208 Diagrama de lavado de jitomate.....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de los aceros inoxidables (Castañeda Martin, 2009) .....	25
Tabla 2 Comparación de los diferentes tipos de deshidratadores.....	35
Tabla 3 Usos de la energía geotérmica según su entalpia (Baeza, 2009).....	38
Tabla 4 Condiciones de operación del DGA (Baeza, 2009).....	40
Tabla 5 Especificación de producto fresco .....	42
Tabla 6 Especificaciones del diseño del ICTA .....	44
Tabla 7 Condiciones de operación del ICTA .....	44
Tabla 8 Parámetros óptimos para deshidratado (Pérez González, Estudio de la cinética de secado de alimentos hortofrutícolas mediante la teoría de Polanyi para un deshidratador de bandejas, 2017).....	46
Tabla 9 Cantidad de producto fresco por área efectiva de charola .....	46
Tabla 10 Cantidad de charolas necesarias de medida comercial.....	46
Tabla 11 Medidas de las charolas para deshidratado .....	48
Tabla 12 Medidas finales de la cámara de deshidratado .....	49
Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero al carbón (Solidworks 2017).....	51
Tabla 14 Propiedades mecánicas del aluminio (Solidworks 2017) .....	51
Tabla 15 Lista de componentes y peso aproximado de la cámara externa .....	72
Tabla 16 Lista de componentes y peso aproximado de la cámara interna .....	72
Tabla 17 Lista de componentes y peso aproximado de la puerta.....	72
Tabla 18 Lista de componentes y peso aproximado de las charolas .....	73
Tabla 19 Lista de componentes y peso aproximado del difusor camara-int .....	73
Tabla 20 Peso total del ensamble.....	73
Tabla 21 Lista de componentes y peso aproximado del ICTA .....	73
Tabla 22 Lista de componentes y peso aproximado del difusor int-soplador .....	74
Tabla 23 Lista de componentes y peso aproximado del soplador .....	74
Tabla 24 Lista de componentes y peso aproximado del carrito.....	74
Tabla 25 Peso total del ensamble.....	74
Tabla 26 Lista de componentes del ICTA.....	77
Tabla 27 Especificaciones del proceso en el ICTA .....	77
Tabla 28 Lista de materiales para la manufactura de la cámara de deshidratado .....	89
Tabla 29 Equipo y herramientas para la manufactura de la cámara de deshidratado .....	90
Tabla 30 Medidas de los tramos para la construcción de la cámara .....	90
Tabla 31 Medidas de los ángulos de aluminio .....	91
Tabla 32 Medidas de las láminas para la cámara.....	92
Tabla 33 Lista de materiales para la manufactura de la estructura del deshidratador .....	110
Tabla 34 Equipo y herramientas para la manufactura de la estructura del deshidratador .....	111
Tabla 35 Medidas de los tramos para la estructura del deshidratador .....	111
Tabla 36 Lista de materiales para la manufactura de los difusores .....	116
Tabla 37 Equipo y herramientas para la manufactura de los difusores.....	117

Tabla 38 Medidas del difusor soplador-intercambiador de calor .....	119
Tabla 39 Ángulos de dobles para el difusor soplador-intercambiador de calor .....	122
Tabla 40 Ángulos de dobles del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado .....	129
Tabla 41 Lista de materiales para la manufactura del sistema de limpieza.....	133
Tabla 42 Equipo y herramientas para la manufactura del sistema de limpieza .....	134
Tabla 43 Medidas de los tramos para el carrito.....	142
Tabla 44 Medidas de los tramos de acero para el banco.....	144
Tabla 45 Toma de datos de la prueba 1 .....	157
Tabla 46 Cantidad de masa seca por charola prueba 1.....	158
Tabla 47 Toma de datos de la prueba 2 .....	159
Tabla 48 Cantidad de masa seca por charola prueba 2.....	159
Tabla 49 Toma de datos de la prueba 3 .....	160
Tabla 50 Cantidad de masa seca por charola prueba 3.....	161
Tabla 51 Cantidad de masa seca por charola Promedio .....	162
Tabla 52 Toma de datos de las pruebas experimentales realizadas en el DGA10 .....	163
Tabla 53 Toma de datos de la prueba extra de papaya .....	167
Tabla 54 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de papaya.....	167
Tabla 55 Toma de datos de la prueba extra de mango.....	169
Tabla 56 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de mango .....	169
Tabla 57 Toma de datos de la prueba extra de zanahoria .....	171
Tabla 58 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de zanahoria.....	171
Tabla 59 Pruebas de deshidratado extra.....	172
Tabla 60 Costo de los equipos comprados en empresas externas .....	202
Tabla 61 Costo de los materiales para manufactura de la estructura del deshidratador.....	202
Tabla 62 Costo de los materiales para manufactura de los difusores .....	202
Tabla 63 Costo de los materiales para manufactura de la cámara de deshidratado.....	203
Tabla 64 Costo de los materiales para manufactura del sistema de limpieza .....	204
Tabla 65 Costo total del DGA VERTICAL .....	204

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Curva de secada de la prueba 1 de jitomate .....	158
Gráfica 2 Curva de secada de la prueba 2 de jitomate .....	160
Gráfica 3 Curva de secada de la prueba 3 de jitomate .....	161
Gráfica 4 Curva de secado promedio de jitomate.....	162
Gráfica 5 Curvas de secado del DGA10 .....	164
Gráfica 6 Curva de secado de la prueba extra de papaya .....	168
Gráfica 7 Curva de secado de la prueba extra de mango.....	170
Gráfica 8 Curva de secado de la prueba extra de zanahoria.....	172
Gráfica 9 Comparación de costos totales de producción contra costo del producto deshidratado .....	173



## Introducción

En la actualidad se afrontan varias problemáticas, de las cuales muchas pueden ser solucionadas o apoyadas por la ingeniería, dos de estas son el cambio climático que está sucediendo por la sobreexplotación de los hidrocarburos, y otra es la falta de una adecuada alimentación en varias partes de México y del mundo. Este trabajo pretende abordar ambas problemáticas y tratar de contribuir a la solución de estas.

México es un país que tiene un gran potencial en energías renovables, una de estas energías es la geotérmica, que gracias a la ubicación geográfica de la nación se cuenta con parte del cinturón de fuego que se encuentra en la costa oeste del país, colindando con el océano Pacífico, lo cual provoca que exista una gran actividad sísmica y por ende una gran cantidad de yacimientos geotérmicos, aprovechar al máximo este recurso supondría una mejora al impacto ambiental que se tiene, cambiando por ejemplo sistemas de aire acondicionado normales por geotérmicos, plantas hidroeléctricas por plantas geotermoeléctricas, etc.

Para este caso de estudio cabe mencionar que México también es un gran productor de frutas y verduras, que por los malos protocolos de control y transporte, tiende a desperdiciarse, ya que el tiempo de vida de dichas frutas y verduras es corto, y las cosechas de los agricultores deben exportarse lo antes posible para ser consumidas antes de echarse a perder, lo cual supone una presión para el agricultor, por lo que en muchas ocasiones los transportistas y medios comerciales de estos, se aprovechan de su condición, pagando un costo mucho menor por la producción agrícola, haciendo así al campo una actividad muy poco redituable para los campesinos.

Por ellos se pretende realizar un deshidratador que mediante este proceso alargue la vida de los alimentos, pudiendo así darles el costo que se merece, aprovechando la energía geotérmica para reducir el impacto ambiental y poder tener un proceso limpio que ayude a las necesidades del campo mexicano, dando un mayor factor de planta a nuestro deshidratador geotérmico de todo el día, a diferencia del solar que solo dura unas 10 horas.

En el **Instituto de Ingeniería de la UNAM** se ha realizado anteriormente un prototipo de deshidratador geotérmico a cargo del grupo IIDEA, el cual fue probado con éxito, teniendo dos principales altibajos, el primero es la falta de uniformidad en el aire caliente en la cámara de deshidratado, y el segundo es la falta de un diseño real en cuanto a la selección de materiales y construcción de componentes del equipo, lo cual propicia que el funcionamiento de dicho deshidratador se vea mermado y no trabaje de manera eficiente.

## Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es rediseñar el deshidratador geotérmico de alimentos (DGA10) que se tiene en grupo IIDEA, para mejorar el funcionamiento del equipo, apoyándose de los datos obtenidos del proyecto DGA10 hasta el momento.

### Objetivos específicos

1. Garantizar la homogeneidad del aire dentro de la cámara de deshidratado, lo cual provoca que las horas de proceso se extiendan demasiado ya que una zona en específico no se deshidrata como las demás, retardando el secado a unas 18 o 20 horas (dependiendo del producto a deshidratar).
2. Diseñar de manera correcta los equipos que se tienen como el intercambiador de calor, ventilador y la cámara de deshidratado basándose en documentación que brinde los parámetros óptimos de deshidratado, como velocidad del aire, temperatura de aire, flujo volumétrico, etc.
3. Seleccionar los materiales y formas de manufactura con base a normativas de maquinaria alimenticia procurando dar un enfoque especial en el diseño higiénico de maquinaria para poder tener un deshidratador más eficiente y funcional.

## Capítulo 1 Diseño mecánico

En este capítulo se verán las diferentes metodologías de diseño que se emplean a la hora de realizar un proyecto, y como al utilizarlas se puede obtener un mejor producto final, también se observarán conceptos necesarios para realizar dicho trabajo, así como algunas de las normativas y materiales que se utilizan para realizar maquinaria con fines alimenticios.

“Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, Seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.” (Budynas Richard G., 2008)

El diseño mecánico es una labor que requiere de la conjunción de mucho conocimiento, en la cual el proceso es altamente iterativo y complejo. Procurando tener en cuenta los códigos y normas, la economía, la seguridad y las cuestiones legales del producto.

Al diseñar no se debe aislar disciplinas como la transferencia de calor, la mecánica de fluidos o la termodinámica, ya que como sucede en muchos casos al realizar diseño de equipos de turbo maquinaria o transferencia de energía se separan estas del diseño mecánico lo cual es un error ya que pierdes de vista parámetros necesarios que deben considerarse para obtener el mejor diseño posible, por lo que se procurará tener en cuenta diferentes disciplinas del conocimiento para el desarrollo de este prototipo.

## 1.1 Metodologías de diseño

A lo largo de la historia el ser humano ha confrontado muchas problemáticas que mediante ideas y diseños de mecanismos han sido solucionados, pero con el pasar de los años estos problemas y necesidades se han vuelto más específicas, por ejemplo en la antigüedad una necesidad básica era el protegerse del frío, por lo cual se hicieron ropas adecuadas que ayudaran a taparse; así, con el avanzar del tiempo la necesidad de cubrirse de las bajas temperaturas estaba solucionada, sin embargo, surgieron cuestiones de comodidad, estética, etc.; donde se requería de un mayor conocimiento para poder lograr cubrir la problemática completamente, para cuestiones similares se empezaron a desarrollar metodologías que apoyaran a la hora de enfrentar y solucionar un problema, ya que así sería una manera más fácil y organizada de lograr los objetivos planteados en un menor tiempo y trabajo posible.

### 1.1.1 Método de “tanteos” o iterativo

Es posiblemente el método con mayor antigüedad, ya que su premisa se basa en “prueba y error”, planteando una posible solución, probándola y analizando si funciona o no, haciendo estos pasos las veces que sea necesario hasta que se logre el objetivo sin importar la cantidad de intentos o iteraciones realizadas. Se puede observar que no se tiene bien definido una manera de realizarse, si no que solo es probar una y otra vez hasta llegar al resultado final, teniendo un tiempo indefinido de culminación.

### 1.1.2 Método de pensamiento lateral

La principal característica de este método es la perspectiva, es decir, se trata de poder observar la problemática desde diferentes posiciones, para poder así tener un mayor panorama y diferentes soluciones posibles desde los diferentes puntos de vista, para poder llegar a una solución más adecuada.

### 1.1.3 Método de la lluvia de ideas

Este método plantea que el trabajar en grupos es más productivo cuando se habla de la generación de ideas, lo que se pretende es armar un grupo de varias personas en el cual se plantea la problemática a solucionar, y sin criticar ninguna de las ideas que se vayan generando se empiezan a anotar sin importar lo viable que sean, después de obtener una buena cantidad de ideas se pasa a analizarlas de una manera objetiva observando sus pros y contras, procurando tener participación de todo el grupo sin excepción.

### 1.1.4 Método de análisis morfológico

Es un método analítico-combinatorio creado por Fritz Zwicky, su objetivo es resolver problemas mediante el análisis de las partes que lo componen, se basa en que cualquier objeto está compuesto o integrado por un cierto número de elementos en la consideración que estos tienen identidad propia y pueden ser aislados con una lista de atributos.

Existen 3 etapas, el análisis, la combinación y la búsqueda morfológica, que consisten a grandes rasgos en observar cual es el problema que se quiere resolver, buscar los diferentes atributos que tiene el problema, los cuales pueden ser partes físicas, procesos, funciones, etc. Procurando elegir aquellos que son parte del problema, una vez teniendo cada parte identificada, proponer diferentes soluciones para cada una,

resultando así una gran cantidad de soluciones independientes, finalmente cada una de las soluciones es combinada con las demás soluciones propuestas por partes, obteniendo una matriz de distintas soluciones, quedando al final muchas soluciones completamente definidas, de las cuales se deberá seleccionar la que mejor satisfaga a nuestra problemática.

## 1.2 Proceso de diseño

Para cualquier diseño que se desee realizar es necesario revisar ciertos puntos que nos otorgan la certeza de confiabilidad de que lo que se esté desarrollando en el trabajo se está realizando de la mejor manera posible.

### 1.2.1 Desarrollo del concepto

En este punto se deben esclarecer cuales son las necesidades y deseos del cliente, establecer las especificaciones del proyecto, así como generar y seleccionar conceptos que nos ayudaran a planear el desarrollo del diseño tomando en cuenta la mayor cantidad de posibilidades. (Ulrich & Eppinger , 2013)

### 1.2.2 Requerimiento

Es el deseo que expresa en términos vagos y comunes el cliente potencial, se presenta en lenguaje coloquial, por ejemplo usando sustantivos como la solicitud de un equipo grande, sin necesidad de definir qué tan grande es lo que se quiere. (Ulrich & Eppinger , 2013)

### 1.2.3. Especificación

Es la necesidad del cliente claramente expresada en términos ingenieriles, dando un valor métrico el cual puede ser un número particular, un rango o una desigualdad, que debe respetarse para realizar el diseño, por ejemplo en lugar de decir que se requiere un diseño “grande” se especifican las dimensiones que debe tener el modelo final.

Para ello se deben tener ciertas consideraciones las cuales son, la variable a medir, las unidades en las que se expresara la medición, el método de prueba y el rango donde se espera termine esta información.

Es muy importante contemplar las variables que son más determinantes que se deben considerar para limitar y obtener el mejor diseño posible, estas son algunas de ellas:

- Desempeño
- Impacto ambiental
- Mantenimiento
- Costo de producción esperado
- Competencia
- Forma de envió y manejo

- Empaque
- Cantidad a producirse
- Capacidad de manufactura instalada
- Tamaño
- Peso
- Estética, apariencia y acabado
- Materiales
- Tiempo de vida en el mercado
- Ergonomía
- Estándares y normas a cumplir
- Perfil del cliente
- Calidad y confiabilidad
- Vida en almacén
- Proceso de manufactura
- Escala de tiempo para el proyecto
- Pruebas a efectuarse en el producto
- Seguridad
- Aspectos generales
- Restricciones de la compañía, financieras, estructurales, de personal o de imagen
- Restricciones del mercado por política o religión
- Propiedad industrial
- Implicaciones políticas y sociales
- Instalación
- Consumo de energía

- Entrenamiento para el usuario
- Potencial de ventas
- Documentación
- Forma de desechar el producto (Ulrich & Eppinger , 2013)

Como se puede observar el tener en cuenta estos aspectos en nuestro diseño nos guían desde la manera del proceso del diseño en sí, la normativa existente, la política, seguridad, forma de manufacturarlo y operarlo, hasta el punto de su deshecho, se procurará tomar en cuenta cada uno de ellos para la propuesta que se realizará en este trabajo.

#### 1.2.4 Diseño conceptual

En esta etapa se consideran los diferentes conceptos que se tienen para solucionar el problema, “concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia y una justificación económica del proyecto” (Ulrich & Eppinger , 2013) para la selección del mejor concepto se utilizan las metodologías de diseño antes vistas.

#### 1.2.5 Diseño de configuración

Con los conceptos generados se formulan soluciones que se configuran de diferente manera, es decir que se les da cierto orden o manera de funcionar distinta, para poder analizar las diferentes variables que surgen de un simple cambio de por ejemplo materiales, geometría o variables de control. (Ulrich & Eppinger , 2013)

#### 1.2.6 Diseño de detalle

En este punto se inicia el desarrollo del producto de una manera más concisa, teniendo un prototipo el cual se puede visualizar utilizando el “diseño asistido por computadora” (*CAD* por sus siglas en inglés) de cada uno de los elementos que integran el producto, teniendo un punto de partida para conocer dimensiones finales y posiblemente cuantificar costos de materiales o cosas por el estilo.

Varios *Software* que son utilizados para el diseño a computadora cuentan con paqueterías que nos permiten analizar ciertos ámbitos del diseño, como es el cómo actúa bajo cargas estáticas o dinámicas, la deformación de los materiales, y hasta una posible falla recomendando un factor de seguridad, a este proceso se le conoce como “Ingeniería asistida por computadora” (*CAE* por sus siglas en inglés), que no solo se limitan a análisis estructurales, si no también, a térmicos, de flujo, etc.

En este caso de estudio dichos análisis se realizaran con la ayuda del *Software Solidworks* versión 2017, y en sus módulos de análisis estático (*Simulation*) y de flujo (*FlowSimulation*), que se explicaran más a detalle posteriormente.

Otro ámbito importante es la “Manufactura asistida por computadora” (*CAM* por sus siglas en inglés) la cual nos permite generar códigos numéricos para realizar algunas de nuestras piezas en máquinas especializadas en ese tipo de manufactura, por ejemplo una CNC que mediante la generación del código realiza la pieza

deseada. Como el proceso de manufactura de este proyecto será manual no se requerirá del uso de este tipo de *software*.

La ventaja de utilizar este tipo de apoyo es la rápida generación de prototipos sin necesidad de manufactura, la inversión en materiales y tiempo, logrando analizar más conceptos y obtener una mayor cantidad de resultados y variantes que apoyen al diseño final.

### 1.3 Diseño higiénico

A medida que las industrias van creciendo tanto en tamaño como en su producción los costos finales de los productos se reducen al fabricarse en masa, en caso de la industria alimenticia sucede lo mismo dando como un factor extra de compra a puntos como calidad e higiene, por lo que estas empresas deben asegurarse que sus procesos sean inocuos y de una buena calidad sanitaria para así poder brindarle al público el producto de mejor calidad posible. Por todo esto se ha desarrollado a lo largo de la historia lo que hoy es llamado “diseño higiénico” lo que es definido por Shore y Jowitt de la siguiente manera:

*“La producción de una fábrica que permanezca limpia durante el trabajo o que permita alcanzar el grado de limpieza deseado con el mínimo esfuerzo.”* (Castañeda Martin, 2009).

Desde esta definición se puede decir que existen tres puntos importantes, el primero es limitar la contaminación microbiana, la segunda mejorar la limpieza, desinfección y el enjuagado y, finalmente favorecer la conservación y el mantenimiento.

La higiene es entonces considerada como una etapa más del proceso productivo, estableciendo métodos eficaces para que el producto final sea lo más económico y optimo posible.

#### 1.3.1 Legislación

La industria alimenticia en México así como en el mundo está regulada por ciertas normas que establecen ciertos parámetros que se deben tener para lograr la inocuidad de los alimentos así como de su maquinaria, para poder asegurar un producto de buena calidad para la comunidad.

En México la industria se rige por las NOM (Normas Oficiales Mexicanas) que son las regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el Artículo 40 de Ley Federal sobre Metrología y Normalización, que establecen las reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistemas, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, mercado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación. (Profeco, 2018)

Para este trabajo se consultaron la NOM-002-SSA1-1993 “Salud ambiental. Bienes y servicios. Envases metálicos para alimentos y bebidas, Especificaciones de la costura. Requisitos sanitarios” que a grandes rasgos establece que las soldaduras deben estar libre de plomo para evitar intoxicación en los alimentos y la NOM-251-SSA1-2009 “Prácticas de higiene para el proceso de alimentos o suplementos alimenticios” que en general establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene que deben observarse en

el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y sus materias primas a fin de evitar su contaminación a lo largo de su proceso.

Al ser normas muy generales este trabajo se apoyará de la legislación europea, quien otorga mayor información para realizar un diseño adecuado y eficiente.

Basándose en la directiva 93/43/CEE se encuentran cuestiones puntuales que deben cumplir los equipos, las cuales son:

Todos los artículos, instalaciones y equipos que entren en contacto con los productos alimenticios deberán estar limpios.

a) Su construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento deberán reducir al mínimo el riesgo de contaminación de los productos alimenticios.

b) A excepción de recipientes y envases no reemplazables, su construcción, composición y estado de conservación y mantenimiento deberán permitir que se limpien perfectamente y, cuando sea necesario, que se desinfecte en la medida necesaria para los fines perseguidos.

c) Su instalación permitirá la limpieza adecuada de la zona circundante.

Por otra parte, la Directiva 89/392/CEE, relativa a las máquinas, impone numerosas exigencias en función de riesgos mecánicos, eléctricos, etc., debidos al ruido, así como exigencias específicas para los equipos destinados a la preparación y tratamiento de alimentos. Sin embargo, esta normativa ha sido modificada parcialmente por la Directiva 2006/42/CE, que ha entrado en vigor el 19 de diciembre de 2009, y que en su apartado 2.1. MÁQUINAS DESTINADAS A LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS, COSMÉTICOS O FARMACÉUTICOS, establece:

Las máquinas previstas para ser utilizadas con productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos se deben diseñar y fabricar de forma que se eviten los riesgos de infección, enfermedad o contagio.

Deben observarse los siguientes requisitos:

a) Los materiales que entren o puedan entrar en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos deberán cumplir con las directivas que les sean aplicables. La máquina se debe diseñar y fabricar de tal modo que dichos materiales puedan limpiarse antes de cada utilización; cuando esto no sea posible, se utilizarán elementos desechables.

b) Todas las superficies en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos que no sean superficies de elementos desechables:

— serán lisas y no tendrán ni rugosidades ni cavidades que puedan albergar materias orgánicas. Se aplicará el mismo principio a las uniones entre dos superficies;



- se deben diseñar y fabricar de manera que se reduzcan al máximo los salientes, los rebordes y los repliegues de los ensamblajes;
- deberán poder limpiarse y desinfectarse fácilmente cuando sea necesario, previa retirada de aquellas partes que sean fácilmente desmontables.

Las superficies internas estarán empalmadas por perfiles circulares de radio suficiente para posibilitar una limpieza completa;

c) Los líquidos, gases y aerosoles procedentes de los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos y de los productos de limpieza, desinfección o aclarado habrán de poder ser completamente desalojados de la máquina (si es posible, en una posición de limpieza).

d) La máquina se debe diseñar y fabricar de manera que se pueda evitar toda infiltración de sustancias, toda acumulación de materias orgánicas o penetración de seres vivos y, en particular, de insectos, en las zonas que no puedan limpiarse.

e) La máquina se debe diseñar y fabricar de manera que los productos auxiliares que representen un peligro para la salud, incluidos los lubricantes utilizados, no puedan entrar en contacto con los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos. En su caso, la maquinaria se debe diseñar y fabricar de manera que pueda comprobarse el cumplimiento permanente de esta condición. (Castañeda Martin, 2009)

Esta normativa es de la Comisión Europea Empresa e Industria, pero es totalmente aplicable a la industria mexicana tal y como nos lo describe la Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos.

También cabe recalcar que las normas que rigen esto en México, son iguales o muy similares a las ISO, un ejemplo de ello es la NMX-F-CC-22000-NORMEX-IMNC-2007 que es igual a la ISO-22000 que trata de los “SISTEMAS DE GESTION DE LA INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS-REQUISITOS PARA CUALQUIER ORGANIZACION EN LA CADENA ALIMENTARIA.”

### 1.3.2. Materiales

Este es uno de los puntos más importantes en el diseño de dispositivos o maquinaria en la industria alimenticia, ya que se deben utilizar ciertos materiales que aseguren ser no tóxicos, mecánicamente estables, no absorbentes, inertes y resistentes a los productos alimentarios y a todos los agentes de limpieza y desinfección, a las diferentes concentraciones y a las diferentes presiones y temperaturas de utilización, aparte de tratar de que la superficie del material sea lo más lisa posible para evitar cavidades donde puedan quedarse partículas de materia orgánica indeseables para los procesos.

Los materiales que se utilicen deben ser fácil de limpiar y no corrosivos, en cuanto a los materiales que no están en contacto directo con los alimentos de preferencia deben ser lisos y solo estos pueden contar con un recubrimiento de pintura u otros tratamientos superficiales.

Los materiales que se utilizan en la industria y cumplen con estos requisitos son los siguientes:

### 1.3.2.1 Aceros inoxidables

Se emplean por su excelente resistencia a la corrosión. Contienen, al menos, un 12[%] de Cr, lo que permite la formación de una delgada capa protectora de óxido de cromo cuando el acero se expone al oxígeno. Además, se pueden limpiar y desinfectar fácilmente. Por todo ello resulta el material más utilizado en la industria alimentaria.

Hay cuatro tipos de aceros inoxidables, según la estructura cristalina y el mecanismo de endurecimiento: ferrítico, martensítico, austenítico y endurecido por precipitación. Presentan magnífica resistencia al impacto a bajas temperaturas, al no tener temperatura de transición frágil-dúctil y no son ferromagnéticos.

En la tabla 1 aparece recogida la composición química de los aceros inoxidables de grado 300, según la norma AISI, más usados por sus características tecnológicas y su precio.

El AISI 304 es resistente a la corrosión originada por la mayoría de alimentos y agentes de limpieza, no da coloraciones, es fácil de limpiar y relativamente barato.

Cuando se prevean problemas de corrosión más acusados, como en el caso de salmueras y alimentos muy ácidos (vinagre) debe emplearse el AISI 316, dados su mayor contenido en níquel y, sobre todo, el 2-3[%] de molibdeno presente.

Por otra parte, en aquellas aplicaciones que se requiera soldar, son recomendables los aceros con bajo contenido en carbono (AISI 304L y 316L) para reducir los riesgos de corrosión intergranular. En ningún caso deben pulirse los cordones de soldadura con abrasivos que contengan hierro, ya que se puede provocar la aparición de manchas de herrumbre.

*Tabla 1 Composición química de los aceros inoxidables (Castañeda Martin, 2009)*

Componente	Norma AISI			
	304	304L	316	316L
Carbono (max)	0,08	0,03	0,08	0,03
Cromo	18-20	18-20	16-18	16-18
Níquel	8-12	8-12	10-14	10-14
Molibdeno	—	—	2-3	2-3
Manganeso (max)	2	2	2	2
Fósforo (max)	0,045	0,045	0,045	0,045
Azufre (max)	0,030	0,030	0,030	0,030
Silicio (max)	1	1	1	1

Las cantidades se expresan en % del elemento.

### 1.3.2.2 Aluminio y sus aleaciones

El aluminio es un metal muy ligero (el segundo, después del magnesio) y muy buen conductor eléctrico y térmico. Presenta, además, una excelente resistencia a la corrosión ya que reacciona con el oxígeno para formar una capa muy delgada de óxido de aluminio, reforzable por medios físicos y químicos, que le protege de los medios corrosivos. Además responde fácilmente a los mecanismos de endurecimiento; en este sentido, las aleaciones suelen ser mucho más resistentes que el aluminio puro.

Se utiliza bien sea solo o en aleaciones con un alto contenido de aluminio (superior al 99[%]). En este sentido podrían destacarse las siguientes:

- Aleaciones 1100-0 y 1100-H18, aleaciones para forja, no tratables térmicamente, con un contenido de aluminio superior al 99[%] y utilizables tanto en el procesamiento de alimentos como en la fabricación de bebidas.
- Aleaciones 5182-0 y 5182-H19, también para forja con un contenido de Mg del 4,5[%] y útiles para tapas de latas de bebida.
- Aleación 443-F, aleación para moldeo, con 5,2% de Si, utilizable para fabricación de equipos destinados al manejo de alimentos.

Por contra, el aluminio tiene un bajo módulo de elasticidad y un bajo límite de fatiga, además de que su utilización a alta temperatura es muy limitada, dado su bajo punto de fusión (660.3 [°C]). Así mismo las aleaciones de aluminio tienen pequeña resistencia al desgaste, consecuencia de su baja dureza.

### 1.3.2.3 Cobre y sus aleaciones

En líneas generales, es un pésimo material de construcción de equipos para la industria alimentaria, dada su toxicidad. Por ello, su uso está prohibido salvo en chocolatería, confitería sin ácidos y destilería, donde se emplea el llamado cobre alimentario que es una aleación perteneciente a la clase de cobres desoxidados.

En cualquier caso, si se emplearan en el equipo de procesado de alimentos recipientes de cobre o de latón, deberían protegerse, por ejemplo, cubriéndolos con una capa de estaño.

### 1.3.2.4 Materiales poliméricos

Los polímeros presentan una serie de propiedades muy interesantes, como son baja densidad, amplio rango de utilización como posibles materiales, gran libertad de elección, baja energía de transformación y obtención, importante eficacia de coste e incluso relativa resistencia a la corrosión, que explican su amplia difusión en diversos mercados y tecnologías, en muchos casos sustituyendo a los metales y aleaciones metálicas (8). No obstante, las propiedades generales de los polímeros varían mucho, en función de la materia prima utilizada, de los aditivos incorporados y del procedimiento de fabricación.

En cualquier caso, los materiales empleados en la industria alimentaria deben ser inocuos y no deben transmitir a los alimentos propiedades nocivas ni cambiar sus características organolépticas (color, sabor, textura, olor).

Los polímeros termoplásticos utilizados en alimentación son, por lo general, resistentes a los ácidos, álcalis y agentes de limpieza; pueden soportar grandes variaciones de temperatura, aunque eso sí, incorporándoles los termoestabilizantes precisos pueden resistir la absorción acuosa. Los más empleados son las poliolefinas (polietileno, polipropileno) los polímeros de flouorcarbono (teflón), acrílicos, vinílicos e incluso el policarbonato y el nylon. Entre sus posibles aplicaciones pueden citarse la construcción de tanques, tuberías, accesorios, cintas transportadoras y planchas de picado.

Los termoestables utilizados en la construcción de equipos alimentarios, suelen pertenecer a las familias de los poliésteres, los poliuretanos y las resinas epoxicas. El intervalo de temperaturas de uso es más amplio que en el caso de los termoplásticos, pero son más sensibles a ácidos y álcalis.

Por último, los elastómeros o cauchos suelen emplearse para cierres, juntas, tuberías y cintas transportadoras. El más utilizado es el caucho natural (cis-1,4poliisopreno), si bien también se emplean otros cauchos sintéticos como el neopreno o los de butadieno-estireno.

#### *1.3.2.5 Materiales NO aconsejables*

Se consideran materiales que han sido ampliamente utilizados, pero que las actuales normas higiénico-sanitarias les convierten en materiales poco recomendables.

El acero galvanizado fue muy utilizado en la industria alimentaria, sin embargo su utilización actual queda restringida a las conducciones de agua fría de proceso ( $\text{pH} = 7$ ).

Se debe evitar, también, el uso del plomo en soldaduras y el del cadmio y antimonio en la construcción de equipos en contacto con los alimentos.

Así mismo, el carácter inerte de los materiales en contacto con los alimentos, desaconseja el empleo de polímeros termoestables con grupos fenol y formaldehído.

Tampoco la madera (y otros materiales absorbentes) debe ser utilizada, salvo en el caso de las cubas de fermentación. (Castañeda Martin, 2009)

### 1.3.3 Principios generales del diseño higiénico

#### *1.3.3.1 Ausencia de depósitos*

Se refiere a la no acumulación de alimentos en depósitos u otras zonas muertas en los que pueda generarse un crecimiento bacteriano. Por ello, las superficies en contacto con el alimento deben ser no porosas, lisas y pulidas.

Por otra parte, hay que evitar los ángulos, grietas y cortes mediante la curvatura adecuada que evite la acumulación del alimento y facilite la limpieza.

Además, las soldaduras que se realicen serán continuas y lisas y se evitarán los finales muertos y los tubos en T. Por último, no debe permitirse la utilización de tornillos en las zonas en contacto con los alimentos

pues propician su acumulación. Si por alguna razón extraordinaria se requiriera algún tipo de tornillo, su cabeza será semiesférica y se situará en el lado que contacta con el alimento.

#### *1.3.3.2 Facilidad de desmantelamiento y montaje*

Se pretende que el diseño permita un fácil desmantelamiento de las partes principales, para una limpieza, en tiempos relativamente cortos, seguida del nuevo montaje del equipo. Por ello, el número de piezas de trabajo del equipo de procesado debe ser el menor posible. Así mismo, para facilitar la limpieza, se utilizarán sistemas fáciles de soltar, como por ejemplo palomillas y tornillos de paso de rosca ancho o también abrazaderas y muelles de unión.

#### *1.3.3.3 Accesibilidad*

Las superficies y componentes de la maquinaria de elaboración de alimentos deben ser fácilmente accesibles para su inspección, de forma que al ser sometidos a los procedimientos establecidos de limpieza y desinfección se consiga un resultado adecuado. En este sentido, si el sistema de limpieza es automático, su eficacia debe ser similar al sistema manual.

Las separaciones entre máquinas, o de éstas con las paredes deberán ser como mínimo de 45 [cm]. Además, el equipo se situará a una distancia del suelo de, al menos, 20 [cm]. Todo ello con vistas a facilitar la limpieza, inspección y mantenimiento.

Las grandes plantas de procesado de alimentos, caso de los túneles de deshidratación y de enfriamiento por aire, tendrán puertas que faciliten el acceso para la limpieza y mantenimiento (diámetro mínimo: 60 [cm]).

#### *1.3.3.4 Drenaje*

El diseño del equipo en contacto con los alimentos tiene que ser de tal forma que facilite el drenado total, no sólo de los alimentos, sino también de los productos o agentes de limpieza, al objeto de evitar zonas de acumulación que generarían el correspondiente peligro sanitario.

Por ello, los sistemas de drenaje se diseñarán de forma que eviten salpicaduras, se puedan limpiar fácilmente y dispongan de la inclinación adecuada para posibilitar la salida de efluentes.

#### *1.3.3.5 Superficies exteriores*

Estas superficies tienen la función primordial de protección por lo que, como siempre, su diseño evitará la acumulación de suciedad y facilitará la limpieza. En líneas generales, al diseñar el equipo hay que separar los mecanismos tales como grupo motor, reductor, transmisor, etc. siempre más difíciles de limpiaren todos los sentidos, de las zonas en las que se exige una limpieza estricta.

Sin embargo y, a pesar de lo anterior, los motores estarán protegidos por una carcasa estanca y no oxidable, con el adecuado acabado superficial, dejando el espacio suficiente entre la bancada y el motor para facilitar la limpieza. Además, las transmisiones de potencia deben solucionarse de forma que se evite la contaminación del alimento. (Castañeda Martín, 2009)

## Capítulo 2 Deshidratadores de alimentos

En este capítulo se analizará los diferentes tipos de deshidratadores que existen y las distintas configuraciones que se utilizan para realizar dicho proceso, así como los principios de la energía geotérmica y el diseño del DGA10, el cual es un prototipo realizado por grupo IIDEA en el instituto de ingeniería de la UNAM, ya que el diseño propuesto en este trabajo será tomando en cuenta las ventajas y desventajas que este deshidratador demuestra.

Los deshidratadores de alimentos son dispositivos que nos permiten realizar un proceso de secado a diferentes frutas, granos, verduras, etc. A base de energía térmica, el deshidratado de cualquiera de las cosas antes mencionadas es muy importante, ya que nos permite retirar el agua dentro de estas, para prolongar la vida útil, ya que al no tener cierto porcentaje de agua se elimina el medio en el cual proliferan los microorganismos que propician la descomposición del alimento. Otro punto muy importante es que al contar con reservas de alimentos que duran mucho más tiempo, se puede consumir un determinado alimento fuera de su temporada, por ejemplo en una época donde escasea el jitomate ya que no se dan las condiciones apropiadas para una buena cosecha, se podrían tener reservas de jitomate deshidratado, ya sea para elaborar puré, sopa, o cualquier producto que se desee, aminorando así el precio comercial y apoyando tanto al agricultor como al sector público.

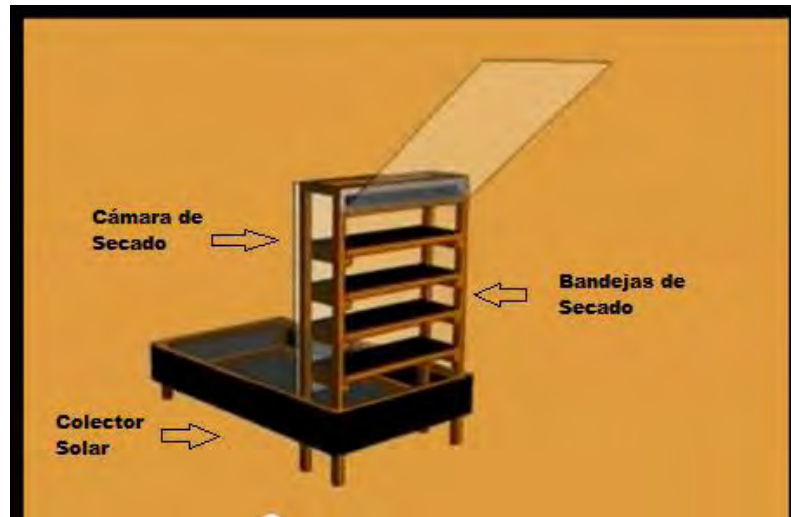
### 2.1 Tipos de deshidratadores

Existen varios tipos de deshidratadores, configuraciones y métodos para brindar la energía térmica necesaria para realizar el proceso, desde ideas de la edad antigua, hasta maquinas sofisticadas de la actualidad, estos están en función de diferentes variables como son el tipo de alimento, su consistencia, humedad, entre otras.

#### 2.1.1 Deshidratadores solares

Los Deshidratadores solares se presentan en diferentes configuraciones:

- Deshidratadores Solares Directos o por Convección natural.  
La transferencia de calor para deshidratación de los alimentos se realiza ya que existe un contacto directo entre los alimentos frescos y los gases calientes, la convección natural se efectúa por una variación de densidades la cual provoca un movimiento natural de los fluidos
- Deshidratadores solares indirectos.  
La energía térmica es transferida de los gases calientes al producto fresco mediante una pared, teniendo un contacto indirecto con los alimentos.
- Deshidratadores solares mixtos.
- Deshidratadores solares híbridos

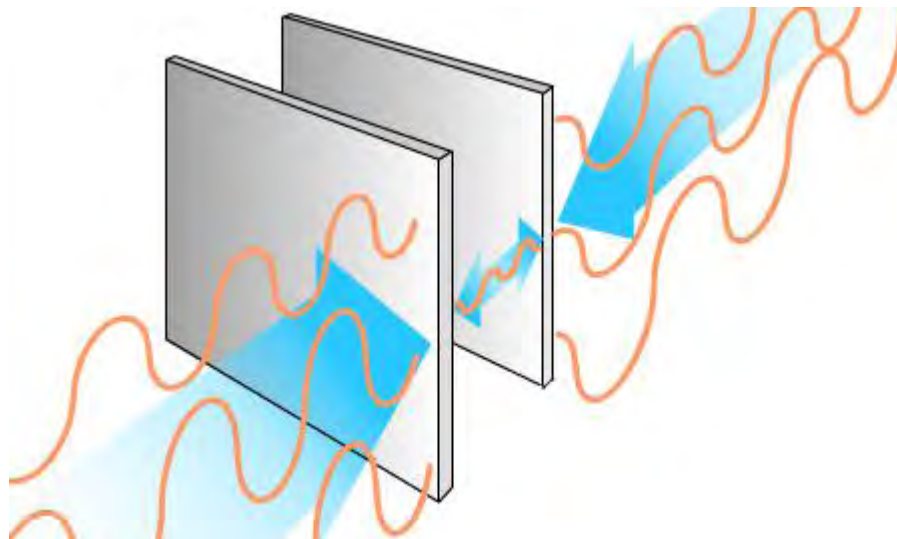


*Fig. 1 Configuración típica de deshidratador solar*

### 2.1.2 Deshidratadores dieléctricos

Este proceso se caracteriza por deshidratar los alimentos mediante un campo magnético eléctrico de alta frecuencia que provoca que las moléculas de agua se agiten, y al moverse se calientan por medio de la fricción haciendo posible que se evapore el agua en el producto. La mayor ventaja que tiene este tipo de procesos es que el campo es totalmente homogéneo, logrando de esta manera un deshidratado uniforme.

El inconveniente más grande que tiene es el alto costo en los equipos y mantenimiento del mismo, ya que puede ser hasta 10 veces más caro que un deshidratador convencional.



*Fig. 2 Efecto dieléctrico*

### 2.1.3 Deshidratador de bandejas

Este deshidratador se caracteriza por introducir al alimento en charolas o bandejas, mediante varios espigueros, de manera semejante a un horno de pan, en el cual el aire es calentado mediante un intercambiador de calor (agua, gases) o por combustión, en una cámara de deshidratado donde finalmente el aire es expulsado por una chimenea.

La mayor problemática de estos deshidratadores es la poca uniformidad en el flujo del aire, provocando que las horas de secado sean más de las necesarias, aparte la producción de estos deshidratadores se hace por lotes, teniendo que estar cambiando la fruta de manera manual cada vez que se inicia el proceso.

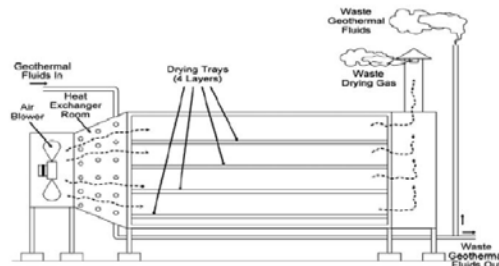


Fig. 3 Configuración de un deshidratador de bandejas que funciona con energía geotérmica

### 2.1.4 Deshidratador de túnel

Este dispositivo cuenta con una banda transportadora que hace que el producto que se desea deshidratar recorra continuamente el túnel donde yace el aire caliente, teniendo como premisa que el agua ligada químicamente es la que requiere de una mayor cantidad de energía térmica (el agua libre sería la única disponible para el crecimiento de microorganismos o para intervenir en las transformaciones hidrolíticas, químicas, enzimáticos, etc., puesto que el agua ligada está unida a la superficies sólidas y no puede intervenir en estos procesos), se configura el túnel a contraflujo, entrando el alimento del lado contrario de la entrada del aire caliente, provocando que al entrar el producto tenga contacto con el aire menos caliente, y conforme llega al final del túnel tenga contacto con gases de mayor temperatura, evitando tener cambios bruscos en la temperatura para el alimento.



Fig. 4 Configuración de un deshidratador de túnel



### 2.1.5 Deshidratador de lecho fluidizado

En los deshidratadores de este tipo se introduce aire caliente por parte inferior para mantener fluidizado el alimento, es decir suspendido en el aire. La entrada del alimento es en forma de partículas y se hace por la parte de arriba; el producto ya seco es colectado por un conducto en el otro extremo de la entrada. El aire húmedo, que ya ha recogido la humedad de los alimentos, es descargado por la parte superior del secador, haciendo el proceso continuo. Estos secadores son ideales para alimentos en forma de partículas como chícharos, granos, etc.

Los sistemas fluidizados reducen los tiempos de secado, un movimiento vibratorio en el producto permite un mejor contacto con el aire lo que disminuye el tiempo de secado.

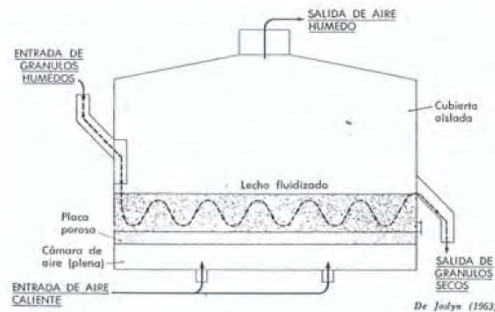


Fig. 5 Esquema de un deshidratador de lecho fluidizado

### 2.1.6 Deshidratador de tambor rotatorio

Este deshidratador está conformado por un tambor giratorio o un rodillo metálico, que es calentado desde dentro por medio de vapor o alguna resistencia eléctrica, el alimento que se desea secar se encuentra en la parte superior de los rodillos, este es contenido por placas que permiten el contacto directo con los rodillos, finalmente el producto queda en forma de pasta o triturada en capas delgadas y totalmente seco.

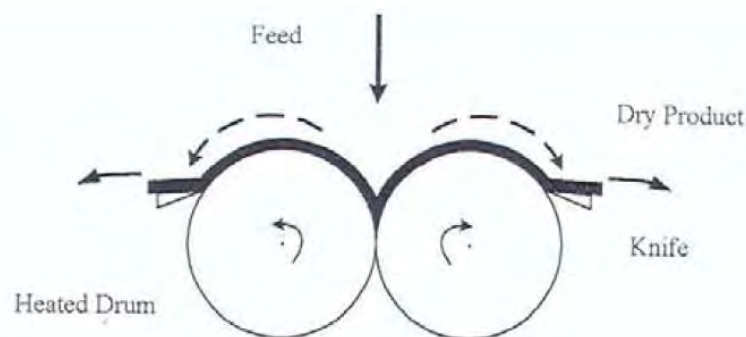


Fig. 6 Diagrama de un deshidratador con doble tambor

### 2.1.7 Deshidratadores por aspersion

En los deshidratadores por aspersion el alimento que se desea secar debe ser un líquido o un sólido triturado y con una viscosidad muy baja (permitiéndole fluir), ya que este será rociado mediante aspersores a la cámara de deshidratado en forma de gotas, estas al entrar en contacto con el aire caliente de la cámara empieza a secarse, cayendo al final de la misma convertidas en polvo.

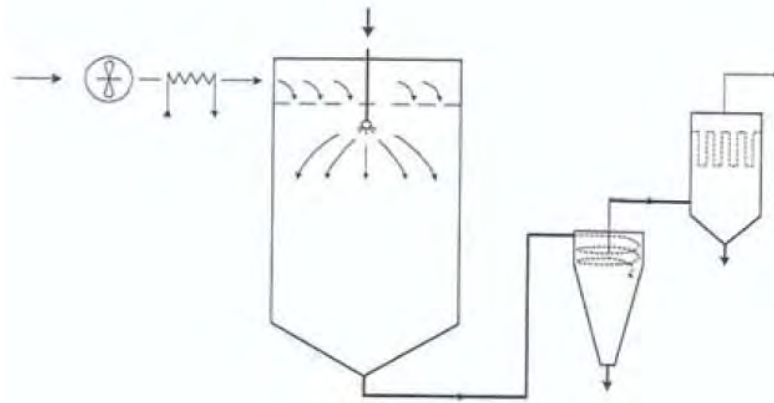


Fig. 7 Diagrama de un deshidratador por aspersion

### 2.1.8 Deshidratador rotatorio

Consiste en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, se levantan los alimentos para caer después en forma de lluvia a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro, se calientan por contacto directo del aire con el alimento.

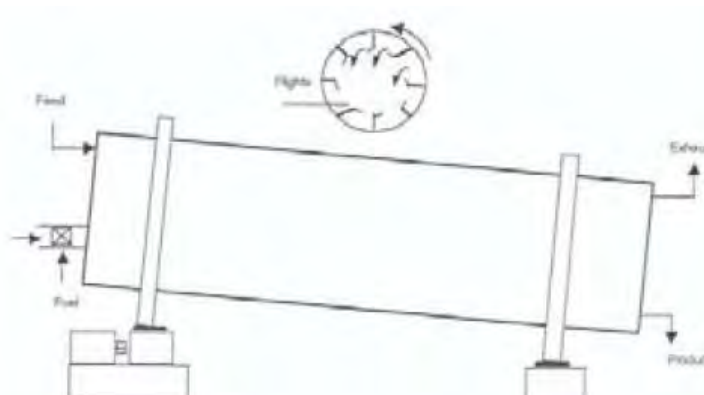


Fig. 8 Diagrama de un deshidratador rotatorio

### 2.1.9 Deshidratadores al vacío

Este tipo deshidratador es que posee una mayor calidad sanitaria en los alimentos, ya que el proceso se lleva a cabo en una cámara de vacío, donde las temperaturas son bajas y la velocidad de secado depende directamente del grado de vacío que se logre en la cámara. Por los dispositivos que se requieren este es el proceso más costoso.



*Fig. 9 Deshidratador al vacío*

### 2.1.10 Métodos distintos

#### 2.1.10.1 Deshidratado por liofilización

La liofilización es una técnica de deshidratación por frío, un proceso común en la industria alimentaria conocido como deshidrocongelación, el cual tiene la virtud de mantener al máximo las propiedades organolépticas de los alimentos. Este método se realiza al vacío.



*Fig. 10 Deshidratador por liofilización*

La máquina para llevar a cabo este proceso es un liofilizador, en esta se introduce el producto procesado listo para su secado. Se genera un entorno al vacío, donde las bajas temperaturas son de hasta  $-40$  [°C].

Aquí ocurre la sublimación, es decir, el producto pasa directamente de un estado sólido a un estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. Eso básicamente se aplica al contenido acuoso del alimento, el cual sublima terminando con materia sólida sin ningún remanente líquido, absolutamente seco.

**2.1.10.2 Deshidratación osmótica**

La deshidratación osmótica se basa en el proceso de difusión del agua en una membrana permeable como puede ser la pulpa de diversas frutas, esta difusión es inducida por sumergir la fruta en una solución de mayor concentración de azúcares como la fruta; este método no conserva muchos de los nutrientes de la fruta, y tiene un tiempo muy largo de deshidratación, pero al ser un método que deshidrata sin temperatura es de los más eficientes energéticamente.

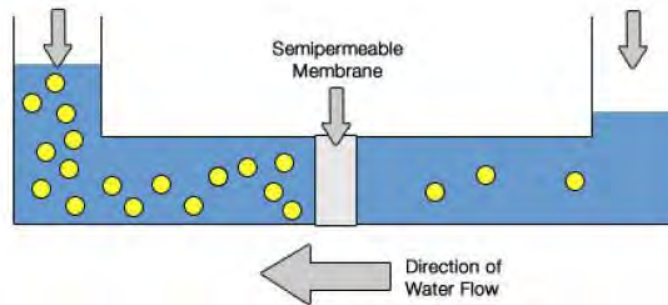


Fig. 11 Esquema de la osmosis

**2.2 Selección de los diferentes tipos de deshidratador**

Todas las configuraciones de deshidratadores tienen ventajas y desventajas que se consideraran para la elección del prototipo que se desarrollara en este trabajo, las cuales son las siguientes:

Tabla 2 Comparación de los diferentes tipos de deshidratadores

Comparacion de los diferentes tipos de deshidratadores											
Tipo de deshidratado/característica	Homogeneidad	facilidad de manufactura	Costo accesible	Tiempo de deshidratado	Cantidad de componentes	Aplicación industrial	Utilizacion de energias alternas (Geotermia)	Total			
Solar	1	2	2	1	2	2	0	10	poco		0
Dieléctrico	2	1	1	2	0	2	0	8	regular		1
De bandejas	1	2	2	1	2	2	2	12	bueno		2
De tunel	1	2	2	1	2	2	2	12	Possible eleccion de diseño		
De lecho fluido	2	0	0	2	1	2	1	8			
Tambor rotatorio	1	0	1	1	1	1	1	6			
Por aspersion	2	0	1	1	0	2	1	7			
Rotatorio	1	0	1	1	1	1	1	6			
Al vacio	2	0	0	2	0	2	0	6			
Liofilización	2	0	0	2	0	2	0	6			
Osmotica	2	2	2	0	2	1	0	9			

## 2.3 Deshidratadores geotérmicos

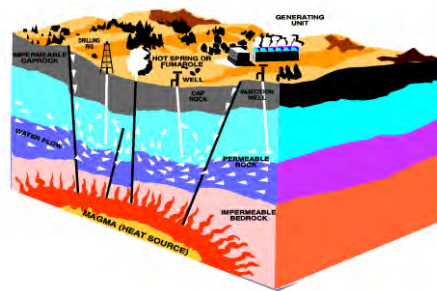
Como se ha visto existen diferentes tipos de deshidratadores y con ellos diferentes formas de brindarles la energía térmica necesaria para poder realizar el deshidratado, ya sea por combustión de hidrocarburos, energía solar, campos magnéticos, vacío o por energía geotérmica.

En este trabajo se hará un enfoque especial en un deshidratador de alimentos a base de geotermia esto es por lo siguiente:

- Los deshidratadores convencionales a gas producen muchos gases de efecto invernadero lo cual afecta el medio ambiente, en cambio la energía geotérmica es considerada una energía limpia y renovable, ya que aunque tiene algunas emisiones de gases son relativamente bajas.
- La energía solar tiene un factor de planta muy bajo, ya que las horas aprovechables de sol a veces no son las necesarias para secar un alimento totalmente en un día, y la energía geotérmica al provenir del núcleo del planeta se mantiene activa todo el día, todos los días del año.
- México al ser un país privilegiado geográficamente cuenta con actividad geotérmica alta, y con yacimientos ya localizados, los cuales pueden ser explotados en beneficio de la población.

### 2.3.1 Energía geotérmica

La energía geotérmica es la energía térmica interna de la tierra, esta es producida por el núcleo de la tierra, el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc. Esta palabra proviene del griego “geos” (tierra) y “thermos” (calor).



*Fig. 12 Distribución de recursos en las diferentes capas de la Tierra*

“En los años 80 casi el total de la energía consumida en el mundo provenía de la quema de combustibles fósiles, considerando el mismo consumo per cápita de esos años y el aumento de la población, se estima que para el año 2025 se quemaran 14,000 millones de toneladas de carbón. Es decir, habrá un incremento del 40 [%]. Ello producirá una aceleración del calentamiento global y además al elevarse la temperatura del planeta esto acelerará el deshielo de los casquetes polares e irremediablemente habrá un aumento en el nivel de los océanos, que puede llegar a ser catastrófico para el ser humano. En México al igual que en la mayoría de los países del mundo la economía está regida por que tanto petróleo produce el país, y la

mayoría de las máquinas, los automóviles, etc. utilizan combustibles fósiles. El 51.87 [%] de la energía eléctrica es producida por plantas termoeléctricas, y estas ocupan combustible fósil.” (González González , 2009)

### 2.3.1.1 Gradiente geotérmico

Es importante mencionar, que la geotermia tiene ciertas características que ayudan a saber su comportamiento, para poder aprovecharla posteriormente. Una de ellas es el gradiente geotérmico, que es la manera de como varía la energía que se encuentra dependiendo de la profundidad de la tierra en la cual se extraiga el recurso, este es de 3/100 [°C/m], es decir que entre mayor profundidad tenga un yacimiento este poseerá mayor energía disponible para aprovechar.

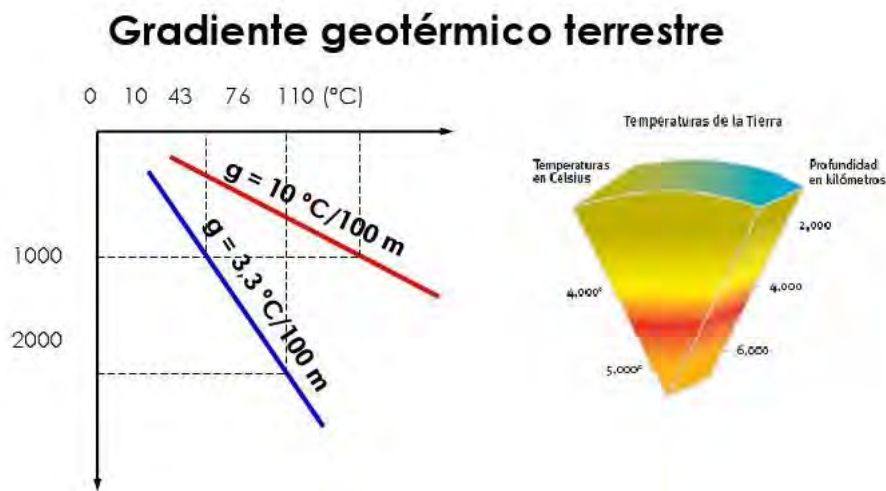


Fig. 13 Grafica del gradiente geotérmico

### 2.3.1.2 Clasificación de los yacimientos geotérmicos

Otra cuestión importante que hay que mencionar es la clasificación de los yacimientos, estos varían según los niveles energéticos de los recursos que albergan, es decir, de los fluidos que contenga.

La clasificación es la siguiente

- YACIMIENTO DE ALTA ENTALPÍA: son aquellos que poseen condiciones de presión y alta temperatura ( $T \geq 150$  [°C]), su principal aprovechamiento es en la producción eléctrica.
- YACIMIENTOS DE MEDIA ENTALPÍA: Las características de los fluidos en estos yacimientos es una temperatura de entre 100 y 150 [°C], lo que permite su uso de electricidad mediante ciclos binarios.
- YACIMIENTOS DE BAJA ENTALPÍA: cuando la temperatura del flujos es menor de 100 [°C], la energía que puede ofrecer no es mucho, así que no se puede utilizar de una manera tan óptima para producir energía eléctrica, sus usos directos son la calefacción, secado de alimentos y balnearios.

Cabe mencionar que entre mayor sea la entalpía del yacimiento, su localización y manera de explotarlo se complica más, siendo los yacimientos de baja entalpía los más aprovechados por la población.

Tabla 3 Usos de la energía geotérmica según su entalpía (Baeza, 2009)

Recursos geotérmicos	Temperaturas	Tecnología	Aplicación
Muy baja entalpía	5-25°C	Utiliza bomba de calor	Usos directos Climatización
Baja entalpía	25-50°C	Puede precisar bomba de calor	Usos directos
	50-100°C		Usos directos
Media entalpía	100-150°C	Ciclos binarios	Electricidad Procesos
Alta entalpía	>150°C		Electricidad
No convencionales	EGS - HDR	Ciclos binarios	Electricidad
	Supercríticos		>300°C

## 2.4 Deshidratador geotérmico de alimentos (DGA) de baja entalpía IIDEA

Para este caso de estudio, se rediseñara un deshidratador de alimentos geotérmico de baja entalpía, que fue desarrollado en el instituto de ingeniería de la UNAM, por el grupo IIDEA, los datos consultados se encuentran en el trabajo de tesis “DESHIDRATADOR DE TOMATES UTILIZANDO ENERGÍA GEOTERMICA PARA ENSENADA B.C.” (Baeza, 2009) Quien fue la persona que desarrollo el prototipo DGA10

### 2.4.1 Dimensiones

Este deshidratador tiene las siguientes características:

Gabinete de deshidratado:

- Largo: 2560 [mm]
- Ancho: 550 [mm]
- Alto: 570 [mm]
- Espesor de la pared: 19 [mm]

Entrada de aire (Donde se coloca el ventilador)

- 450 X 200 [mm]

Salida de aire (Chimenea)

- Diámetro: 125 [mm]

Separación de los bastidores

- Entre cada bastidor: 40 [mm]

Túnel de intercambiador

- Largo: 2300 [mm]
- Ancho: 220 [mm]

- Alto: 400 [mm]

Ventilador

- Diámetro: 100 [mm]

Intercambiador de calor

- Largo: 1700 [mm]
- Ancho: 350 [mm]
- diámetro de tubo aletado: 15.875 [mm] (5/8 “)
- Tubería principal: 25.4 [mm] (1 [in])
- Número de aletas: 250 aletas/ 1 [m].
- Diámetro de la aleta: 38.1 [mm] (1.5 [in])
- Espesor de la aleta: 1 [mm]
- Separación entre aletas: 3 [mm]

Charolas

- Largo: 960 [mm]
- Ancho : 380 [mm]

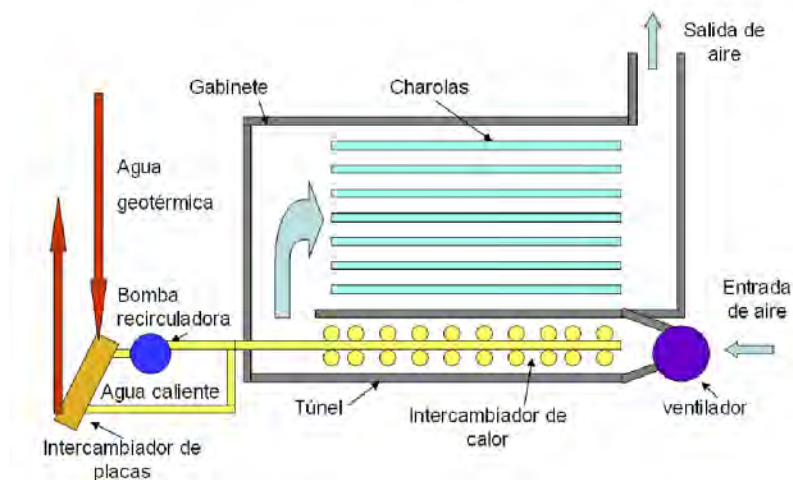


Fig. 14 Diagrama del DGA IDEEA (Baeza, 2009)



### 2.4.2 Condiciones de operación

Las condiciones de operación de temperatura y velocidad del aire en las bandejas, fueron basadas en experimentos realizados anteriormente para encontrar las mejores condiciones de deshidratación.

El espesor del alimento se consideró lo más pequeño posible, para una rápida deshidratación, pero no lo demasiado para evitar tener una producción aceptable.

La materia prima a deshidratar fue jitomate Saladette (*Solanum lycopersicum*), el cual tiene un promedio de 0.093 [kg] de agua por cada 0.1 [kg] de jitomate, se planteó deshidratarlo hasta un 15 [% de humedad].

Tabla 4 Condiciones de operación del DGA (Baeza, 2009)

PARÁMETROS		México, CDMX	Ensenada
Temperatura del aire de secado	$T$ (°C)	50	50
Velocidad del aire	$V$ (m/s)	1	1
Humedad relativa	$HR$ (%)	50	80
Temperatura ambiente	$T_{amb}$ (°C)	20	17
Humedad inicial del tomate	$X_0$ (kgagua/kgtotal)	93	93
Espesor del alimento	$z$ (cm)	1	1
Humedad final esperada	$X_f$ (%)	15	15

### 2.4.3 Resultados obtenidos

El tiempo teórico de secado fue de 17 [horas], para la carga total del DGA y de 21 [horas] hablando experimentalmente, cabe mencionar que la carga máxima del deshidratador es de 6 [kg]. (Baeza, 2009)

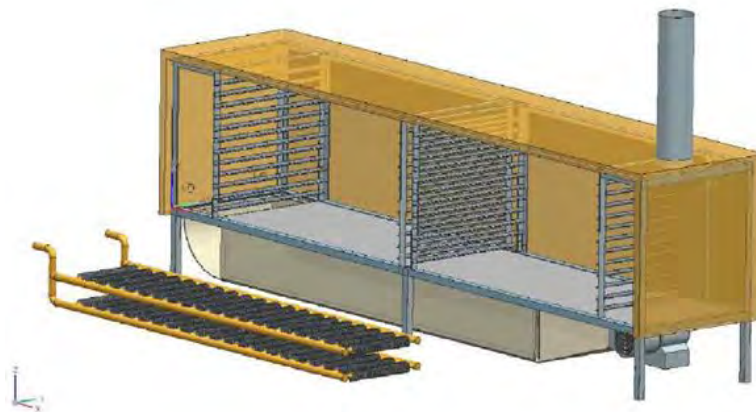


Fig. 15 Modelo 3D del DGA10 (Baeza, 2009)

## Capítulo 3 Propuesta de diseño

Para este capítulo se tomarán en cuenta varios puntos utilizados en las metodologías de diseño, tratando de no basarse únicamente en una, para poder tener un diseño integral, siendo de esta manera la lluvia de ideas el principal método de diseño, apoyada de la investigación previa de la historia del arte del DGA10, usando las deficiencias y fortalezas de dicho diseño, también se consultara diferentes fuentes de información para obtener los parámetros óptimos de deshidratado y así justificar el diseño de cada componente.

### 3.1 Análisis de la problemática

El diseño se basará en la premisa de mejorar la homogeneidad del aire dentro de la cámara de deshidratado, mejorando el prototipo realizado previamente en grupo IDEAS, del cual se han dado sus especificaciones en el capítulo anterior, por ende se ira paso a paso para justificar la idea del diseño.

### 3.2 Elección de tipo de deshidratador

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que se tienen en las diferentes configuraciones de deshidratadores se seleccionara el deshidratador de túnel vertical por las siguientes razones:

- Diseño simple
- Costo bajo para poder construirse
- Impacto inmediato del aire caliente con la fruta deshidratada
- Geometría sencilla de manufacturar
- Facilitación de muestreo de datos
- Aire homogéneo dentro de la cámara
- Evitar problemas de flotación por densidad del aire
- Facilidad de limpieza
- Menor cantidad de componentes

### 3.3 Componentes o subsistemas

En esta configuración de deshidratador se puede hacer una división muy simple para poder seguir con el diseño del prototipo, estas serían los componentes principales del deshidratador:

- Cámara de deshidratado
- Intercambiador de calor
- Difusores

- Ventilador/soplador
- Estructura/base
- Chimenea
- Puerta(s)
- Espigueros/charolas
- Sistema de limpieza
- Instrumentación

Siendo estos los principales componentes en los cuales se enfocará el diseño, dando especificaciones, materiales y formas de manufacturar cada uno de ellos. El componente que rige prácticamente todo el potencial y volumen de producción que tendrá el deshidratador es el intercambiador de calor.

### 3.3.1 Intercambiador de calor de tubos aletados (ICTA)

La principal especificación que nos determinará totalmente al deshidratador es la capacidad de producto fresco de jitomate que puede procesar, teniendo de referencia las pruebas realizadas en el DGA10 se considera el valor de la tabla 5.

*Tabla 5 Especificación de producto fresco*

Especificación	Valor	Unidad
Capacidad de producto fresco	5	kg

Los materiales y especificaciones del intercambiador son las siguientes:

- Se utilizarán tubos aletados en espiral ya que este tipo de tubos poseen una mayor cantidad de área superficial, lo cual nos beneficia ampliamente en la transferencia de calor teniendo el menor volumen posible para nuestro intercambiador, el material será cobre (tanto el tubo como la aleta) ya que es un material de bajo costo, fácil manufactura y que tiene un gran valor de conductividad térmica.

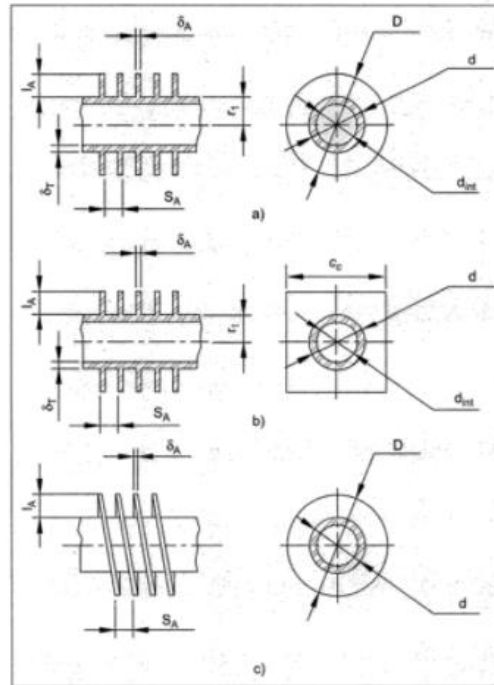


Fig. 16 Características geométricas de los tubos aletados. a) Tubo con aletas anulares b) Tubo con aletas cuadradas c) Tubo con aletas en espiral (Pysmennyy, Polupan, Carvajal M., & Sánchez S., 2007)

- La configuración del intercambiador será en triángulo, ya que de esta manera la perdida de presión se disminuye y favorece al flujo de aire que se tendrá dentro de la cámara de deshidratado.

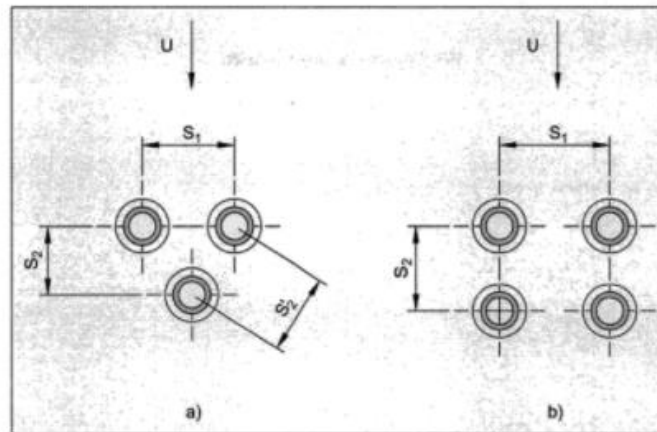


Fig. 17 Pasos entre tubos para los arreglos a) en triángulo b) en cuadro (Pysmennyy, Polupan, Carvajal M., & Sánchez S., 2007)

Dando estas especificaciones iniciales, se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la cantidad de tubos, el tamaño de la aleta, el diámetro del tubo y todos los parámetros necesarios para diseñar el intercambiador, estos cálculos se realizaron en la propuesta de tesis “Diseño térmico de un deshidratador geotérmico de alimentos de flujo vertical” (González Marín, 2018) a quien se le apoyo

en el diseño computacional, resultando los siguientes parámetros y configuración mostrados en las tablas 6 y 7.

*Tabla 6 Especificaciones del diseño del ICTA*

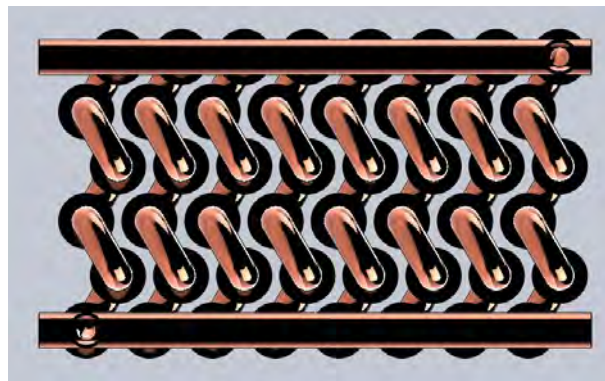
Especificación	Valor	Unidad
S1	40	mm
S2	34.6	mm
S2'	40	mm
D	34.925 (1 3/8")	mm
d	15.875 (5/8")	mm
d <sub>int</sub>	12.7 (1/2")	mm
S <sub>A</sub>	3.1	mm
δ <sub>A</sub>	0.25	mm
Longitud tubo	320	mm
Longitud de aletado	304.8 (12")	mm
Número de aletas	95 (8 A/in)	Aleta/0.3 m

Este intercambiador tiene las condiciones de operación que se muestran en la tabla 7.

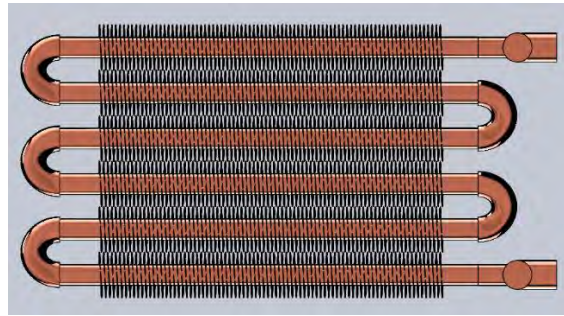
*Tabla 7 Condiciones de operación del ICTA*

Especificación	Valor	Unidad
Temperatura de entrada agua	80	°C
Temperatura de salida agua	76	°C
Temperatura de entrada aire	15	°C
Temperatura de salida aire	60	°C
Flujo másico agua	0.44	kg/s
Flujo másico aire	0.13	kg/s

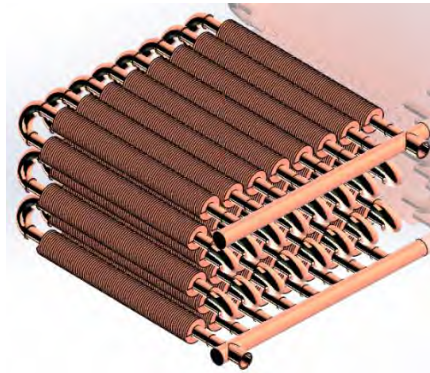
Resultando según los cálculos un intercambiador de 48 tubos, teniendo el siguiente arreglo mostrado en las figuras 18, 19,20 y 21.



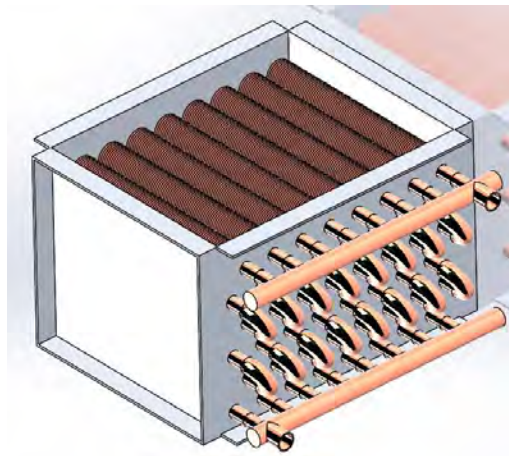
*Fig. 18 Vista lateral del ICTA*



*Fig. 19 Vista frontal del ICTA*



*Fig. 20 Vista isométrica del ICTA*



*Fig. 21 Vista isométrica del ICTA con carcasa*

Con base a los planos y especificaciones generadas y gracias al financiamiento del CeMIE-Geo, se contrató a una empresa especializada en la manufactura de intercambiadores de calor.

### 3.3.2 Cámara de deshidratado

Este componente es primordial por el tema del desarrollo del flujo, ya que para tener un buen deshidratado se debe tener ciertas condiciones que no deben ser ignoradas para obtener un proceso eficiente, dichos valores son los que están en la tabla 8.

*Tabla 8 Parámetros óptimos para deshidratado (Pérez González, Estudio de la cinética de secado de alimentos hortofrutícolas mediante la teoría de Polanyi para un deshidratador de bandejas, 2017)*

Especificación	Valor	Unidad
Temperatura del aire	60	°C
Velocidad del aire	2	m/s
Espesor del jitomate	11	mm

Otro parámetro relevante es la cantidad de producto fresco que se desea ingresar, según mediciones experimentales en el prototipo DGA10, al pesar las charolas que se tienen allí se determinaron los valores de la tabla 9.

*Tabla 9 Cantidad de producto fresco por área efectiva de charola*

Especificación	Valor	Unidad
Largo charola	960	mm
Ancho charola	380	mm
Área	0.3648	m <sup>2</sup>
masa/área	4.1447	kg/m <sup>2</sup>

Con la especificación masa/área se puede determinar el volumen que debe tener la cámara de deshidratado, tomando en cuenta que para la construcción de las nuevas charolas se prevé unas medidas de 450 x 650 [mm] (medidas de una charola comercial), por lo cual el cálculo para saber cuántas son necesarias se debe basar el cálculo en las charolas que posee el DGA actual, y en la cantidad de producto en relación de área y el ancho de rebanada que este puede contener, por lo tanto el cálculo se puede ver con detalle en la tabla 10.

*Tabla 10 Cantidad de charolas necesarias de medida comercial*

Charolas DGA		Charolas comerciales	
Largo [mm]	960	Largo [mm]	650
Ancho [mm]	380	Ancho [mm]	450
Área [mm <sup>2</sup> ]	364800	Área [mm <sup>2</sup> ]	292500
Rebanada [mm]	5	Rebanada [mm]	5
masa [Kg]	1.512	Relación m/A	4.1447E-06
Relación m/A	4.1447E-06	Masa por charola [Kg]	1.21233553
Total charolas	2	Carga deseada [Kg]	5
Capacidad total	3.024	Charolas necesarias	5

Por lo tanto se requiere 5 charolas para abastecer de producto fresco a la cámara de deshidratador, el siguiente paso es saber cuál es la máxima altura que puede tener la cámara de deshidratado y cuál será el espaciamiento óptimo que debe de existir entre las charolas, para ello se recurrirá a la ergonomía, enfocándose en que el posicionamiento de las mismas sea lo más cómodo posible para los usuarios del deshidratador, para ello se investigó en un estudio de ergonomía realizado para grupo IIDEA en el cual se consideran las medidas estándar de la población mexicana femenina del sector floricultor tal como se muestra en la figura 22. (SOMERSET I+D+i, 2017)

Población femenina del sector floricultor

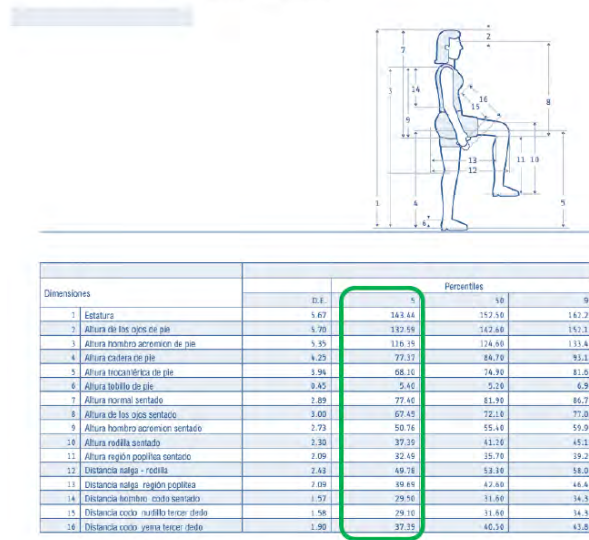


Fig. 22 Medidas promedio del cuerpo de la población femenina del sector floricultor (SOMERSET I+D+i, 2017)

Tomando los datos del percentil 5, se puede observar que la envergadura máxima del deshidratador no debe pasar los 1.70 [m] para brindar mayor comodidad al usuario, ya que el promedio de estatura es de 143.44 [cm], teniendo en cuenta la distancia entre la planta del pie al hombro (116.39 [cm]) la cual es la zona en la cual se tiene la mayor movilidad y libertad de trabajo, y finalmente teniendo en consideración la elevación que se puede otorgar de los brazos que en este estudio es de 25 [cm] de longitud, se puede decir que esa longitud será nuestra referencia para la colocación de las charolas, ya que son los elementos que se deberán manipular para echar a andar al deshidratador de la manera adecuada.

Para el espaciamiento ergonómico de las charolas se debe contemplar las medidas que se tienen en las manos para darles un espaciamiento cómodo, pero a la vez no excesivo y asegurar que el aire caliente pase lo más cercano posible a la fruta a deshidratar, dicha medida se ve en la figura 23.



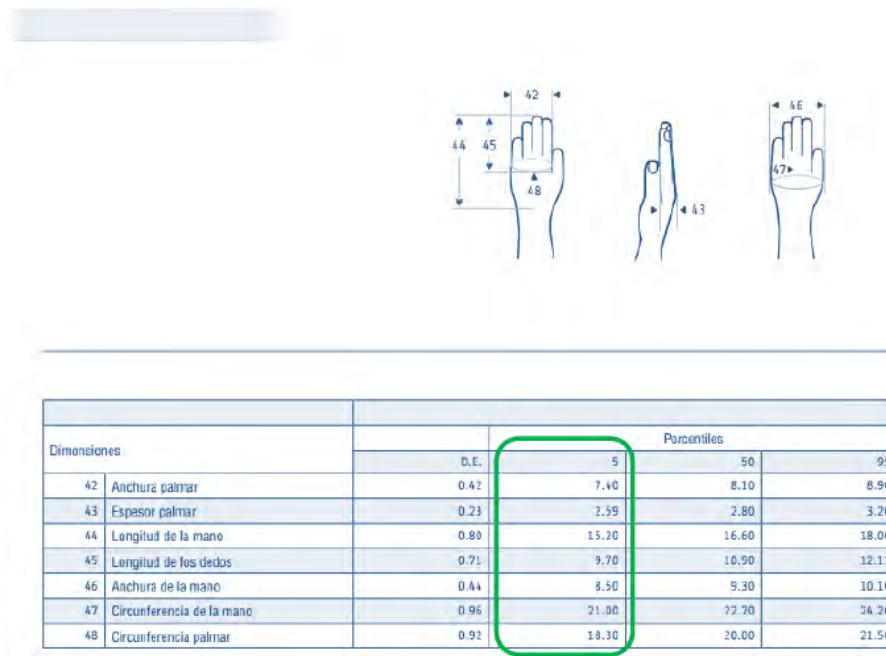


Fig. 23 Medidas promedio de la mano de la población femenina del sector floricultor (SOMERSET I+D+i, 2017)

Observando las medidas del percentil 5, se puede concluir que dado el espesor del palmar (2.59 [cm]) y sabiendo que al tomar algún objeto con toda la mano este se multiplica por dos ya que se utiliza el pulgar y la palma para sujetar, se considera que la medida optima de espaciamento es de 10 [cm] para que se tenga gran movilidad a la hora de insertar las charolas, y logrando dejar el espacio suficiente para colocar charolas en medio de las ya existentes si se quiere aumentar la carga del deshidratador a una distancia de 5 [cm] lo cual sería el límite que marca dicho estudio.

Finalmente con estos datos se puede determinar cuáles serán las medidas que tendrá la cámara interna de deshidratado, teniendo como resumen los parámetros que se enlistan en la tabla 11.

Tabla 11 Medidas de las charolas para deshidratado

Parámetro	Valor
Largo de charola [mm]	650
Ancho de charola [mm]	450
Numero de charolas	5
Espacio entre charolas [mm]	100
Alto por charolas [mm]	50

Por lo tanto para las medidas finales de la cámara se considerará una tolerancia de 5 [cm] para poder maniobrar sin problemas dentro de ella y tener el espacio suficiente para colocar la puerta y los espacios donde irán las charolas, por lo que las medidas las que se encuentran en la tabla 12.

*Tabla 12 Medidas finales de la cámara de deshidratado*

Medidas cámara	Valor
Largo [mm]	700
Ancho [mm]	500
Alto [mm]	550

Una vez determinadas la dimensiones que la cámara tendrá se tiene que definir el tipo de materiales que compondrán a esta, por todo lo dicho en el capítulo de diseño higiénico, por normativa para la maquinaria que tenga contacto con la comida se debe utilizar solo ciertos materiales, idealmente para este prototipo se debería utilizar acero inoxidable AISI 304, pero por la dificultad que se puede tener para maniobrarlo en el laboratorio de manufactura se optará por utilizar láminas de aluminio que de igual forman tienen buenas propiedades alimenticias para los fines deseados y resultan más fácil de manipular para la construcción del prototipo, igual una buena alternativa sería la utilización de acero inoxidable para la parte interna de la cámara y aluminio para las parte exterior, reduciendo de esta manera los costos y teniendo un buen funcionamiento en general.

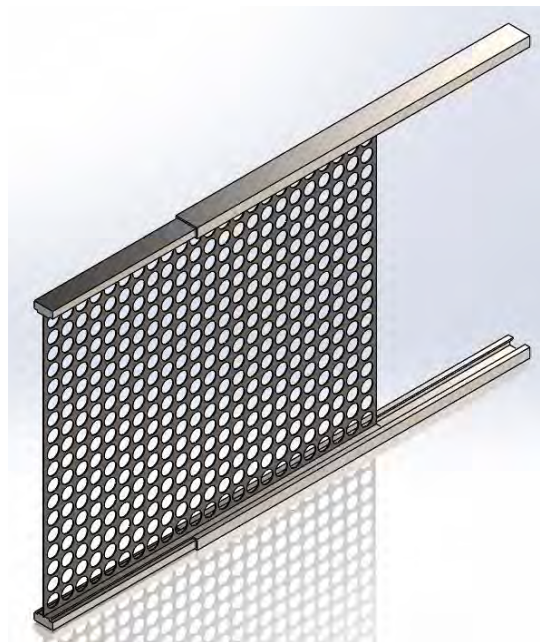
Parte muy importante de este diseño será el colocar paredes perforadas en la cámara interna del deshidratador, donde será distribuido el aire caliente a la fruta a deshidratar, un problema que se presenta en los deshidratadores de flujo vertical directo, es que las charolas de la parte inferior reciben la mayor cantidad de aire seco y las charolas de la parte superior quedan sin un buen aire para realizar el proceso de deshidratado, provocando que el deshidratado no sea totalmente homogéneo, por lo que la propuesta para solucionar dicha problemática en este diseño es ingresar el aire lateralmente por las paredes perforadas y después ingresarlo de alguna manera de forma horizontal hacia las charolas y así mejorar la homogeneidad del flujo y poder asegurar las velocidad de 2 [m/s] en cada parte de la cámara, dicha solución será explicada en capítulos posteriores; como una propuesta para el futuro se desea colocar pequeños ventiladores repartidos de manera que la entrada de aire para cada charola sea de 2 [m/s], en este trabajo no se realizará, pero se deja como una propuesta de optimización del prototipo; como se ha expuesto anteriormente, el problema más grande que tiene el DGA realizado en grupo IIDEA es la falta de una homogeneidad dentro de la cámara, ya que al ser un deshidratador de túnel e ir recorriendo el aire las charolas de forma horizontal este empieza a tener pérdidas de presión, de velocidad y de temperatura, ya que por la transferencia de calor realizada y el choque con las charolas el aire empieza a dejar zonas “muertas” en donde el deshidratado es mucho más lento, provocando de esta manera que el proceso no sea el mismo para toda la fruta, parte importante de eso es la perdida de velocidad y que el aire caliente por su misma densidad tiende a subir y recorrer el deshidratador por la parte superior de la cámara por lo que la zona inferior no recibe la misma cantidad de aire caliente (Reyes García, 2017), todo esto será solucionado con la propuesta antes mencionada.

Para la facilidad de limpieza se propone la utilización de correderas en donde se colocaran las laminadas perforadas que fungirán de entrada de aire (ver la figura 24 y 25), esto con el propósito de poder ser

removidas cuando sea necesario lavar el deshidratador, teniendo mayor espacio disponible para moverse al momento de realizar la limpieza y evitar obstáculos que entorpezcan estas labores.



*Fig. 24 Modelo 3D de la cámara de deshidratado*



*Fig. 25 Modelo 3D de la pared perforada con su corredera*

### 3.3.3 Estructura del deshidratador

La parte que determinara la rigidez del deshidratador es la estructura del mismo, para la realización de esta se utilizara perfil angulado de 38.1 x 38.1 [mm] (1.5 x 1.5 [in]) de acero al carbón y Perfil tubular rectangular (PTR) de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio, el primero es porque sus características mecánicas son ideales para la construcción de estructuras, las cuales están en la tabla 13.

*Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero al carbón (Solidworks 2017)*

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000.0031	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	360	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	235	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.10E-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Y el segundo ya que su densidad es casi tres veces menor que la del acero y sus propiedades mecánicas resultan útiles para el fin dado, así la cámara no será pesada para moverse si es necesario, sus propiedades son las que se encuentran en la tabla 14.

*Tabla 14 Propiedades mecánicas del aluminio (Solidworks 2017)*

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+010	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.6e+010	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	124084000	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	55148500	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-005	/K
Conductividad térmica	170	W/(m·K)
Calor específico	1300	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Se soldaran varios tramos del perfil para obtener una estructura que resista la carga que será provocada por el peso de la cámara, teniendo en consideración que se planea que esta estructura pueda separarse en 2, esto con base a lo dicho en el capítulo de diseño higiénico ya que el separar los sistemas ayudara a un fácil mantenimiento y limpieza, una que sea la base de la estructura, que será la que soportara el deshidratador, el intercambiador de calor y demás componentes y la segunda que será la que será la base para la construcción de la cámara, por lo tanto la distribución de esfuerzos de esta estructura se llevara en la parte 1, y la carga que estará distribuida en esta será la provocada por la cámara de deshidratado, teniendo en cuenta la carga que se provocara por la fruta de igual manera.

Es importante que la altura máxima que debe tener esta estructura es de 1000 [mm] ya que como se comentó anteriormente el diseño del deshidratador completo contempla una longitud máxima de 1700 [mm] y ya que la cámara de deshidratado ya cuenta con 700 [mm] de altura, el restante es lo que debe poseer dicha estructura.

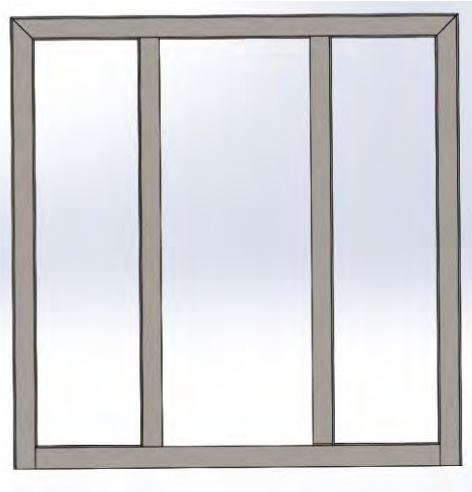
La primera parte tendrá en la parte inferior una sección que ayudara a soportar el intercambiador de calor y el soplador, ya que estos también colaboran con cierta carga, esta parte igual servirá como apoyo para la distribución de los esfuerzos.

Para verificar que la estructura creada sea la adecuada se contara con la ayuda del software Solidworks 2017, el módulo de simulación, para realizar un análisis de carga en la estructura diseñada.

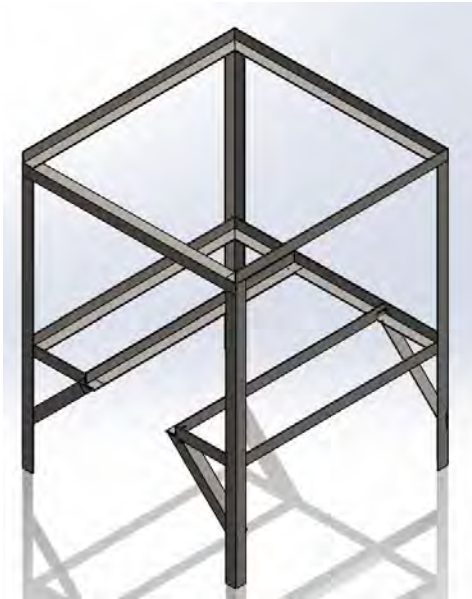
La configuración que se propone para la estructura del deshidratador se puede observar en las figuras 26, 27 y 28.



*Fig. 26 Vista frontal de la estructura del deshidratador*



*Fig. 27 Vista de planta de la estructura del deshidratador*

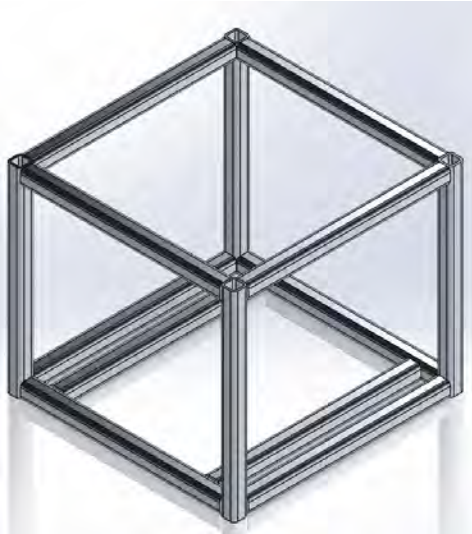


*Fig. 28 Modelo 3D de la estructura del deshidratador*

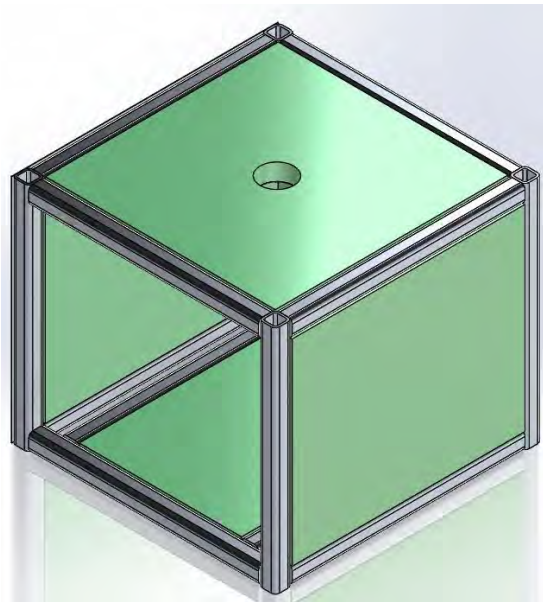
### *3.3.3.1 Estructura de la cámara de deshidratado*

Lo primero es elaborar la estructura de la parte de la cámara, ya que esta será la que aportara la mayoría de la carga conjunto a las láminas que la acompañan y la fruta deshidratada, siendo su peso en total el cual provocara los esfuerzos en la base del deshidratador. La forma de manufactura de esta es con la utilización de PTR de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio el cual será unido mediante perfil angulado en las esquinas y remaches, ya que la forma de soldar aluminio es un poco compleja y al no poseer la habilidad necesaria para hacerlo se opta por la utilización de remaches.

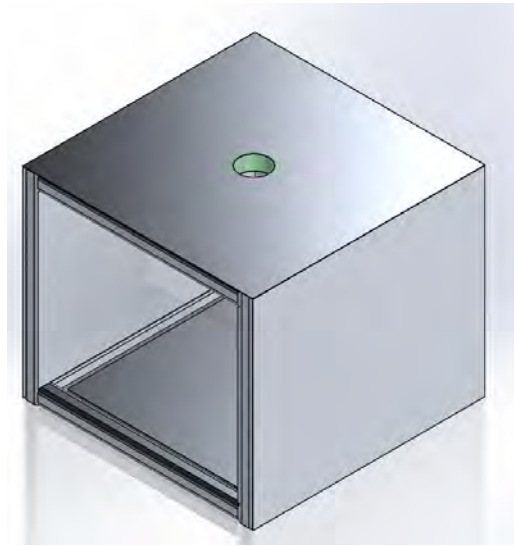
Se colocara sobre esta estructura láminas de aluminio en la parte interna y externa, teniendo en consideración que entre ellas habrá un aislante de 50.8 [mm] (2 [in]) de espesor (González Marín, 2018) este es de un material llamado lana mineral. Lo cual se logra observar en las figuras 29, 30 y 31.



*Fig. 29 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado*



*Fig. 30 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado con aislante*



*Fig. 31 Modelo 3D de la estructura de la cámara de deshidratado con láminas externas*

### 3.3.4 Difusores

Una parte fundamental para el correcto flujo de aire en el deshidratador son los difusores que serán colocados en dos partes, la primera es del soplador hacia el intercambiador de calor y la segunda es del intercambiador hacia la cámara de deshidratado, para ambos se planea utilizar lamina de aluminio calibre 18 doblada, que será unida mediante pestañas a sus respectivos puntos de unión.

#### 3.3.4.1 Difusor soplador-intercambiador de calor

Anteriormente se ha concluido que la altura máxima del deshidratador debe ser de 1700 [mm], esto apoya directamente al diseño de dicho difusor, ya que tomando en consideración que ya se tienen medidas pre definidas por los equipos que ya existen, los cuales son el soplador y el intercambiador los cuales poseen alturas de 250 [mm] y 250 [mm] respectivamente, aparte de una zona de seguridad que debe existir entre el nivel del suelo y el soplador para que el equipo no sufra contacto ni sufra daños por motivo de golpeo en el piso, esta altura se dio de 150 [mm], también se debe considerar que cada elemento tendrá pestañas para poder unir los componentes por este medio, por lo tanto la altura que se tiene desde el inicio de es de vital importancia para escoger la altura que este difusor tendrá, con todo lo dicho anteriormente se puede saber que se tiene un espacio libre determinado el cual se determina de la siguiente manera:

$$1000 = 250 + 250 + 150 + x$$

$$x = 1000 - 250 - 250 - 150$$

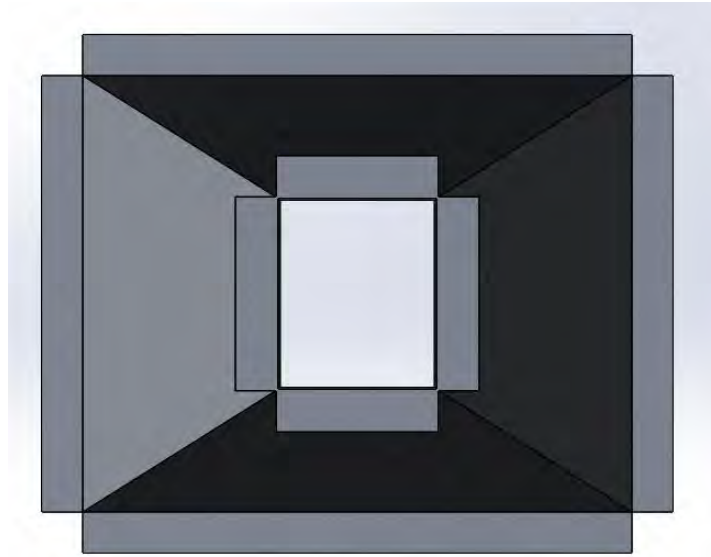
$$x = 1000 - 650$$

$$x = 350$$

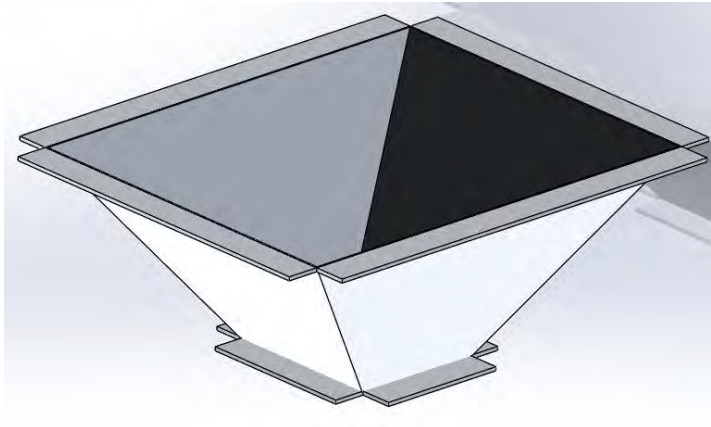
Con esta simple operación se puede saber que para ambos difusores se tiene un espacio libre de 350 [mm], este espacio libre se debe distribuir para los dos difusores, en este caso se tomó la elección de darle una



altura de 150 [mm] al primer difusor que va del soplador al intercambiador. Al saber el valor de la altura ya solo resta determinar las dimensiones de las secciones que se unirán mediante este dispositivo, la primera es la sección del soplador que tiene unas dimensiones de 150 x 100 [mm] y la segunda es la sección del intercambiador de calor que tiene unas dimensiones de 260 x 350 [mm], ya con estos valores se puede tener el diseño total de este difusor el cual sería de la forma mostrada en las figuras 32 y 33.



*Fig. 32 Vista de planta del difusor soplador-intercambiador de calor*



*Fig. 33 Modelo 3D del difusor soplador-intercambiador de calor*

### 3.3.4.2 Difusor intercambiador de calor-Cámara de deshidratado

Para el diseño de este componente se utilizó el mismo procedimiento que para el anterior difusor, como ya fue determinada cual era la longitud que se tenía disponible para colocar los difusores y se le otorgó una altura de 150 [mm] al primer difusor, eso quiere decir que la altura correspondiente de este será de 200 [mm], para las secciones que abarcará este difusor se deben tomar en cuenta las del intercambiador las cuales son 260 x 350 [mm] y las medidas de la cámara de deshidratado las cuales son 700 x 700 [mm], por lo cual el difusor se ve como se muestra en las figuras 34 y 35.

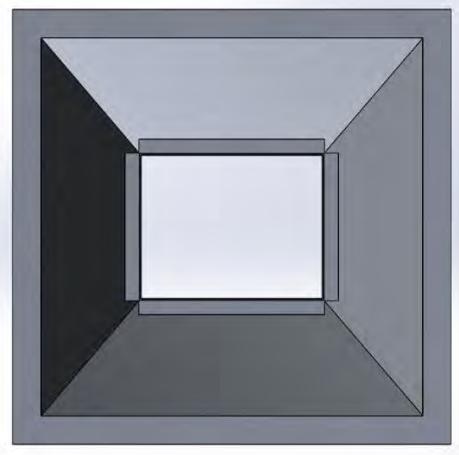


Fig. 34 Vista de planta del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado

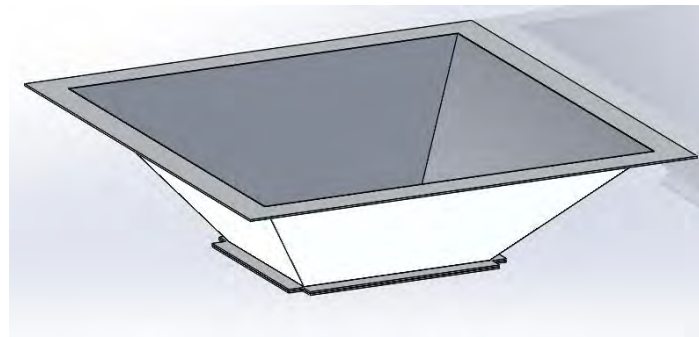


Fig. 35 Modelo 3D del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado

### 3.3.5 Sistema de limpieza

Es muy importante que los dispositivos que entran en contacto con los alimentos cuenten con un adecuado sistema de limpieza, ya que al realizarse los procesos para los que estén diseñadas dichas maquinas llegaran a soltar partículas de masa de los productos, que a la larga si se llegan a depositar en ciertos lugares y no se realiza la adecuada limpieza provocaran una contaminación de los alimentos colocados, por lo tanto fue prioridad el haber realizado un correcto diseño en el deshidratador de alimentos que se plantea construir en este trabajo.

A lo largo de este escrito se ha mencionado la importancia de utilizar los materiales correctos para evitar que exista una mala sanidad en el producto final, algo que es importante mencionar es que se tratará de realizar la manufactura de cada dispositivo teniendo en cuenta la limpieza del deshidratador, ejemplo de ello es el tratar de no dejar dentro de la cámara interna algún remache, ya que en estos se puede almacenar polvo o partículas de los alimentos que se deseen deshidratar, y si es así procurar que sea la mínima cantidad y que estos posean una cabeza redonda para facilitar la limpieza.

### 3.3.5.1 Sistema de limpieza-tarja

Se diseñó un compartimiento especial similar a una “trampa de condensados” para que al momento de lavar la cámara interna el agua que surja de este procedimiento no caiga directamente al intercambiador de calor y al ventilador, debido a que estos dispositivos puede dañarse si se llegaran a mojar, por ejemplo si el intercambiador de calor de tubos aletados fuese mojado constantemente con el agua resultado de la limpieza, este podría obstruirse en las aletas por partículas sólidas como polvo o alimento, y esto afectaría seriamente al funcionamiento de dicho dispositivo, ya que la transferencia de calor que se lleva a cabo en este se vería mermada ya que al ser obstruidas dichas aletas el área superficial con el que contaría sería menor al que se tendría en óptimas condiciones.

Este compartimiento de limpieza será desmontable y contará con dos piezas fundamentales, la primera de ella es una parte extra que será colocada en la ductería del deshidratador, exactamente entre el intercambiador de calor y el difusor de la cámara de deshidratado-intercambiador de calor, esto con motivo de proteger como se había comentado anteriormente al intercambiador y al ventilador, este ducto extra se realizara con lamina de aluminio de calibre 18, y se planea hacer con lamina doblada para que queden pestañas que nos ayuden al fácil ensamble de dicho tramo de ducto; este ducto contara con un tramo de tubería que servirá como el conducto donde se evacuaran los fluidos de limpieza, este será realizado con tubería hidráulica de PP-R (tuboplus) de 19.05 [mm] (3/4”) con una tuerca unión que tenga un tapón para sellar el dispositivo cuando no se esté limpiando y abrirlo cuando sea necesario, dentro de este ducto se colocaran dos tramos de ángulo de aluminio de 12.7 [mm] (1/2”), estos servirán como soporte para la segunda parte de este sistema, todo esto se muestra en las figuras 36 y 37.

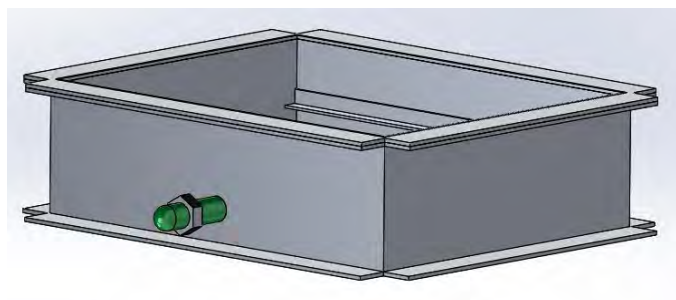
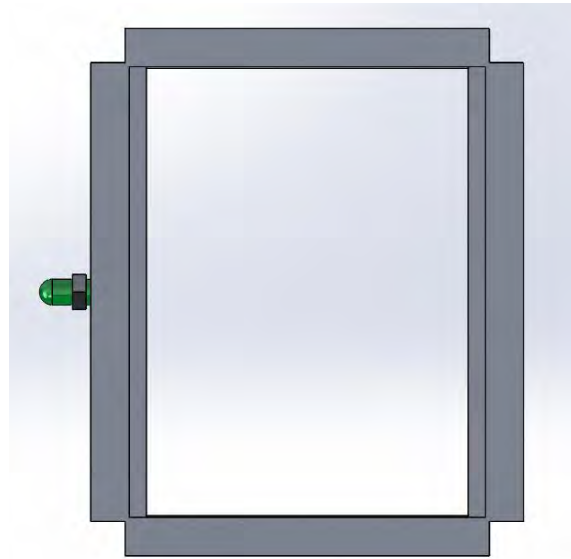
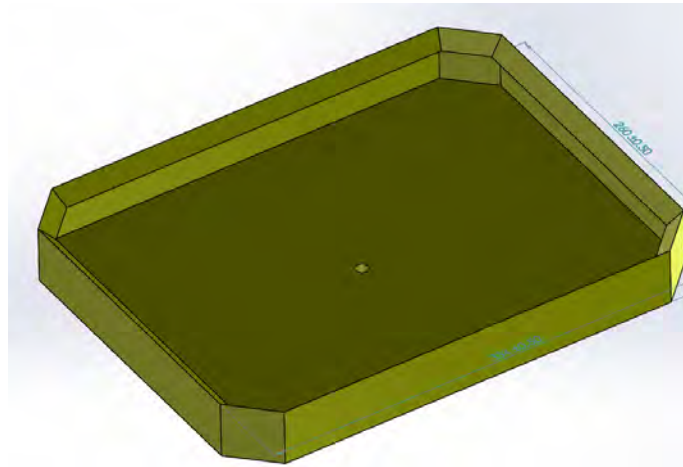


Fig. 36 Modelo 3D de la ductería de limpieza

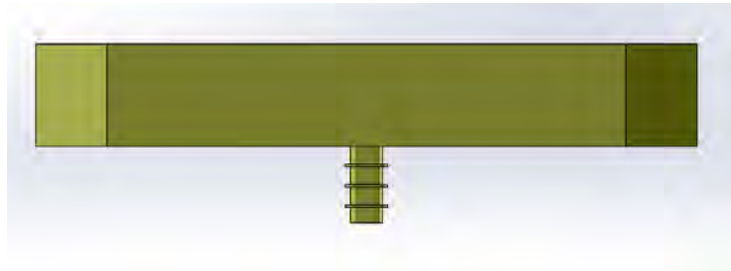


*Fig. 37 Vista de planta de la ductería de limpieza*

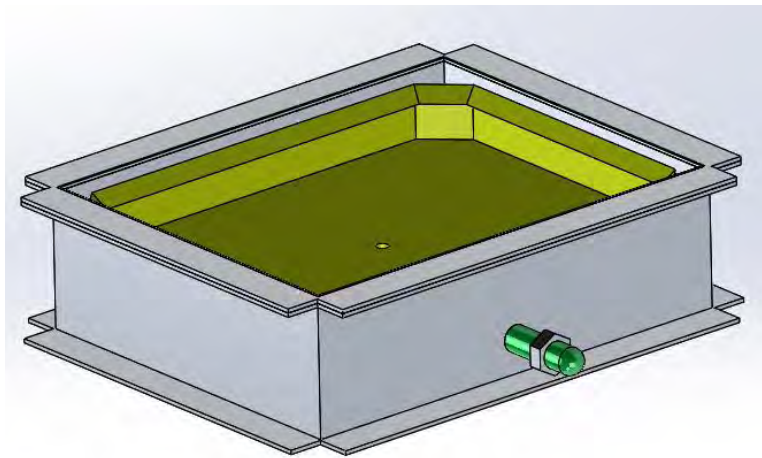
El segundo componente de este sistema es una tarja que se colocará para el dren de los líquidos producto de la limpieza, dicha tarja será de las medidas del espacio libre que tiene el compartimiento anterior, esta tendrá un ligero ángulo de inclinación en las paredes para asegurar que el flujo de los líquidos sea hacia el centro del dispositivo, el sistema de dren será con un orificio en la parte inferior que estará junto a un conector para manguera de 12.7 [m] (1/2”), es importante mencionar que esta tarja será desmontable, al igual que la manguera, esto con el fin de no afectar al flujo del aire caliente en el deshidratador y tener mayor comodidad al realizar mantenimientos.



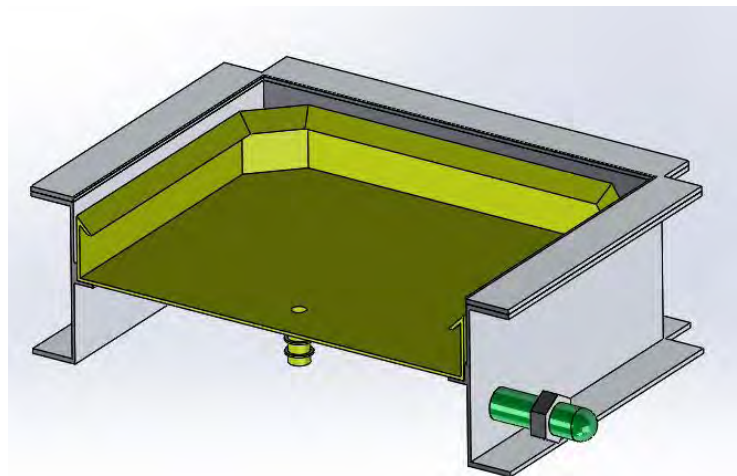
*Fig. 38 Modelo 3D de la tarja*



*Fig. 39 Vista frontal del CAD de la tarja*



*Fig. 40 Modelo 3D del ensamble ductería de limpieza-tarja*



*Fig. 41 Corte transversal del ensamble ductería de limpieza-tarja*

### 3.3.5.2 Sistema de limpieza-carrito

Se ideó otro mecanismo para poder salvaguardar la seguridad del intercambiador y del soplador, este es un carrito donde se planea montar el ensamble realizado por el intercambiador, el soplador y el difusor que los une, esto para poder desmontar de una manera fácil estos equipos y sin tanto esfuerzo, ya que con agua se prevé que este conjunto ronde un peso de 100 [kg], lo cual es difícil de mover para una persona, por ello se colocaran carriles y dicho carrito para ayudar a esta labor y así poder tener un desfase de los demás equipos a la hora de la limpieza o bien poder realizar algún mantenimiento a los equipos si es necesario y poder contar con mayor libertad de movilidad.

Dicho dispositivo se planea realizar con acero al carbón, ya que como se ha visto con anterioridad este material posee unas buenas propiedades mecánicas para realizar estructuras que soporten cargas estáticas, este carrito dispondrá de llantas de polímero de 38.1 [mm] (1.5 [in]), siendo la propuesta de diseño la que se presenta en las figuras 42, 43 y 44.

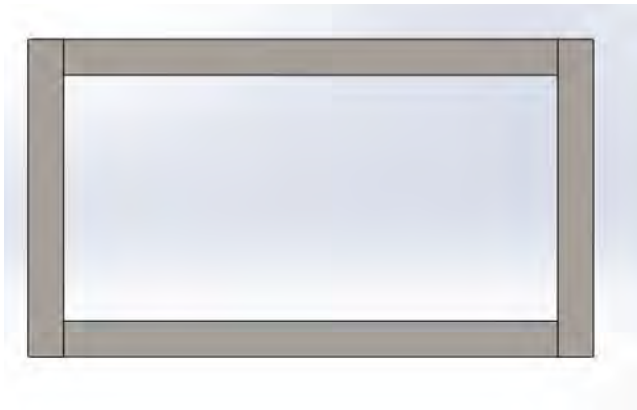


Fig. 42 Vista de planta del carrito

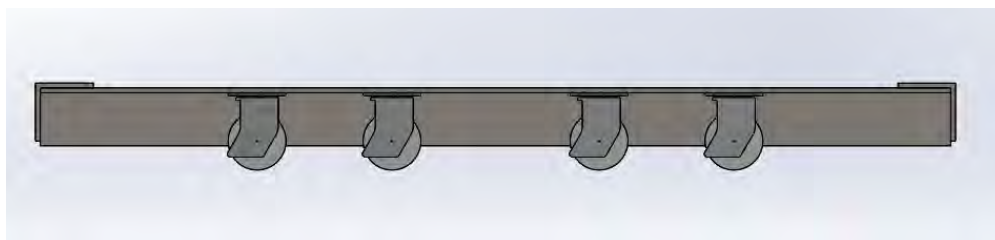
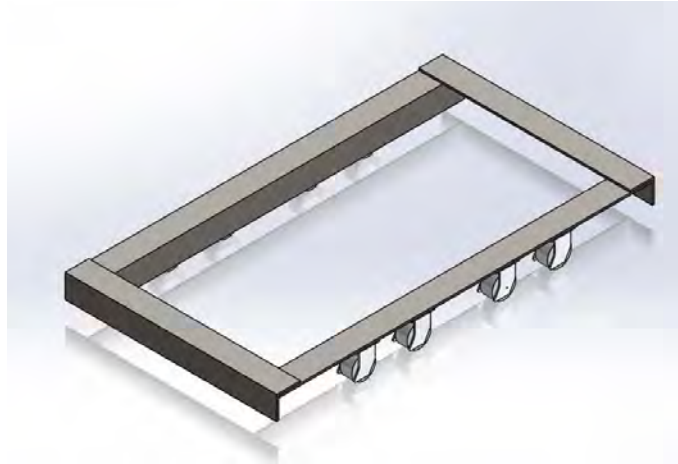
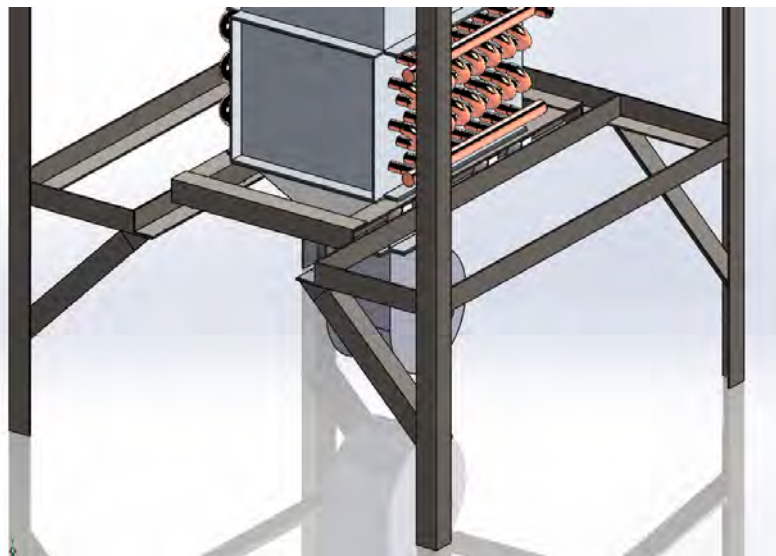


Fig. 43 Vista frontal del carrito



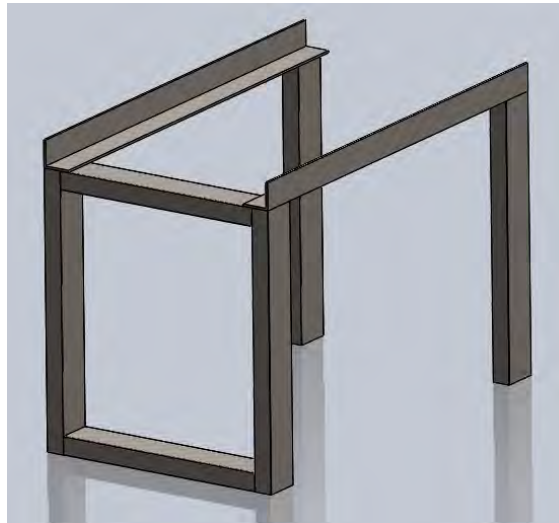
*Fig. 44 Modelo 3D del carrito*

Sobre este dispositivo serán montados los componentes antes mencionados, y este mismo pasara por unos carriles que serán colocados en la estructura del deshidratador, esto con la intención de la facilidad de movilidad de los equipos.



*Fig. 45 Modelo 3D del ensamble carrito-estructura del deshidratador*

Una importante parte que se debe realizar es un banco externo donde pueda descansar dicho carrito con todo el ensamble colocado en él, ya que el largo de la estructura de deshidratador no permite recorrer en su totalidad el carrito hasta el punto que el intercambiador no haga contacto directo con el difusor de la cámara, por lo que se diseñó dicho banco con la geometría mostrada en la figura 46.

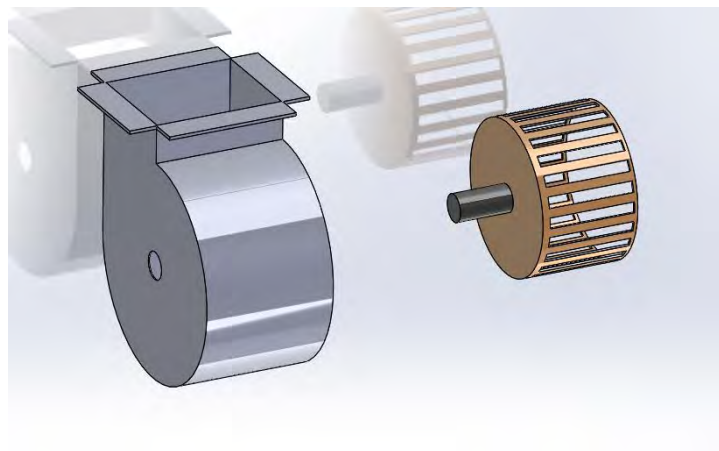


*Fig. 46 Modelo 3D del banco para carrito*

### 3.3.6 Ventilador/Soplador

El soplador es una parte fundamental en el diseño este deshidratador, ya que este dispositivo es el que nos otorgará el flujo necesario de aire para poder realizar una correcta transferencia de calor, aparte de acelerar al aire y ayudar a que se lleve a cabo un buen deshidratado en la cámara, ya que como se comentó en el inicio un factor primordial para que este trabajo tenga éxito es que se obtengan los parámetros ideales de deshidratado, y en uno de ellos se encontraba la velocidad del aire.

Los cálculos necesarios para determinar qué tipo de soplador se encuentra en la propuesta de tesis “Diseño térmico de un deshidratador geotérmico de alimentos de flujo vertical” (González Marín, 2018) este ventilador será centrífugo ya que es conveniente para el ingreso de aire continuamente, tendrá una carcasa y unas aspas de aluminio, este se puede ver en la figura 47.



*Fig. 47 Modelo 3D del ensamble del soplador*



Como se ha mencionado antes, la selección del motor y las medidas de este soplador se encuentran en otro trabajo que se realizó conjunto a este. (González Marín, 2018)

### 3.3.7 Espigueros

Los espigueros son el elemento de sujeción donde se colocaran las charolas, esta parte presentaba muchas problemáticas en el diseño de DGA realizado por grupo IDEIA, ya que su colocación obstruía gran parte de la cámara de deshidratado y esto ocasionaba una dificultad a la hora de limpiar, por lo que para este diseño se desea colocar espigueros que se puedan quitar y poner fácilmente, para ello como se había comentado previamente se planea hacer dos paredes hechas de lámina perforada que fungirán como entrada de aire, en estas laminas se colocaran tramos de perfil angulado de 25.4 x 3.175 [mm] (1 x 1/8 ") que serán sujetados por remaches, de inicio se desean colocar 5 filas de ángulos para las 5 charolas que habrá dentro de la cámara, estos perfiles tendrán una separación de 100 [mm] una de la otra, cabe recalcar que este espacio esta sobrado para cuando se desee colocar más charolas se pueda hacer de una manera cómoda, teniendo así la posibilidad de colocar hasta 10 charolas en la cámara de deshidratado.



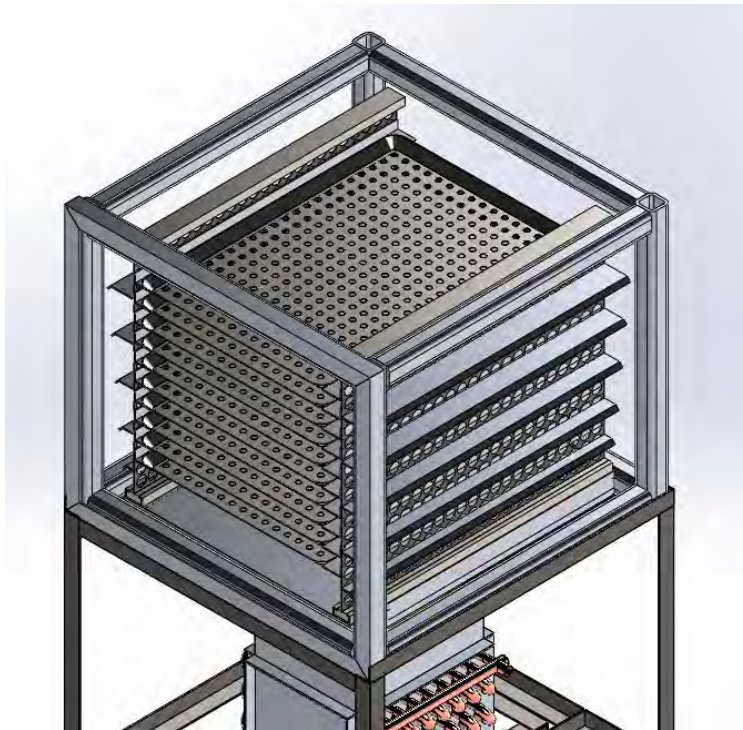
*Fig. 48 Modelo 3D del ensamble de los espigueros en la lámina perforada*

### 3.3.8 Charolas

Como se ha comentado en capítulos anteriores, se contempla para este diseño tener componentes que ya existan en el mercado, y una de las partes más importantes son las charolas, las cuales ya son vendidas en una medida estándar, la cual es 450 x 650 [mm] estas son de acero inoxidable y tienen orificios para facilitar el paso del aire por las mismas, estas tienen la apariencia mostrada en la figura 49 y la manera en la que se ensamblara en la cámara se ve en la figura 50.



*Fig. 49 Charola comercial de acero inoxidable perforada*

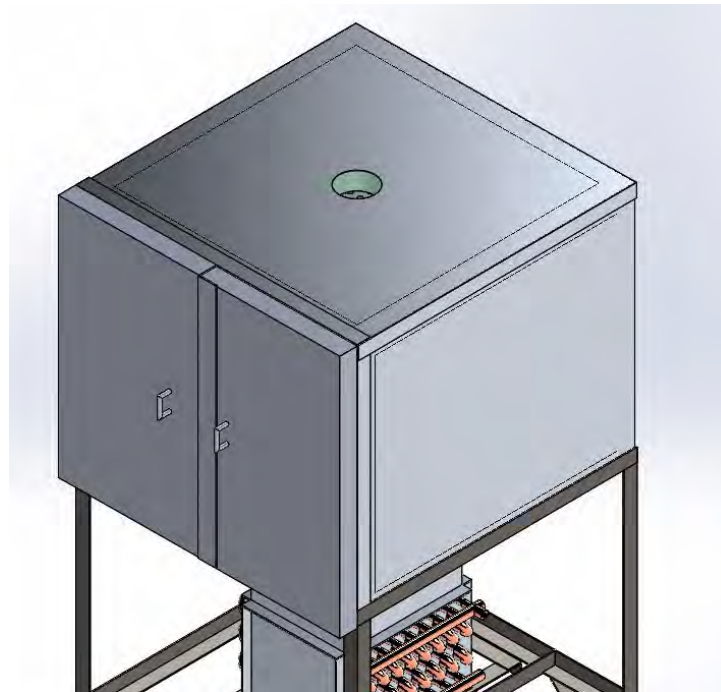


*Fig. 50 Modelo 3D del ensamble de charolas en espigueros dentro de la cámara*

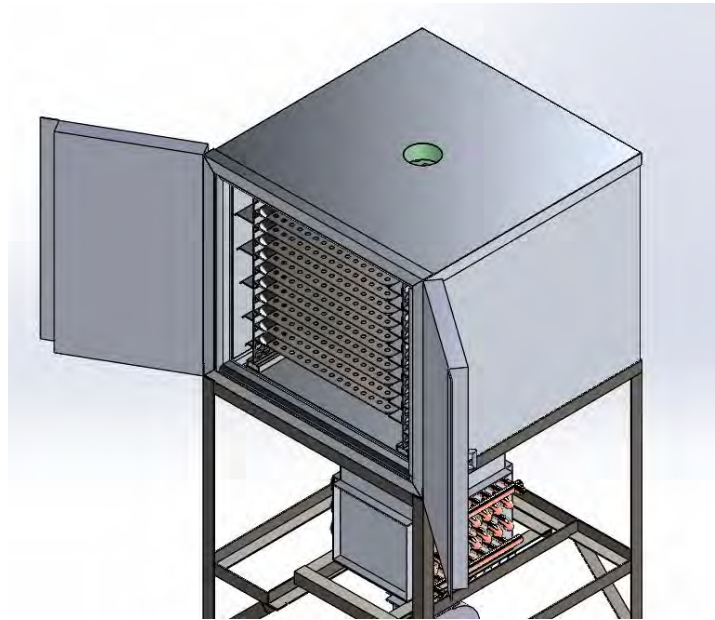
### 3.3.9 Puerta (s)

El tipo de puerta que se debe seleccionar para este deshidratador es primordial, ya que debe tener un buen sellado para evitar filtraciones de aire caliente hacia el exterior y la entrada de contaminación del medio ambiente, aparte de ser cómoda para el usuario tanto para la apertura y cierre de la cámara como para el ingreso de las charolas; otro aspecto importante es que debe facilitar las labores de limpieza, ya que en caso contrario las puertas utilizadas en el deshidratador realizado anteriormente presentaban algunas complicaciones para lavarse, eran 2 puertas corredizas, y estas obstruían gran parte de la cámara de deshidratado, dándole una dificultad mayor al lavado.

En este diseño se pretende que las puertas sean del estilo de los refrigeradores, tomando en cuenta que no se puede asemejar tanto el diseño ya que las puertas del refrigerador cierran gracias a la labor de un imán y de la succión que se crea por el proceso de refrigeración dentro del dispositivo, la cuestión es que al usar aire caliente este tiende a extender su volumen y al ser un volumen constante genera un aumento de presión que podría abrir las puertas si no existe un dispositivo de sujeción, por lo que se dispondrá de las bisagras que utilizan las puerta ya que son fáciles de instalar y útiles para el movimiento que se busca, y un par de pasadores de barril para el cierre con la suficiente fuerza que mantenga cerrada la cámara aun si el aire se expande, se planifica colocar 2 puertas, ya que al tener solo una se podría generar un ángulo de apertura muy amplio, obstaculizando el camino en el momento de abrir dicha puerta.



*Fig. 51 Modelo 3D de ensamble de las puertas cerradas*



*Fig. 52 Modelo 3D del ensamble de las puertas abiertas*

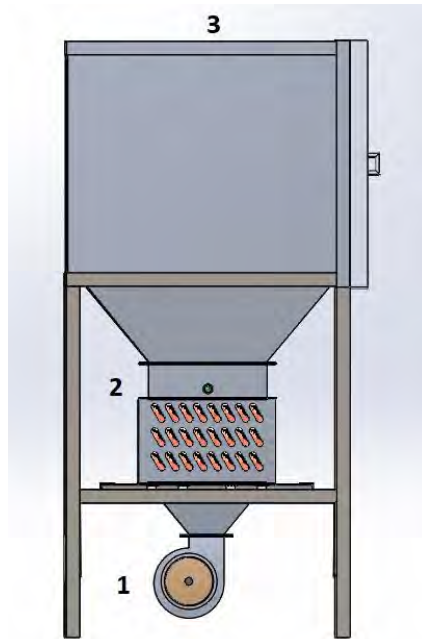
### 3.3.10 Instrumentación

#### 3.3.10.1 Instrumentación del aire

Para obtener los parámetros necesarios para comprobar que el diseño realizado en este trabajo es más eficiente que el prototipo realizado anteriormente en grupo IIDEA es necesario tener la instrumentación adecuada, para ellos se dispondrá de sensores de humedad y de temperatura dentro de la cámara de deshidratado, ya que con dichos sensores se puede determinar las características de la cámara de deshidratado durante el proceso, para ello serán colocados en puntos determinados para observar el proceso de una mejor manera, los puntos son los siguientes:

1. Sensores ambientales: Dichos sensores serán colocados a un costado de la entrada de aire del soplador, esto para saber a qué temperatura y humedad está el aire antes de ingresar al intercambiador de calor.
2. Sensores a la entrada de la cámara de deshidratado: Los sensores colocados en dicho punto informan cual fue el intercambio de calor realizado en el intercambiador de calor de tubos aletados entre el aire y el agua caliente, y por ende a que propiedades ingresara el aire a la cámara de deshidratado, con esa información se puede llegar a la conclusión de si el diseño del intercambiador de calor fue realizado de manera correcta.
3. Sensores a la salida de la cámara de deshidratado: Después de haberse realizado el proceso de deshidratado el aire debe bajar su temperatura y aumentar su humedad, pero se debe analizar de una manera cuidadosa dichos parámetros ya que se puede determinar si se está llevando a cabo el mejor deshidratado posible dentro de la cámara o si dicho flujo de aire aún tiene la capacidad de

retirar más porcentaje de agua de los alimentos pudiendo así aplicar una segunda etapa de deshidratado. Siendo esto una propuesta para el futuro en caso de ser así.



*Fig. 53 Ubicación de sensores de humedad y temperatura*

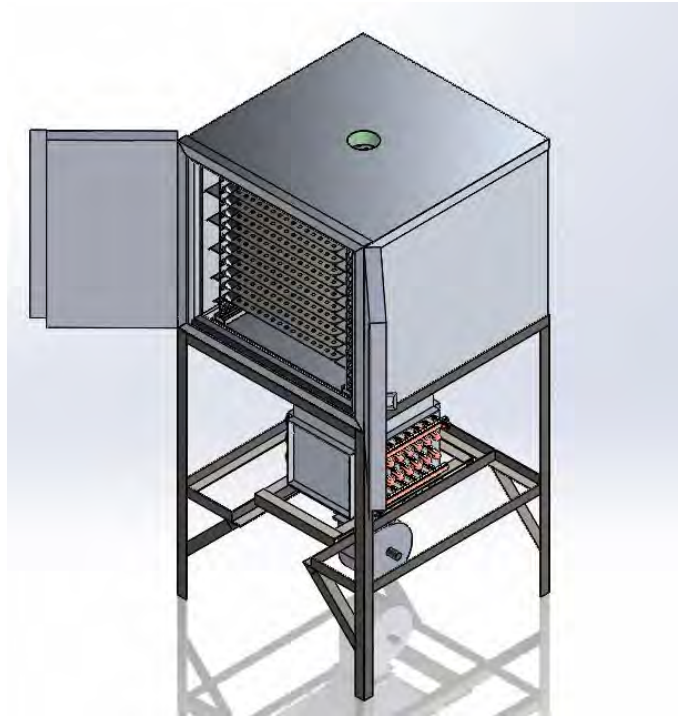
### 3.3.10.2 Instrumentación del agua

La instrumentación con la que contara la instalación hidráulica es muy importante para conocer las condiciones con las cuales se realiza el proceso de deshidratado, para ello se contara con sensores de presión y temperatura los cuales serán colocados en ciertos puntos para obtener la mejor información posible para analizar el deshidratado y observar si la transferencia de calor en el intercambiador de tubos aletados se realiza según como se había planeado en el diseño, dichos sensores son los siguientes:

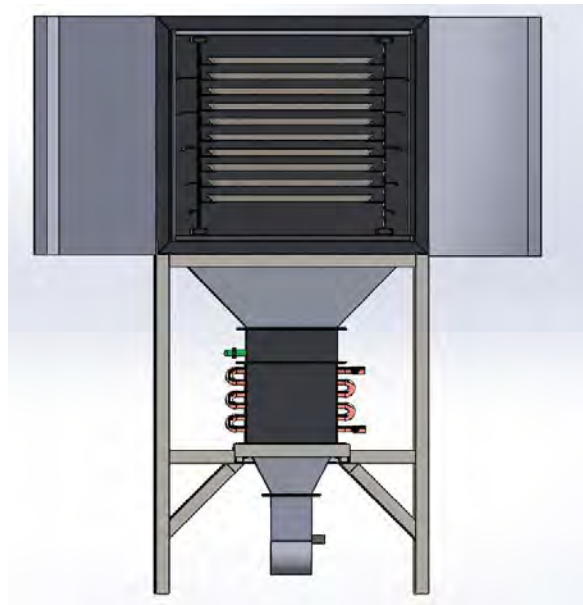
1. Sensor de temperatura a la entrada: Dicho sensor será colocado en la entrada del intercambiador de calor, esto con el fin de saber la temperatura de entrada al proceso de intercambio de calor, según lo previsto en este diseño dicha temperatura debe rondar los 80 [°C].
2. Sensor de temperatura a la salida: Para saber si el intercambio de calor se está realizando de una manera adecuada y por si fuera necesario regular el flujo para subir o bajar la temperatura del aire de la cámara de deshidratado.
3. Sensores de presión a la salida 1 y 2: A la tubería instalada se le coloco una placa orificio con la cual se registrara el delta de presión para poder saber así el flujo que se está teniendo en el proceso de deshidratado con precisión.

### 3.3.11 Diseño final

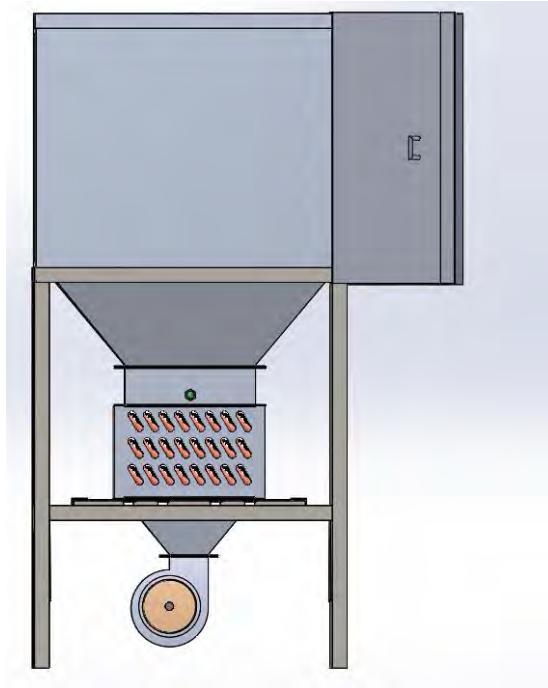
Se desarrolló el diseño del deshidratador por partes para hacer de una manera más precisa la realización de cada una de ellas, de la figura 54 a la 57 se muestra el ensamble de todos los dispositivos anteriormente mencionados.



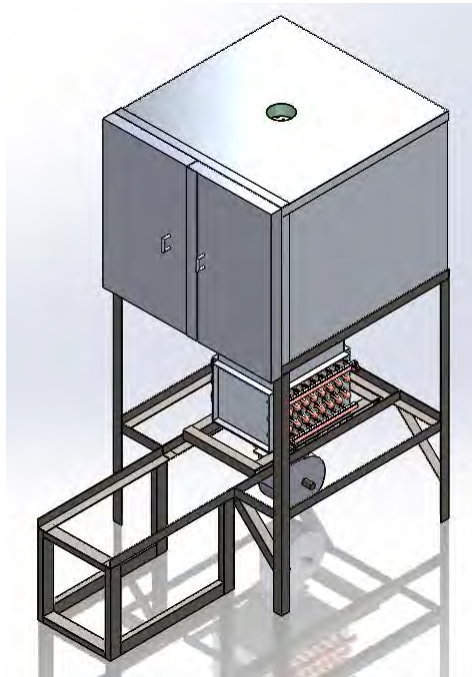
*Fig. 54 Modelo 3D del DGA VERTICAL (puertas abiertas)*



*Fig. 55 Vista frontal del DGA VERTICAL (puertas abiertas)*



*Fig. 56 Vista lateral del DGA VERTICAL (puertas abiertas)*



*Fig. 57 Modelo 3D DGA VERTICAL completo*

## Capítulo 4 Simulaciones del prototipo

Para el presente diseño se pretende abarcar tanto las partes de diseño como las de simulación, en este caso de estudio las simulaciones que se elaboraran son tres; la primera es una simulación estática de esfuerzos resultantes de la carga mecánica, y las dos restantes son simulaciones de flujo dentro de la cámara de deshidratado y dentro del intercambiador, esto para asegurar que el flujo sea lo más homogéneo posible y que las pérdidas de presión sean mínimas para que las propiedades como la velocidad y el flujo de aire no varíen de forma abrupta, y de esta manera no haya problemas para realizar el proceso de deshidratado.

Para todas las simulaciones se utilizará la ayuda del programa *Solidworks 2017*, para la simulación estática se utilizara el módulo de “*Simulation*”, y para las otras dos simulaciones se harán con el complemento de “*Flow Simulation*”.

### 4.1 Simulación de la estructura del deshidratador

Como se mencionó con anterioridad, la estructura del deshidratador prácticamente es lo que le da rigidez a todos los componentes, ya que esta soporta las cargas realizadas por la cámara de deshidratado, su contenido (charolas, espigueros, paredes perforadas, carga de fruta), los difusores, el intercambiador de calor y el soplador; analizando desde un punto lógico se observa que la parte superior de la estructura será la que soporte en su totalidad todos los esfuerzos, por lo que se colocó una base inferior en dicha estructura para apoyar a la carga del intercambiador de calor y el soplador y así hacer una distribución de esfuerzos más uniforme, también se unió a esta base inferior unos tramos de PTR a 45 [°] justamente en la parte donde se prevé realizar un corte para el ingreso del ensamblaje intercambiador, difusor intercambiador-soplador y soplador, esto con el fin de apoyar en la resistencia de los esfuerzos cortantes que se generan por el peso de los componentes.

Lo primero que debe hacerse para la simulación es saber en qué superficies se presentaran las cargas y cuanto es el valor de dichas cargas, por lo que se debe obtener el peso de todos los componentes, esto se hace sabiendo las geometrías de todas las partes, conociendo el tipo de material, su densidad, y la cantidad de material que existe (volumen), gracias a las herramientas que tiene Solidworks esta tarea se facilita, ya que si se tiene bien especificado todo lo anterior dicho en el diseño se puede saber el peso que posee el componente exactamente, la primera parte de la cual se debe saber el peso es de la cámara de deshidratado por lo que se hará una lista con cada componente que posee para determinar el peso total de la cámara, la cual se muestra de la tabla 15 a la 20.



*Tabla 15 Lista de componentes y peso aproximado de la cámara externa*

Cámara externa			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	PTR Largo	Aluminio	4
2	PTR Ancho	Aluminio	6
3	Lamina inferior interior	Aluminio	2
4	Aislante inferior interior	Lana mineral	1
5	PTR Alto	Aluminio	4
6	Lamina lateral exterior	Aluminio	2
7	Aislante lateral exterior	Lana mineral	2
8	Lamina lateral interior	Aluminio	2
9	Lamina posterior externa	Aluminio	1
10	Aislante posterior	Lana mineral	1
11	Lamina posterior interior	Aluminio	1
12	Lamina superior exterior	Aluminio	1
13	Aislante superior	Lana mineral	1
14	Lamina superior interior	Aluminio	1
Peso aproximado por software [kg]			45

*Tabla 16 Lista de componentes y peso aproximado de la cámara interna*

Cámara interna			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Corredera	Acero inoxidable	2
2	Lamina perforada	Acero al carbón	2
3	Espigueros	Aluminio	4.2
Peso aproximado por software [kg]			16.4

*Tabla 17 Lista de componentes y peso aproximado de la puerta*

Puertas			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Lamina superior	Aluminio	2
2	Lamina inferior	Aluminio	2
3	Aislante	Lana mineral	2
4	Marco de puerta	aluminio	1
5	Sello de puerta	Aluminio	1
Peso aproximado por software [kg]			10

*Tabla 18 Lista de componentes y peso aproximado de las charolas*

Charolas			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Charolas	Acero inoxidable	5
Peso aproximado por software [kg]			11

*Tabla 19 Lista de componentes y peso aproximado del difusor camara-int*

Difusor cámara-intercambiador			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Difusor	Aluminio	1
Peso aproximado por software [Kg]			3.5

*Tabla 20 Peso total del ensamble*

Peso total del ensamble		
No. de elemento	Nombre	Peso [kg]
1	Cámara externa	45
2	Cámara interna	16.4
3	Puertas	10
4	Charolas	11
5	Difusor	3.5
6	Fruta (fresca)	10
TOTAL [kg]		95.9
TOTAL [N]		959

Este peso obtenido mediante la ayuda del programa será la carga que se colocará en la superficie del marco superior de la estructura del deshidratador como valor de carga.

En la superficie del marco inferior se tendrán soportados todos los componentes que forman el ensamble intercambiador de calor, difusor-intercambiador de calor-soplador y el soplador, por lo que se procederá de forma similar para la obtención del peso de dicho ensamble lo cual se ve de la tabla 21 a la 25.

*Tabla 21 Lista de componentes y peso aproximado del ICTA*

Intercambiador de calor de tubos aletados			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Tubo aletado	Cobre	48
2	Codo 180	cobre	40
3	Carcaza	Aluminio	2
4	Cabezal entrada/salida	cobre	2
Peso aproximado por software [Kg]			21

*Tabla 22 Lista de componentes y peso aproximado del difusor int-soplador*

Difusor intercambiador-soplador			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Soplador	Aluminio	1
Peso aproximado por software [kg]			0.75

*Tabla 23 Lista de componentes y peso aproximado del soplador*

Soplador			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Carcaza soplador	Aluminio	1
2	Aspas	Aluminio	1
3	Motor	Varios	1
Peso aproximado por software [kg]			8

*Tabla 24 Lista de componentes y peso aproximado del carrito*

Carrito			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Tramo largo carrito	Acero al carbón	1
2	Tramo ancho carrito	Acero al carbón	1
3	Llanta	Polímero	8
Peso aproximado por software [kg]			3.7

*Tabla 25 Peso total del ensamble*

Peso total del ensamble		
No. de elemento	Nombre	Peso [kg]
1	Intercambiador de calor de tubos aletados	21
2	Difusor intercambiador-soplador	0.75
3	Soplador	8
4	Carrito	3.7
5	Agua en el sistema	30
TOTAL [kg]		63.45
TOTAL [N]		634.5

El peso aproximado de agua en el sistema se calculó obteniendo el valor de volumen interno que posee el intercambiador de calor en los tubos (valor brindado por el software) y sabiendo la densidad del agua (1000

[kg/m<sup>3</sup>]), tomando todos estos datos de carga, se dispuso a realizar la simulación estática en el *software*, los resultados obtenidos se encuentran en la figura 58.

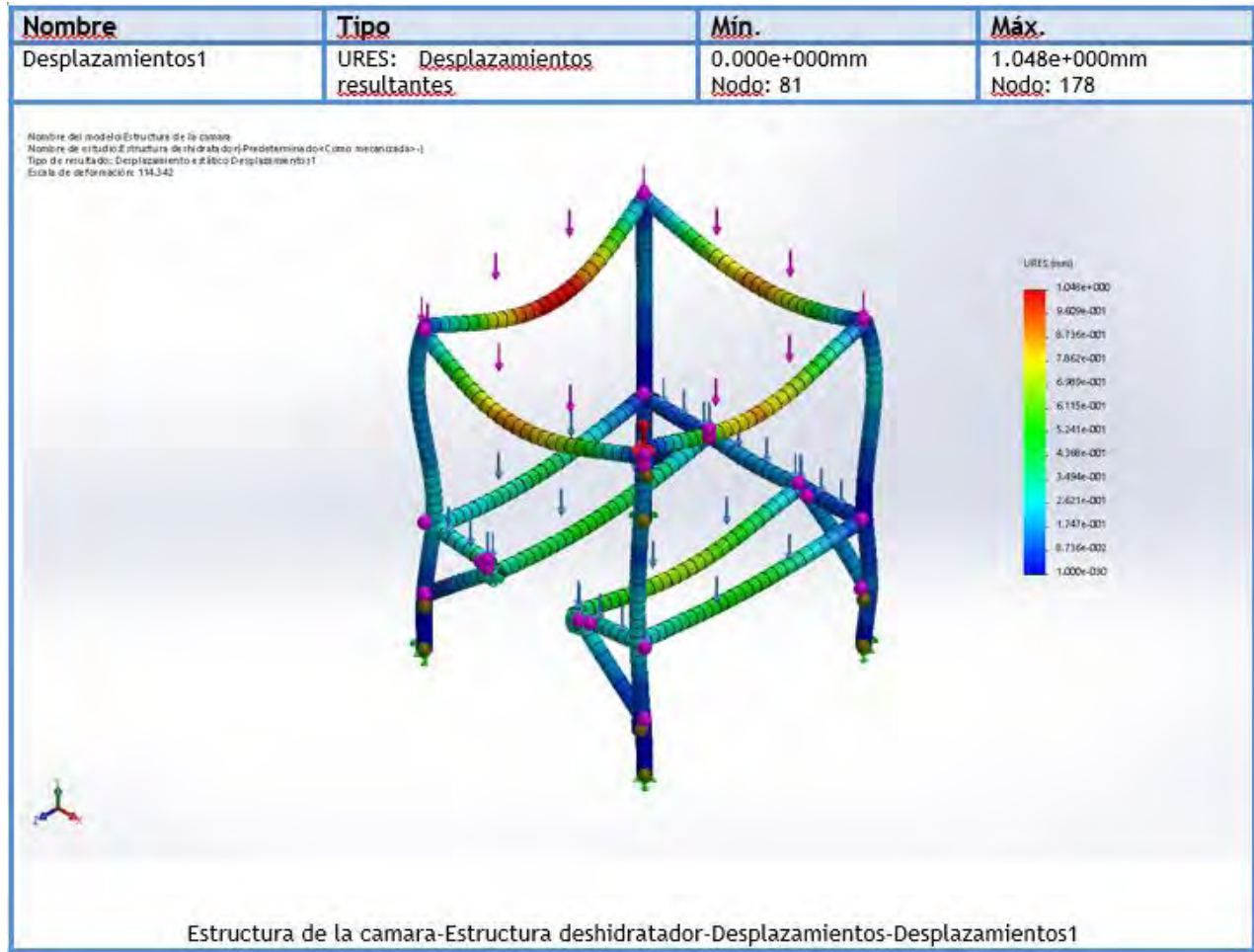


Fig. 58 Resultado de la simulación estática en la estructura de la cámara, se muestran las deformaciones en cada tramo de acero (escala de la deformación 114)

Se puede observar en los resultados obtenidos de la simulación que las deformaciones máximas (color rojo) son de 0.001 [m], por lo cual en la realidad la estructura diseñada soportara de manera adecuada las cargas a las cuales será sometida sin llegar a tener una falla mecánica o traspasar la línea del esfuerzo elástico; algo importante de mencionar es que gracias a *Solidworks* se puede determinar el factor de seguridad de la estructura, el cual tiene un valor de 2.5 (ver figura 59), según los factores de diseño que se pueden considerar para esta estructura que posee un factor de seguridad bajo cargas estáticas siendo de un material dúctil en las cuales no se tiene certeza completa de los valores de todas las cargas, se recomienda que un rango de “2.5 a 4” es aceptable (Mott L., 2006), por lo cual se puede concluir que dicho diseño está aprobado para continuar con la construcción.

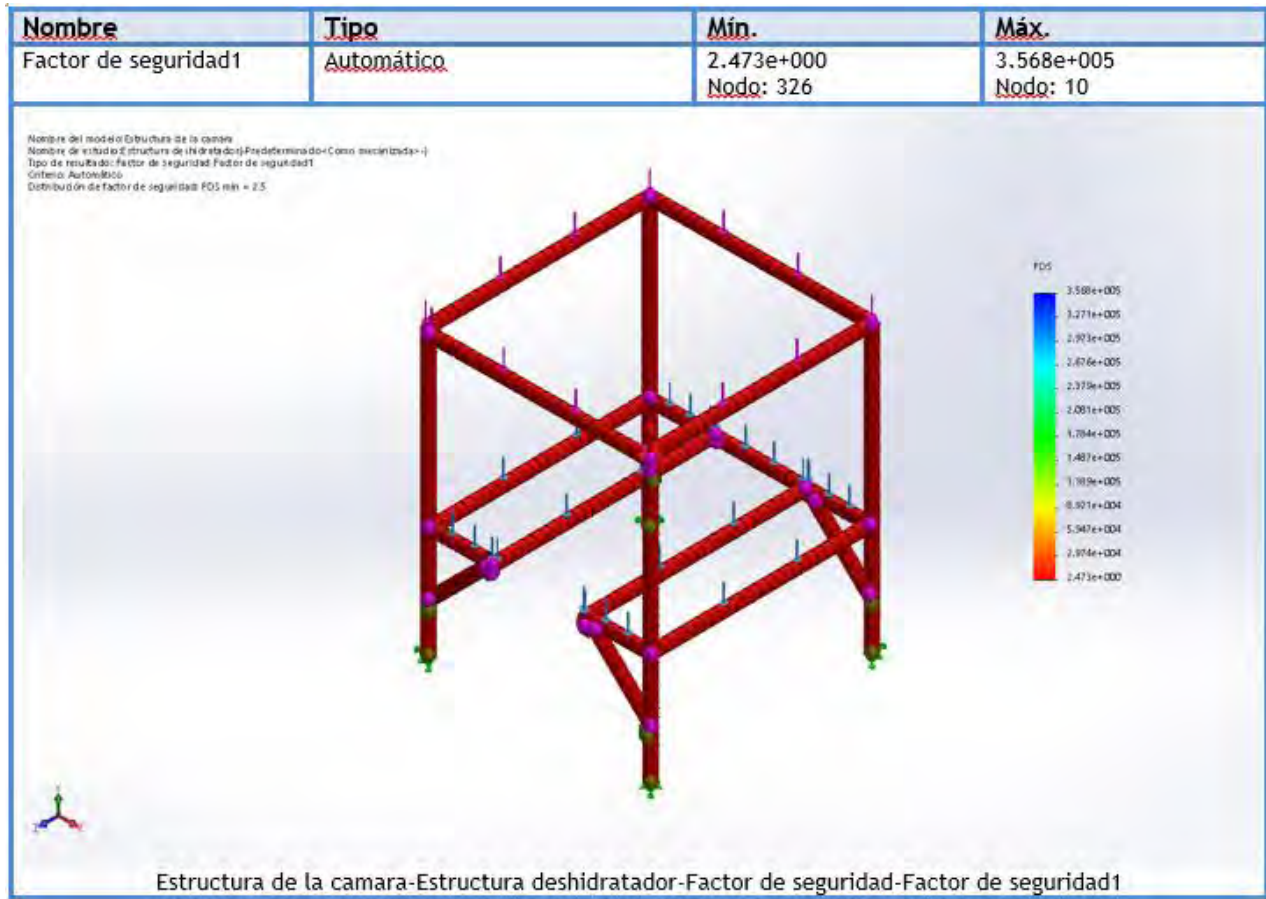


Fig. 59 Resultado de la simulación estática en la estructura de la cámara, se muestra el factor seguridad en la estructura

## 4.2 Simulación del intercambiador de calor de tubos aletados

El intercambiador de calor es la pieza fundamental de prácticamente todo el deshidratador, ya que es el que brinda la energía necesaria para realizar el proceso, por esa razón es de vital importancia saber cómo se comportan los fluidos dentro de este, ya que hay una propiedad que se debe cuidar meticulosamente en el recorrido del aire en el deshidratador, la cual es, la presión, esta propiedad nos determina como variará la velocidad del fluido a lo largo de la ductería y de los componentes, recordando que se desea llegar con una velocidad de 2 [m/s], por lo que se espera obtener un valor de caída de presión bajo, lo que representaría un buen comportamiento del aire en el dispositivo, los resultados de esta simulación serán comparados con los valores teóricos calculados en el trabajo “Diseño térmico de un deshidratador geotérmico de alimentos de flujo vertical”, esto con el fin de darle validación tanto a la simulación como a la memoria de cálculo.

Lo primero que se debe tener para iniciar la simulación de dicho estudio es saber la geometría y materiales de los componentes que forman al intercambiador de calor, los cuales se enlistan en la tabla 26.

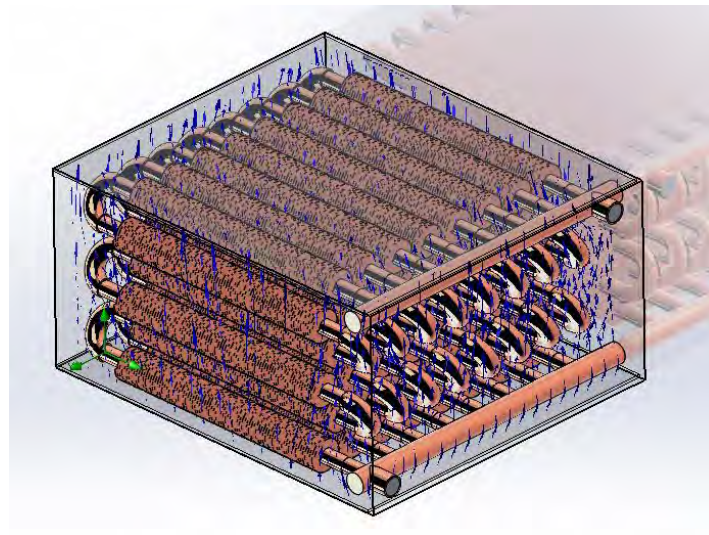
*Tabla 26 Lista de componentes del ICTA*

Intercambiador de calor de tubos aletados			
No. de elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Tubo aletado	Cobre	48
2	Codo 180	cobre	40
3	Carcaza	Aluminio	2
4	Cabezal entrada/salida	cobre	2

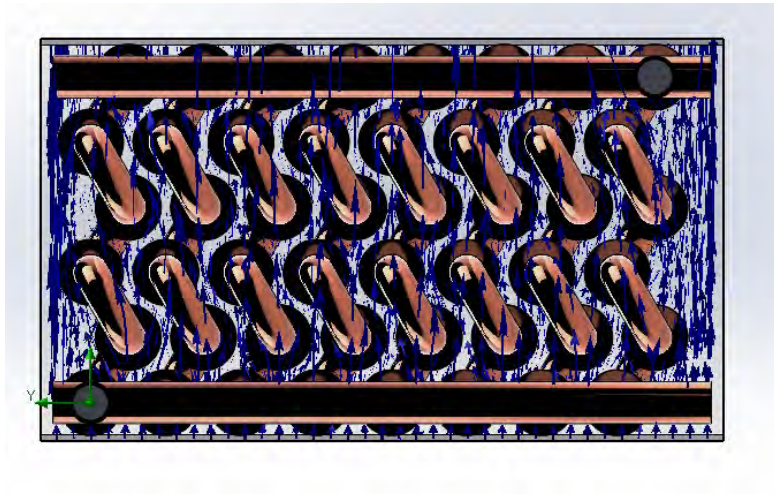
Esto con el fin de poder determinar también un análisis de transferencia de calor, como en toda simulación se deben conocer los valores de frontera, es decir los parámetros de los fluidos a la entrada y a la salida, los valores se muestran en la tabla 27.

*Tabla 27 Especificaciones del proceso en el ICTA*

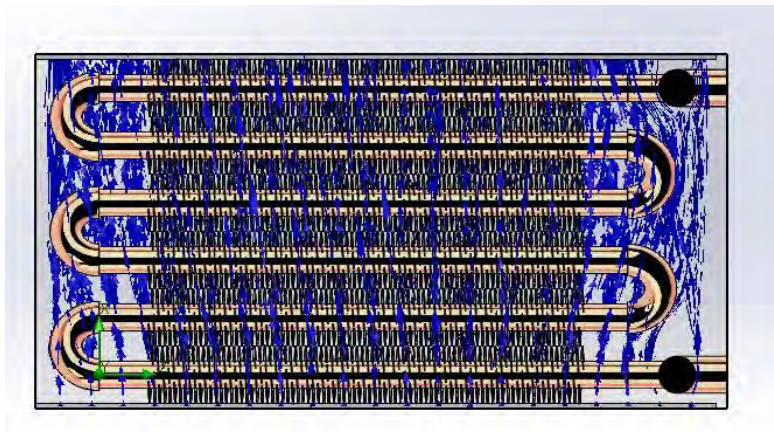
Especificación	Valor	Unidad
Temperatura de entrada agua	80	°C
Temperatura de entrada aire	25	°C
Flujo másico agua	0.44	kg/s
Velocidad del aire	2	m/s



*Fig. 60 Modelo 3D de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados*



*Fig. 61 Vista lateral de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados*



*Fig. 62 Vista frontal de la simulación de flujo en el intercambiador de calor de tubos aletados*

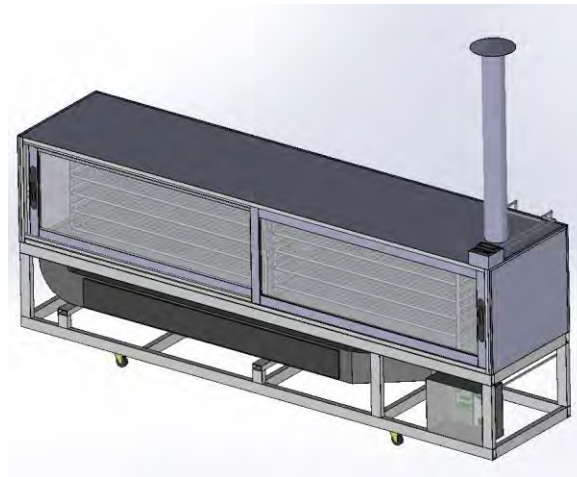
Como se puede observar en la simulación (figuras 60, 61 y 62), el aire que pasa por el intercambiador lo hace de una manera “libre”, es decir, sin estancamientos ni vórtices que puedan afectar al aire para tener un buen flujo, lo más importante de resaltar de este estudio fue el valor que otorga el *software* de diferencia de presiones, el cual tiene un valor de 15 [Pa], que comparado con los 19 [Pa] (González Marín, 2018) que dio como resultado de los cálculos realizados, es bastante aceptable, ya que es una pérdida de presión baja, óptima para seguir con el proceso de deshidratado.

### 4.3 Simulación de la cámara de deshidratado

Parte fundamental de este diseño es tratar de que el flujo de aire dentro de la cámara de deshidratado sea lo más homogéneo posible, para ello se dispuso de la herramienta de *Flow Simulation* de *Solidworks*, en este punto se trató de observar principalmente las líneas de flujo resultantes de las características de

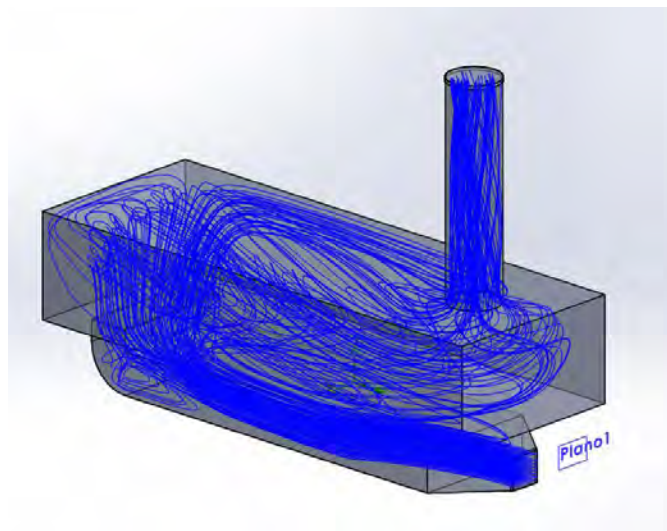
entrada y salida del aire, viendo que pasaran por toda la cámara y no existieran partes con menor flujo, ya que esta fue la problemática que existía en el DGA10 realizado previamente por grupo IIDEA, para facilitar la comparación de ambos equipos se realizó una simulación de flujo del DGA10 y del deshidratador diseñado en este trabajo.

Se realizó el CAD desde cero del DGA10 para poder hacer la comparación de las dos simulaciones, con las medidas obtenidas en la tesis “Deshidratador de tomates utilizando energía geotérmica para Ensenada B.C.” (Baeza, 2009), esto ya que no se poseían los archivos dentro de grupo IIDEA. El modelo a computadora se puede apreciar en la figura 63.



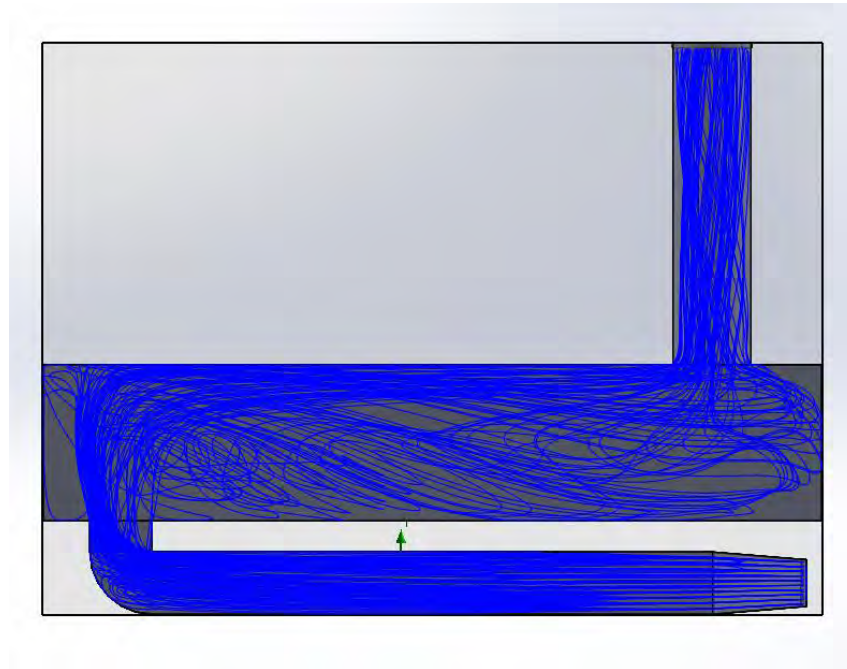
*Fig. 63 Modelo 3D del DGA10 (realizado en este trabajo)*

La simulación se hizo dentro de la cámara de deshidratado de este prototipo para ser comparada con la propuesta de diseño de este trabajo, observándose los resultados en las figuras 64 y 65.



*Fig. 64 Modelo 3D de la simulación de flujo realizada en la cámara de deshidratado del DGA10*





*Fig. 65 Vista frontal de la simulación de flujo realizada en la cámara de deshidratado del DGA10*

En esta simulación de flujo claramente se puede ver lo que se mencionaba en el capítulo 3.3.2, ya que en la parte inferior derecha de la cámara se tiene una parte con menor cantidad de flujo, esa falta de homogeneidad es lo que provoca que el proceso de deshidratado tarde mucho más tiempo, ya que mientras que la parte izquierda de la cámara llega a su punto óptimo de deshidratado en 12 horas, la parte derecha la hace en un tiempo de hasta 20 horas, esto quiere decir que son 8 horas más de proceso invertido por una falla de homogeneidad, lo cual es una pérdida de energía y por ende una pérdida de dinero. Este efecto empeora al ser introducidas las charolas y los espigueros en la cámara ya que actúan como obstáculos que disminuyen la presión, la velocidad y por consecuencia la turbulencia que debe llevar el aire para realizar una transferencia de calor y masa óptima.

En el caso de la cámara de deshidratado que se propone se realizaron las simulaciones utilizando los valores óptimos de deshidratado de velocidad, flujo másico, temperatura, que se mencionaron en el capítulo 3.3.2, la primera simulación que se realizó fue para observar el comportamiento del aire sin dispositivos intermedios, y poder observar si el flujo podría recorrer toda la cámara, como se muestra en las figuras 66 y 67.

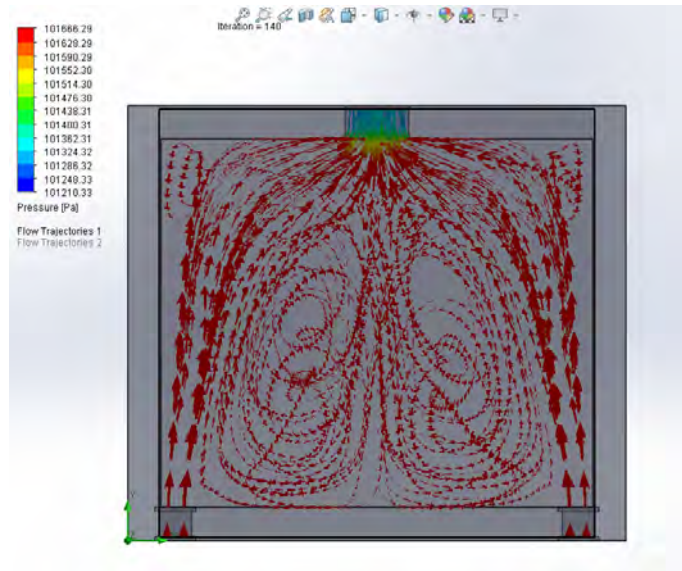


Fig. 66 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara sin charolas y lamina perforada

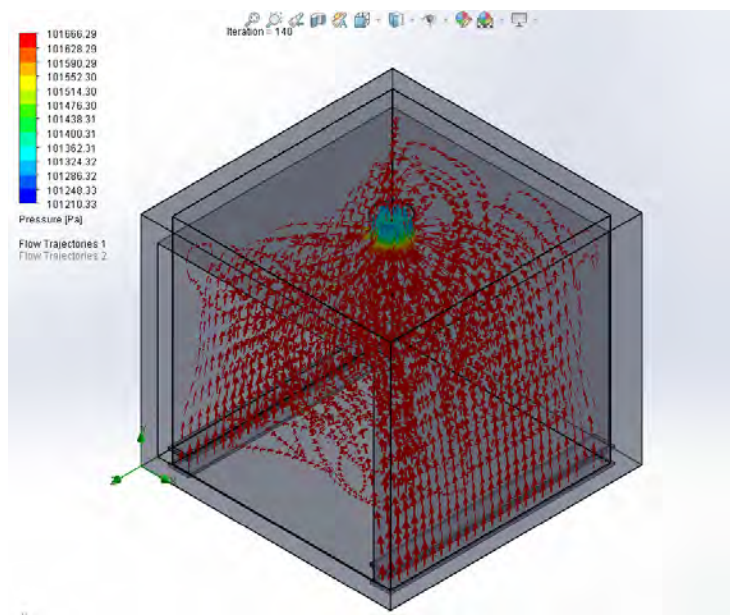


Fig. 67 Modelo 3D de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara sin charolas y lamina perforada

La siguiente simulación fue utilizando las charolas, y la pared de lámina perforada para observar cómo se comporta el aire cuando existen estos componentes como obstáculos, para ello se utilizó un barreno con un mayor diámetro (0.00635 [m] (1/4 [in])) ya que entre más pequeño es el diámetro de las perforaciones en las charolas el tiempo de cálculo se extiende mucho, pudiendo existir errores y no completarse la simulación, en las figuras 68 y 69 se pueden ver los resultados.

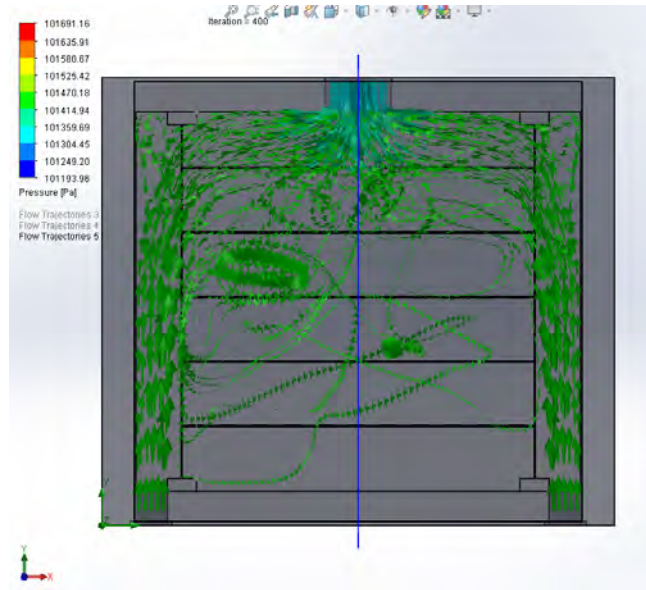


Fig. 68 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas y lamina perforada

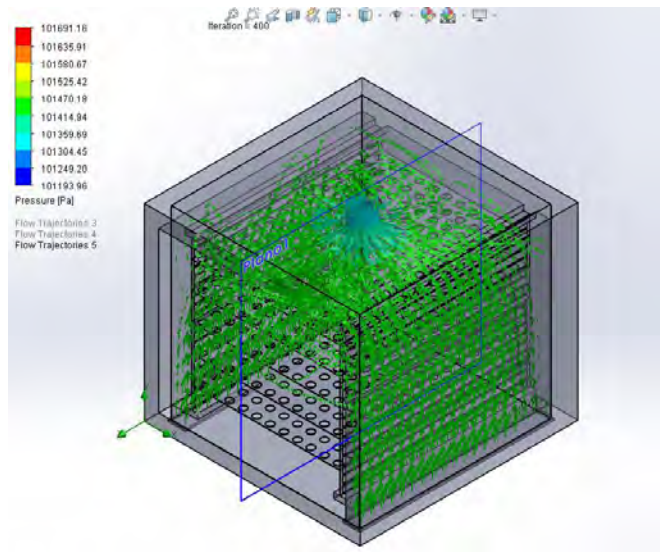


Fig. 69 Vista Isométrica de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas y lamina perforada

Se puede observar que el flujo presenta una cierta dificultad para entrar hacia la cámara por los hoyos de la lámina perforada que funge como pared, ya que está prácticamente es una pared que debe atravesar por pequeños orificios, sin embargo es importante mencionar que a pesar de ello se puede notar una buena cantidad de aire en gran parte de la cámara; algo que es muy difícil de simular es la forma en que el aire empieza a elevarse dentro de la cámara a causa de su reducción de densidad provocada al calentarse y que

fuerza al flujo a concentrarse en la parte superior de la cámara, lo cual en el caso del DGA10 era contraproducente, pero en este diseño apoyara a que las charolas de la parte superior se deshidraten al mismo tiempo que las de abajo.

Observando que en alguna partes de las paredes externas existe aire que se queda en turbulencia y realmente no ingresa a la cámara de deshidratado se pretende colocar desviadores de flujo (baffles), esto con la intención de redireccionar el flujo y así poder asegurar que la mayor parte ingrese paulatinamente de forma cortante hacia el producto colocado en las charolas, dichos baffles serán colocados de forma escalonada, es decir, poco a poco irán aumentando la longitud para poder desviar el aire conforme este se va abriendo en su trayectoria por la geometría que tienen los demás desviadores de bajo de los mismos, cabe mencionar que el diseño de los baffles se realizó con un método iterativo, buscando únicamente que el aire sea desviado hacia las charolas, por lo cual no hay un diseño totalmente científico en los mismos, sin embargo los resultados de la simulación apoyan el diseño propuesto, mostrándose los resultados en las figuras 70 y 71.

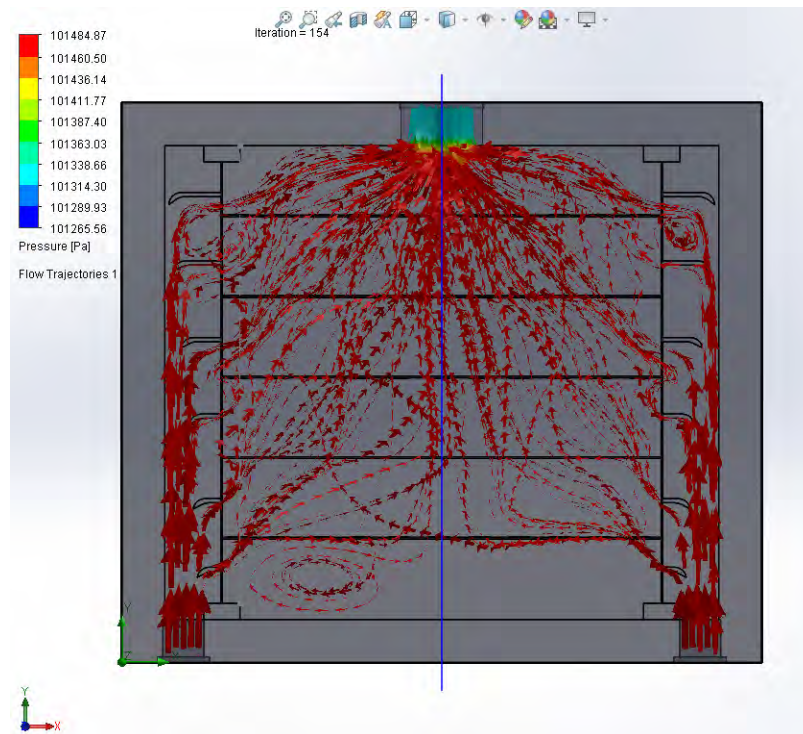
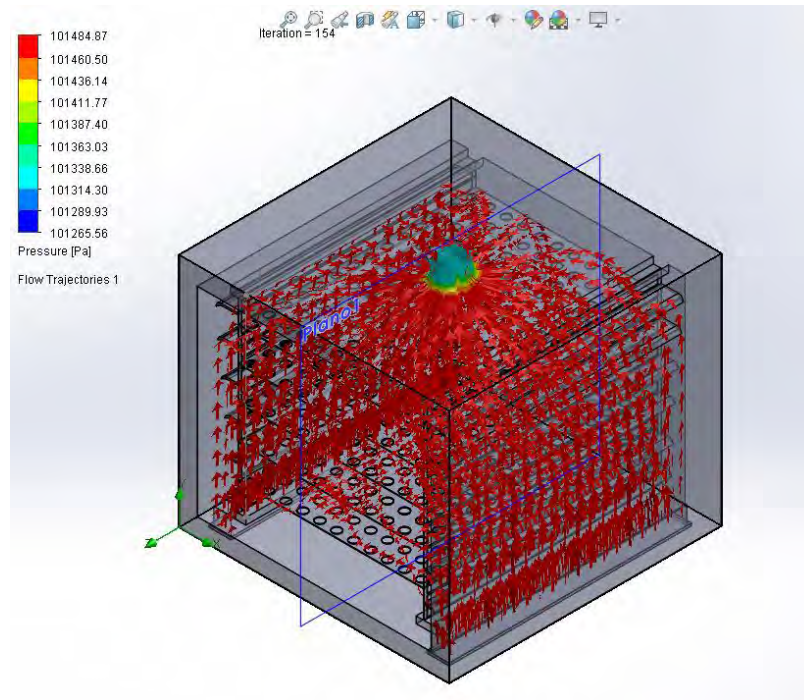


Fig. 70 Vista frontal de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas, lamina perforada y baffles (desviadores de flujo)



*Fig. 71 Modelo 3D de la simulación realizada en la cámara de deshidratado del diseño propuesto, cámara con charolas, lamina perforada y baffles (desviadores de flujo)*

La simulación es útil para observar que los deflectores colocados funcionan de la forma que se desea, desviando el aire de una forma mucho más horizontal hacia las charolas, evitando que en la parte superior se quede atrapado cierto flujo de aire dando vueltas en turbulencia, y que en la parte inferior no ingrese el aire a hacia las charolas de manera correcta, por lo que se piensa aplicar este tipo de deflectores en el diseño de la cámara de deshidratado.

## Capítulo 5 Manufactura del deshidratador

En este capítulo se describirá el proceso de manufactura que se llevó a cabo para construir el deshidratador propuesto en esta tesis, desde los procesos de corte de los materiales necesarios, como la parte del ensamble de cada componente en su respectiva posición.

### 5.1 Intercambiador de calor de tubos aletados

Como se había comentado con anterioridad, el intercambiador fue el dispositivo que se utilizó como punto de partida para todo este diseño, para asegurar que tuviera un funcionamiento óptimo y no existiera alguna falla en este, se recurrió a una empresa que se dedica a la fabricación de intercambiadores de calor, a ellos se acudió solo con el fin de la manufactura ya que fue labor de este y otro trabajo de tesis el diseño de dicho intercambiador, por lo cual solo se mandaron los planos del equipo y las especificaciones de materiales y medidas necesarias para su construcción, siendo los planos los mostrados en las figuras 72 y 73.

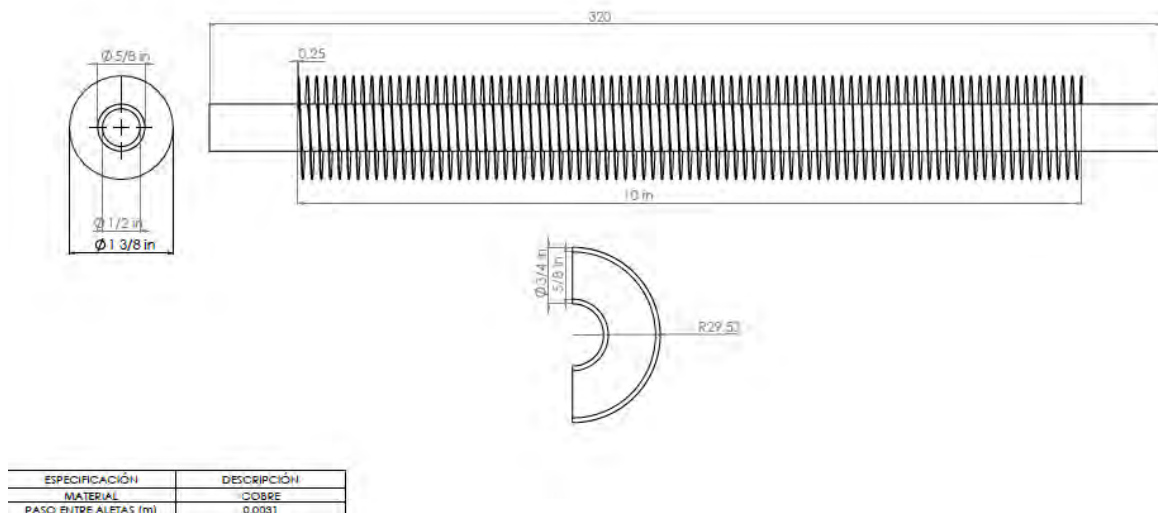


Fig. 72 Plano constructivo del tubo aletado

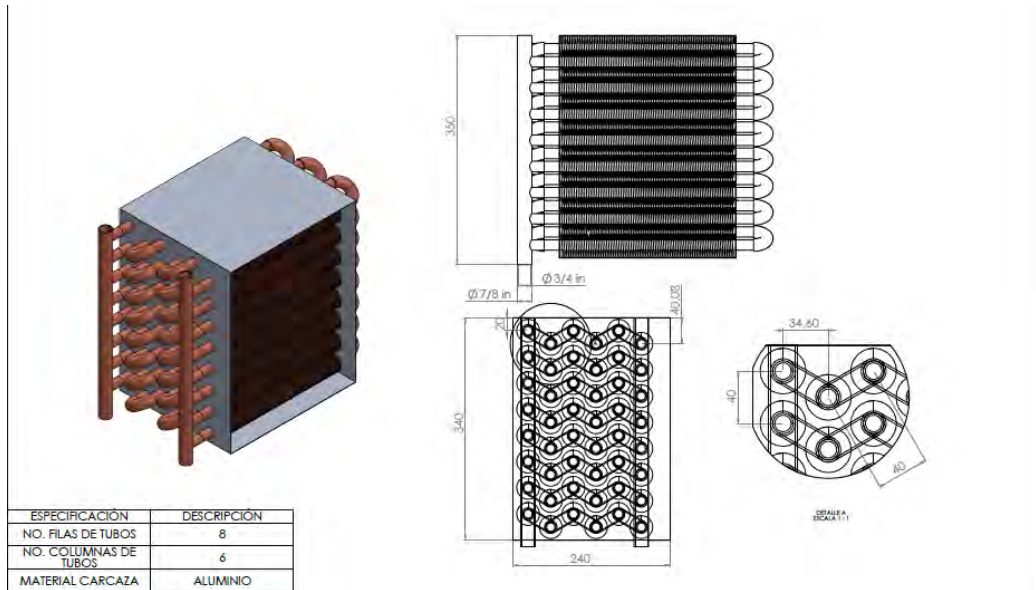


Fig. 73 Plano constructivo de intercambiador de calor de tubos aletados

Después del periodo de espera establecido por la empresa se contó finalmente con el equipo solicitado.



Fig. 74 parte frontal del intercambiador de calor de tubos aletados



*Fig. 75 parte lateral del intercambiador de calor de tubos aletados*

Otro punto importante en la manufactura del intercambiador era la soldadura, esta debía estar libre de plomo ya que este material no es recomendable que se encuentre en contacto con los alimentos, y como el aire que llegará a la cámara de deshidratado debe pasar primero por el intercambiador de calor, se pidió a la empresa que usara una soldadura libre de plomo para la unión de los tubos.

## 5.2 Soplador/ventilador

El soplador es el único dispositivo que se reutilizara del DGA10, ya que este tiene un variador de frecuencia que nos permite obtener el flujo que se requiere para realizar el deshidratado de una manera óptima en el diseño propuesto en este trabajo, dicho componente fue elaborado en dos partes, la primera fue la carcasa que fue construida por un pailero después de haber mandado el respectivo plano constructivo, y la otra parte es el motor y las aspas del soplador, que fueron montados después de haber tenido la carcasa, para la instalación del motor se contó con la ayuda del ingeniero electrónico Antonio Alpizar Torres, quien también se encargó de la fuente de alimentación e instalación completa del equipo.



*Fig. 76 Vista frontal del soplador*

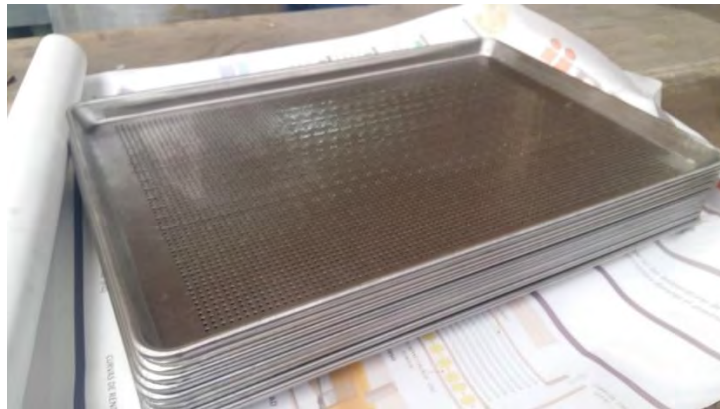




*Fig. 77 Vista posterior del soplador*

### 5.3 Charolas

Las charolas es de los componentes esenciales para que el deshidratado se realice de la manera adecuada, para ellos se contactó a una empresa que vende dicho producto, para comprar 10 charolas de acero inoxidable de las medidas 450 x 650 x 30 [mm], perforadas de la base con barrenos de 4.7625 [mm] (3/16”), lo cual es muy conveniente ya que dichos barrenos servirán para el paso del aire y mejorar el deshidratado.



*Fig. 78 Charolas de acero inoxidable perforadas*

## 5.4 Cámara de deshidratado

En las tablas 28 y 29 se muestran los materiales y herramientas necesarios para construir el componente.

*Tabla 28 Lista de materiales para la manufactura de la cámara de deshidratado*

Material	Medida	Cantidad
PTR de aluminio	50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in])	18000 [mm]
Lamina de aluminio	Calibre 18 (1220 x 2243 [mm] (4 x 8 [ft]))	5
Lamina de acero al carbón con perforaciones	Calibre 16 (1220 x 2243 [mm] (4 x 8 [ft])), perforaciones 4.7 [mm] (3/16")	1
Perfil angulado de aluminio	38.1 x 3.175 [mm] (1 1/2 x 1/8")	4000 [mm]
Perfil angulado de aluminio	12.7 x 3.175 [mm] (1/2 x 1/8")	15000 [mm]
Riel de aluminio para corredera	1000 [mm]	4
Guía de aluminio para ventana corredera		2
Ruedas para carril de aluminio		2
Solera de aluminio	25.4 x 3.175 [mm] (1x1/8")	3000 [mm]
Neopreno	2 [mm] de espesor	3000 [mm]
Brocas para metal	4.7, 2.2, 4.3 [mm] (3/16, 7/32, 11/64")	1
Caja de remaches	3.9 x 12.7 [mm] (5/32 x 1/2") y 4.7 x 9.5 [mm] (3/16 x 3/8")	1
Cople para ducto de aluminio	101.6 [mm] (4 [in])	1
Lana mineral con recubrimiento de aluminio	25.4 [mm] (1 [in]) de espesor	10000 [mm]
Seguros de barril		2
Manijas		2
Pares de bisagras para puertas		2
Caja de tornillos autoperforantes de cabeza hexagonal	6.35-14 x 19.05 [mm] (1/4-14 x 3/4")	1
Primer para pintura	400 [mL]	1
Esmalte acrílico color gris acero	400 [mL]	1

*Tabla 29 Equipo y herramientas para la manufactura de la cámara de deshidratado*

Equipo y herramienta	Cantidad
Cortadora de disco para metal	1
Bata ,guantes de carnaza, careta y lentes de seguridad	2
Caladora	1
Taladro de mano	2
Taladro de banco	1
Esmeril (disco de corte y de desbaste)	4
Dobladora de lamina	1
Remachadora	2
Prensas de presión mecánicas	2
Pinzas de presión	3
Nivel	2
Escuadras con nivel	1
Brochas	2
Cúter	2
Regla y juego de escuadras	1
Flexómetro	2

Lo primero que se desarrolló en la construcción del deshidratador fue el corte de los perfiles que formarían el marco de la estructura de la cámara, para ello se utilizó PTR de aluminio de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]), esto con la intención de tener ese espacio libre de 50.8 [mm] (2 [in]) para colocar el aislante, la medida de corte de los tramos se encuentra en la tabla 30.

*Tabla 30 Medidas de los tramos para la construcción de la cámara*

Estructura de la cámara			
Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Tramo Ancho	692	mm	6
Tramo Largo	700	mm	4
Tramo Alto	692	mm	4

Para ello se utilizó una cortadora de metal para contar con mayor precisión al cortar los tramos.



*Fig. 79 Tramos de PTR de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio cortados*

El siguiente paso fue cortar unos ángulos para que sirvan como unión de la misma estructura, para ello se requirió de ángulo de aluminio de 50.8 x 3.175 [mm] (2x1/8”), dichas medidas de corte se encuentran en la tabla 31.

*Tabla 31 Medidas de los ángulos de aluminio*

Estructura de la cámara			
Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Angulo aluminio de 50.8 x 3.175 [mm] (2x1/8”)	50.8	mm	12

A dichos ángulos se les realizó 2 barrenos de cada lado (como se observa en la figura 80) con una broca de 4.7 [mm] (3/16”) con la ayuda de un taladro de banco para agilizar el proceso.



*Fig. 80 Ángulos de aluminio cortados y barrenados*

Después se cortaron láminas de aluminio calibre 18 que se colocarían en la parte interna de la cámara, estos cortes se realizaron con la ayuda de una caladora y unas líneas de apoyo para tener un corte recto, para este proceso se les dejó unas pestañas que servirían para realizar la unión con los PTR, estos dobleces debían hacerse a 90 [°] ya que por normativa lo correcto es que no deben existir lugares en donde se pueda depositar suciedad, y ya que se usaron para la unión remaches de 3.9 x 12.7 [mm] (5/32x1/2”), no pueden quedar dentro de la cámara estas uniones ya que serían perjudiciales para la óptima limpieza dentro de la misma.

Las láminas utilizadas fueron de las medidas que tiene la tabla 32, todas ellas contaban con una pestaña adicional de 38.1 [mm] (1.5 [in]).

*Tabla 32 Medidas de las láminas para la cámara*

Estructura de la cámara			
Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Lamina Lateral	700 x 600	mm	2
Lamina Posterior	700 x 600	mm	1
Lamina superior	700 x 700	mm	1
Lamina inferior	700 x 490	mm	1

Teniendo las láminas cortadas de las medidas antes mencionadas se prosiguió con el barrenado de las pestañas, ya que es allí donde se realizó la unión entre las láminas y los PTR, estos barrenos se realizaron con una broca de 4.7 [mm] (3/16”), igual con la ayuda del taladro de banco, los barrenos se hicieron con un espaciado de 76.2 [mm] (3[in]) a lo largo de todas las pestañas.

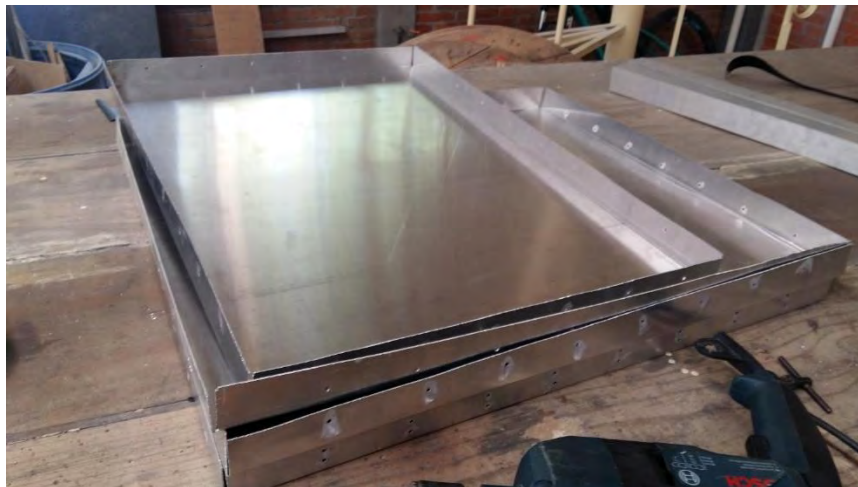


*Fig. 81 Lámina cortada con pestañas para dobles*

Después de tener las láminas cortadas y barrenadas, se realizaron los dobleces de las pestañas en la dobladora de caja que se tiene en el Centro de Manufactura y Diseño (CDM) que se encuentra en la facultad de ingeniería de la UNAM.



*Fig. 82 Dobles de lámina en dobladora de caja en el CDM de la facultad de ingeniería de la UNAM*



*Fig. 83 Láminas dobladas y barrenadas para formar las paredes internas de la cámara de deshidratado*

Teniendo los PTR, los ángulos y las láminas dobladas se comenzó con el proceso de unión entre todos los elementos, para ellos se colocaba un PTR de forma tangente con su pestaña correspondiente conjunto a una tira de neopreno, que sirve como sello para evitar filtraciones de aire y de agua y asegurar que la cámara quede lo más hermética posible, una vez colocado de esta manera se procedía a taladrar el tramo de PTR y su sello correspondiente en el mismo punto que marcaban los barrenos de las pestañas de las láminas, para ello se utilizaron prensas mecánicas y una prensa angulada para asegurar la rigidez del ensamble y su correcta orientación, teniendo los barrenos se remachaban con remaches de 3.9 x 12.7 [mm] (5/32x1/2”), finalmente se colocaban los ángulos para unir ese PTR con su perpendicular. (Ver de la figura 84 a la 87)



*Fig. 84 Ensamble de las láminas de aluminio con el PTR para formar la estructura*



*Fig. 85 Barrenado del neopreno y el PTR para la unión con la lámina de aluminio por medio de remaches*



*Fig. 86 Colocación de los remaches y corte del sello de neopreno a medida*



*Fig. 87 Estructura de PTR con láminas de aluminio y neopreno*

Este proceso se repitió para todas las láminas interiores para poder obtener la estructura interna, teniendo como único PTR faltante al de la parte frontal, ya que no se utilizarían escuadras que estuvieran en la parte interna de la cámara por motivo de la limpieza, se optó por realizar un marco de perfil angulado de aluminio de 38.1 x 3.175 [mm] (1 1/2 x 1/8”), y así poder fijar sin problemas ese tramo faltante para la estructura, esto también tiene una función de apoyo para realizar el marco de la puerta y poder colocar el sello de la misma en el espacio sobrante, lo cual se puede observar en las figuras 88 y 89.





*Fig. 88 Colocación del marco de ángulo de aluminio y neopreno*



*Fig. 89 Vista frontal del Marco de aluminio y cámara de deshidratado*

Para la salida del aire se cortó una apertura circular en la parte superior de la cámara, esta labor se realizó utilizando un esmeril haciendo cortes radiales en la circunferencia que se deseaba tener, después de ello se montó un cople de ductería de 101.6 [mm] (4 [in]) de diámetro, ya que este será la conexión para la ductería que funcionara como chimenea, dicho cople se ensambló utilizando remaches y un sello de neopreno para evitar fugas en puntos no deseados como se muestra en las figuras 90, 91 y 92.



*Fig. 90 Corte de la circunferencia medio el uso de esmeril y cortes radiales*



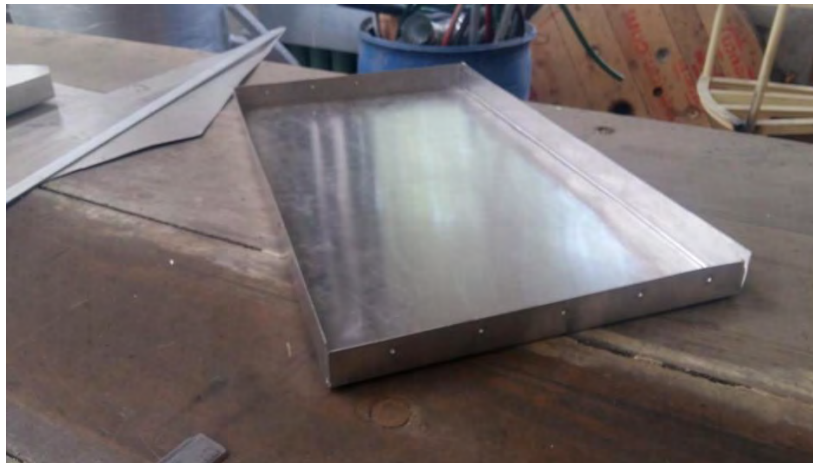
*Fig. 91 Instalación de chimenea*



*Fig. 92 Vista interna de la chimenea dentro de la cámara, con neopreno como sello*

El siguiente paso consistió en fabricar las puertas, para ello se optó por el mismo método de las láminas dobladas de aluminio en forma de caja, esto con el fin de tener el espacio necesario para colocar el aislante y la manija que servirá para la apertura y cierre de las puertas, por lo que se trazaron 4 láminas, dos que serían la parte interna de cada puerta y dos que serían la parte exterior, las medidas de estas fueron conforme que abarcaran la mitad de la cámara de deshidratado.

Las láminas cortadas fueron llevadas a la dobladora para doblar cada esquina y obtener así las dos partes de cada puerta para poder armarlas de forma posterior.



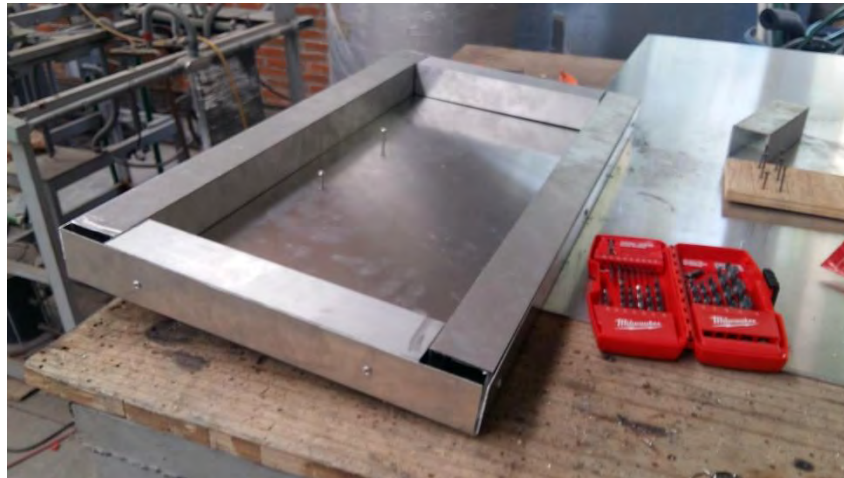
*Fig. 93 Lámina de aluminio doblada y barrenada para puerta*

Se colocó en la parte interna de la lámina doblada más pequeña un marco de PTR de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio, esto con el fin de brindar rigidez a la puerta y tener el espacio suficiente para colocar el aislante, como se observa en la figura 94.



*Fig. 94 marco interno de PTR 2x2 para brindar rigidez*

La manija de la puerta que se colocó debía ser instalada desde la parte posterior de donde se encuentra dicho componente, para ellos se midió la parte media de la lámina y desde ese punto se realizaron los barrenos para los dos tornillos que lleva dicha manija. (Ver figuras 95 y 96)

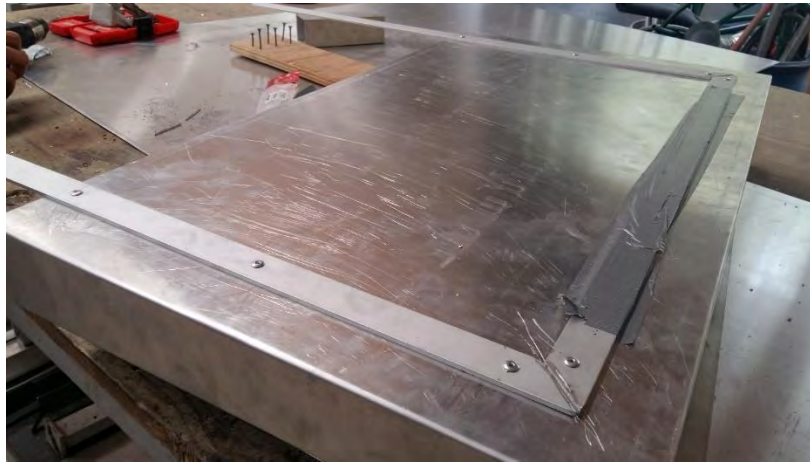


*Fig. 95 Instalación de la manija por la parte posterior de la puerta*



*Fig. 96 Vista frontal de la puerta con la manija*

En la parte de la manufactura de la cámara de deshidratado se mencionó que se colocó un marco de aluminio que posteriormente tendría la función conjunto con la puerta de realizar un sello para evitar las filtraciones de aire, para ellos se remachó en la parte posterior de dicha puerta un marco de solera de 12.7 x 3.175 [mm] (1/2 x 1/8") (se muestra en la figura 97), esto con el fin de empalmar con el sello colocado en la cámara de deshidratado en la parte de las puertas y de esta manera obtener y sello por presión mecánica.



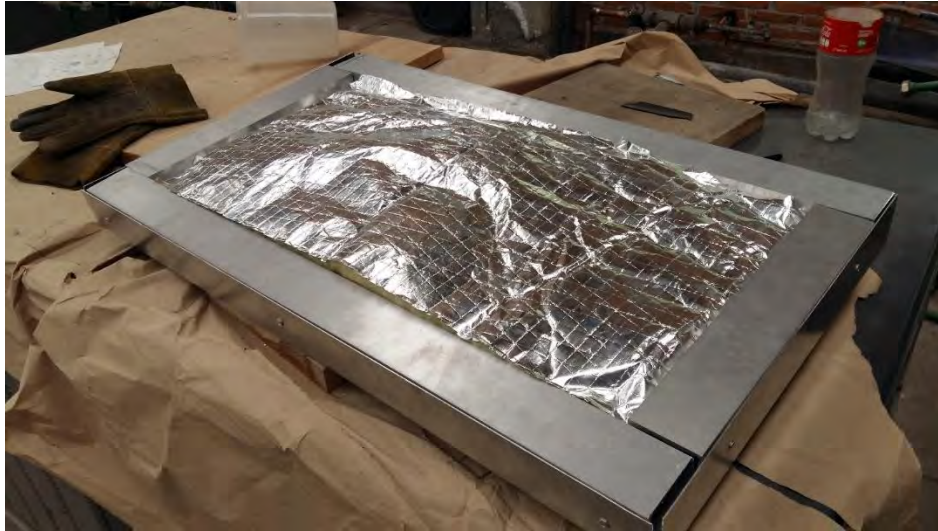
*Fig. 97 Colocación de sellos internos de solera*

Para el aislante de todo el deshidratador se planeó utilizar lana mineral de 50.8 [mm] (2 [in]), esto ya que es un material que nos brinda una buena coeficiente de transferencia de calor, es resistente al agua, al fuego y posee demás propiedades óptimas para este diseño, también se utilizó dicho material ya que según los cálculos realizados en el trabajo “Diseño térmico de un deshidratador geotérmico de alimentos de flujo vertical”, el valor de pérdida de calor en las paredes exteriores resulta ser de 75.6 [W] (González Marín, 2018), quedando dicho valor dentro de la norma “NOM009-ENER-2014 Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales” la cual especifica la pérdida máxima de calor que deben poseer los equipos.



*Fig. 98 Lana mineral con recubrimiento de aluminio utilizada como aislante*

Para el caso de la puerta se metió el aislante dentro del marco de PTR antes hecho, para de esta manera tener aislado térmicamente las puertas como se observa en la figura 99.



*Fig. 99 Puerta con aislante*

Finalmente al tener el ensamble completo de la puerta, se montó la misma a un costado de la cámara con la ayuda de prensas mecánicas se detuvo en el lugar deseado, en donde se instalaron un par de bisagras de 50.8 [mm] (2 [in]), para que le brindaran el grado de libertad de rotación y así poder realizar la apertura y cierre de la puerta esto se visualiza en las figuras 100 y 101.



*Fig. 100 Bridas para puerta colocadas con remaches*



*Fig. 101 Puerta derecha finalizada*

Para la puerta faltante se siguió el mismo procedimiento; para finalizar las puertas se utilizaron seguros de puerta corredizos, esto con el fin de mantener cerradas las puertas al momento del deshidratado, para asegurar que calzaran de manera adecuada se les realizó una base de solera de aluminio de 25.4 x 3.175 [mm] (1 x 1/8”).



*Fig. 102 Puerta terminadas junto con seguros de puertas corredizas instalados*

Para cubrir de manera térmica la cámara se colocó aislante en las paredes externas donde quedaba cierto espacio rectangular de altura de 50.8 [mm] (2 [in]) provocado por la unión de los PTR, se cortó tramos de las medidas correspondientes a dichos espacios libres, siendo el aislante superior el único diferente ya que posee una apertura circular en el centro ya que se tiene la chimenea en la parte superior de la cámara, la colocación del aislante se puede observar en las figuras 103, 104 y 105.

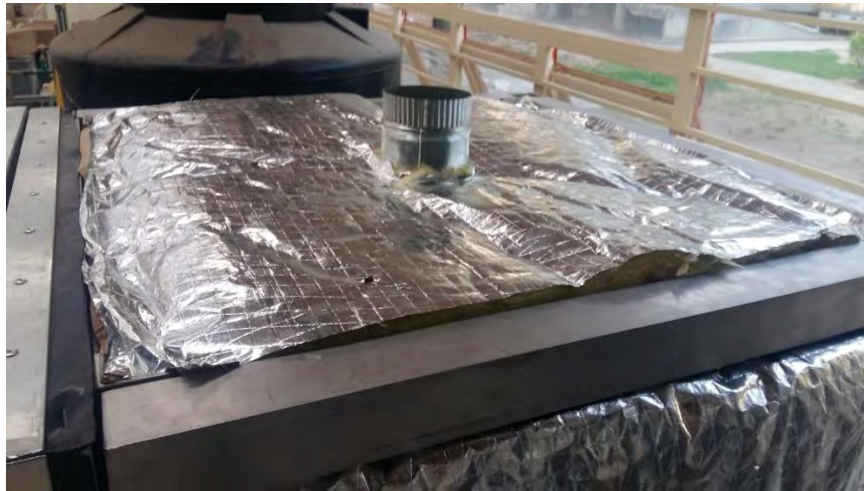


*Fig. 103 Aislante en la pared derecha de la cámara*



*Fig. 104 Aislante colocado en la pared izquierda de la cámara*





*Fig. 105 Aislante colocado en la parte superior de la cámara*

Finalmente para cerrar la cámara se colocaron las tapas externas hechas con lamina de aluminio, para ello se cortaron 2 láminas laterales con una pestaña, una lámina superior con 3 pestañas, una lámina posterior sin pestañas ya que dicha parte será sujeta por las demás pestañas colocadas en las demás tapas.

Se doblaron dichas pestañas en el CDM, y ya teniendo dichos componentes doblados se unieron con tornillos autoperforantes, esto con motivo de si se necesitará abrir la cámara por alguna razón o mantenimiento sea de una manera fácil y rápida.



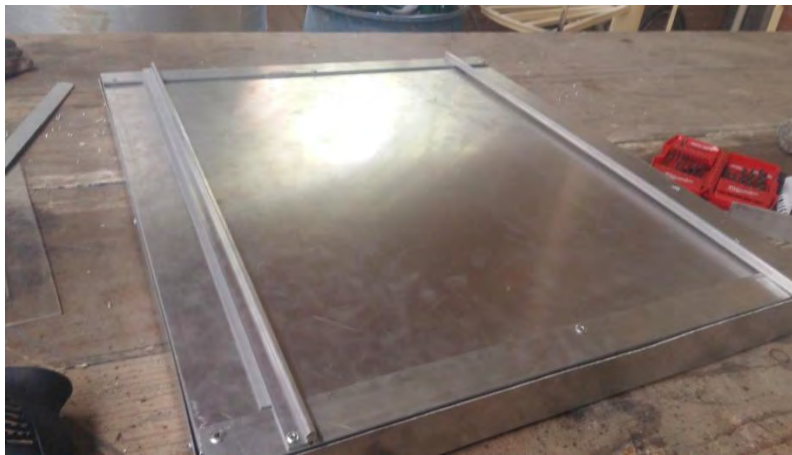
*Fig. 106 Vista final de la cámara terminada*

Para el piso de la cámara de deshidratado se siguió el mismo procedimiento de realizar dos láminas dobladas con pestañas y utilizar una estructura interna de PTR de 50.8 x 50.8 [mm] (2 x 2 [in]) de aluminio para brindarle rigidez, a este piso se les colocó de igual manera lana mineral de 50.8 [mm] (2 [in]), resultando lo que se observa en la figura 107.



*Fig. 107 Piso de la cámara de deshidratador terminado*

Como se comentó en el capítulo de diseño, se planeó colocar lamina perforada con correderas para que los espigueros y los bafles que contendrán dichas laminas fueran posibles de desmontarse a la hora de la limpieza, y así de esta manera poder realizar todo el proceso de lavado de una manera cómoda, para ello se seleccionó unos perfiles de aluminio que tienen un par de ruedas para que se deslicen las paredes de lámina perforada, dichos perfiles son utilizados en cancelería de ventanas y puertas, fueron colocados en la parte del superior del piso y en el techo de la cámara, a una distancia de 460 [mm] a partir del punto medio de la longitud transversal, esto con la intención de tener el espacio necesario para colocar las charolas, todo esto se muestra en las figuras 108 y 109.



*Fig. 108 Piso de la cámara de deshidratado con perfiles de aluminio para carriles de rodamientos*



*Fig. 109 Techo de la cámara de deshidratado con perfiles de aluminio para carriles de rodamientos*

A continuación se procedió a cortar las secciones de lámina perforada que servirán de pared y que se deslizarán en dichos perfiles, para ellas se utilizó el esmeril ya que la lámina perforada es de acero al carbón de calibre 16, se cortaron de una medida de 750 x 580 [mm], ya que la altura interna de la cámara es de 600 [mm] se le dejó una tolerancia para que no se rozaran los materiales y no pudiese existir una falla; después se pintaron los tramos para evitar la corrosión y la contaminación dentro de la cámara de deshidratado, acto seguido se le remacharon las ruedas y unas piezas guía para que ingresara de manera adecuada a los carriles de aluminio, como se muestra en las figuras 110, 111 y 112.



*Fig. 110 Lámina perforada de acero al carbón cortada con esmeril*



*Fig. 111 Lámina de acero al carbón con rodamientos para los carriles de aluminio*



*Fig. 112 Ensamble de la lámina perforada y los carriles dentro de la cámara de deshidratado*

Estas paredes perforadas tendrán la función de ayudar a que el aire dentro de la cámara de deshidratado sea lo más homogéneo posible ya que en estas se colocaran los espigueros para las charolas y los baffles que redireccionarán el aire hacia la fruta a deshidratar, para los espigueros se dispuso de ángulo de aluminio de 12.7 x 3.175 [mm] (1/2 x 1/8") que fue cortado en tramos de 500 [mm] y remachados con remaches de 4.7 x 9.5 [mm] (3/16 x 3/8") (ya que los orificios de la placa perforada son de dicha medida) a una distancia inicial del suelo de 101.6 [mm] (4 [in]) y después de eso separados equidistantemente a 50.8 [mm] (2 [in]), teniendo un total de 10 espigueros, ver en figura 113.

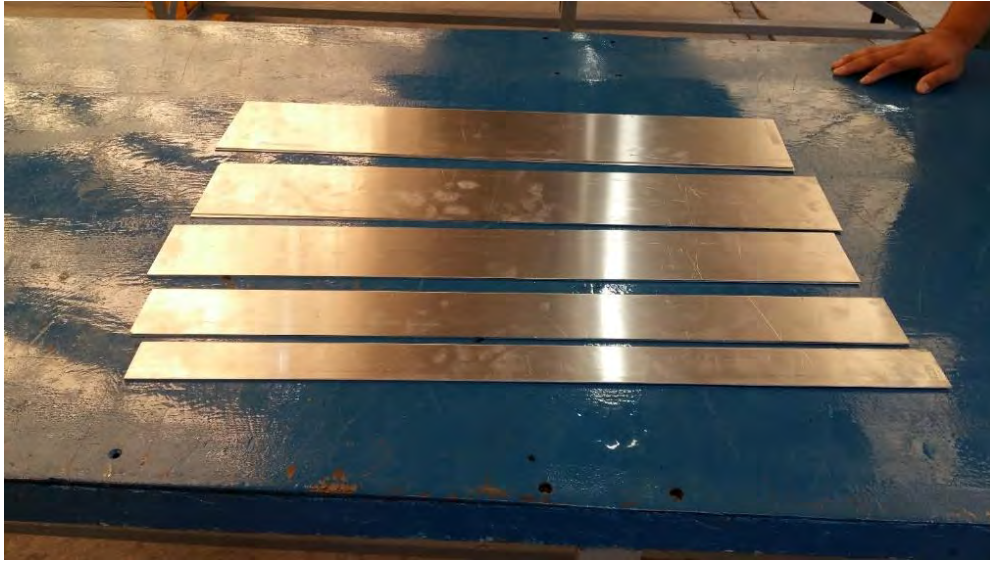


*Fig. 113 Espigueros colocados en las láminas perforadas para soportar las charolas*

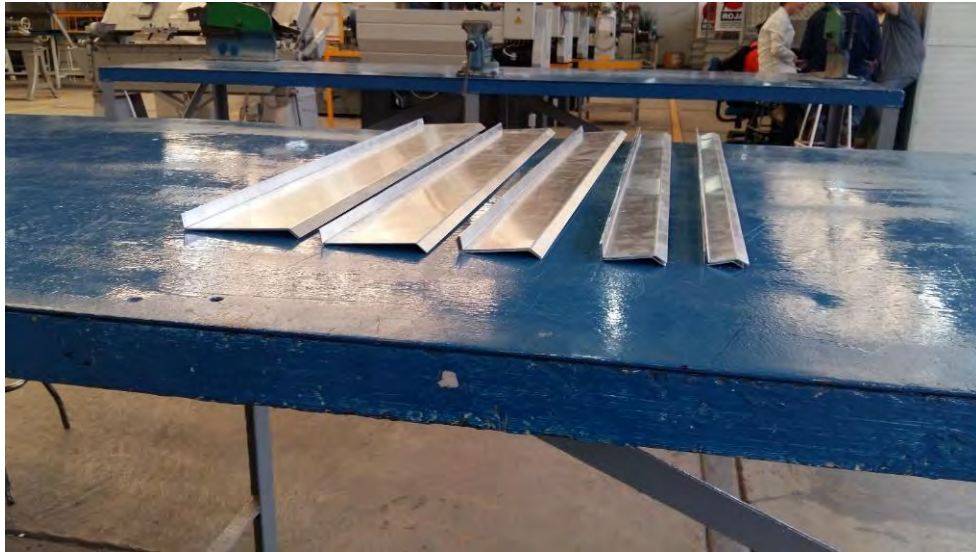
Finalmente para terminar con la cámara de deshidratado fueron colocados los baffles, los cuales fueron realizados con lámina de aluminio de calibre 18, para ellos se cortaron tramos de diferentes anchos de 700 [mm] de largo, variando dichos baffles de longitud para ser acomodados de menor a mayor de forma ascendente, como se debía tener un corte lo más recto posible se acudió a la guillotina que se tiene en el CDM de la facultad de ingeniería, en donde después de cortar los tramos se le realizaron dos dobleces a cada baffle, uno a 90 [°] que sirve como pestaña para remacharse a la lámina perforada y otro a 45 [°] que sirve como la curva del baffle que redirecciona el aire hacia la cámara de deshidratado, dichos baffles fueron colocados cada uno a 2 espigueros para tenerlos a una misma distancia y poder asegurar que el aire entrara a cada charola de forma homogénea (esto sustentado con la simulación realizada en el capítulo de simulaciones), dicho proceso se observa de la figura 114 a la 118.



*Fig. 114 Guillotina para láminas de metal en el CDM de la Facultad de ingeniería UNAM*



*Fig. 115 Láminas de aluminio cortadas a diferente medida para realizar los baffles*



*Fig. 116 Láminas de aluminio con dobleces a 90° para su ensamble y 45° para realizar curvatura del baffle*



Fig. 117 Ensamble de los baffles en la lámina perforada



Fig. 118 Vista lateral de los baffles dentro de la cámara de deshidratado

## 5.5 Estructura del deshidratador

Se enlistan los materiales y equipo necesario para elaborar la estructura en las tablas 33 y 34.

Tabla 33 Lista de materiales para la manufactura de la estructura del deshidratador

Material	Medida	Cantidad
Perfil angulado de acero al carbón	38.1 x 3.175 [mm] (1 1/2 x 1/8")	18000 [mm]
Caja de electrodos revestidos (5 [kg])	E6013 3.175 x 355.6 [mm] (1/8 x 14")	1
Caja de electrodos revestidos (5 [kg])	E6013 2.4 x 355.6 [mm] (3/32 x 14")	1

*Tabla 34 Equipo y herramientas para la manufactura de la estructura del deshidratador*

Equipo y herramienta	Cantidad
Cortadora de disco para metal	1
Bata ,guantes de carnaza, careta y lentes de seguridad	2
Soldadora eléctrica con amperaje variable	1
Careta electrónica para soldar	2
Esmeril (disco de corte y de desbaste)	4
Prensas de presión mecánicas	2
Pinzas de presión	3
Nivel	2
Escuadras con nivel	1
Brochas	2
Regla y juego de escuadras	1
Flexómetro	2

Como se comentó previamente en el capítulo de diseño, para esta estructura se utilizó acero al carbón, el primer paso en la manufactura de esta estructura fue el cortar a las medidas que se necesitaban los tramos de ángulo, para ello se contó con la ayuda de una cortadora de disco, las medidas están en la tabla 35.

*Tabla 35 Medidas de los tramos para la estructura del deshidratador*

Estructura de la cámara			
Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Tramo acero ancho	830	mm	2
Tramo acero largo	830	mm	2
Tramo acero alto	1000	mm	4
Tramo acero base ancho	815	mm	2
Tramo acero base largo	815	mm	4
Tramo acero diagonal	290	mm	4

Cabe recalcar que para las partes que conforman la base de las estructuras se realizó un corte a 45 [°] esto para que la unión fuese realizada de mejor manera.



Para los cordones de soldadura que se debían realizar se contó con el apoyo del grupo IIDEA, ya que no se contaba con la técnica adecuada para soldar, así que se asistió a un curso de soldadura en las instalaciones de la Facultad de ingeniería, en la cual se mostraron los tipos de soldadura, los parámetros y variables necesarias que se deben conocer para realizar una buena soldadura, en este caso al ser acero al carbón se utilizó un método de soldadura SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), también conocida como soldadura manual de arco metálico (MMA), esto con un electrodo revestido E6013, de 3.175 x 355.6 [mm] (1/8 x 14”), ya que las medidas del perfil que se utilizaron eran ideales para las características que nos brinda este material, para este proceso se utilizó una corriente de 125 [A] en una máquina de soldadura con la que se cuenta en el laboratorio de manufactura de grupo IIDEA.

La primera parte en ser soldada fue la estructura base de la parte superior, ya que este marco es la principal guía para los tramos altos, por lo que se colocó debidamente utilizando un nivel para que estuvieran coplanares las superficies de los ángulos y una prensa angulada para asegurar que estuvieran a 90 [°] y así tener un marco cuadrangular lo más preciso posible.



*Fig. 119 Marco superior de la estructura soldado*

Para asegurar que estuvieran al mismo nivel se realizó un corte a 45 [°] en la unión, para que la cámara quedara correctamente alineada en dicha estructura, cabe recalcar que uno de los tramos de ángulo fue colocado de manera distinta (ver figura 120) para permitir el acceso de la cámara por la parte frontal de la estructura.



*Fig. 120 Corte a 45° entre uniones y cordón de soldadura en esta unión*

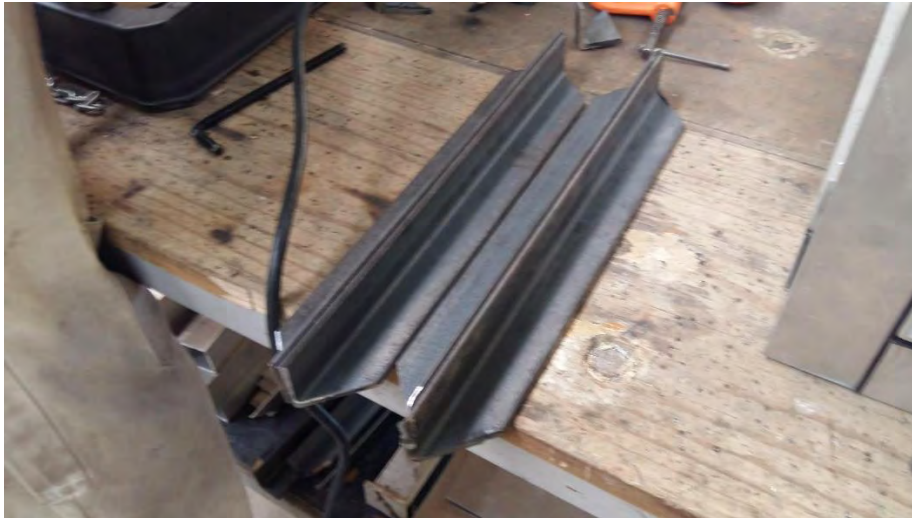
Después de tener dicho marco se acomodaron en la posición correspondiente los tramos altos que fungen como soporte de prácticamente toda la estructura, lo más importante de estas piezas es que fueran soldadas de la forma más perpendicular posible al suelo, ya que la mínima variación en el ángulo de soporte de estas patas derivaría en una incorrecta distribución de los esfuerzos, pudiendo así provocar una falla más fácilmente, para asegurar la perpendicularidad de dichos tramos se utilizaron niveles y escuadras asegurando un ángulo de 90 [°] con el suelo.

Para el segundo marco del cual dispondrá dicha estructura se debía determinar la altura a la cual sería colocada, esta distancia depende de la altura del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado (200 [mm]) y del intercambiador de calor (240 [mm]), aparte de un sistema de ruedas que se le planea instalar a la estructura (50 [mm]), para poder facilitar la movilidad del intercambiador de calor en el momento de la limpieza, por lo que esta distancia sería de 490 [mm], para este marco igual se realizaron cortes a 45 [°] para poder ayudar a un buen ensamble al momento de soldar.



*Fig. 121 Estructura del deshidratador con las patas y el marco inferior soldados*

Lo siguiente fue colocar los tramos a 45 [°] que ayudaran a repartir los esfuerzos cortantes, esto se observa en las figuras 122 y 123.



*Fig. 122 Tramos de acero cortados a 45[°]*



*Fig. 123 Refuerzos a 45[°] soldados al marco inferior*

Después se colocaron los tramos de ángulo que tendrían la función de carriles para el ensamble intercambiador, soplador y difusor, dichos ángulo fueron colocados a 0.37 [m] de cada lado de la estructura, asegurando de esta manera que las llantas que se planean colocar en dicho ensamble estuvieran siempre tangentes a dichos carriles.



*Fig. 124 Carriles de ángulo soldados*



*Fig. 125 Carriles colocados en el marco inferior, con parte frontal sobrante*

Como se puede observar en la figura 125 se necesitaba cortar cierta parte de los ángulos frontales para que por el espacio resultante se pudiese colocar la estructura externa que sirve para el mantenimiento del intercambiador, para ello se dispuso del esmeril y un disco de corte para metal, siendo el resultado el visto en la figura 126.



*Fig. 126 Corte con esmeril del tramo sobrante de perfil angulado*

## 5.6 Difusores

Los materiales y equipo necesario para construir los difusores se muestran en las tablas 36 y 37.

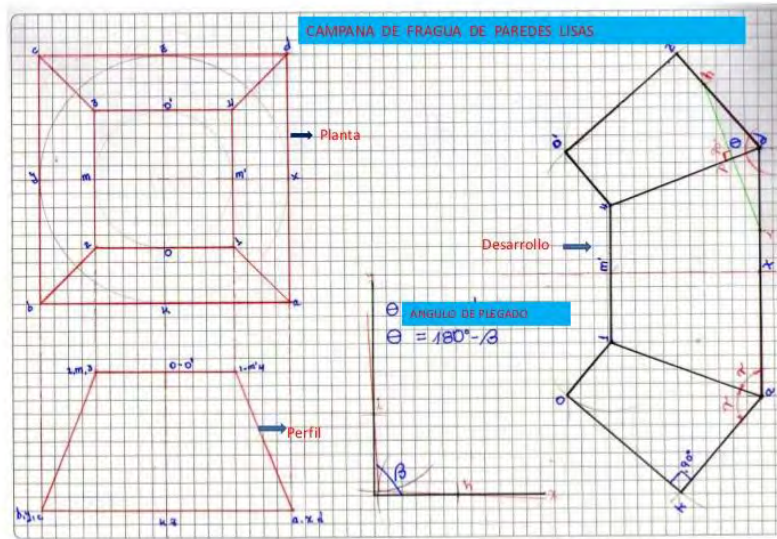
*Tabla 36 Lista de materiales para la manufactura de los difusores*

Material	Medida	Cantidad
Lamina de aluminio	Calibre 18 (1220 x 2243 [mm] (4 x 8 [ft]))	1
Neopreno	2 [mm] de espesor	2000 [mm]
Brocas para metal	4.7, 2.2, 4.3 [mm] (3/16, 7/32, 11/64")	1
Caja de remaches	3.9 x 12.7 [mm] (5/32 x 1/2") y 4.7 x 9.5 [mm] (3/16 x 3/8")	1
Lana mineral con recubrimiento de aluminio	25.4 [mm] (1 [in]) de espesor	4000 [mm]
Caja de tornillos autoperforantes de cabeza hexagonal	6.35-14 x 19.05 [mm] (1/4-14 x 3/4")	1

*Tabla 37 Equipo y herramientas para la manufactura de los difusores*

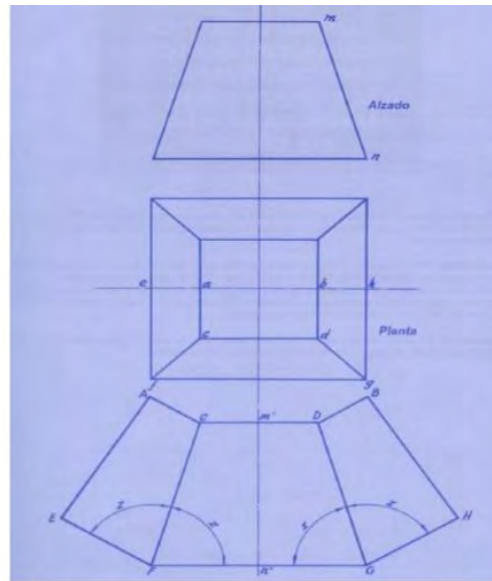
Equipo y herramienta	Cantidad
Bata ,guantes de carnaza, careta y lentes de seguridad	2
Caladora	1
Taladro de mano	2
Taladro de banco	1
Esmeril (disco de corte y de desbaste)	4
Dobladora de lamina	1
Remachadora	2
Prensas de presión mecánicas	2
Pinzas de presión	3
Cúter	2
Regla y juego de escuadras	1
Flexómetro	2
Transportador	1

Los difusores de aire son componentes que requieren de un mayor cuidado a la hora de manufacturarse ya que tienen ángulos sólidos, es decir dobleces que realizan ángulos en el espacio, para ellos se pensó en varias formas de idearse, la primera de ellas fue hacer una estructura de perfil angulado y colocar lamina sobre la estructura creada y tener así la campana de difusión, la problemática en esta idea surge a la hora de querer obtener los ángulos necesarios para cubrir las superficies de cara a cara, ya que estos ángulos son de más de 90 [°] por lo que un ángulo fijo no es muy útil; así que se revisó en bibliografía de construcción de ductería para poder manufacturar de buena manera los difusores, en este caso se consultó una presentación de un curso de trazado y desarrollo de lámina y tubería, impartido por el ing. Carlos Tamayo Medina, el cual se encuentra en internet, en esta presentación se encontraron los siguientes planos constructivos los cuales permiten observar el plano general que debe poseer dicho difusor para ser manufacturado de una manera correcta, estos son los que se pueden observar en las figuras 127 y 128.



ING. CARLOS TAMAYO MEDINA

Fig. 127 Planos de construcción de campanas (Tamato M.)



ING. CARLOS TAMAYO MEDINA

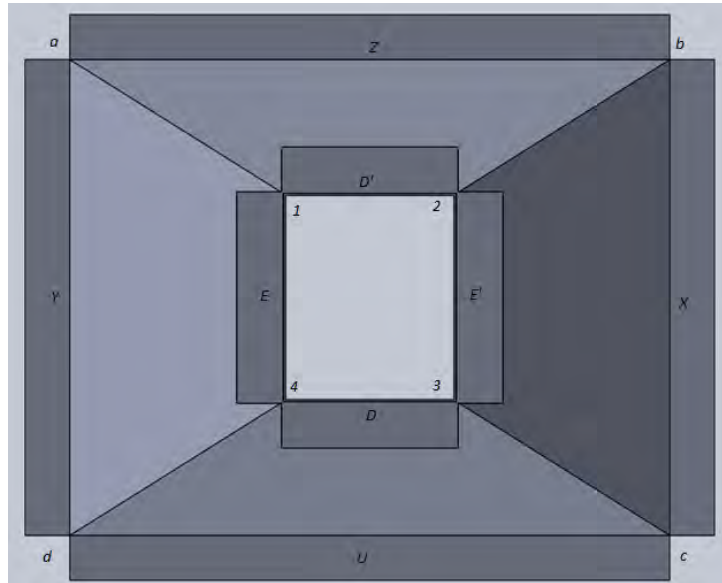
Fig. 128 Planos de construcción de campanas (Tamato M.)

Gracias a los CAD realizados para el diseño en computadora se pueden obtener todas las medidas necesarias para poder tener el mismo plano pero para los difusores que se requieren en la manufactura del prototipo.

En el caso de este diseño se le dejara a los lados pestañas, ya que se planea utilizar como método de unión los remaches y teniendo dichas pestañas el remachado sería más cómodo.

### 5.6.1 Difusor Soplador-intercambiador de calor

Utilizando las vistas de planta que *Solidworks* ofrece se pueden determinar todas las medidas necesarias para desarrollar el plano constructivo de este difusor, para esto se utilizó lo que se muestra en la figura 129.



*Fig. 129 Representación del difusor soplador-intercambiador de calor como el plano de construcción lo solicita*

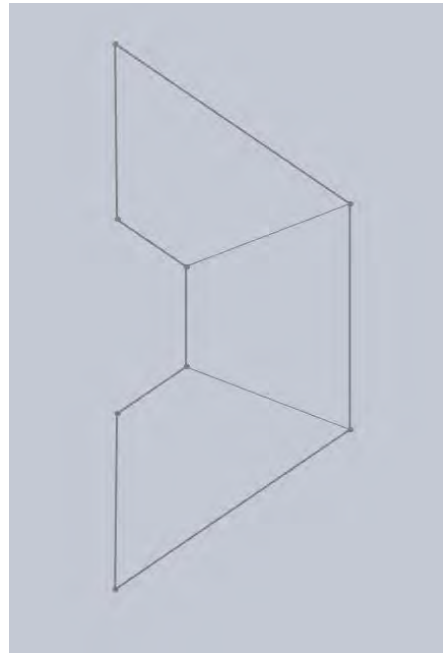
Gracias a las herramientas con las que cuenta *Solidworks* se puede obtener todas las medidas necesarias para realizar el plano, para ellos se planeó utilizar un comando que se llama “chapa metálica” ya que permite generar láminas de los calibres existentes para después realizar operaciones que simulan el doblado, esto fue realizado para comprobar efectivamente que esta guía fuera útil para el difusor que se desea realizar, ya que en este caso el difusor es de una cara rectangular a una cuadrada y esto podría tener algunas variaciones, por lo que las medidas son las que se enlistan en la tabla 38.

*Tabla 38 Medidas del difusor soplador-intercambiador de calor*

Dif. Sop-Int	
Medida	Valor [m]
E, E'	0.12
D, D'	0.1
X, Y	0.27
U, Z	0.34
a-1	0.21



Cabe recalcar que para la obtención de los ángulos exactos se realizó el croquis que se muestra en el plano y con la utilización de relaciones geométricas se obtuvieron dichos ángulos, esto para obtener un modelo más parecido a la realidad, por lo cual el croquis es el que está en la figura 130.



*Fig. 130 Croquis del difusor soplador-intercambiador de calor con las medidas de la tabla 38*

Se le colocaron pestañas en cada arista para poder realizar el ensamble con los dispositivos que este difusor se conectara, y otras a las partes externas ya que como se nota esta campana es realizada en dos partes, la primera que es la que se doblara y la segunda que solo es una tapa que completa las cuatro caras necesarias del difusor, todo esto se unirá con remaches para tener una buena sujeción, lo dicho anteriormente se observa en las figuras 131 y 132.

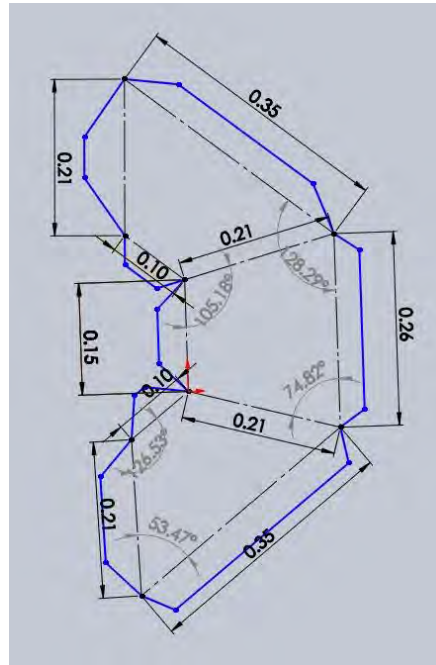


Fig. 131 Croquis del difusor soplador-intercambiador de calor con las medias de la tabla 38 con pestañas de 1.5 [ln] (cotas en [m])

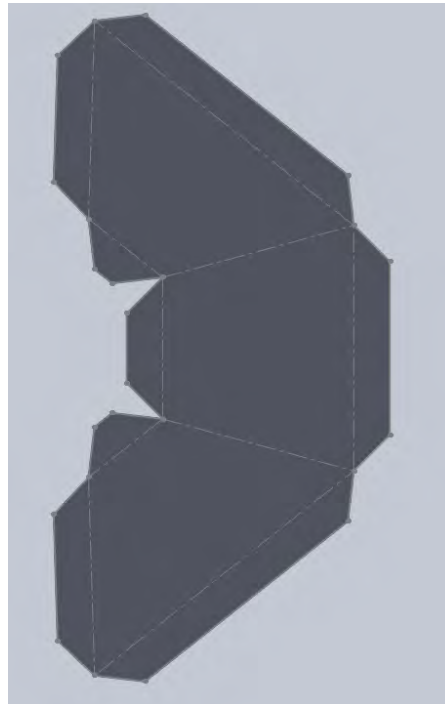


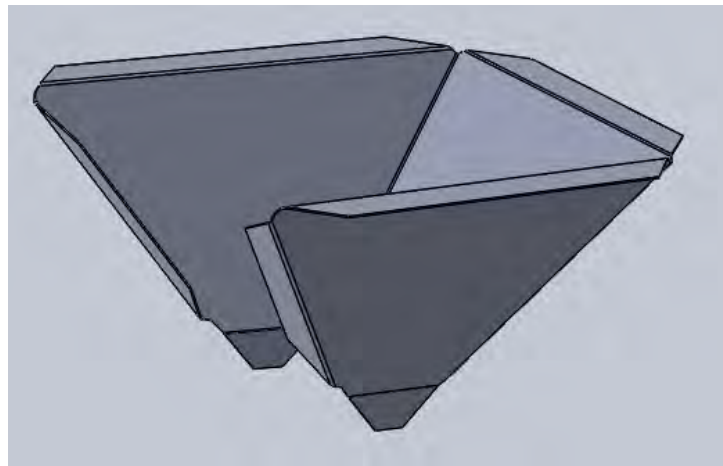
Fig. 132 Lámina creada en Solidworks con base a la figura 131

Después de tener la lámina cortada igual como se muestra en el croquis se planea realizar los debidos dobleces en la dobladora de la facultad de ingeniería, es importante mencionar que se debe tener los ángulos de dobles, ya que al no ser una campana de cuadrado a cuadrado el ángulo difiere, para determinar esto se realizaron varias iteraciones con el ángulo de dobles que te pide el comando de Solidworks hasta ver que se asimilara la campana a la deseada en la realidad, obteniendo los ángulos de dobles que se enlistan en la tabla 39.

*Tabla 39 Ángulos de dobles para el difusor soplador-intercambiador de calor*

Dif. Sop-Int	
Dobles	Valor [°]
2-b,3-c,a-1,d-4	75
a-b,c-d	70
b-c	50
1-2,3-4	20
2-3.	40

Resultando lo que se muestra en la figura 133.



*Fig. 133 Difusor soplador-intercambiador de calor*

Lo mencionado anteriormente se realizó sobre una lámina de aluminio de calibre 18, lo primero en hacerse fue el trazar los croquis mostrados que se dibujaron en Solidworks, pero esta vez sobre dicha lámina, para cortar los diseños con la ayuda de una caladora, como se observa de la figura 134 a la 136.



*Fig. 134 Croquis de la Fig. 131 dibujado en lámina de aluminio y cortado con caladora*



*Fig. 135 Lámina cortada con la geometría para doblar*



*Fig. 136 Tapa cortada del difusor soplador-intercambiador de calor*

El siguiente paso fue doblar las láminas en el CDM de la facultad de ingeniería, utilizando la dobladora de caja se doblaron las líneas de dobles 2-b y 3-c que son las caras del difusor ya que estos son los dobleces que otorgan prácticamente la forma del difusor, para realizar los dobleces a los ángulos mencionados anteriormente se dispuso de un transportador graduado para que fuera lo más exacto posible, lo anterior se puede apreciar en las figuras 137 y 138.



*Fig. 137 Dobleces realizados con la ayuda de la dobladora de caja del CDM y con el apoyo de un transportador*



*Fig. 138 Difusor con su tapa sin unir*

La geometría que poseen los croquis de los difusores no pueden doblarse en su totalidad en las dobladoras de caja, ya que existen partes que estorban para dichos dobleces, para estos se utilizó la prensa fija con la que se cuenta en el laboratorio de manufactura de grupo IIDEA, y también de una dobladora realizada de forma casera con prensas y un par de ángulos de acero, siendo el proceso lo mostrado en las figuras 139 y 140.



*Fig. 139 Dobleces de las pestañas apoyadas de la prensa mecánica*



*Fig. 140 Dobleces de las pestañas apoyados de tramos de ángulo de acero de 50.8 x 3.175 [mm] (2X1/8")*

Teniendo la primera parte del difusor y utilizando las pestañas como punto de unión se utilizaron remaches para terminar así con la manufactura del difusor remachando ambas partes colocando un sello de neopreno para evitar filtraciones de agua o aire y así obtener en su totalidad la campana.

Para la unión del difusor al soplador y al intercambiador se planeó utilizar tornillos autoperforantes, ya que estos cuentan con la sujeción necesaria para hacer dicha unión, aparte que brindan la facilidad de poderse quitar si es necesario realizar algún tipo de mantenimiento a los equipos, haciendo desmontable así estos dispositivos, tal como su muestra en las figuras 141 y 142.



*Fig. 141 Vista frontal del difusor ensamblado al soplador con tornillos autoperforantes y con sello de neopreno*



Fig. 142 Vista lateral del difusor ensamblado al soplador con tornillos autopercorantes y con sello de neopreno

### 5.6.2 Difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado

Para este difusor se siguieron exactamente los mismos pasos para poder manufacturarlo, lo primero fue la determinación de las medidas de su respectivo croquis, siendo el que se ve en la figura 143.

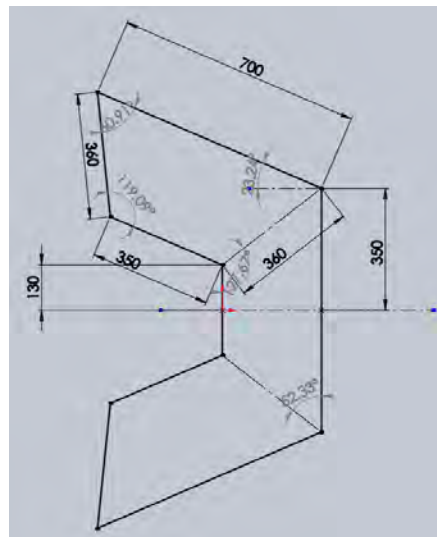


Fig. 143 Croquis del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado con las medidas solicitadas (cotas en [mm])



A este croquis igual se le añadieron pestañas para su fácil unión, como se muestra en las figuras 144 y 145.

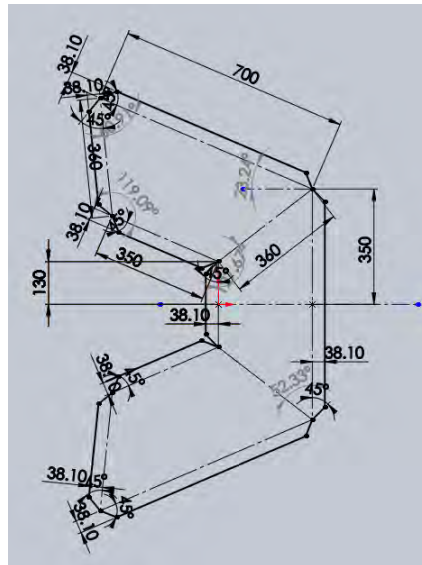


Fig. 144 Croquis del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado con las medidas solicitadas con pestañas de 38.1 [mm] (1.5 [in]) (cotas en [mm])

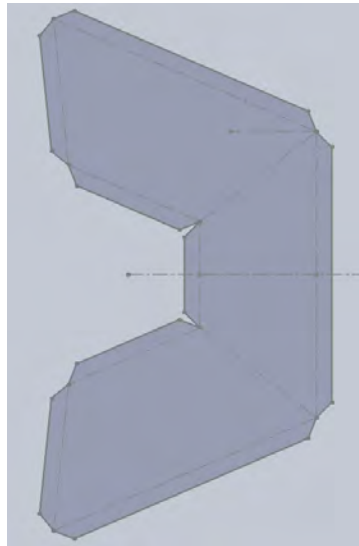


Fig. 145 Lámina creada en Solidworks con base a la figura 144

Después se determinaron los ángulos de dobles para cada línea punteada, tomando la misma distribución de puntos que se tomó en el difusor anterior, los ángulos son los que se enlistan en la tabla 40.

Tabla 40 Ángulos de dobles del difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado

Dif. Int-Cam	
Dobles	Valor [°]
2-b,3-c,a-1,d-4	65
a-b,c-d	45
b-c	50
1-2,3-4	130
2-3.	130

Quedando el difusor de la forma que se muestra en la figura 146.

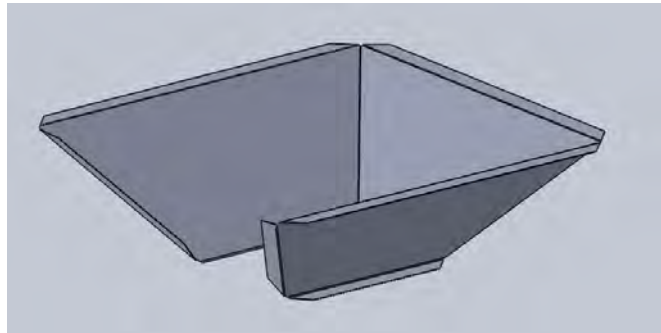


Fig. 146 Difusor intercambiador de calor-cámara de deshidratado

Teniendo el croquis se realizó este mismo sobre la lámina de aluminio para después hacer los cortes correspondientes, como se observa de la figura 147 a la 150.

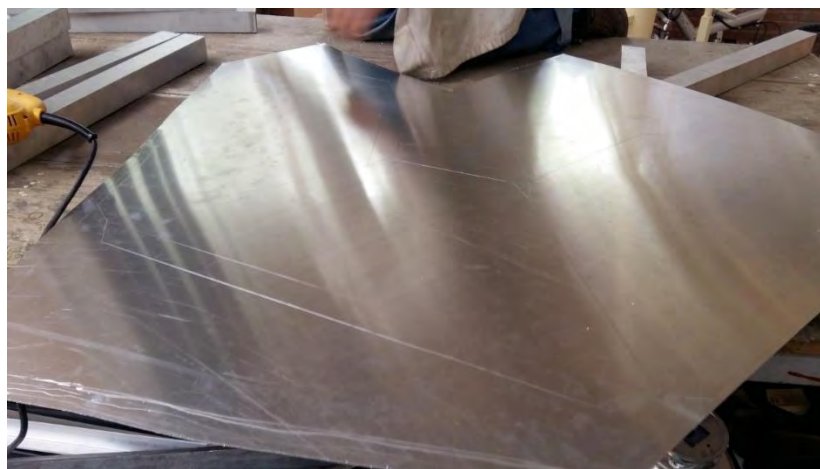
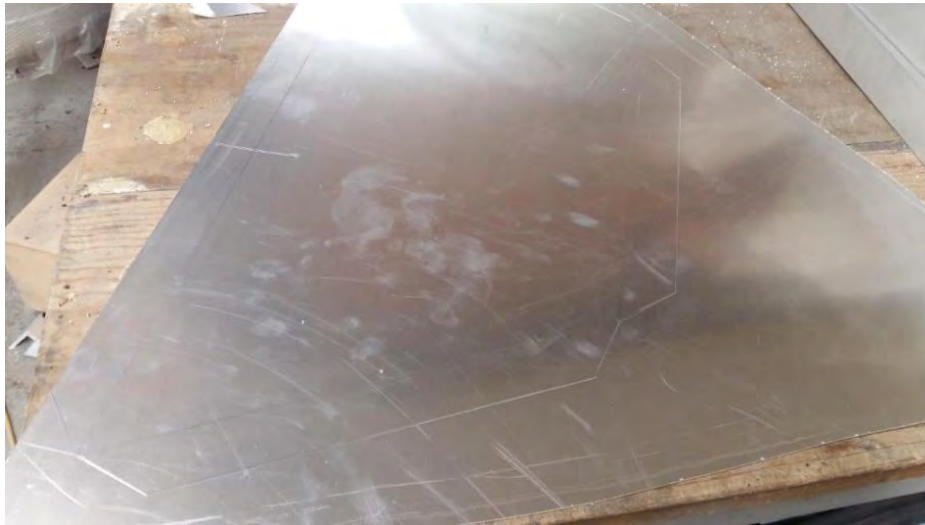


Fig. 147 Croquis de la Fig. 144 dibujado en lámina de aluminio y cortado con caladora



*Fig. 148 Tapa del difusor trazado en lámina de aluminio*



*Fig. 149 Croquis de la Fig. 148 cortado*



*Fig. 150 Lamina doblada junto con las pestañas*

Cabe recalcar que como en las secciones pasadas, para cada unión se colocó un sello de neopreno, esto con la intención de evitar fugas de aire o filtraciones que pudieran perjudicar el proceso de deshidratado.



*Fig. 151 Unión del difusor con su tapa para completar el ensamble*

Después se montó el difusor a la cámara de deshidratado utilizando nuevamente los tornillos autoperforantes por el mismo motivo explicado anteriormente.



*Fig. 152 Ensamble de los difusores a la cámara, al intercambiador de calor y al soplador*

## 5.7 Sistema de limpieza

Los materiales y equipo necesarios para manufacturar el sistema de limpieza se enlistan en las tablas 41 y 42.

*Tabla 41 Lista de materiales para la manufactura del sistema de limpieza*

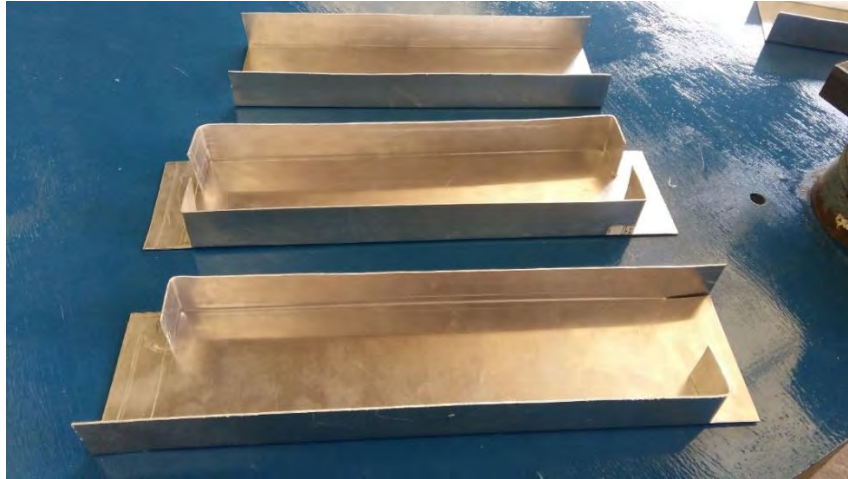
Material	Medida	Cantidad
Lamina de aluminio	Calibre 18 (1220 x 2243 [mm] (4 x 8 [ft]))	1
Perfil angulado de aluminio	38.1 x 3.175 [mm] (1 1/2 x 1/8")	1000 [mm]
Perfil angulado de aluminio	12.7 x 3.175 [mm] (1/2 x 1/8")	1000 [mm]
Perfil angulado de acero al carbón	38.1 x 3.175 [mm] (1 1/2 x 1/8")	3000 [mm]
PTR de acero al carbón	50.8 x 25.4 [mm] (2 x 1 [in])	3000 [mm]
Neopreno	2 [mm] de espesor	1000 [mm]
Brocas para metal	4.7, 2.2, 4.3 [mm] (3/16, 7/32, 11/64")	1
Caja de remaches	3.9 x 12.7 [mm] (5/32 x 1/2") y 4.7 x 9.5 [mm] (3/16 x 3/8")	1
Cople para ducto de aluminio	101.6 [mm] (4 [in])	1
Lana mineral con recubrimiento de aluminio	25.4 [mm] (1 [in]) de espesor	1000 [mm]
tubería hidráulica de PP-R "tuboplus"	19.05 [mm] (3/4")	300 [mm]
Tuerca unión de "tuboplus"	19.05 [mm] (3/4")	1
Coples para "tuboplus"	19.05 [mm] (3/4")	2
Caja de tornillos autoperforantes de cabeza hexagonal	6.35-14 x 19.05 [mm] (1/4-14 x 3/4")	1
Ruedas de polímero "Shepherd"	41.275 [mm] (1 5/8")	8
Rollo de plástico PLA para impresión 3D		1
Broches de baúl		1
Caja de electrodos revestidos (5 [kg])	E6013 3.175 x 355.6 [mm] (1/8 x 14")	1

*Tabla 42 Equipo y herramientas para la manufactura del sistema de limpieza*

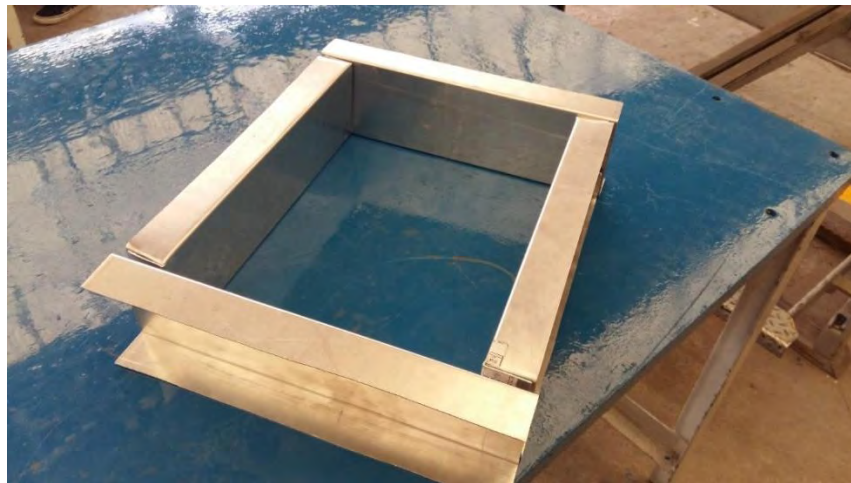
Equipo y herramienta	Cantidad
Cortadora de disco para metal	1
Bata ,guantes de carnaza, careta y lentes de seguridad	2
Caladora	1
Taladro de mano	2
Taladro de banco	1
Esmeril (disco de corte y de desbaste)	4
Dobladora de lamina	1
Remachadora	2
Prensas de presión mecánicas	2
Pinzas de presión	3
Nivel	2
Cúter	2
Regla y juego de escuadras	1
Flexómetro	2
Dremel	1
Impresora 3D	1
Soldadora eléctrica	1

### 5.7.1 Ducto para tarja

Este es un tramo de ducto recto que se pensó con la función de fungir como dren para los fluidos, esta parte fue construida utilizando láminas de aluminio de calibre 18, al igual como con las demás partes de la ductería se realizaron cortes de lámina que tuvieran la geometría necesaria para doblarse y ser unido mediante pestañas, en este diseño se hicieron 4 láminas, 2 en forma de caja y dos en forma de U, esto con el fin de ser unidos y formar el ducto rectangular que se desea, esto se muestra en las figuras 153 y 154.



*Fig. 153 Láminas dobladas en caja y U para el ducto de limpieza*



*Fig. 154 Configuración de las láminas dobladas para formar el ducto de limpieza*

La segunda parte en esta manufactura fue el realizar las bases de ángulo donde reposará la tarja, para ello se cortaron ángulos del largo de uno de los lados del ducto, estos ángulos son de aluminio de 12.7 x 3.175 [mm] (1/2 X 1/8") y fueron unidos a la mitad de la cara rectangular mediante remaches.

El siguiente paso fue el realizar el barreno donde iría colocada la tubería, el cual es una circunferencia de 19.05 [mm] (3/4") para este corte se utilizó un Dremel para obtener mayor exactitud, lo mencionado anteriormente se puede ver en la figura 155.





*Fig. 155 Instalación de perfil angulado de aluminio y barrenado de orificio para colocar tubería de desagüe*

Posteriormente se hizo el tramo de tubería por donde pasara la manguera, para fijar este elemento de tubería se unieron de cada lado un par de coples, ya que estos poseen mayor diámetro externo que ayuda a que quede en el lugar deseado, para la unión de esta tubería se utilizó el método de termo-fusión, como se muestra en figura 156.



*Fig. 156 Vista lateral del ensamble del tubo de desagüe con la lámina doblada para el ducto de limpieza*

Finalmente se unieron todos los tramos de lámina doblada mediante sus pestañas con remaches de 3.9 x 12.7 [mm] (5/32 X 1/2"), cada junta con su respectivo sello de neopreno para evitar filtraciones o fugas de aire, como se observa en la figura 157.



*Fig. 157 Ensamble de todos los componentes con un sello de neopreno*

El ensamble de este dispositivo se realizó con tornillos autoperforantes, esto para poder ser desmontado de una manera fácil por si se necesita dar algún tipo de mantenimiento a este sistema de limpieza o bien al intercambiador o demás componentes, tal como se muestra en la figura 158.



*Fig. 158 Ensamble con tornillos autoperforantes del ducto de limpieza con el intercambiador de calor*

Para el acople de este sistema a la parte superior del deshidratador se optó por colocar unos broches de baúl, esto con la intención que el ensamble realizado por el soplador-difusor-intercambiador y ahora sistema de limpieza pudiese salir mediante el uso de los carriles y el carrito que los soporta, esto por si es necesario un mantenimiento, y por lo tanto el ensamble superior cámara-difusor se quedará estático soportado por la estructura del deshidratador, así con la ayuda de los broches el ensamble y desensamble de dichos sistemas será realizado de una manera rápida y práctica, aparte de asegurar la hermeticidad de ese punto de unión, para colocarlos en el ducto de limpieza y en el difusor campana-intercambiador se

utilizó unos tramos de perfil angulado de aluminio de 38.1 [mm] (1 1/2"), para que el ajuste pudiera hacerse en el mismo plano, ya que dichos broches se aseguran de esa forma, se les colocó 2 capas de neopreno tanto en la parte del difusor como del ducto de limpieza, esto para asegurar que no haya fuga de aire en este ensamble, a continuación se muestra el proceso en las figuras 159, 160 y 161.



*Fig. 159 Broches de baúl instalados en perfiles angulados de aluminio*



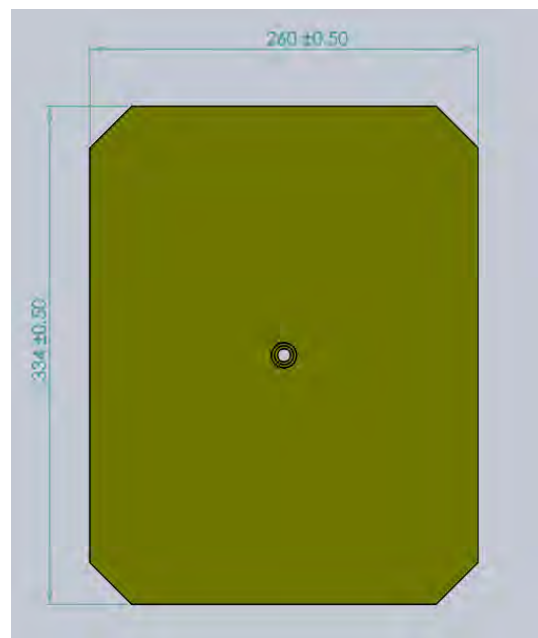
*Fig. 160 Ensamble del ángulo de aluminio con la pestañas del ducto para limpieza*



*Fig. 161 4 pares de broches de baúl instalados para el fácil ensamble y desmontaje*

### 5.7.2 Tarja

Para la manufactura de dicha tarja se utilizó una impresora 3D con la que cuenta grupo IIDEA, ya que este método facilita mucho el realizar piezas con geometrías complejas, en este caso el conector de manguera que se desea que tenga, como se observó en la parte de diseño la tarja tiene una figura octagonal de medidas de largo y ancho del espacio libre del ducto, la cual tiene la apariencia que se observa en la figura 162.

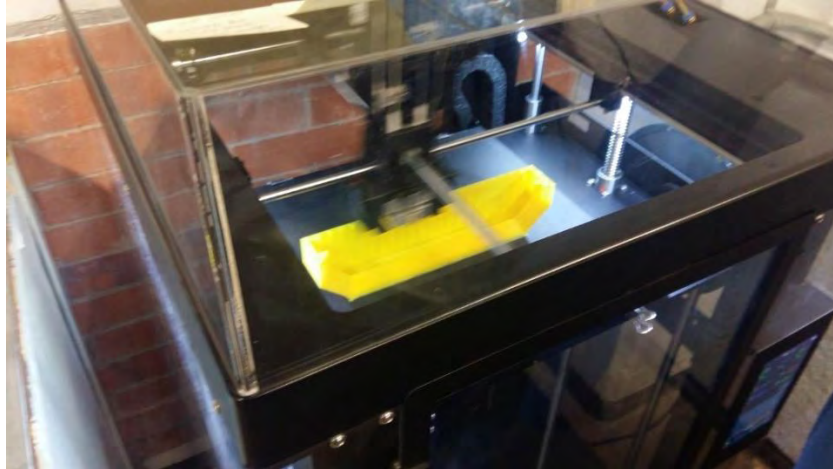


*Fig. 162 Vista de planta del CAD de la tarja*

La problemática de este diseño es que la máquina de impresión con la que se cuenta tiene 305 X 305 X 610 [mm] como volumen máximo de impresión, por lo que esta pieza no puede ser impresa en su totalidad de

manera horizontal, la otra cuestión surge al querer imprimir dicha pieza de manera vertical el tiempo de impresión estimado por la misma maquina llega a ser de hasta 3 días, pudiendo tener así problemas de calibración en todo este tiempo de impresión, por lo que se pensó que la mejor solución era realizar esta dispositivo en dos piezas en la impresora, y así poder reducir el tiempo de impresión y la probabilidad de falla en dichas piezas.

La división de dicha tarja se realizó como se puede ver de la figura 163 a la 167.



*Fig. 163 Impresión 3D de la tarja*



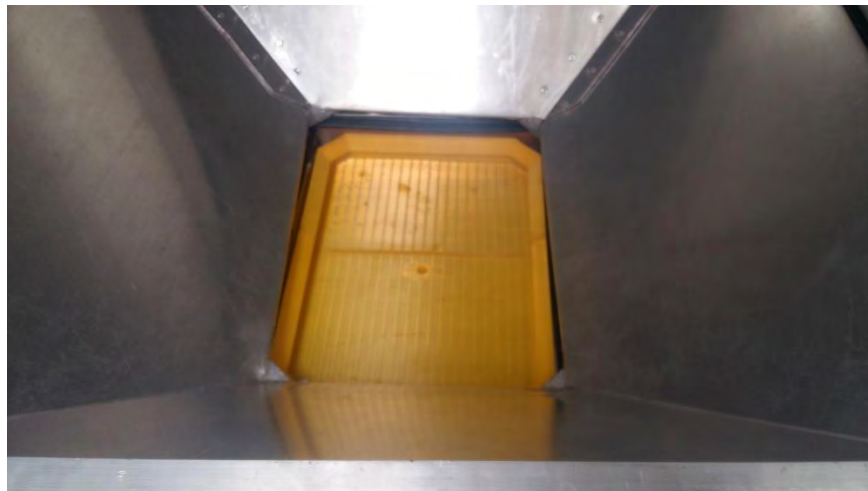
*Fig. 164 Piezas impresas de la tarja*



*Fig. 165 Piezas unidas por termofusion para completar la tarja*



*Fig. 166 Parte posterior de la tarja con el aditamento para colocarle una manguera de desagüe*



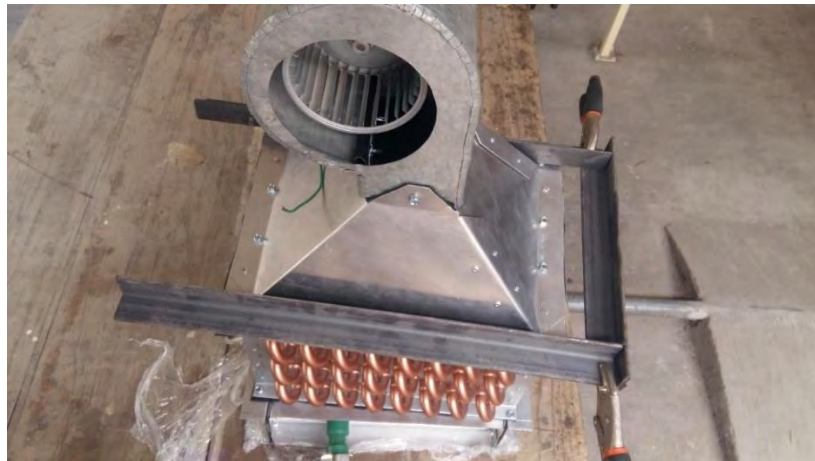
*Fig. 167 Tarja instalada en el ducto de limpieza*

### 5.7.3 Carrito

Como se tenía planteado desde la etapa de diseño que dicho componente fuera realizado mediante tramos de ángulo de acero al carbón de 50.8 [mm] (2 [in]), para ello lo primero fue cortar los tramos del ángulo de las medidas específicas para poder montar sobre dicho carro al intercambiador, teniendo en cuenta que los carriles donde correrá el dispositivo serán los antes colocados en la estructura del deshidratador, por lo que se tienen bien acotadas las dimensiones de este carro, siendo las medidas de los cortes las que se enlistan en la tabla 43.

*Tabla 43 Medidas de los tramos para el carrito*

Carrito			
Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Tramo Ancho	340	mm	2
Tramo Largo	600	mm	2



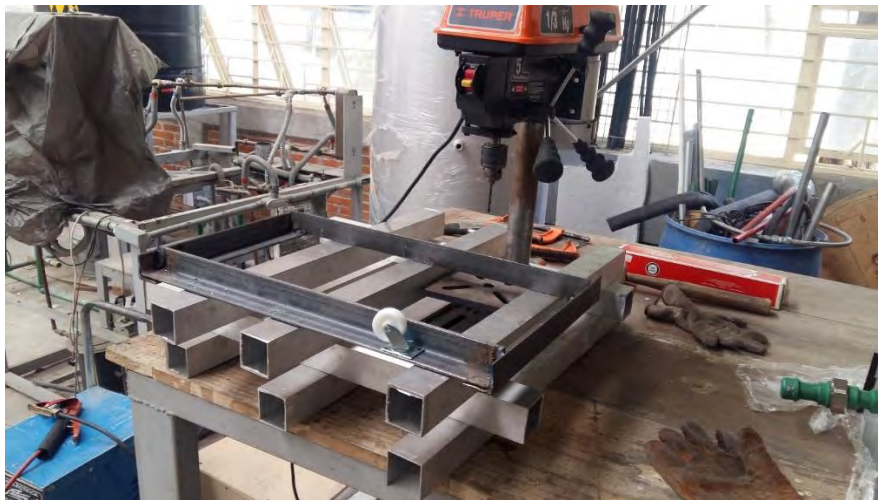
*Fig. 168 Tramos de acero para el carrito colocados sobre el intercambiador de calor*

Para el método de unión se utilizó la soldadura SMAW, con un electrodo E6013 a 125 [A], procurando que las piezas unidas estuvieran dos con los ángulos encontrados como se observa en la figura 168 y las otras dos boca abajo, esto con el fin que los tramos más largos funjan como carriles que se acoplaran a los carriles soldados previamente en la estructura del deshidratados mediante las ruedas que se colocaran en el carro, y los otros dos tramos que sirvan como manija para jalar con facilidad el ensamble que se colocara sobre dicho elemento.



*Fig. 169 Soldadura de los tramos de acero para el carrito*

Para la unión de la ruedas se optó por utilizar remaches 3.9 x 12.7 [mm] (5/32 x 1/2"), ya que dichos componentes no se planean retirar, en total se colocaron 8 ruedas, a 12.7 y 6.35 [mm] (5 y 2.5 [in]) de distancia del ángulo más cercano de cada lado, esto para brindar una mayor distribución de esfuerzos, ya que al ser una cantidad menor se puede provocar un falla mecánica en alguna de las ruedas, ya que el ensamble de todos los dispositivos tendrá como se comentó anteriormente unos 100 [Kg], también esto facilitará el rodamiento sobre el carril de dicho carro, esto se observa en las figuras 170 y 171.



*Fig. 170 Barrenado de los tramos con taladro de banco para la instalación de la llantas*





*Fig. 171 8 ruedas instaladas para el deslizamiento del carrito en los carriles de la estructura del deshidratador*

#### 5.7.4 Banco para carrito

Para dicha estructura se utilizaron dos tipo de tramos, el primero fue ángulo de acero al carbón de 50.8 [mm] (2 [in]), este funciona como la continuación de los carriles que están colocados en la estructura del deshidratador, el segundo fue PTR de acero inoxidable de 50.8 x 25.4 [mm] (2x1 [in]), esto ya que posee una mayor área superficial, lo cual es ideal para armar la base de todo el ensamble y tenga una buena estabilidad. Los tramos cortados se enlistan en la tabla 44.

*Tabla 44 Medidas de los tramos de acero para el banco*

Elemento	Valor	Unidad	Cantidad
Tramo Ancho	300	mm	2
Tramo Largo	500	mm	2
Tramo Alto	380	mm	4
Carril	600	mm	2

Para la unión de dichos tramos al ser todos de acero al carbón se ocupó de la técnica de soldadura SMAW, esto fue con un electrodo A6013 de 2.4 [mm] (3/32 [in]) a 75 [A], esto ya que el espesor del PTR es menor que el del ángulo y para evitar perforaciones y poder lograr los cordones de soldadura correctos se redujo el diámetro del electrodo y la corriente. Siendo el proceso el mostrado en las figuras 172 y 173.



*Fig. 172 Corte y soldado de los tramos para construir el banco*



*Fig. 173 Soldado de los tramos de acero para hacer el banco*

## 5.8 Instrumentación

La instrumentación del deshidratador fue elaborada por el Ingeniero electrónico Antonio Alpizar Torres, quien elaboro la tarjeta eléctrica y realizo la programación necesaria para poder instalar sensores de temperatura y humedad, también se contó con su colaboración en la instalación del arrancador del ventilador, dicha instrumentación se colocó en la estructura del deshidratador mediante tornillos autoperforantes a un costado de donde será colocada la tubería, y así poder realizar algún mantenimiento se es necesario, cabe mencionar que el ventilador puede variar sus revoluciones, dando así la posibilidad de obtener varios flujos de aire dentro de la cámara de deshidratado por si se necesita.

Los sensores fueron colocados según se mencionó en el capítulo 3.3.10, unos colocados dentro del deshidratador para medir las condiciones del aire y otros en la tubería para las condiciones del agua del proceso, tal como se ve de la figura 174 a la 177.



*Fig. 174 Panel de control del soplador y los sensores*



*Fig. 175 Vista frontal de la instrumentación*



*Fig. 176 Instrumentación instalada a la estructura del deshidratador*



*Fig. 177 Panel de control con los valores de humedad que otorgan los sensores*

## 5.9 Prototipo finalizado

Se muestra en su totalidad cual fue el resultado final de la manufactura del trabajo propuesto de la figura 178 a la 181.



*Fig. 178 DGA VERTICAL completo*



*Fig. 179 Vista frontal del DGA VERTICAL completo*



*Fig. 180 Vista lateral del DGA VERTICAL completo*



*Fig. 181 Vista frontal del DGA VERTICAL completo (puertas abiertas)*

## Capítulo 6 Puesta en marcha y pruebas experimentales

La puesta en marcha del equipo fue realizada en el edificio 8 del instituto de ingeniería, donde se encuentra el laboratorio de manufactura de grupo IDEA, dicho sitio cuenta con un boiler que simula el agua caliente obtenida del calor transferido por el recurso geotérmico en campo, este dispositivo cuenta con una potencia térmica de 4 [kW] por lo que no se podrá utilizar a su máxima capacidad el deshidratador diseñado a la largo de este trabajo (6 [kW]), sin embargo cumple con los requerimientos necesarios para poder realizar sin problema algunas corridas de deshidratado, para ello lo primero fue conectar el deshidratador en el sistema hidráulico para iniciar el deshidratador, la forma de conexión se explica en el DTI de la figura 182.

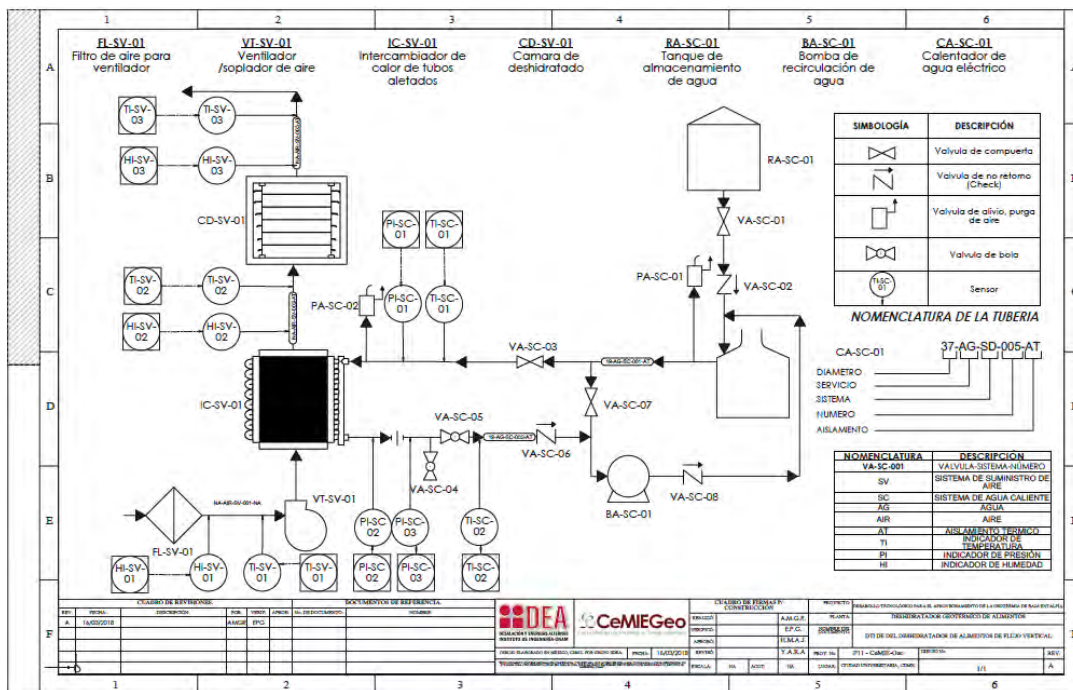


Fig. 182 DTI de instalación y proceso del DGA VERTICAL

Siguiendo el DTI se realizó la conexión hidráulica del deshidratador hacia el boiler, esto fue utilizando tuboplus de 19.05 [mm] (3/4") para la tubería donde corre el agua caliente, ya que la temperatura del proceso necesita estar a 80 [°C] por lo que un tubo convencional de PVC no serviría ya que su temperatura máxima de operación es de 70 [°C] por lo cual habría deformaciones en el tendido de tuberías, la unión de esta tubería se hizo mediante termofusión para asegurar de esta manera que no existiera fuga alguna; para la tubería que posee la instrumentación para el agua se utilizó tubería de cobre de 12.7 [mm] (1/2"), ya que los sensores que se requieren son para dicho tipo y tamaño de tubería, para unir dicha tubería se utilizó soldadura de estaño y un tanque de propano, siendo el ensamble el que se observa en las figuras 183 y 184.



*Fig. 183 Sistema hidráulico del DGA VERTICAL hacia el deshidratador*



*Fig. 184 Sistema hidráulico del DGA VERTICAL hacia el boiler*

Una vez terminadas las conexiones de tubería pertinentes el equipo está listo para iniciar el proceso, es importante antes de colocar algún tipo de fruta, realizar un proceso de limpieza tanto al personal dedicado al deshidratado, como a las instalaciones, la fruta y al equipo, por lo cual se debe seguir el protocolo de limpieza elaborado por la facultad de química para grupo IIDEA para las pruebas de deshidratado de jitomate (mostrado en los anexos).

## 6.1 Pruebas de deshidratado

Para dichas pruebas se utilizó jitomate Saladette ya que fue el fruto analizado en el trabajo “Estudio de la cinética de secado de alimentos hortofrutícolas mediante la teoría de Polanyi para un deshidratador de



bandejas”, lo que se hizo fue seguir todo el protocolo de limpieza establecido previamente para asegurar que el deshidratado se hiciera de la manera más limpia posible, como se muestra de la figura 185 a la 187.



*Fig. 185 Limpieza de lugar de trabajo y charolas según protocolo*



*Fig. 186 Lavado de jitomate según protocolo*



*Fig. 187 Lavado de deshidratador y sitio de deshidratado según protocolo*

Como se comentó a lo largo de este trabajo una de las grandes ventajas que presenta este diseño es la posibilidad de desmontarse casi por completo, esto es de mucho ayuda a la hora de la limpieza, ya que se puede realizar de una manera más precisa y en una posición más cómoda, teniendo en cuenta que la cámara de deshidratado al ser desmontadas las láminas perforadas queda prácticamente vacía y con mucho espacio para ingresar a realizar la limpieza, esto se observa en las figuras 188 y 189.



*Fig. 188 Desmontaje de componentes para facilidad de limpieza del deshidratador*



*Fig. 189 Limpieza de cámara de deshidratado con mayor espacio libre para movilidad*

Una vez limpio todo se procedió a prender los equipos y obtener las condiciones de operación, esto es una temperatura del agua proveniente del boiler de 80 [°C] con el fin de que el intercambiador de calor trabaje de manera adecuada y poder alcanzar así una temperatura en el aire a la entrada de la cámara de 60 [°C], gracias a los sensores instalados se pudieron registrar las temperaturas obtenidas dentro de la cámara lo cual resulto con unos datos muy interesantes ya que la temperatura del aire a la entrada de la cámara de deshidratado no era de 60 [°C] con una entrada de agua de 80 [°C], si no que la temperatura del aire era aun mayor con un valor de 75 [°C], esto es muy beneficioso para el proceso que se está manejando ya que las frutas como el plátano tienen temperatura de aire de deshidratado más elevadas, por lo cual el prototipo que se diseñó en este trabajo tendrá un rango de aplicación para muchos tipos de frutas, al tener la posibilidad de variar la temperatura del aire desde 75 [°C] hacia abajo.

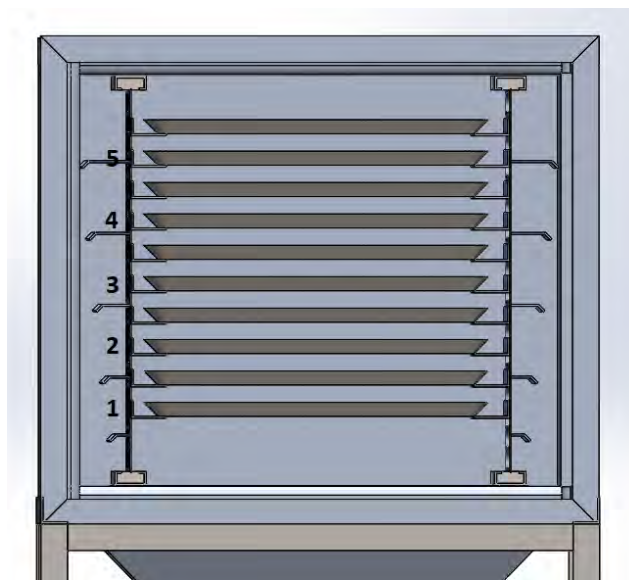
Para este caso en específico del jitomate y recordando los parámetros óptimos de deshidratado (Pérez González, Estudio de la cinética de secado de alimentos hortofrutícolas mediante la teoría de Polanyi para un deshidratador de bandejas, 2017), se buscó que el aire dentro de la cámara de deshidratado tuviera un valor cercano a 60-65 [°C] dicho rango de temperatura se hizo con motivo de poder mantener una temperatura promedio de 60, ya que como se mencionó anteriormente el boiler con el que se cuenta no es de la potencia térmica necesitada, por lo que el proceso podría variar un poco la temperatura de equilibrio del deshidratador, para ello se utilizó un termostato que tiene el boiler, bajando el agua de entrada al intercambiador a una temperatura de 74 [°C].

Para poder observar el proceso de deshidratado lo que se realizó fue pesar las charolas sin materia fresca, luego de ellos se le colocó una cantidad determinada a cada charola de producto fresco, después se colocaron en el deshidratador de alimentos, y cada media hora en un lapso de 5 horas se fueron registrando valores como la masa de la charola y los parámetros de los sensores colocados en el sistema, esto se hace con el fin de poder comparar las curvas de secado del DGA10 (Alpizar Torres, 2017), en el cual realizó la misma prueba para saber qué tan homogéneo era el deshidratado en la cámara de dicho dispositivo, y así poder concluir de buena manera si el funcionamiento del diseño de deshidratador presentado en este

trabajo ofrece mejores resultados a los obtenidos en el prototipo mencionado, el proceso es mostrado de la figura 190 a la 193.



*Fig. 190 Charolas con jitomate rebanado*



*Fig. 191 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA VERTICAL*



*Fig. 192 Charolas colocadas en los espigueros de la cámara de deshidratado*



*Fig. 193 Jitomate deshidratado después de 5 horas de proceso*

## 6.2 Resultados

Los datos se registraron de la tabla 45 a la 50.

### 6.2.1 Prueba 1

Tabla 45 Toma de datos de la prueba 1

Formato para Curva de secado DGA-FV											Peso de las charolas (g)					
FECHA		22/03/2018		Peso fresco (kg)	Peso Merma (g)	Peso seco (g)						1	2			
OPERADOR		Miguel										3	4			
PRODUCTO		Jitomate										5				
# PRUEBA		1														
HORA DE INICIO DE DESHIDRATADO		03:20 p. m.														
TIEMPO DE ESTABILIZACION																
ESPESOR DE REBANADA		4.5 mm		3	500	-										
Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)						
Encendido										1	2	3	4	5		
Estabilización																
0	0	27.3	65.6	42.6	50	-	-	73	70	2279	2440	2475	2440	2273		
1	30	26.7	65.9	44	50.8	10.5	24.7	74	72	2219	2353	2360	2360	2176		
2	60	26.6	65.8	45.2	51.3	10.7	25.1	74	72	2164	2265	2278	2281	2086		
3	90	26.7	65.9	45.5	51.5	9.9	22.6	74	72	2123	2199	2213	2220	2013		
4	120	26	65.6	47.1	51.8	10.3	21.1	74	72	2076	2134	2141	2160	1947		
5	150	25.7	65.9	49	51.7	10	18.3	74	72	2023	2069	2080	2096	1885		
6	180	25.9	66.1	50.6	53	10.4	16.3	74	72	1976	2025	2020	2049	1841		
7	210	25.9	65.8	53.1	50.4	9.9	14.1	74	72	1926	1994	1962	2008	1815		
8	240	25.4	65.8	55.7	53.2	10.5	12.3	75	72	1883	1978	1912	1986	1807		
9	270	24.8	65.7	56.9	55.7	10.5	12	74	72	1842	1970	1868	1975	1804		
10	300	25.1	66.3	58	55.7	10.2	11.2	74	72	1823	1970	1843	1972	1803		

De las cuales se obtuvieron las curvas de secado de cada charola, mediante la fórmula:

$$X = \frac{(M_{CPF} - M_C - M_{PS})}{M_{PS}}$$

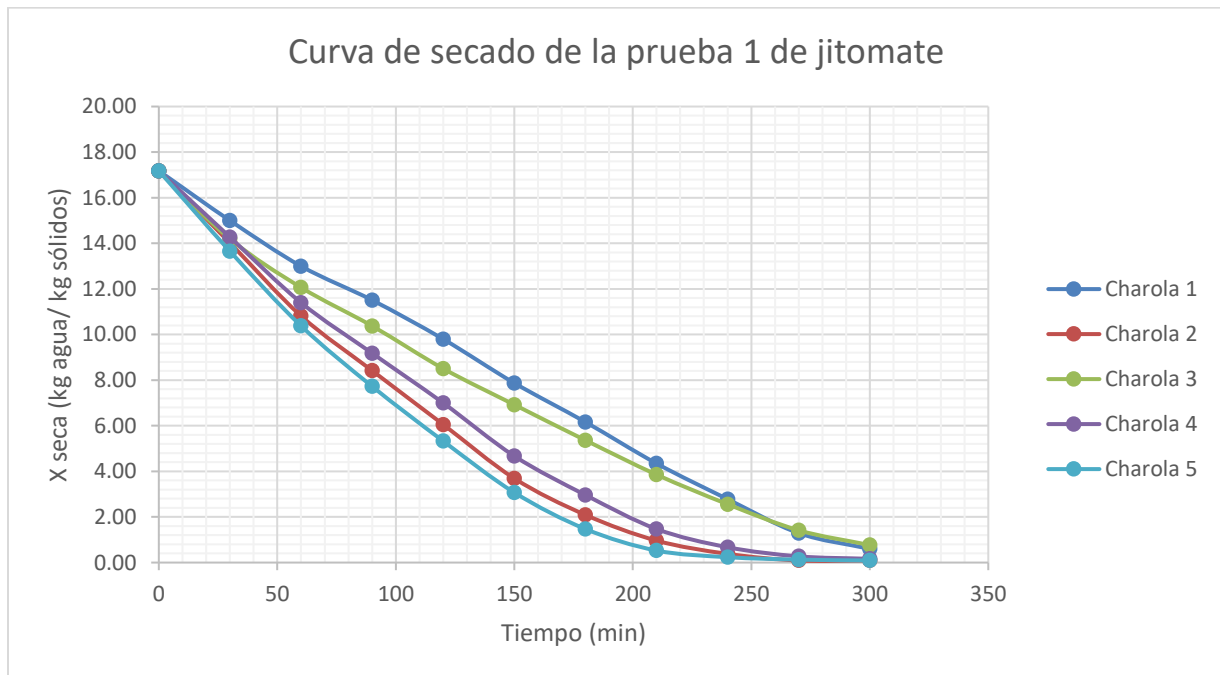
$M_{CPF}$  = Masa de charola y producto fresco

$M_C$  = Masa de charola

$M_{PS}$  = Masa de producto fresco

Tabla 46 Cantidad de masa seca por charola prueba 1

Materia de masa seca por charola						
Porcentaje de humedad	0.945					
Charola 1	28 [g]					
Charola 2	28 [g]					
Charola 3	39 [g]					
Charola 4	28 [g]					
Charola 5	28 [g]					
		X seca de cada charola				
		1	2	3	4	5
		17.18	17.18	17.18	17.18	17.18
		15.00	14.02	14.19	14.27	13.65
		13.00	10.82	12.06	11.40	10.38
		11.51	8.42	10.38	9.18	7.73
		9.80	6.05	8.51	7.00	5.33
		7.87	3.69	6.92	4.67	3.07
		6.16	2.09	5.36	2.96	1.47
		4.35	0.96	3.86	1.47	0.53
		2.78	0.38	2.56	0.67	0.24
		1.29	0.09	1.42	0.27	0.13
		0.60	0.09	0.77	0.16	0.09



Gráfica 1 Curva de secada de la prueba 1 de jitomate

## 6.2.2 Prueba 2

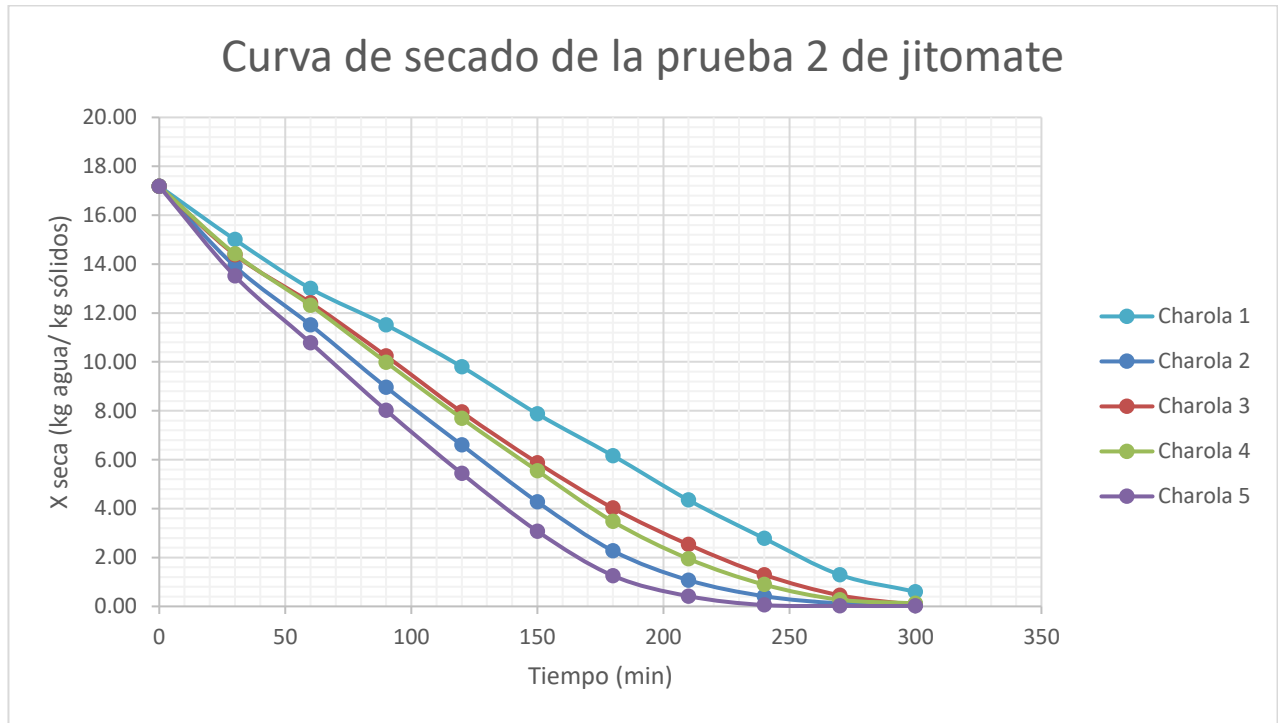
Tabla 47 Toma de datos de la prueba 2

Formato para Curva de secado DGA-FV										Peso de las charolas (g)				
FECHA OPERADOR PRODUCTO # PRUEBA HORA DE INICIO DE DESHIDRATADO TIEMPO DE ESTABILIZACION ESPESOR DE REBANADA	23/03/2018		Peso fresco (kg)	Peso MERMA [Kg] Merma (g)	Peso seco (g)	1		1779						
	Diego					2		1780						
	Jitomate Saladette		3		1778									
	2		4		1781									
	10:50 a. m.		5		1775									
	1 hora													
3 mm		3		500		156								
Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)				
Encendido	24	24	24	24	65	65	65	74	74					
Estabilización	25	66	60	60	11.2	11.3	73	72						
0	0	24.4	65.9	41.4	63.5	10.5	26.1	73	72	2279	2280	2278	2281	2275
1	30	24.7	65.9	45.6	62.7	11.1	23.9	74	72	2219	2190	2201	2205	2174
2	60	25.1	65.6	46	59.5	10.2	23.8	73	71	2174	2124	2147	2147	2099
3	90	25.7	65.8	45.9	56.8	10.1	23.2	73	71.5	2124	2054	2087	2083	2023
4	120	26	65.6	47.1	50.1	9.4	20.2	73	72	2075	1989	2024	2020	1952
5	150	26.6	66.1	49.2	45.8	9.7	16.1	73	71	2019	1925	1967	1961	1887
6	180	26.6	65.7	51.5	40.9	9	14.7	74	72.5	1964	1870	1916	1904	1837
7	210	27.3	65.8	54.2	39.4	8.8	11.6	73	72	1918	1837	1875	1862	1814
8	240	27.3	66	56.2	42	8.8	10.3	73	72	1872	1819	1841	1833	1804
9	270	27.7	66.1	57.9	41.3	9.2	9.7	73	72	1833	1811	1818	1816	1803
10	300	27.9	65.9	58.7	40.1	8.9	9.5	73	72	1815	1810	1807	1812	1803

Tabla 48 Cantidad de masa seca por charola prueba 2

Materia de masa seca por charola						
Porcentaje de humedad	0.945					
Charola 1	28 [g]					
Charola 2	28 [g]					
Charola 3	28 [g]					
Charola 4	28 [g]					
Charola 5	28 [g]					
		X seca de cada charola				
		1	2	3	4	5
		17.18	17.18	17.18	17.18	17.18
		15.00	13.91	14.38	14.42	13.51
		13.36	11.51	12.42	12.31	10.78
		11.55	8.96	10.24	9.98	8.02
		9.76	6.60	7.95	7.69	5.44
		7.73	4.27	5.87	5.55	3.07
		5.73	2.27	4.02	3.47	1.25
		4.05	1.07	2.53	1.95	0.42
		2.38	0.42	1.29	0.89	0.05
		0.96	0.13	0.45	0.27	0.02
		0.31	0.09	0.05	0.13	0.02





Gráfica 2 Curva de secada de la prueba 2 de jitomate

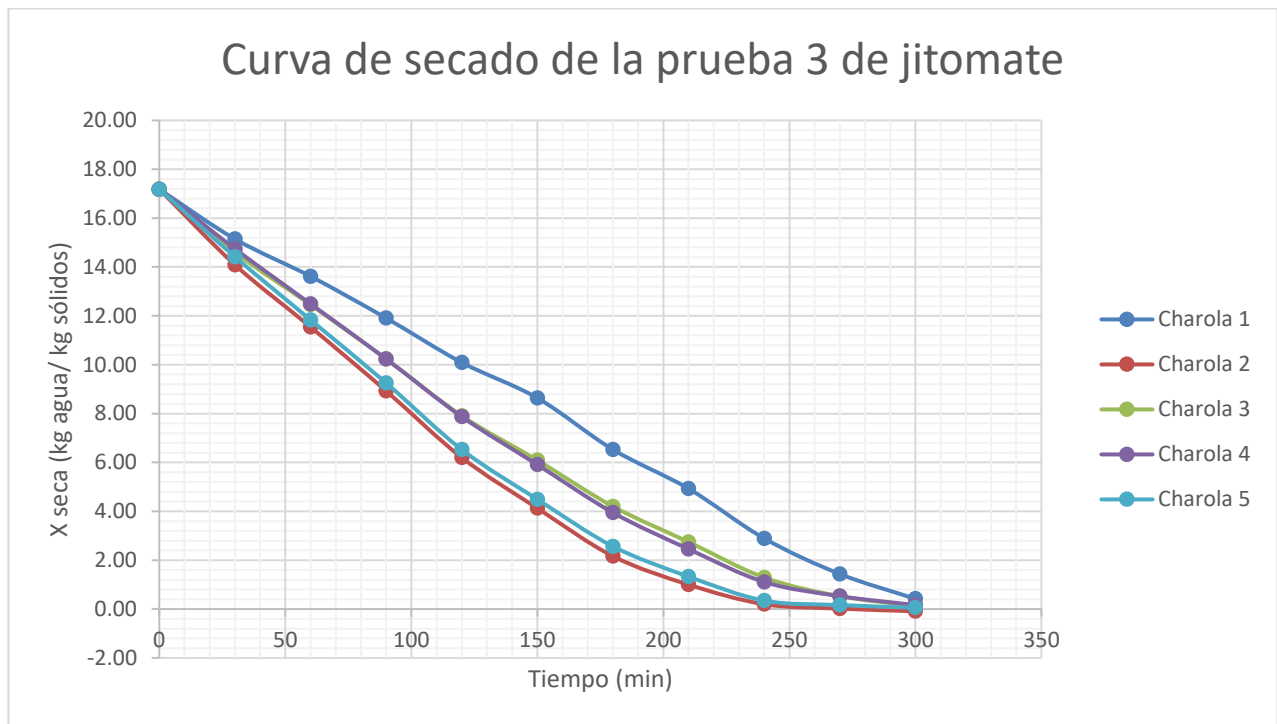
### 6.2.3 Prueba 3

Tabla 49 Toma de datos de la prueba 3

Formato para Curva de secado DGA-FV										Peso de las charolas (g)				
FECHA OPERADOR PRODUCTO # PRUEBA HORA DE INICIO DE DESHIDRATADO TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN ESPESOR DE REBANADA	10/04/2018	Peso fresco (kg)	Peso MERMA [Kg] Merma (g)	Peso seco (g)	1	1780								
	Diego				2	1781								
	Jitomate				3	1781								
	5				4	1773								
	9:30 a.m.				5	1776								
	50 minutos													
	4.5mm	2.965	428	126										
Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)				
Encendido		16.9	24.2	22.7	78.2	30.3	47.1	74	72					
Estabilización		22.5	66.4	56.4	65.7	10	11.8	72	71	1	2	3	4	5
0	0	21.6	66.3	46.9	71.9	10	17.5	73	71	2280	2281	2281	2273	2276
1	30	21.9	66.8	49.4	70.5	10.3	18	73	71	2224	2196	2210	2206	2200
2	60	21.9	67	49.4	71.5	10.2	17.1	74	72	2182	2126	2151	2144	2129
3	90	23.4	67.8	50.9	66.8	10.5	17.4	74	72	2135	2054	2090	2082	2058
4	120	25.1	67.5	51.6	61.4	10.4	16.7	74	72	2085	1979	2026	2017	1983
5	150	24.6	68.2	51.9	64.8	10.4	15	75	73	2045	1922	1976	1963	1927
6	180	25.1	68.1	53.2	64.1	10.1	15.1	75	73	1987	1868	1924	1909	1874
7	210	25.2	67.7	54.6	57.2	10.4	13.6	74	72	1943	1836	1884	1868	1840
8	240	25.7	68.1	56.7	57	9.4	12	74	72	1887	1814	1844	1831	1813
9	270	27.5	67.8	57.9	53.4	9.7	11.1	74	72	1847	1809	1823	1815	1808
10	300	27.8	67.8	58.9	52	9.9	11	74	72	1819	1806	1812	1805	1805

Tabla 50 Cantidad de masa seca por charola prueba 3

Materia de masa seca por charola						
Porcentaje de humedad	0.945					
Charola 1	28 [g]					
Charola 2	28 [g]					
Charola 3	28 [g]					
Charola 4	28 [g]					
Charola 5	28 [g]					
		X seca de cada charola				
		1	2	3	4	5
		17.18	17.18	17.18	17.18	17.18
		15.15	14.09	14.60	14.75	14.42
		13.62	11.55	12.45	12.49	11.84
		11.91	8.93	10.24	10.24	9.25
		10.09	6.20	7.91	7.87	6.53
		8.64	4.13	6.09	5.91	4.49
		6.53	2.16	4.20	3.95	2.56
		4.93	1.00	2.75	2.45	1.33
		2.89	0.20	1.29	1.11	0.35
		1.44	0.02	0.53	0.53	0.16
		0.42	-0.09	0.13	0.16	0.05



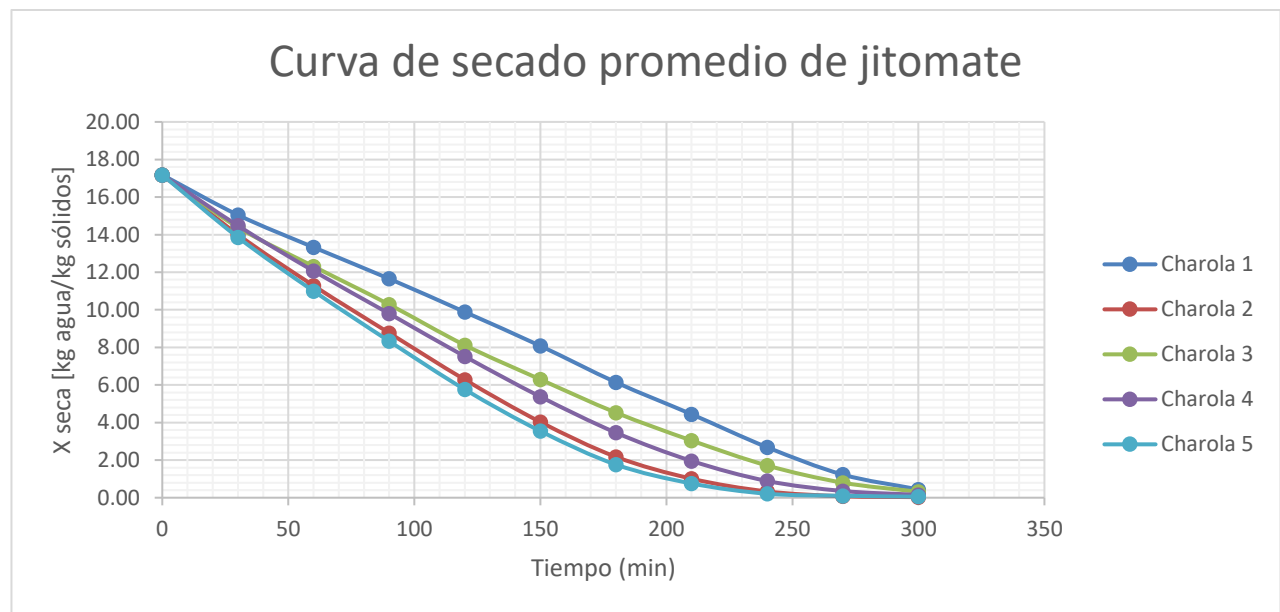
Gráfica 3 Curva de secada de la prueba 3 de jitomate

### 6.2.4 Promedio de las pruebas anteriores

Cabe recalcar que estas pruebas se realizaron 3 veces, con la intención de obtener valores promedio para otorgar resultados más confiables, los resultados promedio y las curvas fueron las que se muestran en la gráfica 4 y la tabla 51.

Tabla 51 Cantidad de masa seca por charola Promedio

Toma	Tiempo (min)	X seca de cada charola (promedio) [kg agua/kg sólidos]				
0	0	17.18	17.18	17.18	17.18	17.18
1	30	15.05	14.01	14.39	14.48	13.86
2	60	13.33	11.29	12.31	12.07	11.00
3	90	11.65	8.77	10.28	9.80	8.33
4	120	9.88	6.28	8.12	7.52	5.76
5	150	8.08	4.03	6.30	5.38	3.55
6	180	6.14	2.18	4.53	3.46	1.76
7	210	4.44	1.01	3.04	1.96	0.76
8	240	2.68	0.33	1.71	0.89	0.21
9	270	1.23	0.08	0.80	0.36	0.10
10	300	0.44	0.03	0.32	0.15	0.05



Gráfica 4 Curva de secado promedio de jitomate

### 6.3 Análisis de resultados

Para analizar de una manera correcta los resultados obtenidos en el apartado anterior se debe observar las curvas de secado en el DGA10 (Alpizar Torres, 2017), las cuales se pueden observar en la gráfica 5.

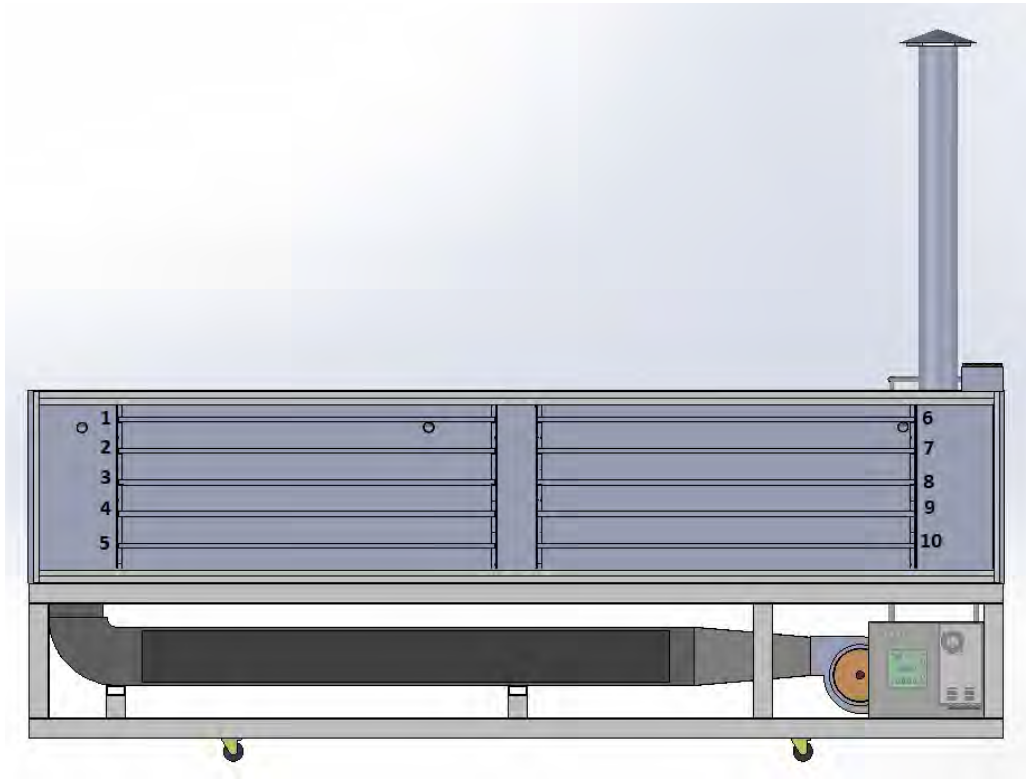
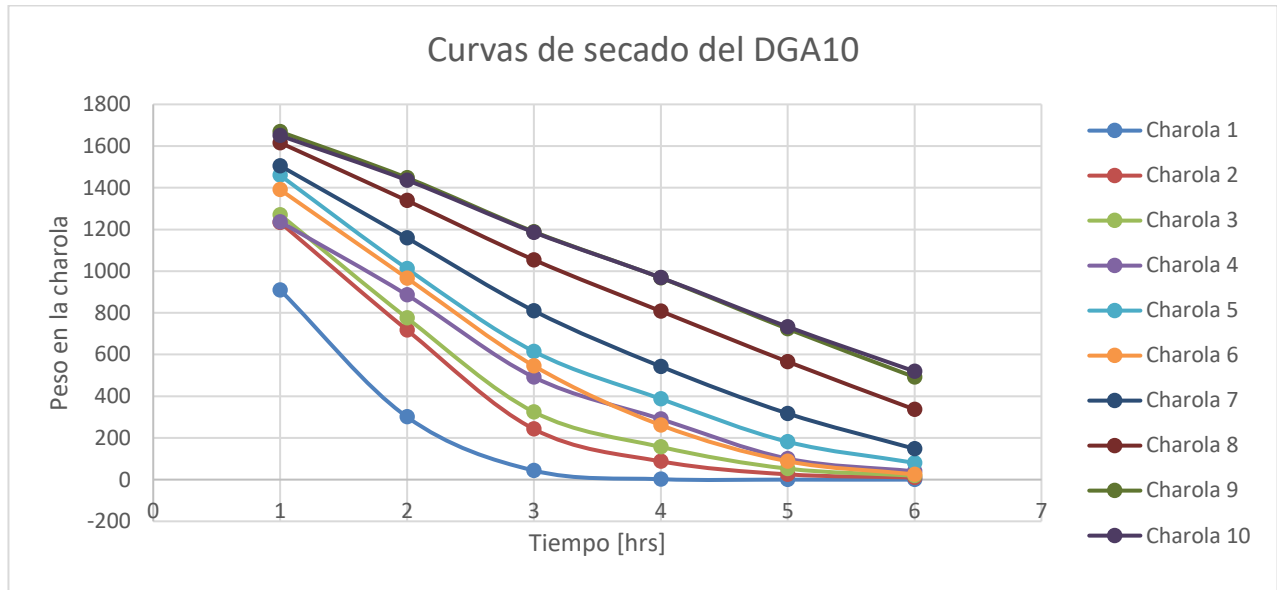


Fig. 194 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA10

Tabla 52 Toma de datos de las pruebas experimentales realizadas en el DGA10

charola	horas					
	1	2	3	4	5	6
1	909.399363	300.671491	43.5690358	1.97893272	0	0
2	1233.29895	717.618588	242.455965	87.7518546	25.1335244	10.3997996
3	1270.54446	775.174125	324.498857	156.892352	52.6038602	19.0825592
4	1236.88429	885.612181	491.327163	290.600245	100.626555	39.6915974
5	1459.54453	1011.86847	614.736485	387.288166	181.501592	80.4134505
6	1390.7486	966.372433	545.686493	261.538972	88.0982781	25.36441
7	1505.24238	1159.35952	809.717053	542.785711	317.209928	148.028092
8	1615.75744	1338.44762	1054.20506	808.092594	565.446503	336.665904
9	1668.69647	1447.5975	1189.08179	967.982829	723.073208	491.769676
10	1649.98732	1436.20836	1186.19568	968.793345	733.274152	519.495192



Gráfica 5 Curvas de secado del DGA10

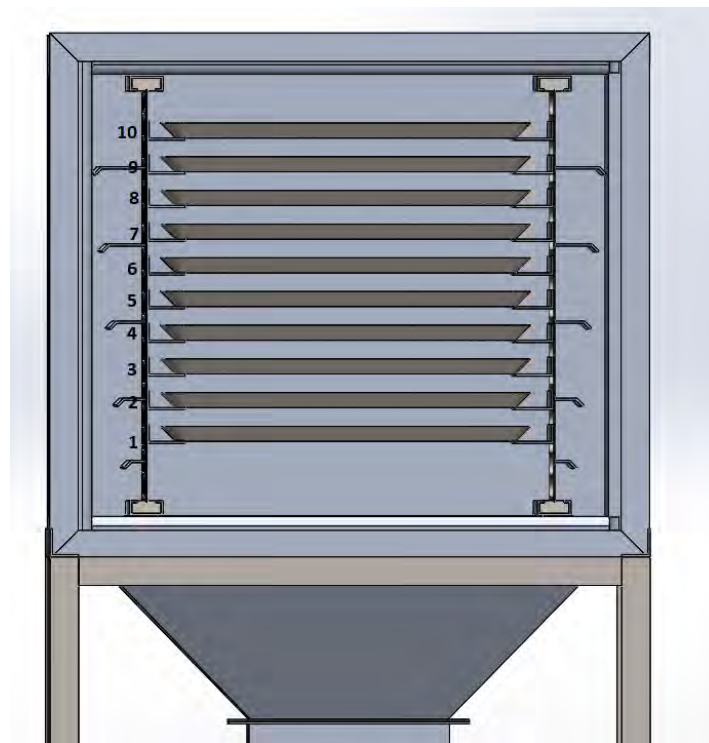
Como se puede observar en un periodo de secado similar se pueden inferir que las curvas en el deshidratador propuesto en este trabajo tienen mayor homogeneidad, ya que las 5 charolas colocadas llegan a un punto de deshidratado óptimo casi al mismo tiempo, teniendo solo una diferencia de 30 min, ya que en las charolas 2,4 y 5 se presenta un proceso más eficiente, ya que su curva de secado empieza a ser constante a las 4:30 [horas] y se podría decir que a las 5:00 [horas] el proceso en dichas charolas ha finalizado, mientras que en las charolas 1 y 3 se llega a al punto donde la curva debería empezar constante hasta las 5 [horas], pudiendo extenderse el proceso una media hora más, pero finalmente teniendo una diferencia entre sí muy corta de tiempo, a diferencia del DGA10 en el cual las charolas 6,7,8,9 y 10 al haber pasado hasta 6 [horas] de proceso aun no llega ni al tiempo de secado en la cual la curva empieza a tener un comportamiento constante por lo que el proceso de deshidratado puede llegar a tomar muchas más horas en esta zona que en las demás de la cámara de deshidratado, las charolas 2,3,4,5, tienen un comportamiento más similar entre ellas pero presentando su comportamiento constante casi hasta las 6 horas, la última charola es la 1 que es la que se encuentra en la entrada de aire caliente del DGA10, por lo que recibe la mayor cantidad de calor y por ellos pierde masa más rápidamente, sin embargo esto en lugar de ser beneficioso puede llegar a ser contraproducente, ya que si la velocidad de secado es muy rápida pueden perderse propiedades del alimento que las hacen óptimas para el consumo.

## 6.4 Pruebas extra de deshidratado

Al tener el equipo funcionando de una manera óptima se realizaron más pruebas de deshidratado para observar el comportamiento del mismo utilizando diferentes frutas, y cargas diferentes, esto para poder ir determinando curvas de secado de más alimentos y poder tener un catálogo más amplio de aplicación.

### 6.4.1 Prueba con capacidad neta de papaya

Para realizar una comparativa más equitativa en cuestión de número de charolas se realizaron prueba con la carga completa (10 charolas) en el DGA vertical, y así de esta manera poder asegurar que en toda la cámara el flujo es más homogéneo que en la de su predecesor el DGA10.



*Fig. 195 Ubicación de las charolas según numeración dentro de la cámara de deshidratado del DGA VERTICAL*



*Fig. 196 Charolas con papaya rebanada*



*Fig. 197 Papaya deshidratada embolsada*

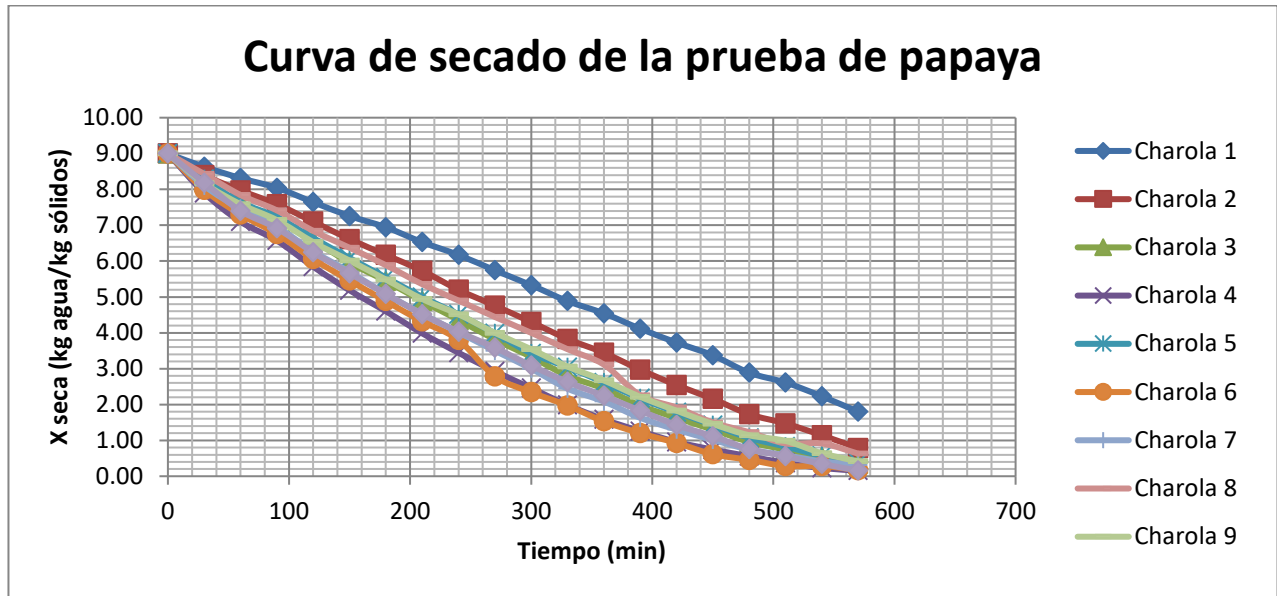
Tabla 53 Toma de datos de la prueba extra de papaya

Formato para Curva de secado DGA-FV										Peso de las charolas (g)									
FECHA OPERADOR PRODUCTO # PRUEBA HORA DE INICIO DE DESHIDRATADO TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN ESPESOR DE REBANADA	17/04/2018			Peso fresco (kg)	Peso Merma (g)	Peso seco (g)	1				2				3				
	Miguel						1782				1785				1781				
	Papaya						6				7				8				
	1						1780				9				1948				
	10.00 am						5												
	75 minutos																		
6 mm			7																
Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)									
Encendido		18.2	25.1	23.3	76.2	29.4	40.2	74	72										
Estabilización		20.3	66.5	60.3	71.5	9.8	10.7	74	72	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	21.9	67.8	43.2	66.6	10.8	22.8	74	72	2482	2485	2481	2480	2482	2648	2711	2641	2640	2648
1	30	21.6	68.4	44.9	66.4	9.8	22.6	74	72	2456	2443	2425	2403	2432	2577	2648	2601	2582	2591
2	60	21.8	68.3	43	66.2	10.8	30.2	74	72	2434	2413	2386	2347	2387	2529	2603	2560	2541	2536
3	90	22.1	68.8	44.4	62	10.3	25.2	74	72	2415	2386	2352	2310	2358	2491	2568	2530	2510	2502
4	120	22.7	69.1	45.2	59.7	9.8	24.4	74	72	2387	2352	2311	2259	2317	2442	2520	2490	2467	2455
5	150	22.9	69.6	46.4	60.4	10.3	23.8	76	74	2360	2318	2268	2213	2278	2400	2480	2457	2431	2414
6	180	23.8	69.2	47.1	53.1	9.6	20.5	76	74	2338	2287	2232	2172	2240	2360	2437	2423	2394	2374
7	210	23.5	69.6	48	54.5	9.3	19.6	76	74	2309	2256	2193	2129	2202	2320	2398	2386	2356	2334
8	240	24.1	69.8	48.4	50.1	8.6	18.6	76	74	2284	2219	2156	2091	2168	2284	2362	2354	2326	2300
9	270	25	69.3	49.6	49	8.9	17.8	76	74	2254	2188	2118	2055	2131	2248	2326	2322	2290	2269
10	300	23.4	69.5	49.5	52.1	9.6	18.5	76	74	2225	2156	2084	2022	2092	2213	2291	2291	2258	2234
11	330	24.3	69.6	49.9	49.2	8.7	17.3	76	74	2194	2123	2047	1989	2065	2182	2252	2259	2224	2202
12	360	24.5	69.8	50.4	48.8	8.4	15.7	76	74	2170	2096	2022	1961	2035	2156	2227	2229	2197	2175
13	390	24.2	69.5	52.2	46.9	8.7	14.4	76	74	2140	2063	1989	1938	2004	2125	2195	2198	2165	2146
14	420	24.1	69.7	51.6	49.7	8.9	15.9	76	74	2113	2033	1965	1917	1977	2102	2172	2169	2138	2118
15	450	24.7	69.8	52.9	46.5	8.2	14.1	76	74	2088	2006	1942	1902	1952	2083	2152	2145	2112	2096
16	480	24.5	69.6	53.5	48.5	8.9	13.9	76	74	2054	1976	1918	1889	1927	2061	2133	2116	2090	2071
17	510	24.1	69.4	54	51.3	9.6	14.3	76	74	2035	1958	1903	1876	1910	2050	2122	2097	2079	2057
18	540	24.8	69.9	55.2	50.4	9.1	13.7	76	74	2008	1935	1889	1866	1892	2038	2110	2075	2055	2042
19	570	24.1	69.3	56.1	49.4	9.4	12.2	76	74	1978	1910	1875	1861	1879	2030	2103	2055	2039	2029
20	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 54 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de papaya

Toma	Tiempo (min)	Contenido de humedad en base seca X (kg agua/kg sólidos)									
		X seca de cada charola									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
1	30	8.63	8.40	8.20	7.90	8.29	7.99	8.10	8.43	8.17	8.19
2	60	8.31	7.97	7.64	7.10	7.64	7.30	7.46	7.84	7.59	7.40
3	90	8.04	7.59	7.16	6.57	7.23	6.76	6.96	7.41	7.14	6.91
4	120	7.64	7.10	6.57	5.84	6.64	6.06	6.27	6.84	6.53	6.24
5	150	7.26	6.61	5.96	5.19	6.09	5.46	5.70	6.37	6.01	5.66
6	180	6.94	6.17	5.44	4.60	5.54	4.89	5.09	5.89	5.49	5.09
7	210	6.53	5.73	4.89	3.99	5.00	4.31	4.53	5.36	4.94	4.51
8	240	6.17	5.20	4.36	3.44	4.51	3.80	4.01	4.90	4.51	4.03
9	270	5.74	4.76	3.81	2.93	3.99	2.79	3.50	4.44	4.00	3.59
10	300	5.33	4.30	3.33	2.46	3.43	2.34	3.00	4.00	3.54	3.09
11	330	4.89	3.83	2.80	1.99	3.04	1.97	2.44	3.54	3.06	2.63
12	360	4.54	3.44	2.44	1.59	2.61	1.53	2.09	3.11	2.67	2.24
13	390	4.11	2.97	1.97	1.26	2.17	1.20	1.63	2.26	2.21	1.83
14	420	3.73	2.54	1.63	0.96	1.79	0.93	1.30	1.91	1.83	1.43
15	450	3.37	2.16	1.30	0.74	1.43	0.61	1.01	1.50	1.46	1.11
16	480	2.89	1.73	0.96	0.56	1.07	0.46	0.74	1.23	1.14	0.76
17	510	2.61	1.47	0.74	0.37	0.83	0.29	0.59	0.91	0.99	0.56
18	540	2.23	1.14	0.54	0.23	0.57	0.29	0.41	0.91	0.64	0.34
19	570	1.80	0.79	0.34	0.16	0.39	0.17	0.31	0.63	0.41	0.16
20	600										





Gráfica 6 Curva de secado de la prueba extra de papaya

Como se pudo observar en la prueba con capacidad neta de papaya, las charolas 1 y 2 son las menos homogéneas con respecto de las otras 8 charolas, esto es porque se tuvo un error en la manufactura teniendo un espacio más pequeño en la entrada de aire de la cámara de deshidratado, por lo que el baffle colocado para las primeras charolas no es muy útil, se propone corregir dicho error para poder utilizar en su totalidad la cámara de deshidratado.

#### 6.4.2 Prueba con capacidad neta de mango

Por los motivos antes expuestos en esta prueba solo se utilizaron 8 charolas, omitiendo los espacios de la parte inferior.



Fig. 198 Charolas con mango rebanado



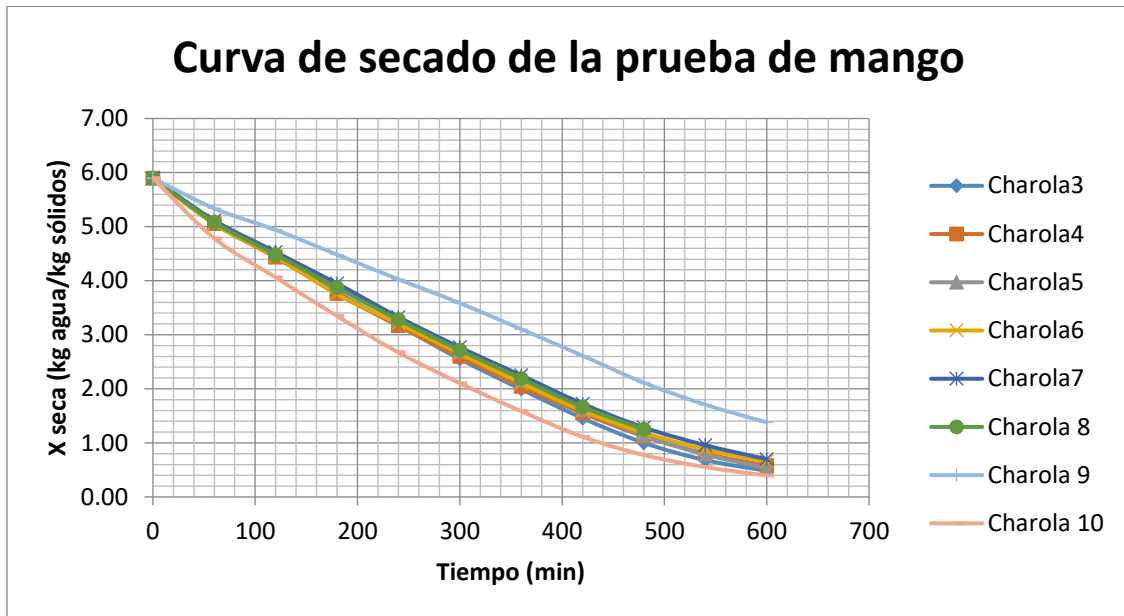
Fig. 199 Mango deshidratado embolsado

Tabla 55 Toma de datos de la prueba extra de mango

Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)									
										3	4	5	6	7	8	9	10		
Encendido		15.1	46.1	19.2	52.6	14.4	41	76	75										
Estabilización	0	21.8	67.7	43.2	53.8	9.6	37.2	76	74	2591	2595	2589	2593	2755	2756	2829	2755		
	1	22.6	68.2	48	53.1	9.1	19.9	76	74	2498	2497	2498	2495	2664	2661	2764	2626		
	2	23.9	68.4	48.6	49.8	9.2	18.4	76	74	2424	2425	2431	2425	2596	2592	2718	2542		
	3	23.3	68.7	49.4	48.5	8.9	17.3	76	74	2346	2347	2356	2344	2529	2521	2665	2459		
	4	24.1	67.8	49	41.7	8	16.3	76	74	2275	2278	2286	2281	2457	2452	2612	2381		
	5	25.4	68.2	50.7	40.1	8.4	14.9	76	74	2203	2212	2218	2217	2392	2387	2561	2315		
	6	26.2	68.3	52.6	41.3	8.7	14.1	76	74	2138	2148	2154	2153	2332	2326	2505	2255		
	7	25.4	68.2	53.5	41.5	8.5	13.3	76	74	2076	2091	2092	2094	2271	2265	2448	2200		
	8	25.2	68.4	55	41.6	8	12.5	76	74	2023	2041	2037	2047	2220	2217	2390	2161		
	9	25.2	68.7	56	41.6	8.4	11.5	76	74	1986	2004	1996	2011	2182	2180	2343	2135		
	10	24.6	67.8	56	43	8.4	11	76	74	1963	1978	1967	1985	2152	2153	2305	2117		

Tabla 56 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de mango

Toma	Tiempo (min)	Contenido de humedad en base seca X (kg agua/kg sólidos)									
		X seca de cada charola									
		3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	
1	60	5.09	5.05	5.11	5.05	5.11	5.08	5.34	4.78		
2	120	4.46	4.43	4.53	4.45	4.53	4.48	4.94	4.06		
3	180	3.78	3.76	3.89	3.75	3.95	3.87	4.48	3.34		
4	240	3.17	3.16	3.28	3.21	3.33	3.28	4.03	2.67		
5	300	2.55	2.59	2.70	2.66	2.77	2.72	3.59	2.10		
6	360	1.99	2.04	2.15	2.10	2.25	2.19	3.10	1.59		
7	420	1.46	1.55	1.61	1.59	1.72	1.66	2.61	1.11		
8	480	1.00	1.12	1.14	1.19	1.28	1.25	2.11	0.78		
9	540	0.68	0.80	0.78	0.88	0.96	0.93	1.71	0.55		
10	600	0.48	0.58	0.53	0.66	0.70	0.70	1.38	0.40		



Gráfica 7 Curva de secado de la prueba extra de mango

#### 6.4.3 Prueba con capacidad neta de zanahoria



Fig. 200 Charolas de acero con zanahoria rebanada



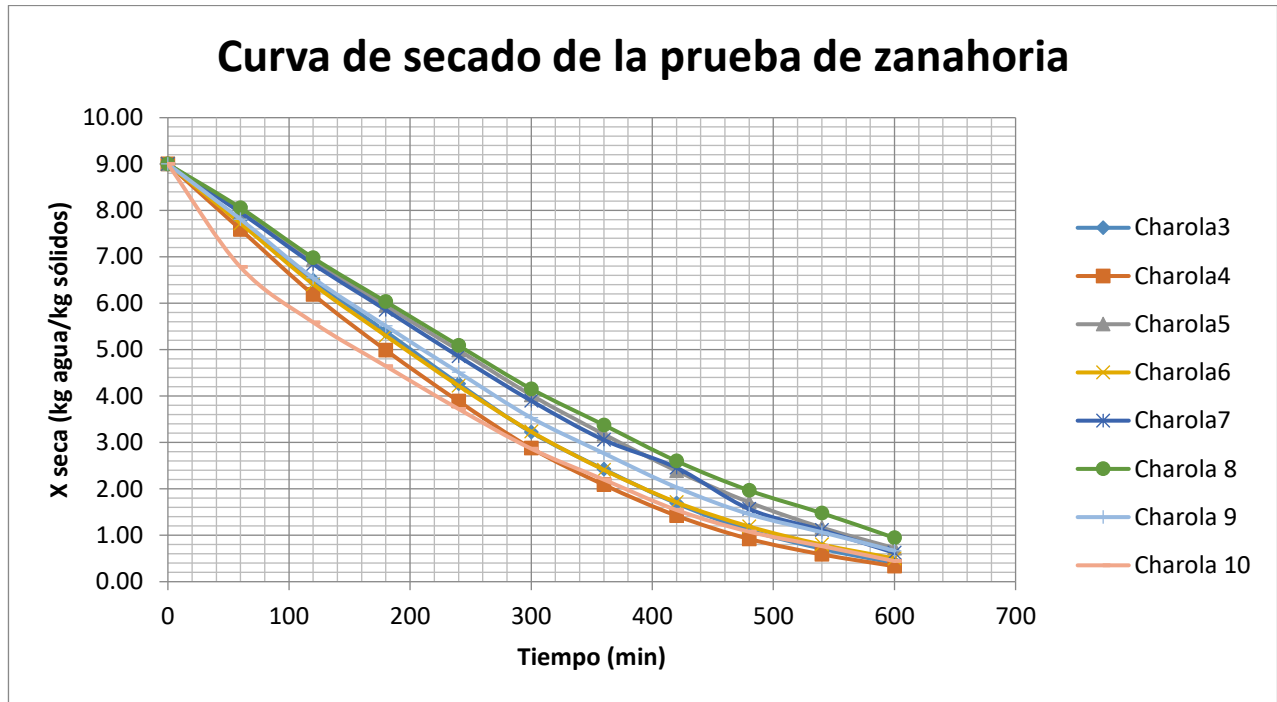
Fig. 201 Zanahoria deshidratada embolsada

Tabla 57 Toma de datos de la prueba extra de zanahoria

Toma	Tiempo (min)	TI-SV-01 (°C)	TI-SV-02 (°C)	TI-SV-03 (°C)	HI-SV-01 (%)	HI-SV-02 (%)	HI-SV-03 (%)	TI-SC-01 (°C)	TI-SC-02 (°C)	Peso de las charolas con producto (g)								
										3	4	5	6	7	8	9	10	
Encendido		17.2	38.1															
Estabilización		22.2	68.7	60.9	71.7	10.5	12.5	74	74									
0	0	22.2	68.5	44.7	78.4	11.5	27.1	74	72	2682	2683	2676	2682	2848	2844	2913	2841	
1	60	23.2	67.4	46.2	72.5	11	25.9	74	72	2573	2556	2586	2567	2754	2759	2806	2641	
2	120	23.6	68.7	47.2	67.4	11.2	25.2	74	72	2457	2430	2490	2449	2654	2662	2692	2534	
3	180	24.5	68.6	48.2	62.8	11.1	22.2	74	72	2357	2322	2401	2349	2565	2577	2599	2449	
4	240	24.5	68.6	49.2	59.8	10.6	20.8	74	72	2256	2223	2315	2252	2475	2492	2509	2366	
5	300	24.9	68.8	50.4	58	10.3	19.3	74	72	2162	2132	2228	2163	2389	2408	2421	2289	
6	360	24.9	68.6	51.2	60.5	10.3	18	74	72	2090	2061	2152	2089	2313	2338	2352	2229	
7	420	24.7	68.1	52.5	61.2	11	16.8	74	72	2024	2001	2081	2026	2259	2268	2286	2170	
8	480	25.6	68.3	54	58.8	10.3	16	74	72	1972	1956	2020	1979	2179	2211	2234	2128	
9	540	26.4	68.6	54.6	56.2	10.3	15.3	74	72	1936	1926	1971	1944	2138	2167	2199	2100	
10	600	23.4	68.8	56.4	78	11.7	15.6	76	74	1908	1903	1931	1917	2094	2119	2163	2071	

Tabla 58 Cantidad de masa seca por charola de la prueba extra de zanahoria

Toma	Tiempo (min)	Contenido de humedad en base seca X (kg agua/kg sólidos)									
		X seca de cada charola									
		3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
1	60	7.79	7.59	8.00	7.72	7.96	8.06	7.81	6.78		
2	120	6.50	6.19	6.93	6.41	6.84	6.98	6.54	5.59		
3	180	5.39	4.99	5.94	5.30	5.86	6.03	5.51	4.64		
4	240	4.27	3.89	4.99	4.22	4.86	5.09	4.51	3.72		
5	300	3.22	2.88	4.02	3.23	3.90	4.16	3.53	2.87		
6	360	2.42	2.09	3.18	2.41	3.06	3.38	2.77	2.20		
7	420	1.69	1.42	2.39	1.71	2.46	2.60	2.03	1.54		
8	480	1.11	0.92	1.71	1.19	1.57	1.97	1.46	1.08		
9	540	0.71	0.59	1.17	0.80	1.11	1.48	1.07	0.77		
10	600	0.40	0.33	0.72	0.50	0.62	0.94	0.67	0.44		



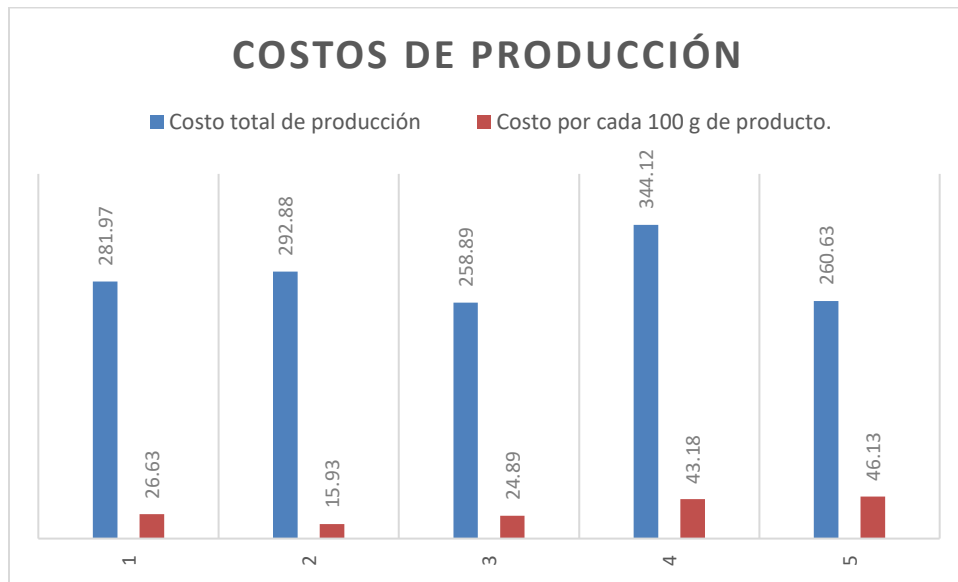
Gráfica 8 Curva de secado de la prueba extra de zanahoria

#### 6.4.4 Costo aproximado de producto deshidratado

En las pruebas extra de deshidratado, se realizó un pequeño estudio de lo que cuesta producir 100 [g] de producto deshidratado, considerando la materia prima utilizada, los insumos (jabón, cloro, bolsas, agua, etc.), la energía utilizada para la bomba y el soplador, así como la del calentador que se usó como simulador de la fuente geotérmica, cabe esclarecer que este cálculo no fue tan minucioso ya que faltan considerar algunos aspectos que pudieran subir el costo del producto final, como es el costo de personal para operación del equipo, y también factores que pueden reducir dicho precio, como es el uso de la energía geotérmica y el costo de la fruta utilizada, ya que se pretende utilizar los sobrantes de producción de los agricultores o centrales de abastos, y para estas pruebas la materia prima fue comprada en un centro comercial.

Tabla 59 Pruebas de deshidratado extra

Papaya 1	1
Mango 1	2
Mango 2	3
Zanahoria	4
Papaya 2	5



Gráfica 9 Comparación de costos totales de producción contra costo del producto deshidratado

Dicho análisis se muestra con mayor precisión en las pruebas en un documentos realizado por grupo iIDEA el cual tiene por nombre “Caracterización del equipo DGA PLUS mediante pruebas de deshidratado” (Aguilar Samaniego, Garduño Rodríguez, & González Marín, 2018).

Es importante comparar dichos valores de producción con los costos que se tienen en el mercado, para de esta manera llegar a la conclusión si este tipo de proyectos son rentables en el mercado, realizando una búsqueda rápida en internet, se puede observar que el precio del kilo de mango deshidratado es de \$255 (Mercado libre, <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-549926202-mango-deshidratado-natural-1-kg- JM>, 04/05/2018) lo que comparándolo con el precio 3 (segunda prueba de mango) que tendría un costo por kilo de \$248.9, lo que a primera vista nos dice que es un costo muy similar, recordando que el precio que se ha calculado para el deshidratador no contempla todas las variables, es decir, puede bajar o subir dicho costo, pero al obtener un valor cercano se puede decir que el producto será rentable para su comercialización.

Es de vital importancia dejar en claro que este trabajo es un prototipo, por lo que su producción no es muy grande, por lo que si se desea realizar un negocio con dicha tecnología se deberá escalar a un nivel semi-industrial o industrial, para que de esta forma los costos se aminoren y tengan una mayor rentabilidad el proyecto.

#### 6.4.5 Uso de cámara termográfica para visualización de proceso

Para realizar un análisis extra en la cámara de deshidratado se contó con la ayuda de una cámara termográfica, la cual permite observar si existe alguna fuga de aire dentro de la cámara, observar a que temperatura se encuentra el sistema hidráulico y el intercambiador de calor; lo más importante es el poder observar cómo se desarrolla el proceso de deshidratado dentro de la cámara, y como la fruta colocada paulatinamente alcanza un equilibrio térmico con el entorno.



Fig. 202 Captura termográfica del DGA VERTICAL

Se puede observar que no existen fugas importantes de aire caliente hacia el ambiente desde la cámara de deshidratado en la figura 202, sin embargo existen pequeñas fugas en la parte inferior de la cámara, las cuales se pueden arreglar haciendo un poco más grande los sellos que se utilizaron para el cierre hermético de las puertas.

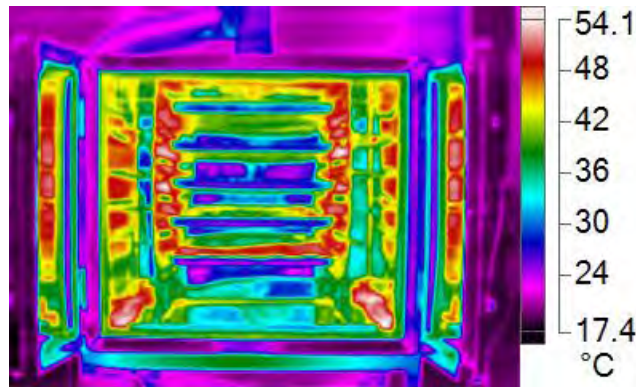


Fig. 203 Captura termográfica de la cámara de deshidratado abierta al inicio del proceso

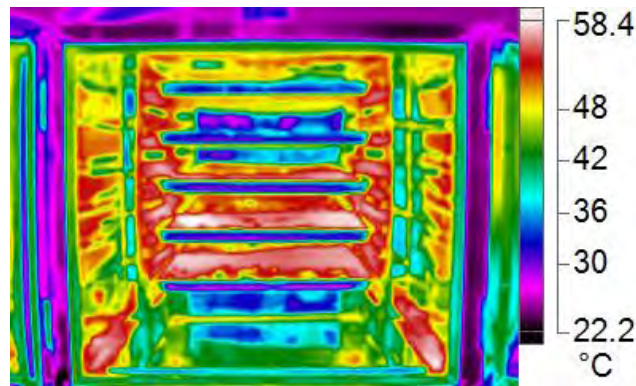


Fig. 204 Captura termográfica de la cámara de deshidratado abierta a 5 horas del proceso

Claramente se nota en las figuras 203 y 204 el aumento de la temperatura dentro de la cámara a 5 horas de iniciar el proceso de deshidratado, esto porque se empieza a alcanzar un equilibrio térmico en toda la cámara, recordando que el aire caliente esta aproximadamente a 60 [°C], lo cual también significa que falta un poco de tiempo para que el proceso de deshidratado sea finalizado con éxito.

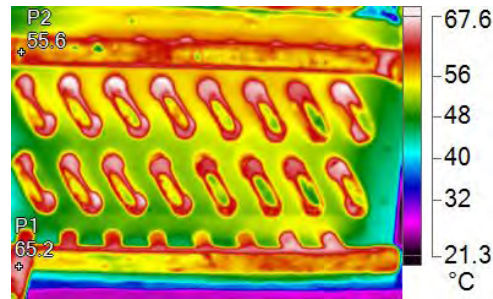


Fig. 205 Captura termográfica del ICTA

Como se esperaba en la figura 205 se logra observar como en la parte superior derecha existe la mayor temperatura, ya que esta es la entrada del intercambiador de calor, y por ende, la parte inferior izquierda es la que presenta el valor mínimo de temperatura, ya que en este punto es donde sale el agua caliente después de haber realizado el intercambio de calor con el aire del soplador.

CHAROLA 2

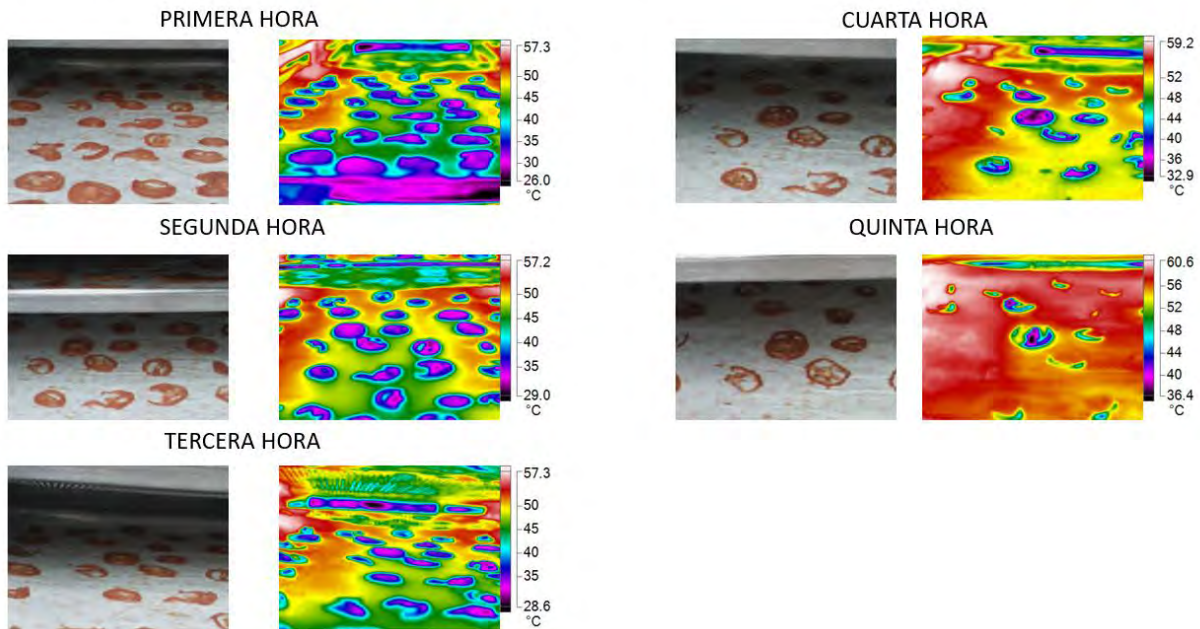


Fig. 206 Captura termográfica del proceso de deshidratado en una charola con jitomate

Finalmente se muestran imágenes en la figura 206 que enseñan como varia la temperatura del jitomate dentro de la cámara de deshidratado conforme pasa el tiempo, en la primera hora se ve un jitomate de una



tonalidad lila, lo cual dice que su temperatura está por debajo del aire caliente que está rozándola, en cambio después de tres horas se nota como la fruta empieza a tornarse de un color más anaranjado, es decir, empieza a reducir la masa “fría” que contiene y a llegar un equilibrio con el ambiente, por último al haber pasado 5 horas se logra visualizar que el jitomate está casi totalmente en equilibrio con la cámara de deshidratado, lo cual se puede interpretar como que el intercambio de calor y masa está llegando a su punto crítico en el cual se estabiliza y todo dentro de dicha cámara se encuentra a una temperatura uniforme.

## Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones

A lo largo de este trabajo se pretendió realizar el correcto diseño para un deshidratador geotérmico de alimentos que pudiese funcionar de una manera más eficiente que el prototipo realizado en grupo IIDEA anteriormente, tratando de mejorar principalmente la homogeneidad en la cámara de deshidratado y tener un mejor registro de su diseño y construcción, dadas todas las pruebas experimentales que se han logrado hacer se puede concluir que el diseño realizado fue hecho con éxito, ya que se puede notar una gran mejoría en la homogeneidad del aire dentro de la cámara, y una facilidad de realizar mantenimientos y limpieza del prototipo, así como una reducción en los tiempos de proceso, logrando un equipo mucho más eficiente de lo esperado.

Es importante mencionar que el revisar las normas que rigen este tipo de dispositivos es muy útil para diseñar de una mejor manera, ya que se puede decir que dichas normas guían al usuario a cómo realizar un equipo eficiente y seguro. Aunque en México no existen normas exclusivas para deshidratadores de alimentos se pueden utilizar normas generales de equipo alimenticio, en este caso particular el prototipo se apoyó de la normativa europea, esto ya que no existe una diferencia muy grande entre las especificaciones que se solicitan en una y otra, pudiendo de esta manera decir que el diseño propuesto cumple con lo establecido en dicha normativa.

En la actualidad es muy útil saber manipular los software de diseño que existen, ya que permiten agilizar el proceso de diseño, permitiendo revisar diferentes configuraciones del prototipo, y como se mostró a lo largo de este trabajo, se puede utilizar las paqueterías de simulación para realizar un estudio más profundo del prototipo y darle una mayor fiabilidad al producto final. Además de darle una mayor presentación a la propuesta de proyecto, ya que antes de empezar la construcción ya se tiene una vista previa para poder analizar de una mejor manera la idea.

En la cuestión de manufactura se puede concluir que fue de vital importancia el utilizar varias medidas en el sistema inglés, principalmente las longitudes y distancias de unión, ya que aunque también se utilizó el sistema internacional de unidades, la mayoría de piezas comerciales están en dicho sistema, ya que se debe recordar que mucha de la mercancía se realiza en Estados Unidos, o simplemente los fabricantes están acostumbrados a realizar sus productos con dicho sistema, para ejemplificar mejor lo antes dicho, en la manufactura de las puertas se utilizaron bisagras que tenían una medida de longitud de 1.5 [in], lo cual al haber utilizado PTR de 2 [in] permitió que la colocación de dichas bisagras fuera exacta, provocando que el prototipo luzca de una manera más estética, y obviamente haciéndolo más funcional.

Para un ingeniero es muy importante conocer la teoría de cómo deben funcionar los equipos para tomar decisiones para el diseño, pero es de igual importancia conocer los métodos de manufactura con los que se cuenta en el lugar donde se trabaje, ya que existen ocasiones en las cuales al desconocer algunos ámbitos de la construcción de los equipos se pueden tomar malas decisiones o tener ideas que realmente no sean viables de realizar en la realidad, ejemplo de ello, es elegir materiales que no se puedan manipular en el lugar de trabajo, que sean muy caros o que se requiera de técnica especializada y no se cuente con el

personal capacitado, este punto fue crucial en este diseño, ya que se procuró que los métodos de manufactura fueran sencillos para no presentar dificultades, recordando que este prototipo se realizó con personal y técnica limitada.

Este tipo de tecnología puede ayudar mucho a sectores como el de transporte o el de agricultura en México y en el mundo, ya que como se ha visto el deshidratar fruta ayuda a mantenerla con una vida útil mucho más larga y a que se baje su peso drásticamente, pudiendo así tener almacenada una gran cantidad de fruta deshidratada en un espacio más reducido, aparte de poder ser transportado de una manera más fácil y eficiente.

El equipo desarrollado en este trabajo puede ser utilizado para deshidratar diferentes tipos de frutas, verduras o alimentos (carnes, camarón, etc.) ya que gracias al gran rango de temperatura del aire que se logró obtener a partir del intercambiador de calor se puede variar el tipo de producto, y así obtener una mayor área de oportunidad en el mercado, pudiendo tener productos de buena calidad en poco tiempo y con el uso de energías alternas, como la geotermia, apoyando de esta manera al medio ambiente.

Un aspecto muy importante de mencionar es que el deshidratador diseñado funcionara con geotermia de baja entalpia lo cual muestra una gran oportunidad de ser conectado en serie con otros proyectos que pretendan funcionar con este tipo de energía, siendo un ejemplo claro de cogeneración y producción de cascada.

Finalmente al analizar el costo del equipo se pueden determinar varios puntos, el primero de ellos es que a pesar de tener un costo aproximado de \$75,000, se considera que a comparación del prototipo DGA10 es mucho más redituable dicha tecnología, ya que el costo del deshidratador pasado ronda los \$120,000 (Gasga, 2017), esto ya que las dimensiones utilizadas en este diseño fueron pensadas desde el inicio, procurando no tener espacios que no fueran aprovechados para el proceso, a pesar de que en este trabajo se compró el intercambiador de calor de tubos aletados, lo que provoca que su costo fuese un poco elevado (casi \$50,000), pero de esta manera se aseguró la calidad de dicho dispositivo; para el futuro si se deseará construir más versiones del DGA Vertical, se recomienda que se cuente con el equipo necesario para realizar los intercambiadores de calor, lo cual podría reducir el costo del mismo hasta en un 50 [%], y por ende, aminorar el costo final del prototipo, dejando recursos suficientes para optimizar los materiales dentro de la cámara de deshidratado, ya que como se mencionó anteriormente, la cámara de este trabajo está hecha de lámina de aluminio, pero idealmente debería de ser de acero inoxidable, aumentando de esta manera la calidad del producto deshidratado. Como se observó en las pruebas extra de análisis de costo por materia deshidratada, se puede concluir que el producto que genera dicha tecnología lo hace viable para el emprendimiento, pero siempre teniendo en cuenta que lo que se desarrolló en este trabajo es un prototipo experimental, por lo que para tener un negocio se debe escalar la tecnología a nivel industrial para tener una mayor producción y así un mejor rendimiento, brindando las herramientas necesarias en este trabajo para realizar dicha tarea.

## Bibliografía

- Aguilar Samaniego, D. G., Garduño Rodríguez, A. M., & González Marín, D. A. (2018). *Caracterización del equipo DGA PLUS mediante pruebas de deshidratado*.
- Alpizar Torres, A. (2017). *Análisis de la modificación de la salida de aire del DGA*.
- Baeza, A. (2009). *Deshidratador de tomates utilizando energía geotérmica para ensenada B.C*. Ciudad de México: UNAM.
- Budynas Richard G., N. J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mc Graw Hill.
- Carmona L., Y. (2016). *Caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial de frutas deshidratadas mediante energía geotérmica*. Ciudad de México: UNAM.
- Castañeda Martin, E. (2009). *Diseño higienico del equipo procesado de alimentos*.
- Gasga, C. (2017). *Analisis de costos de manufactura del DGA10*.
- González González , M. (2009). *Geotérmia como alternativa energetica en México, ¿Es realmente viable?* Ciudad de México: UNAM.
- González Marín, D. A. (2018). *Diseño térmico de un deshidratador getérmico de alimentos de flujo vertical*. Ciudad de México: UNAM.
- Mott L., R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson.
- NORMEX. (s.f.). *Marco normativo en el área de alimentos en México*.
- PEMEX, D. V. (2005). *Simbología e indentificación de instrumentos*.
- Pérez González, E. (2014). *Diseño de un sistema deshidratador de alimentos geotérmico de baja entalpía*. Ciudad de México: UNAM.
- Pérez González, E. (2017). *Estudio de la cinética de secado de alimentos hortofrutícolas mediante la teoría de Polanyi para un deshidratador de bandejas*. Ciudad de México: UNAM.
- Pysmenny, Y., Polupan, G., Carvajal M., I., & Sánchez S., F. (2007). *Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados*.
- Reyes García, J. L. (2017). *Simulacion numerica de un deshidratador por convección*. Ciudad de México: UNAM.
- SOMERSET I+D+i. (2017). *Ergonomía para el deshidratador de frutas*. SOMERSET .

Tamato M., C. (s.f.). *Curso de trazado y desarrollo de lámina y tubería*.

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Mc Graw Hill.

UNAM, F. (2015). *Procedimiento estandarizado de lavado de jitomate*.

Zepeda V., B., Nuñez S., E., & Hernández R., J. (2013). *Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita*. Ciudad de México: UNAM.

## Cursos asistidos para elaboración del documento

- Curso de certificación en diseño Solid Works 2017, SW INTERMEDIO, SW AVANZADO, SW DIBUJO AVANZADO, SW ENSAMBLE, TUTORÍAS. Impartido por INSOFT.
- Curso de soldadura SMAW, impartido por ing. Rodrigo Navarrete Posadas.

## Anexos

### Protocolo de limpieza de jitomate

1. El lavado de manos se debe hacer siguiendo el procedimiento establecido en la NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, en el capítulo 5, numeral:

**5.12.4** *Al inicio de las labores, al regresar de cada ausencia y en cualquier momento cuando las manos puedan estar sucias o contaminadas, toda persona que opere en las áreas de producción o elaboración, o que esté en contacto directo con materias primas, envase primario, alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, debe lavarse las manos, de la siguiente manera:*

- a) Enjuagarse las manos con agua, aplicar jabón o detergente. En caso de que el jabón o detergente sea líquido debe aplicarse mediante un dosificador y no estar en recipientes destapados;*
- b) Frotarse vigorosamente la superficie de las manos y entre los dedos. Para el lavado de las uñas se puede utilizar cepillo. Cuando se utilice uniforme con mangas cortas, el lavado será hasta la altura de los codos;*
- c) Enjuagarse con agua limpia, cuidando que no queden restos de jabón o detergente. Posteriormente puede utilizarse solución desinfectante;*
- d) Secarse con toallas desechables o dispositivos de secado con aire caliente.*

**5.12.5** *Si se emplean guantes, éstos deben mantenerse limpios e íntegros. El uso de guantes no exime el lavado de las manos antes de su colocación.*



Fig. 207 Esquema de lavado de manos

## 2. Lavado de utensilios

2.1 El área de lavado debe estar equipado con agua corriente potable, jabón neutro, desinfectante (hipoclorito) y toallas desechables.

2.2 La tarja para lavado de utensilios que tengan contacto directo con la materia prima (jitomate) deberá ser sanitizada para hacer inmediatamente el lavado de los mismos También deberán ser desinfectadas las mesas de trabajo.

2.2.1 Para la sanitización de tarja se seguirá el siguiente procedimiento.

Tallar toda la superficie de la tarja así como la zona de 50 [cm] alrededor de la misma con un cepillo limpio y una solución de jabón. La concentración de la solución de jabón debe ser de 20 [ml] de jabón Roma líquido en 1 [L] de agua (20 [% v/v]).

Enjuagar con abundante agua para eliminar el jabón.

Desinfectar rociando una solución de hipoclorito ( $x$  [mL] en  $l$  [L] de agua potable) y esperar 15 [minutos]. La concentración de la solución de hipoclorito debe ser de 100 [ppm].

Enjuagar con abundante agua potable para eliminar el hipoclorito.

2.3 Los utensilios (cuchillos, tenedores, tablas para picar, charolas o tinas, coladores o escurridores etc.) se deberán colocar únicamente en la tarja previamente sanitizada, para lavarlos siguiendo el siguiente procedimiento:

Tallar toda la superficie de los utensilios con un cepillo limpio y una solución de jabón Roma líquido de concentración 20 [% v/v].

Enjuagar con abundante agua para eliminar el jabón.

Desinfectar sumergiendo los utensilios en una solución de hipoclorito de concentración de 5 [ppm] durante 15 [minutos].

Drenar el agua

Dejar escurrir los utensilios sobre una toalla desechable dentro de la zona desinfectada.

Los utensilios deberán utilizarse hasta que estén secos. Puede terminar de retirar las gotas de agua con una toalla desechable.

### 3. PROCEDIMIENTO ESTANDARIZADO PARA LAVADO DE JITOMATE

El jitomate se debe colocar en las charolas o tinas destinadas para el lavado de jitomate. Debe realizarse dentro de la tarja previamente desinfectada. El procedimiento que se debe seguir se presenta a continuación:

Enjuague. Con las manos limpias, se pasa cada jitomate que se utilizará por el chorro de agua del grifo, girándolo para quitar las posibles partículas de tierra, polvo u otros adheridos.

Remojo en solución jabonosa. Cada jitomate enjuagado se va colocando en latina previamente desinfectada y llena con la solución jabonosa al 20 [%]. Los jitomates se mantienen en la tina con agitación manual durante 3 [minutos], tallando la superficie, especialmente las coronillas, sin dañar los frutos.

Drenado del jabón. Se inclina la tina para dejar fluir el agua por el drenaje.

Enjuague. Se hace al chorro de agua. Abrir la llave de agua del grifo y bajo el chorro de agua, enjuagar cada jitomate hasta sentir que todo el jabón ha sido removido. Cada jitomate enjuagado se transfiere a la siguiente tina ya preparada.

Remojo en hipoclorito. Una vez que el jitomate se enjuagó se sumerge en una tina con una solución de hipoclorito con 5 [ppm], durante 15 [minutos]. Todos los jitomates deben estar completamente sumergidos.



Secado. Una vez transcurrido el tiempo del remojo, con las manos limpias, se retiran los jitomates del agua con hipoclorito y se colocan sobre un escurridor hasta que se sequen.

La solución de hipoclorito puede usarse para 3 tandas de jitomate y debe cambiarse después de la tercera tanda de remojo, previa sanitización de la tina.

DIAGRAMA DE LAVADO DE JITOMATE

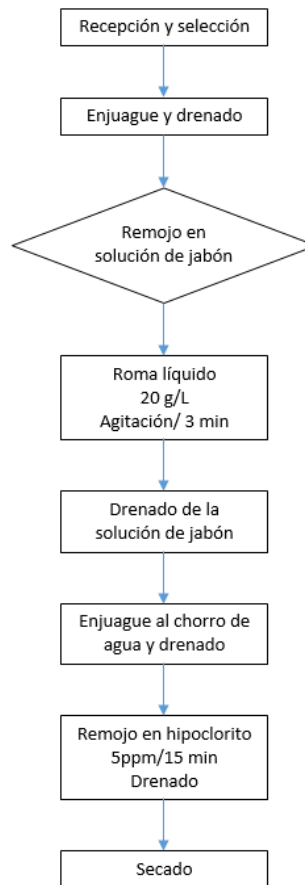
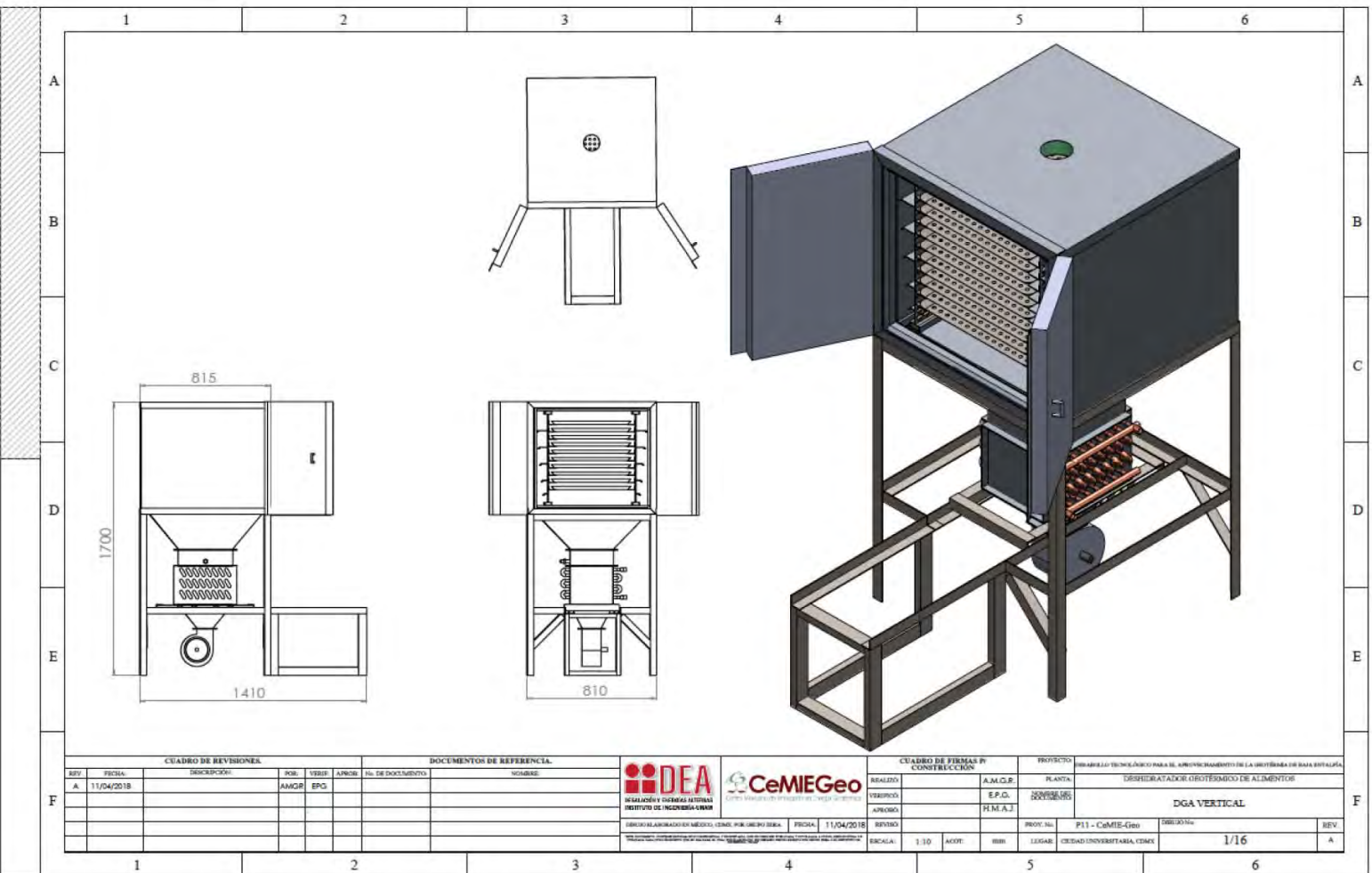
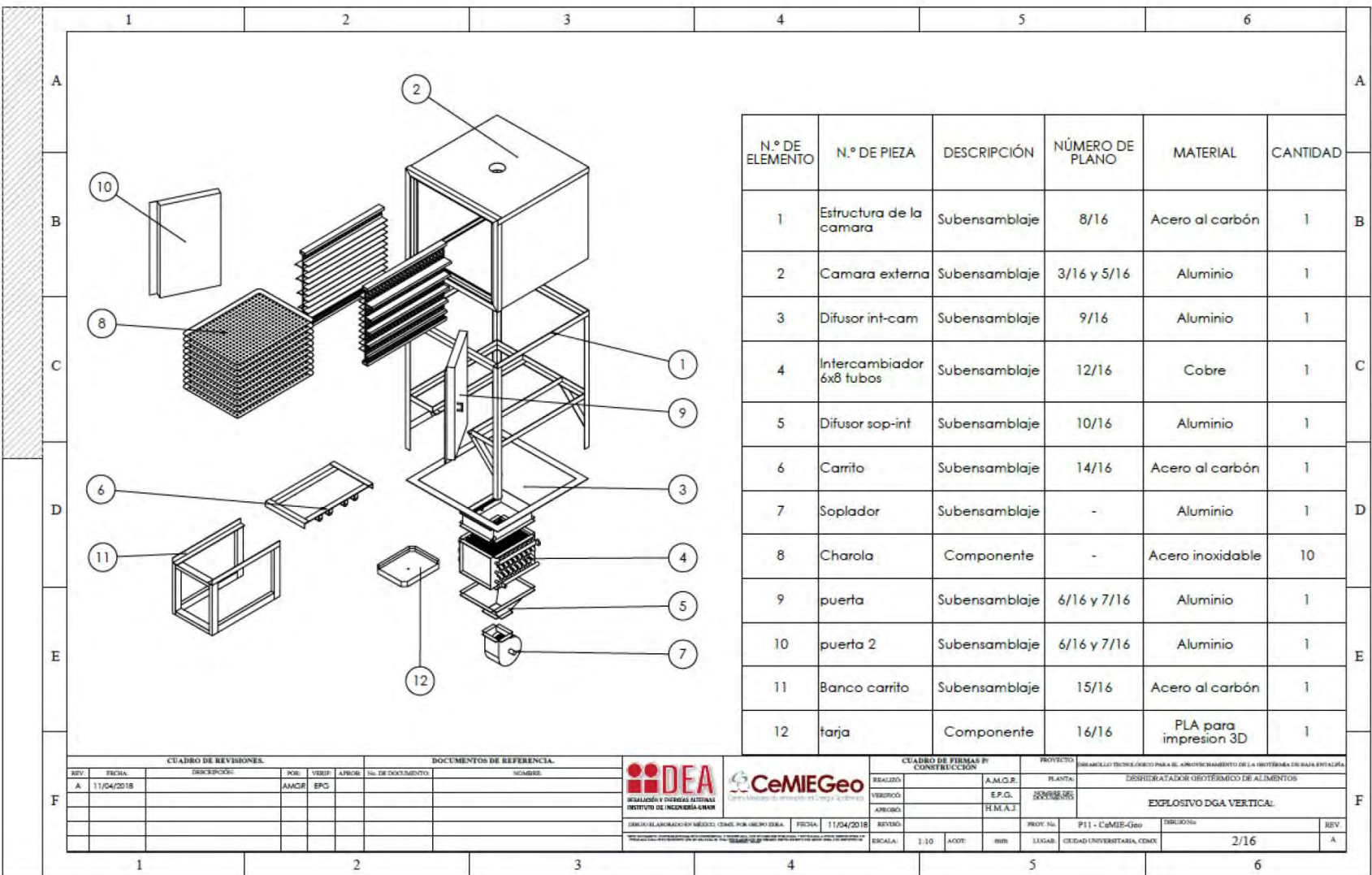
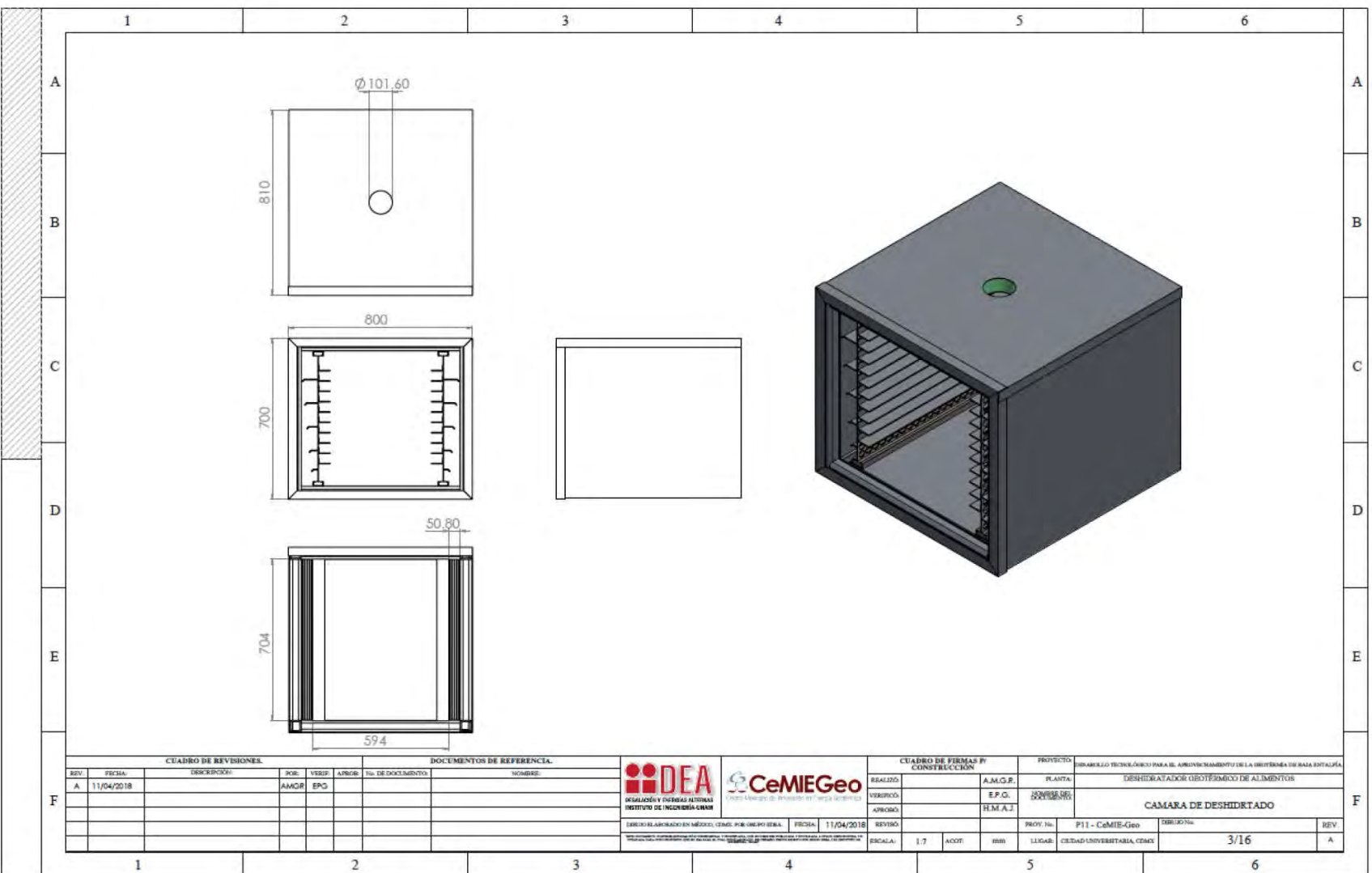


Fig. 208 Diagrama de lavado de jitomate

Planos constructivos







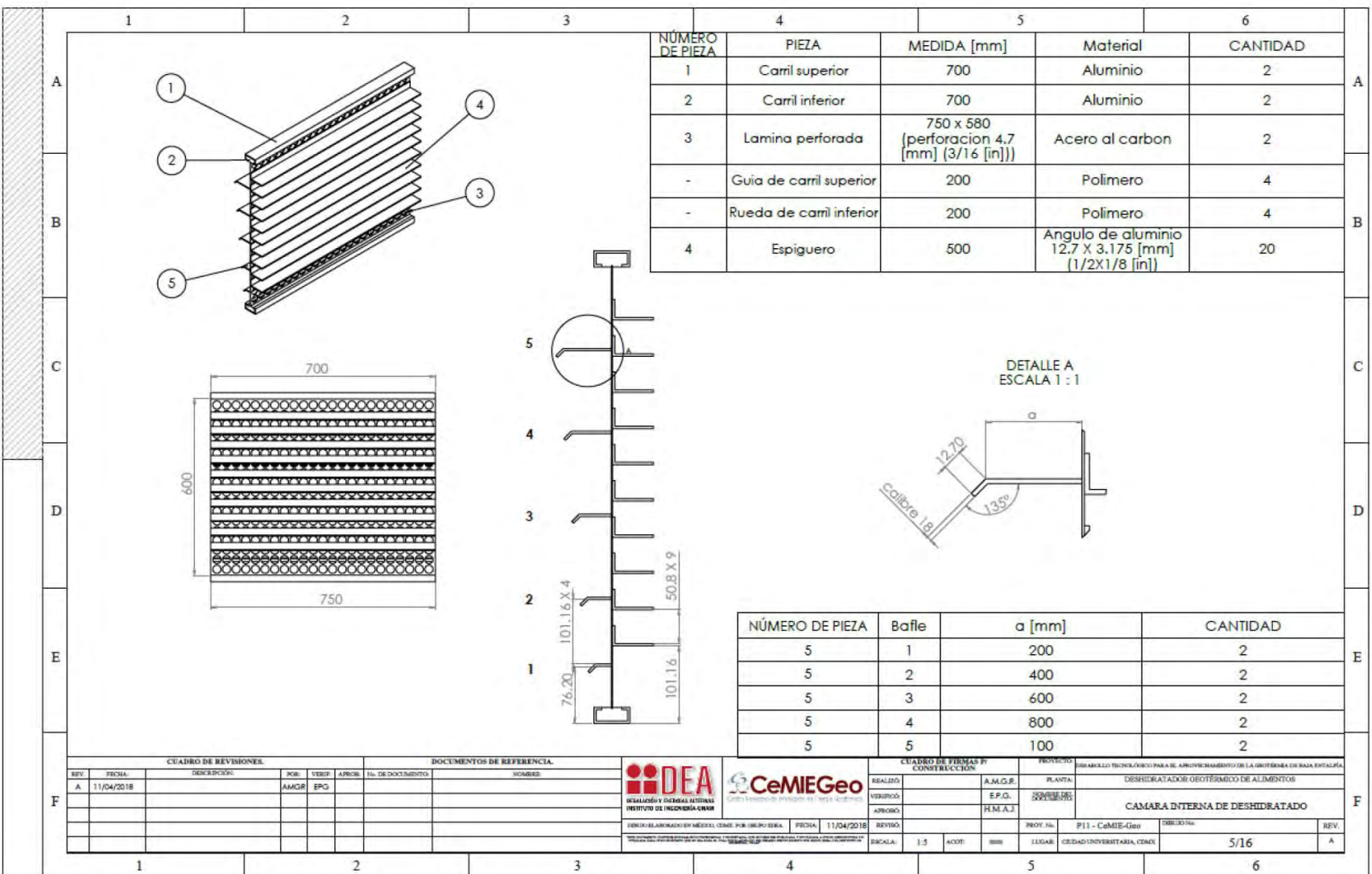
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL Y DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PTR Largo	Aluminio	4
2	PTR Ancho	Aluminio	6
3	Foam inferior interior	Lana mineral	1
4	Lamina inferior interior	Aluminio	2
5	PTR Alto	Aluminio	4
6	Lamina lateral exterior	Aluminio	2
7	Foam lateral exterior	Lana mineral	2
8	Lamina lateral interior 2	Aluminio	1
9	Lamina lateral interior 3	Aluminio	1
10	Camara interna	Subensamblaje	2
11	Lamina posterior externa	Aluminio	1
12	Foam posterior	Lana mineral	1
13	Lamina posterior interior	Aluminio	1
14	Lamina superior exterior	Aluminio	1
15	Foam superior	Lana mineral	1
16	Lamina superior interior	Aluminio	1
17	Marco de la puerta	Subensamblaje	1

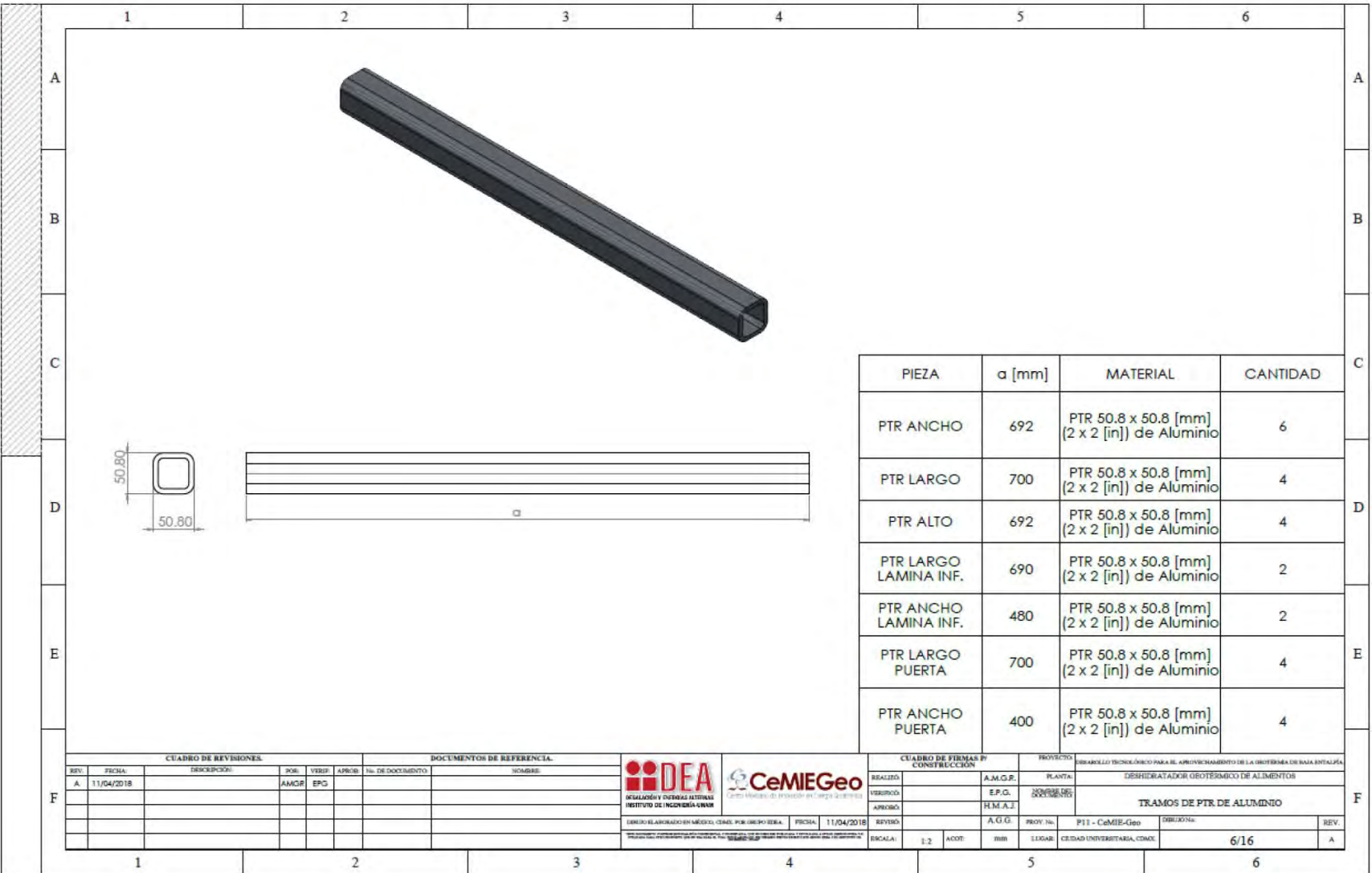
CUADRO DE REVISIONES.					DOCUMENTOS DE REFERENCIA.				
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POS.	VSOP.	A PRIOB.	Nº. DE DOCUMENTO	NOMBRE		
A	11/04/2018			AMQP	EPG				

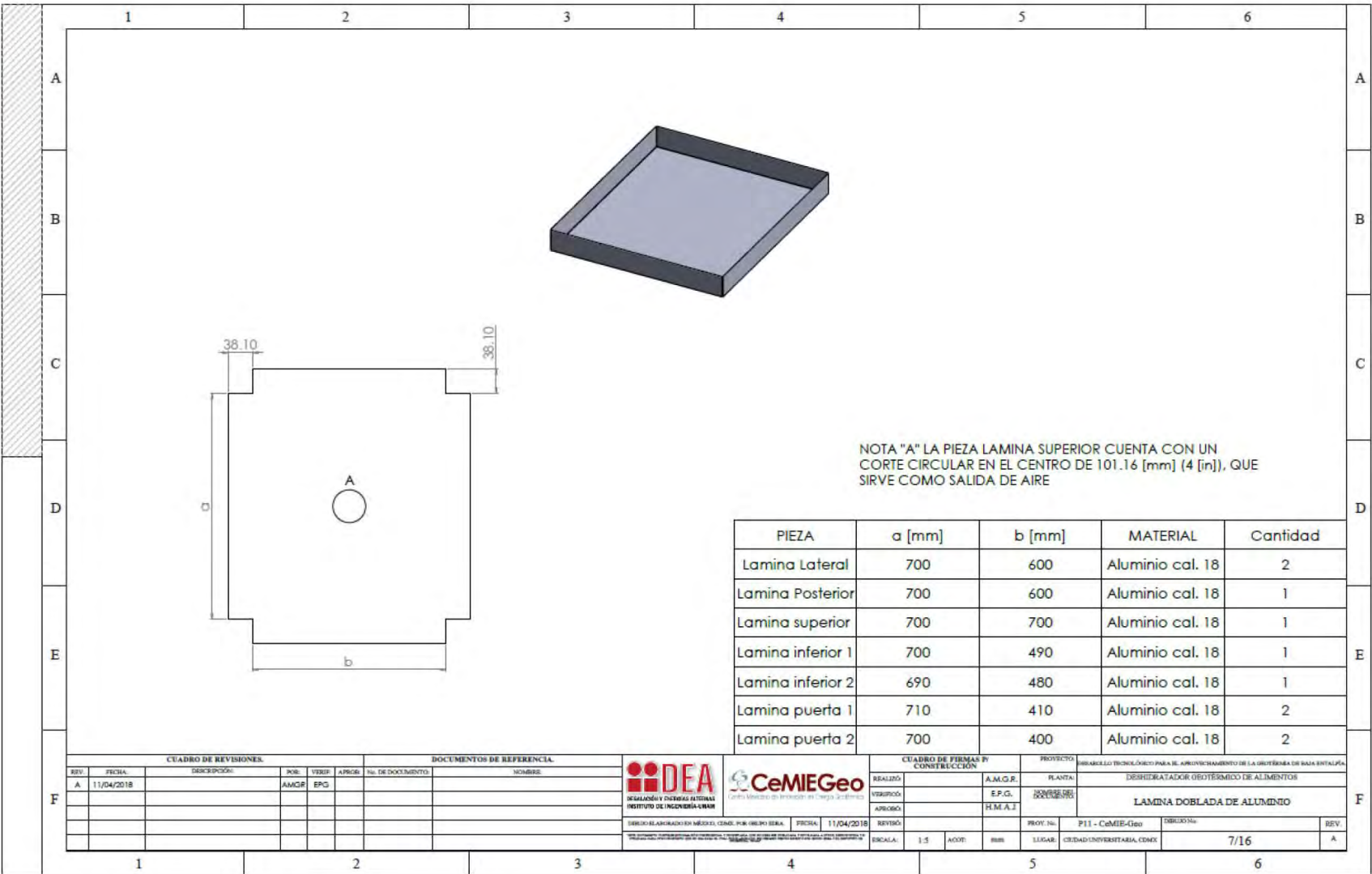
REALIZÓ		VERIFICÓ		APROBÓ		REVISÓ		DISEÑÓ		DIRECCIONÓ	
A.M.G.R.	PLANTA	E.P.G.	PROYECTO	H.M.A.J.	PROY. Nº.	PROY. TÍTULO	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
	DESIDRATADOR GEOTÉRMICO DE ALIMENTOS		EXPLOSIONADO CAMARA DESHIDRADO			P11 - CeMIE-Geo	11/04/2018				

FECHA:	ACOP:	REB:	USCAR:	CIUDAD:	ESTADO:	PAÍS:
1/30						

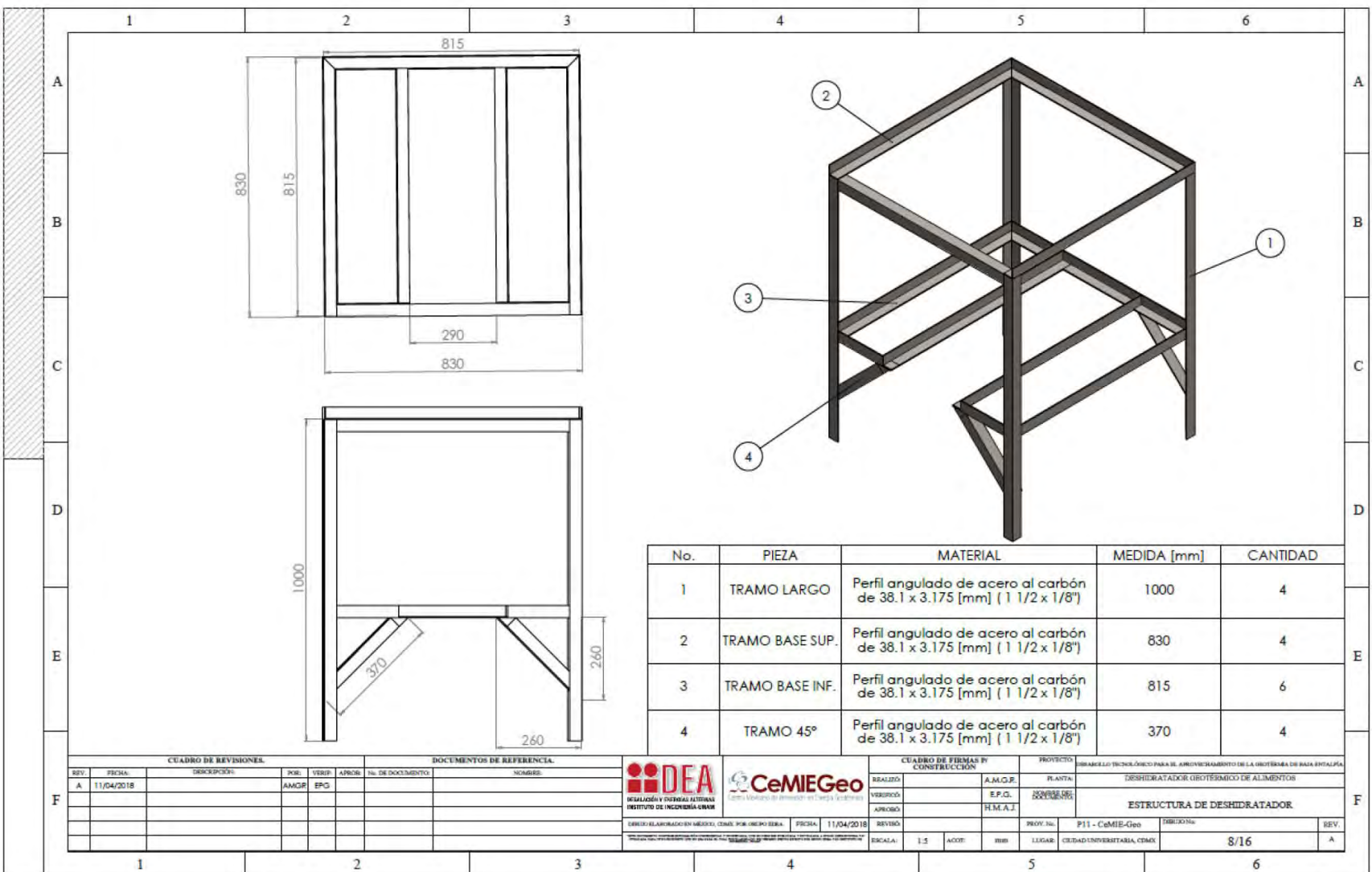
REV.	FECHA	FECHA
A		







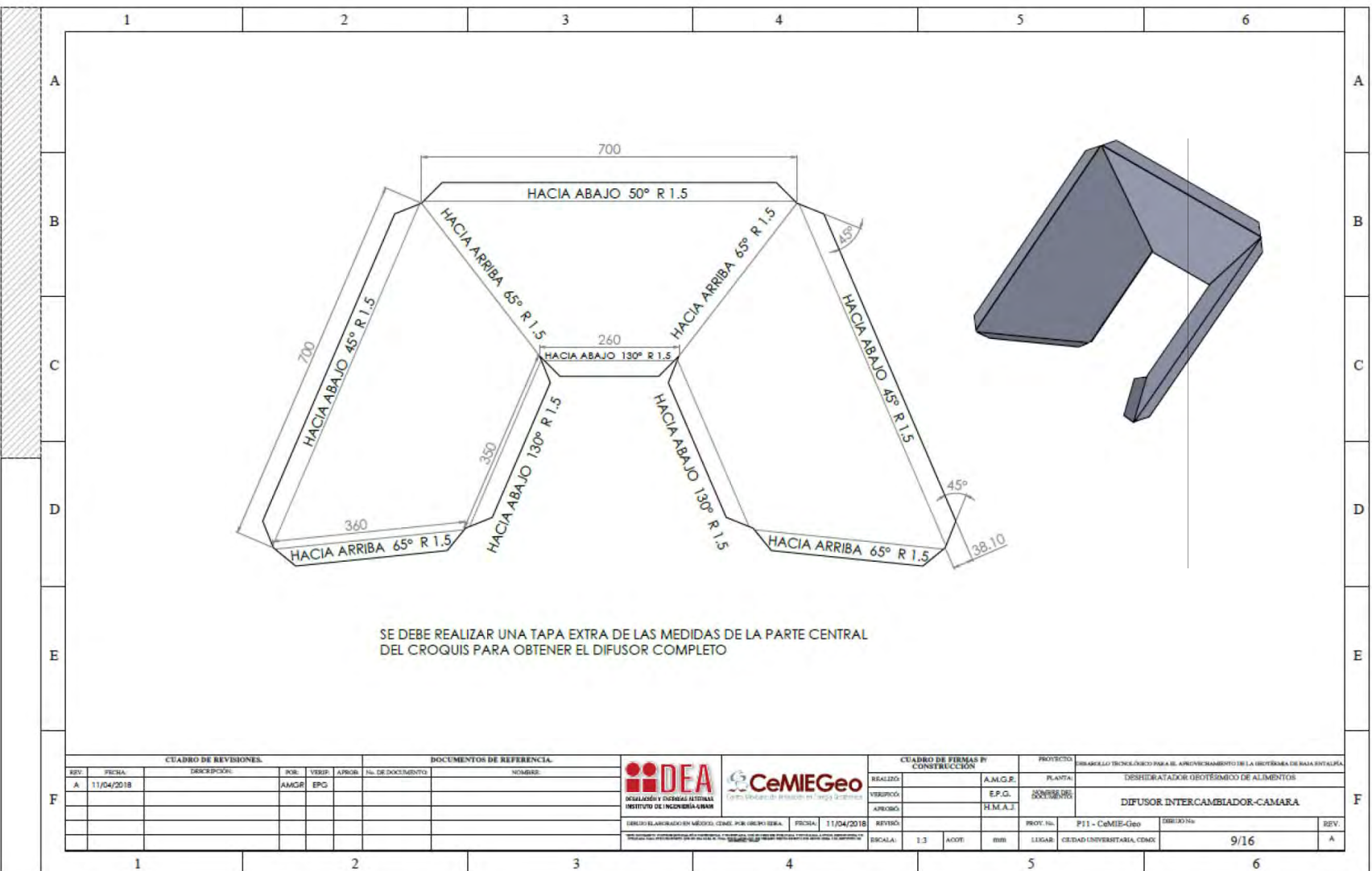


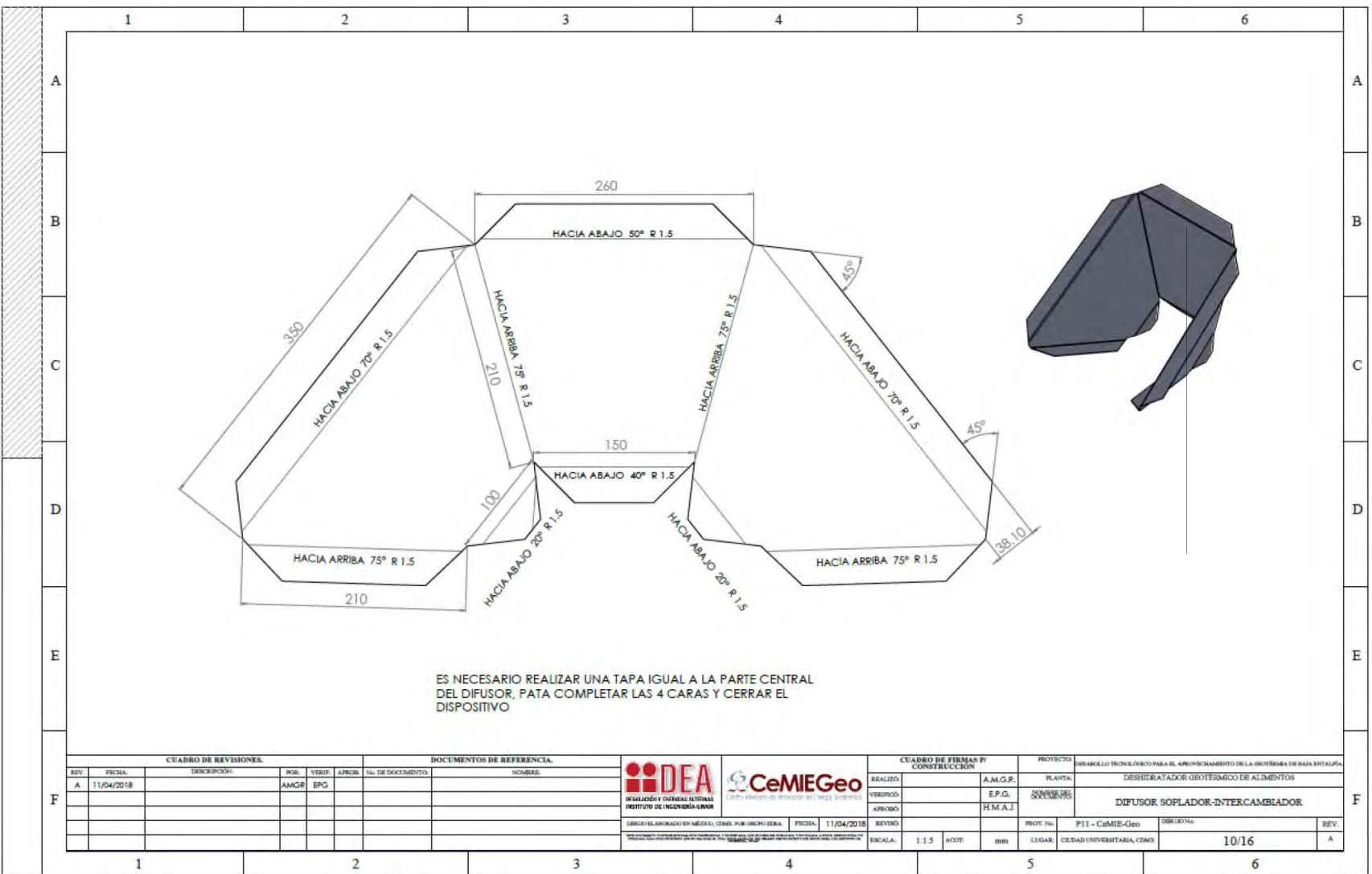


CUADRO DE REVISIONES.				DOCUMENTOS DE REFERENCIA.			
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POB.	USO	APROB.	Nº DE DOCUMENTO	NOMBRE
A	11/04/2018		AMGR	EPG			

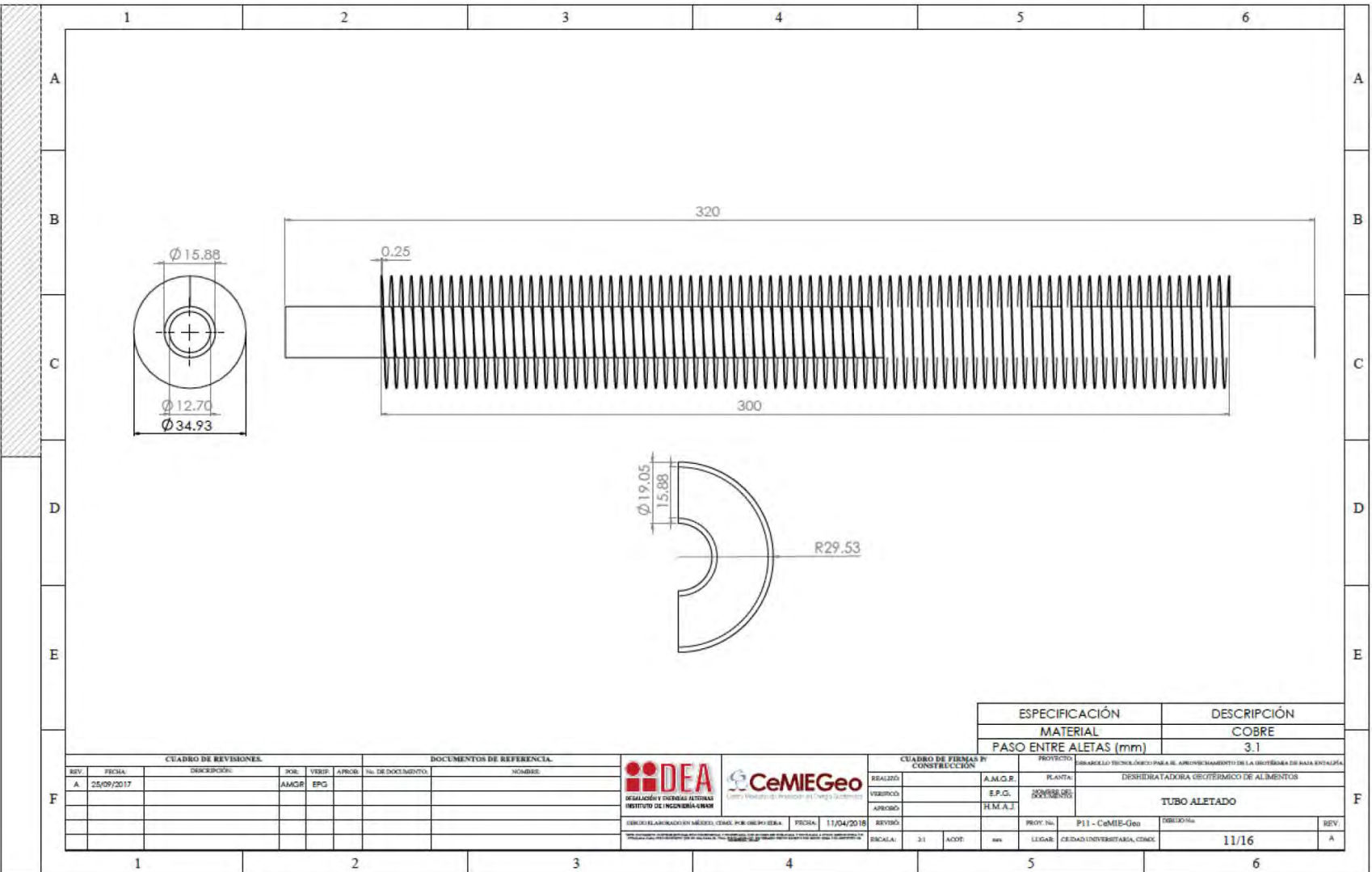


CUADRO DE FIRMAS BY CONSTRUCCIÓN			PROYECTO	
REALIZÓ	A.M.G.R.	PLANTA	DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA GEOTERMA DE BAJA ENTALPÍA	
VERIFICÓ	E.F.G.	PROYECTO	DESHIDRATADOR GEOTÉRMICO DE ALIMENTOS	
APROBÓ	H.M.A.J.	ESTRUCTURA	ESTRUCTURA DE DESHIDRATADOR	
PROY. No.	P11 - CeMIE-Geo	DISEÑO No.		
ESCALA:	1:5	ACOT:	REB:	8/16
PROY. No.		FECHA:	11/04/2018	REV.
LUGAR:	Ciudad Universitaria, CDMX			A

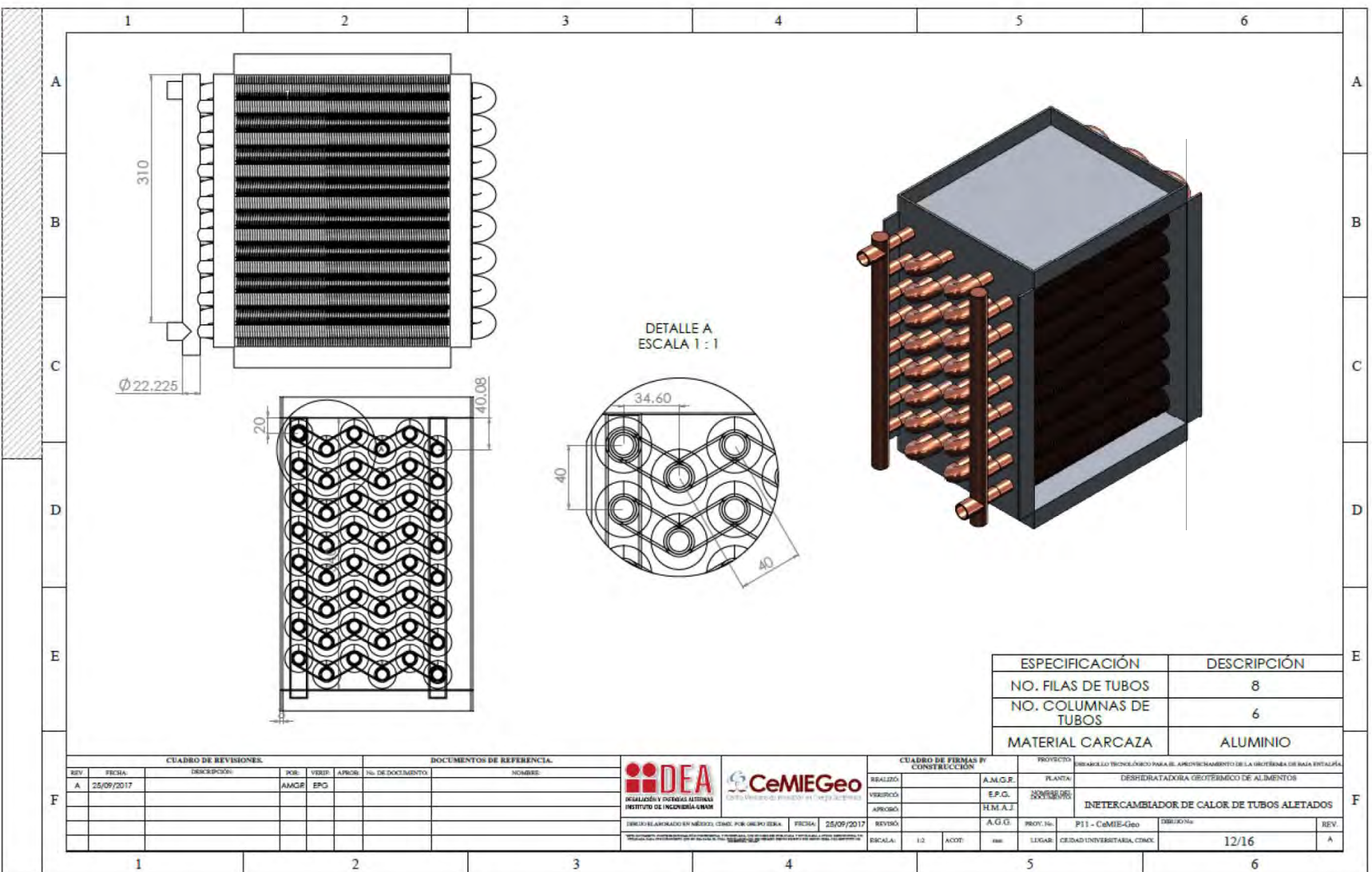


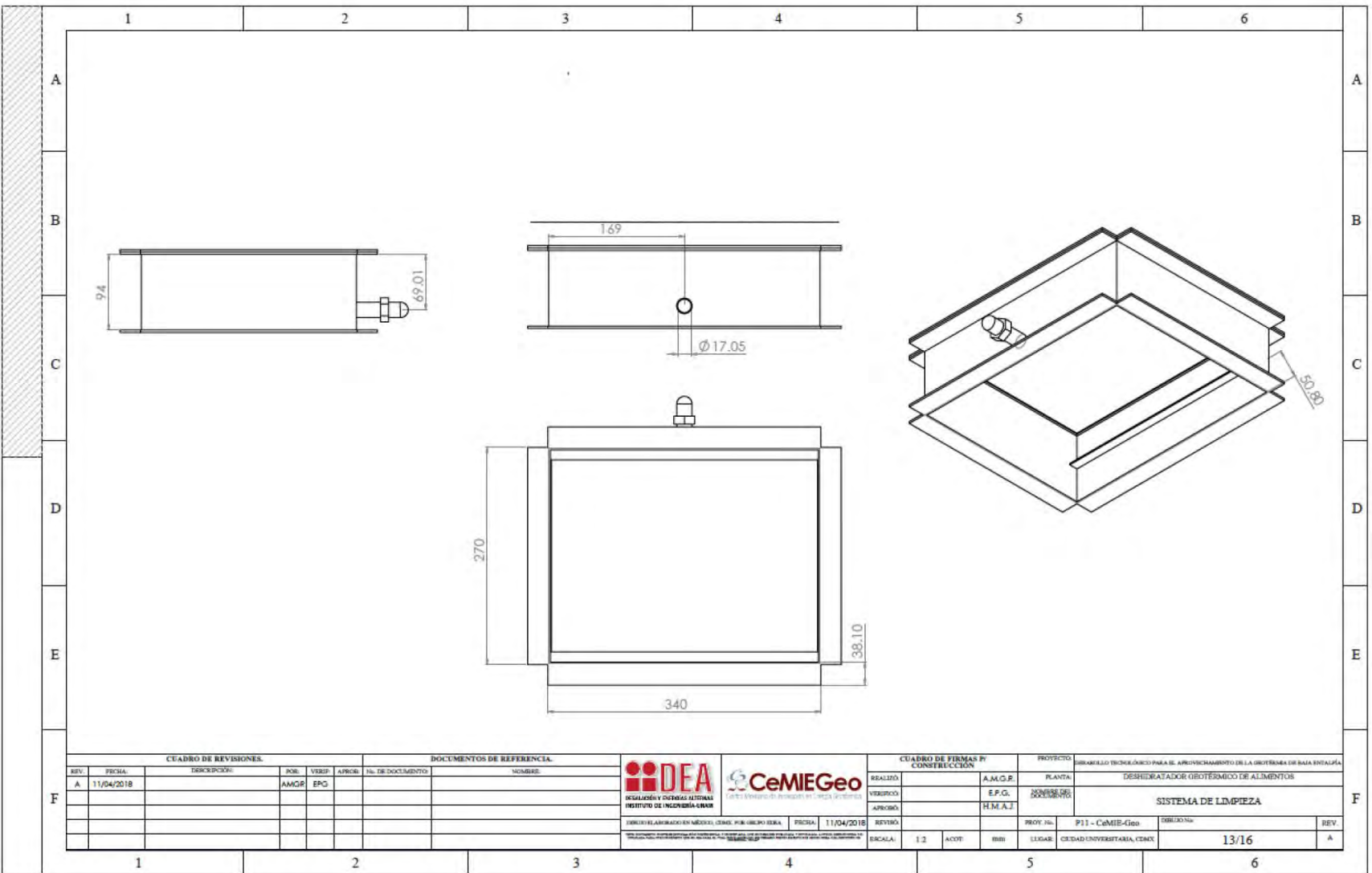


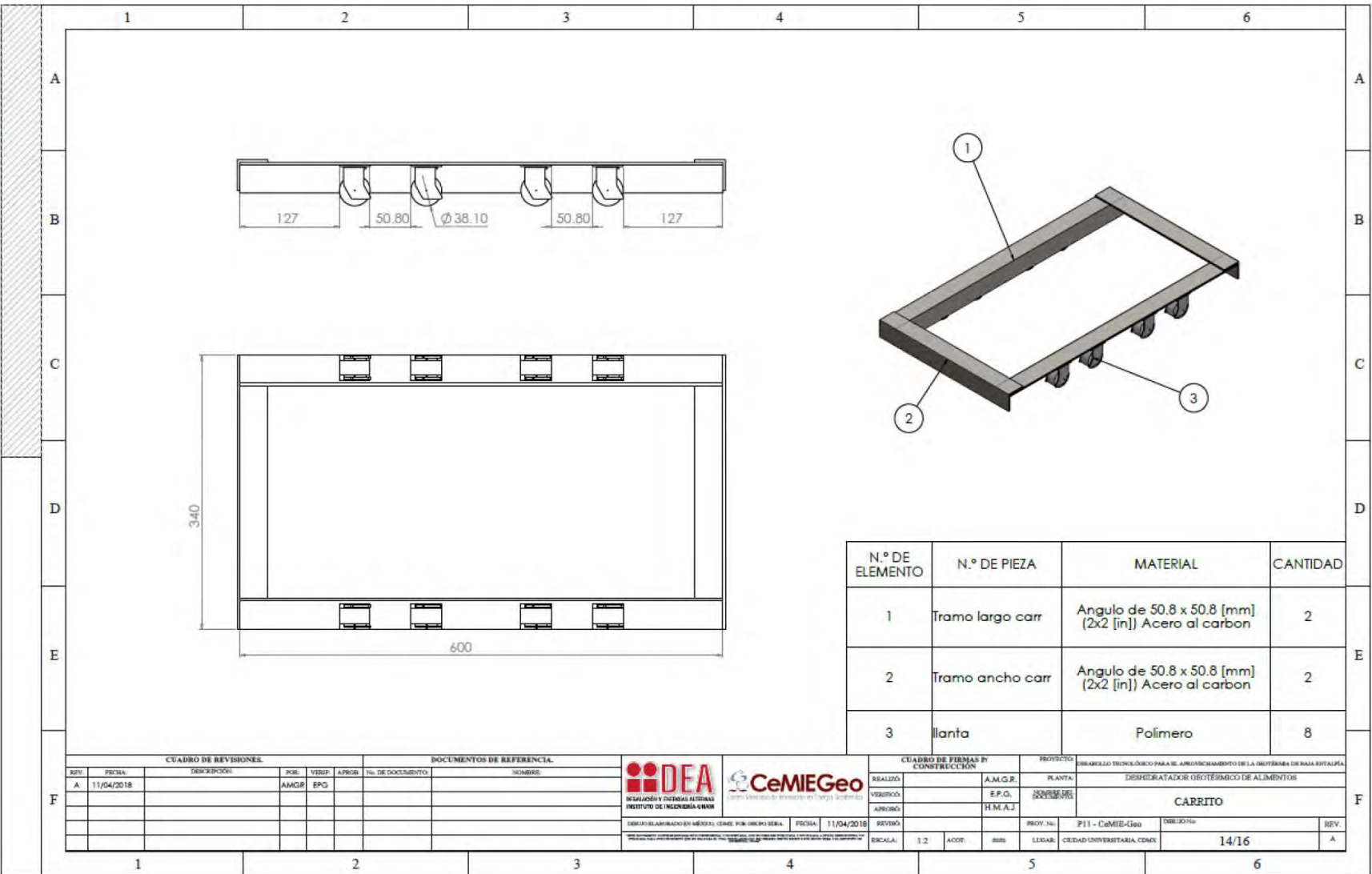
CUADRO DE REVISIONES					DOCUMENTOS DE REFERENCIA					CUADRO DE FIRMAS Y CONSTRUCCION				PROYECTO							
REV.	FECHA	DESCRIPCION	POB.	VERIF.	APROB.	NO. DE DOCUMENTO	NOMBRE				REALIZADO	VERIFICADO	APROBADO	REVISTA	ESCALA	ACOT.	LUGAR	PROY. NO.	PROY. NO.	REVISION	REV.
A	11/04/2018		AMOR	EPG											1:1.5			PII - CeMIE-Geo	10/16		A

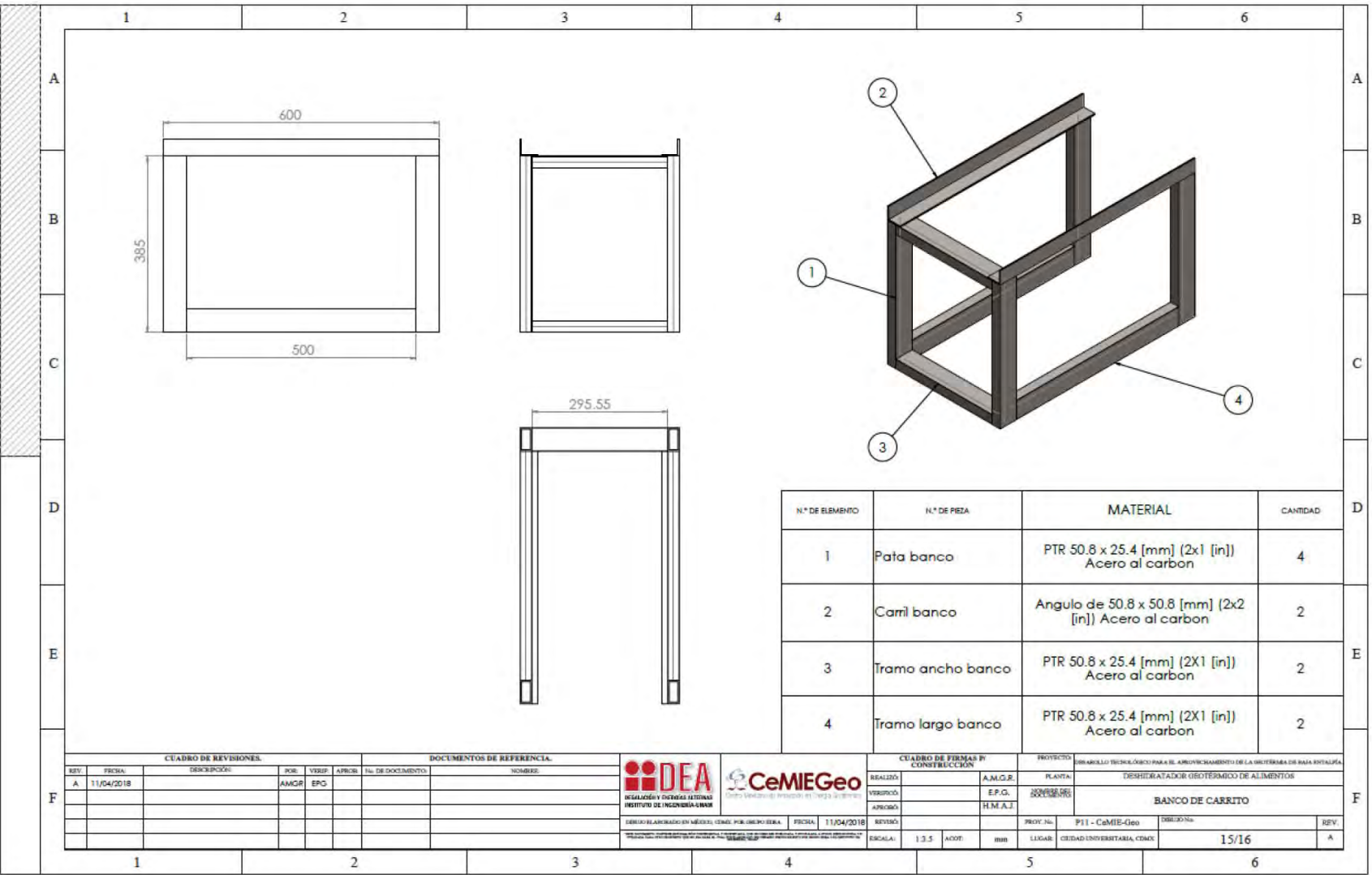


CUADRO DE REVISIONES				DOCUMENTOS DE REFERENCIA				CUADRO DE FIRMAS Y CONSTRUCCIÓN		ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN	
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ROL	VERSIÓN	APROB.	Nº. DE DOCUMENTO	NOMBRE	REALIZADO	A.M.G.R.	PLANTA	DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA		
A	25/09/2017		AMGR	EPG				VERIFICADO	E.P.G.		DESHIDRATADORA GEOTÉRMICO DE ALIMENTOS		
								APROBADO	H.M.A.J		TUBO ALETADO		
								REVISADO		PROY. Nº.	P11 - CeMIE-Geo	GRUPO Nº.	
								REVISOR		FECHA	11/04/2018	REV.	
								REVISOR		LEGAR	CIUDAD UNIVERSITARIA, COMEX	11/16	A

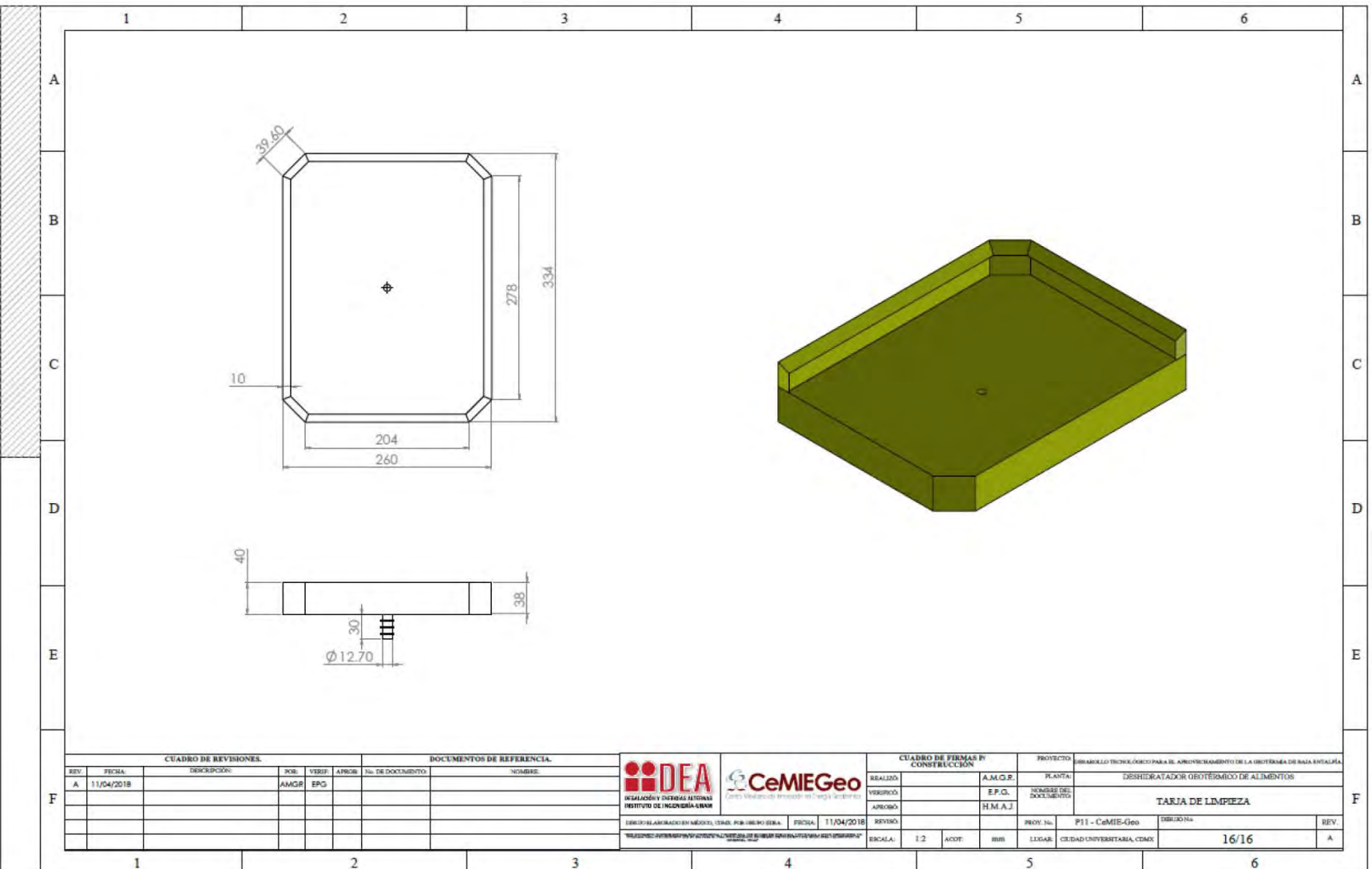


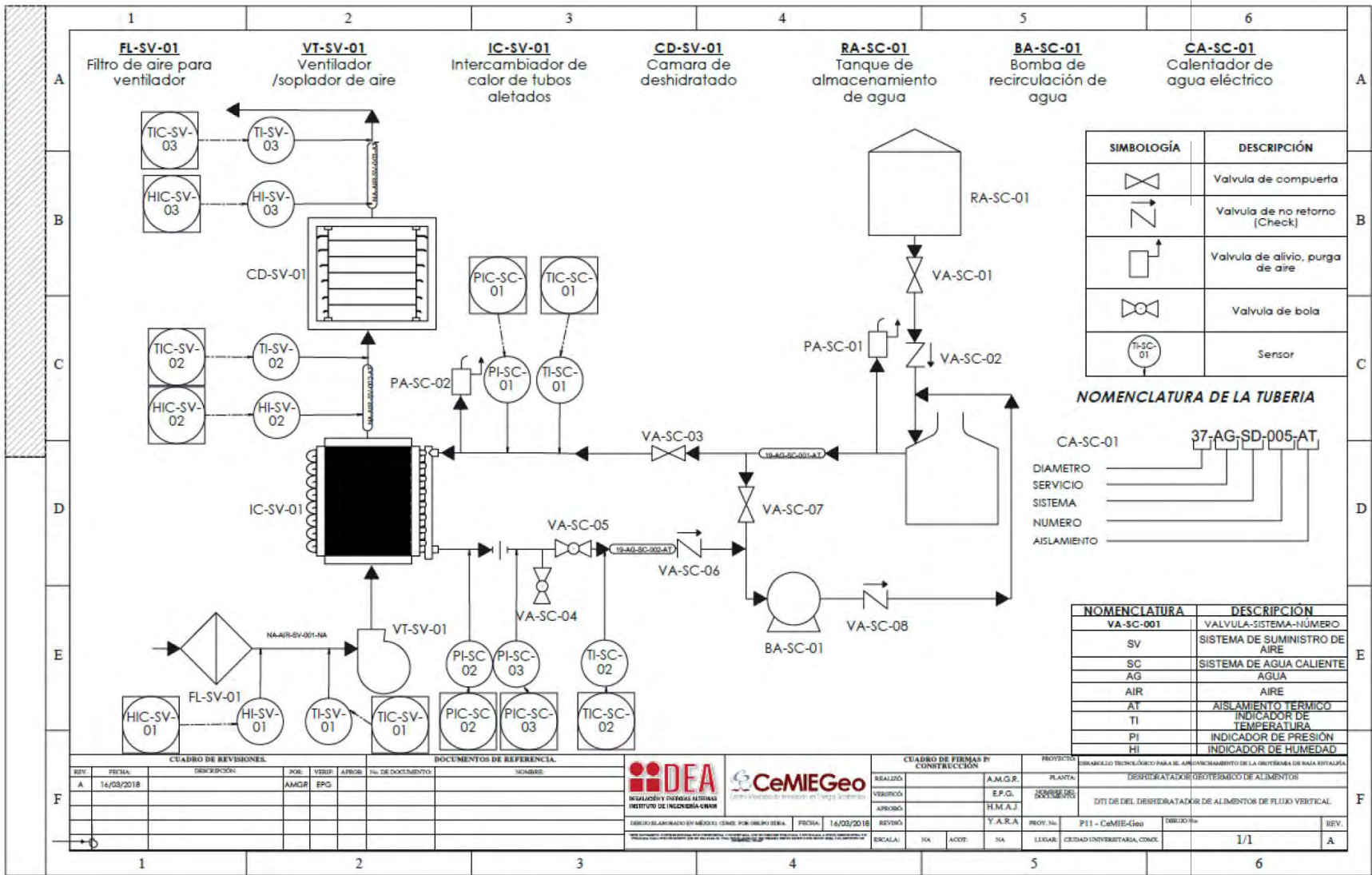












## Costo aproximado del equipo

Un factor importante de este trabajo es saber cuánto es el costo aproximado para la realización de este equipo, ya que saber este parámetro servirá para saber si este tipo de prototipos es viable usarlos en las empresas que se dedican a este tipo de proceso, se hará un listado con los materiales y equipos utilizados para la construcción del deshidratador.

*Tabla 60 Costo de los equipos comprados en empresas externas*

Equipos comprados en empresas externas			
Equipo	Costo	Cantidad	Total
Intercambiador de calor	49,000.00	1	49000
Soplador	2,300.00	1	2300
Charolas	255.00	10	2550
Instrumentacion	3,400.00	1	3400

*Tabla 61 Costo de los materiales para manufactura de la estructura del deshidratador*

Materiales para manufactura de estructura del deshidratador			
Material	Costo	Cantidad	Total
Perfil angulado de acero al carbón de 1 1/2 x 1/8 [In]	700.00	3	2,100.00
caja de electrodos 5 [Kg] de Electrodo revestidos E6013 1/8 x 14 [In]	200.00	1	200.00
caja de electrodos 5 [Kg] de Electrodo revestidos E6013 3/32 x 14 [In]	250.00	1	250.00

*Tabla 62 Costo de los materiales para manufactura de los difusores*

Materiales para manufactura de los difusores			
Material	Costo	Cantidad	Total
Láminas de aluminio calibre 18 (4x8 [ft])	926.00	1	926.00
neopreno de 2 [mm] de espesor	163.79	2	327.58
Lana mineral con recubrimiento de aluminio1 [In]	1,110.00	0.26667	296.00

Tabla 63 Costo de los materiales para manufactura de la cámara de deshidratado

Materiales para manufactura de camara de deshidratado			
Material	Costo	Cantidad	Total
PTR 2X2 [In] de aluminio	686.00	3	2,058.00
Láminas de aluminio calibre 18 (4x8 [ft])	926.00	5	4,630.00
Lámina de acero al carbón calibre 16 (4x8 [ft]) con perforaciones de 3/16 [In]	1,300.00	1	1,300.00
Perfil angulado de aluminio 1 ½ x 1/8 [In]	282.00	1	282.00
Perfil angulado de aluminio ½ x 1/8 [In]	90.00	3	270.00
Riel de aluminio para ventana corredera	125.00	1	125.00
Guia de aluminio para ventana corredera	105.00	1	105.00
Ruedas para carril de aluminio	385.00	1	385.00
Solera de aluminio de 1x1/8 [In]	16.50	3	49.50
neopreno de 2 [mm] de espesor	163.79	3	491.37
Juego de brocas para metal	550.00	1	550.00
Remaches 5/32 x 1/2 [In]	182.00	1	182.00
Remaches 3/16 x 3/8 [In]	105.00	1	105.00
Cople para ducto 4[In]	90.00	1	90.00
Lana mineral con recubrimiento de aluminio1 [In]	1,110.00	0.6667	740.04
Seguros de barril	115.00	2	230.00
manijas	50.00	2	100.00
Par de bisagras para puertas	129.00	2	258.00
Tornillos autopercorantes 1/4-14 x 3/4 [In] de cabeza hexagonal	219.83	1	219.83
Primer para pintura	122.00	1	122.00
Esmalte acrílico color gris acero	60.00	1	60.00

Tabla 64 Costo de los materiales para manufactura del sistema de limpieza

Materiales para manufactura de sistema de limpieza			
Material	Costo	Cantidad	Total
Lámina de aluminio calibre 18 (4x8 [ft])	926.00	1	926.00
perfil angulado de aluminio de 1/2 x1/8 [In]	90.00	1	90.00
perfil angulado de aluminio de 1 1/2 x1/8 [In]	282.00	1	282.00
perfil angulado de acero al carbón 1 1/2 x 1/8 [In]	700.00	0.16667	116.67
PTR 2X1 [In] de acero al carbón	2.00	3	6.00
neopreno de 2 [mm] de espesor	163.79	1	163.79
Lana mineral con recubrimiento de aluminio1 [In]	1,110.00	0.06667	74.00
Tuboplus de 3/4 [In]	29.00	0.3	8.70
tuerca unión de 3/4 [In] de tuboplus	90.00	1	90.00
coples de 3/4 [In] de tuboplus	3.50	2	7.00
Ruedas de 1 5/8 [In] de polímero	60.00	2	120.00
rollo de plástico PLA para impresión 3D	800.40	0.309	247.32
broches de baúl	89.00	8	712.00

Tabla 65 Costo total del DGA VERTICAL

Sub-ensamble	Costo por sub-ensamble
Comprados	57,250.00
Camara de deshidratado	12,352.74
Estructura del deshidratador	2,550.00
Sistema de limpieza	2,843.49
Difusores	1,549.58
TOTAL	76,545.81
TOTAL (D)	4,022.38
Precio dólar 30/30/04	19.03