

Diseño y fabricación de estructura para un secador tecnificado de
cardamomo

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y fabricación de estructura para un secador tecnificado de
cardamomo

Trabajo de graduación presentado por Marco José Archila Sandoval para optar
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala.

2019

Vo.Bo.:



(f) _____

Ing. Rony Herrarte

Tribunal Examinador:



(f) _____

Ing. Rony Herrarte



(f) _____

Ing. Víctor Ayerdi



(f) _____

Ing. Andrés Viau

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de Diciembre del 2019

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	xiv
LISTADO DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xviii
Abstract	xx
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. General	3
B. Específicos	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. MARCO TEÓRICO	7
A. Generalidades del Proceso de Secado de Alimentos	7
1. Transferencia de calor y masa.....	7
C. CARACTERÍSTICAS DEL secado de Cardamomo.....	8
D. Procesos de Secado Actual.....	8
E. Tipos de Secador	9
1. Modo de operación	9
2. Modo de calentamiento.....	9
3. Naturaleza del producto	10
F. Secador de Bandejas.....	10
1. Esquema general	10
2. Pérdidas de calor	11
G. Limitantes de Diseño Secador	11
1. Peso máximo por bandeja	11
2. Altura máxima de carga.....	12
H. Materiales y Procesos de Manufactura	12
1. Materiales estructurales	12

2.	Materiales en contacto directo con el producto.....	12
3.	Procesos de manufactura.....	12
4.	Soldadura de materiales galvanizados	13
5.	Soldadura de Acero inoxidable	13
6.	Uniones en Acero inoxidable	14
I.	Análisis de Resistencia de Materiales.....	14
1.	Vigas a flexión con carga distribuida.....	14
2.	Placas planas a flexión	14
V.	METODOLOGÍA	15
A.	Investigación y Visita de Campo.....	15
1.	Producción	15
2.	Corte y almacenamiento	15
3.	Secadores utilizados.....	16
4.	Proceso de secado	19
B.	Diseño Preliminar.....	23
1.	Definición de tipo de secador.....	23
2.	Primer diseño	24
3.	Segundo diseño	26
4.	Primera evaluación de diseño	27
C.	Segundo Diseño.....	28
1.	Chasis primario	28
2.	Diseño de ductos de aire de secado.....	29
D.	Diseño de Secador.....	37
1.	Definición de componentes.....	37
2.	Herramientas y criterios de diseño.....	37
3.	Diseño de componentes y selección de materiales.....	39
E.	Fabricación.....	57
1.	Disponibilidad de recursos.....	57
2.	Trabajos tercerizados	58

3.	Proceso de fabricación	58
4.	Fabricación estructuras de componentes.....	59
5.	Reductor de área	63
6.	Fabricación ducto de recirculación	65
7.	Perforación de agujeros de acople.....	67
8.	Colocación de cubiertas de aislante y lámina.....	67
9.	Aplicación de capa final de pintura.....	69
10.	Aplicación de sellantes	69
VI.	RESULTADOS	71
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
VIII.	CONCLUSIONES	77
IX.	RECOMENDACIONES	79
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
XI.	ANEXOS.....	83
A.	Materiales	83
B.	Propiedades de mecánicas de los materiales	84
C.	Equipo y Procesos de Fabricación.....	85
D.	Planos de Fabricación.....	86

LISTA DE CUADROS

1 Amperajes recomendados para chapas delgadas	13
2 Matriz de decisión	24
3 Materiales	83
4 Propiedades mecánicas del Acero Inox 304	84
5 Propiedades mecánicas del Acero Estructural ASTM-A36.....	84
6 Equipos y herramientas	85

LISTADO DE FIGURAS

1 Secador comúnmente utilizado en el proceso de secado	9
2 Esquema de secador de bandejas.....	10
3 Juntas y vértices en Acero inoxidable	14
4 Cardamomo verde previo al corte	15
5 Cardamomo "Jocote"	16
6 Almacenamiento en sacos	16
7 Secador circular.....	17
8 Fondo perforado secador circular.....	17
9 Unidad de potencia (Motor-Ventilador= de Secador Circular)	17
10 Prolongación de tuberías de escape	18
11 Quemador secador circular.....	18
12 Secador rectangular con fondo en rampa.....	19
13 Unidades de potencia secadores rectangulares fuera del recinto de secado.....	19
14. Carga y uniformizado de capa de cardamomo en secador circular.....	20
15 Cubierta con sacos del cardamomo	20
16 Cardamomo seco	21
17 Descarga de Lote de secado	21
18 Limpieza de grano y separación de oro	22
19 Primera propuesta configuración de bandejas	25
20 Primer dimensionamiento de bandejas	25
21 Primero esquema de secador	26
22 Propuesta de diseño de dos columnas.....	27
23 Diseño de bandejas con capacidad de 50 libras de grano	29
24 Primera propuesta de ductos de manejo de aire de secado	29
25 Primer diseño difusor	30

26 Primer diseño ducto de recirculación	30
27 Simulación de comportamiento de fluidos de primer diseño	31
28 Diseño de secador con reducción de área en rampa	31
29 Segundo diseño con reducción de área en rampa	32
30 Perfil de velocidad de aire de secado segundo diseño Polanco M. 2019.....	32
31 Tercera propuesta de diseño	33
32 Perfil de velocidades tercera propuesta de diseño	33
33 Cuarta propuesta de diseño.....	34
34 Perfil de velocidades de cuarta propuesta de diseño.....	34
35 Quinta propuesta de diseño	35
36 Aletas de distribución vertical de aire de secado	36
37 Curva interna reductor de área.....	36
38 Perfil de velocidades quinta propuesta de diseño	37
39 Despliegado de bandeja en tamaño de lámina comercial	39
40 Deformación en bandejas	40
41 Comparación orientación angulares de soporte.....	40
42 Modificación de perforaciones de fondo de circular a hexagonal	42
43 Modificación de bordes de tubos cuadrados.....	42
44 Simplificación de planchas en estructura primaria	43
45 Fuerza aplicada a bandeja de acero inoxidable.....	43
46 Deformación de bandeja.....	44
47 Esfuerzo en bandeja.....	45
48 Factor de seguridad de bandeja	45
49 Fuerza aplicada en placas	46
50 Soporte de estructura primaria.....	46
51 Deformación en estructura primaria	47
52 Esfuerzo en estructura primaria.....	47
53 Factor de seguridad.....	48
54 Modos de vibración	48
55 Ingreso y salida aire de secado	49
56 Miembros de acoplamiento fabricados en perfil plano de 2 x3/16”	49
57 Mecanismo de regulación de aletas	50
58 Compuerta de servicio.....	50
59 Conexión con difusor trasero.....	51
60 Conexión con recámara de secado.....	51
61 Estructuras triangulares de reductor de área.....	52
62 Perfiles de acoplamiento a estructura primaria.....	52
63 Curva interna reductor de área.....	53

64 Mecanismos de corredera de ajuste curva interna	53
65 Acceso a graduaciones de curva interna por recámara de secado.....	54
66 Acceso a graduaciones de curva interna por parte trasera del secador	54
67 Acople de ducto de recirculación a recámara de secado.....	55
68 Aleta Variable de proporción recirculación/salida de aire de secado	55
69 Mecanismo de control (salida/recirculación).....	56
70 Muestra aislamiento térmico panel poliuretano.....	56
71 Alojamiento de aislante térmico en cavidades de la estructura	57
72 Corte con tronzadora de perfiles.....	59
73 Perforación de agujeros de acople en barreno de banco previo a ensamblaje	59
74 Ensamble de marcos de chasis primario	60
75 Soldadura de parales de conexión con escuadras magnéticas.....	60
76 Compatibilidad de bandejas con estructura primaria.....	61
77 Plantillas de intersección de curva con parales de difusor.....	61
78 Sistema de fijación de posición de aletas de difusor	63
79 Estructuras triangulares de reductor de área	63
80 Soldadura de estructura de reductor de área	64
81 Fabricación de curva interna de reductor de área	64
82 Mecanismo de correderas con varilla roscada de curva interna variable.....	65
83 Estructura ducto de recirculación en posición de montaje.....	65
84 Mecanismo eje de aleta recirculación.....	65
85 Fabricación de mecanismo de aleta de recirculación.....	66
86 Ensamble de estructuras para perforación de agujeros de acoplamiento	67
87 Cortes y colocación de paneles de aislamiento térmico.....	68
88 Aplicación de capa de pintura anticorrosiva a estructuras.....	69
89 Silicon grado alimenticio certificado por la NSF	69
90 Bordes doblados y soldaduras a tope en acero inoxidable.....	71
91 Altura máxima de carga.....	71
92 Secador a media carga (5 quintales)	72
93 Mecanismos de variación de geometrías	72
94 Transporte de secador en pick-up palangana estándar.....	73
95 Ensamble completo de secador.....	74
96 Perforaciones circulares en fondo de bandejas	75
97 Prueba de llama en secador	75

RESUMEN

En conjunto con el Centro de Estudios Agrícolas y Alimenticios (CEAA) se busca desarrollar un secador de cardamomo (*Elettaria Cardamomo*) para pequeños productores, con el objetivo de impulsar el desarrollo de comunidades productoras. Se realizará una investigación de los secadores existentes actualmente en la región para determinar sus capacidades, requerimientos, modalidades y funcionamiento. Según la información recolectada en campo en esta investigación se hará un diseño para fabricar un secador adecuado a las necesidades de comunidades de pequeños productores. Establecido el diseño que cumpla con los requerimientos se procederá a la fabricación, manufactura del secador. Una vez terminado se le realizarán pruebas de funcionamiento para verificar su correcto funcionamiento conforme a los objetivos fijados. Se espera entregar a la Asociación de Cardamomeros (ADECAR) un dispositivo plenamente funcional, el cual pueda ser implementado en las comunidades con la que trabajan.

La estructura del prototipo debe cumplir con los requerimientos de resistencia para soportar las cargas a las que sea sometido durante la operación, se realizó un análisis de resistencia de materiales para encontrar los puntos críticos de la estructura (juntas y elementos sometidos a cargas) mediante su análisis resistencia de materiales, así como con apoyo software de diseño y de análisis de elementos finitos. Se fabricó un secador con una capacidad máxima de 10 quintales de cardamomo cereza (verde). El secador cuenta con un esquema de bandejas de acero inoxidable en un arreglo de dos columnas y una altura máxima de carga de 1.75m. Los componentes del secador son desacoplables y transportables en un vehículo tipo pick-up palangana estándar. El secador utiliza dos combustibles para su operación; Diesel para impulsar un ventilador centrifugo a través de un motor y gas propano para realizar el calentamiento de este mediante un quemador. El secador cuenta con cubiertas de lámina pre-pintada en color blanco y un aislamiento térmico de poliuretano de alta densidad. El sistema calefacción del aire de secado cuenta con un ducto de recirculación, con el objetivo de reducir el consumo de gas propano.

ABSTRACT

In a cooperation with the Agricultural and Alimentation Studies Center CEEA (Spanish acronym) this work aims to develop a Cardamom (*Elettaria Cardamomo*) dryer to fulfill specific need of small producers of this grain to encourage development who's economy is bases on this grain. In order to understand these specific needs, a research of the drying processes currently used will bring valuable details such as: drying capacities, drying process requirements and available field resources, once the requirements are established dryer's would be designed to match them. The construction phase will the appropriate selection of materials and the different manufacture processes available. Once the dryer's construction is finished several tests would be made to verify if the performance reaches the objectives established previously. The final goal is to hand al fully functional dryer to Cardamom Produces Association ADECAR (Spanish Acronym) so this dryer could be used by small communities that have previously worked with this association.

Prototype's structure must stand by the different load it might go through during its operation. To overcome these problems, both the modeling and finite element analysis will be computer assisted, the appropriate materials and dimensions will be determined based on the analysis results. The dryer will have a maximum capacity of 1000 pounds of green grain (berry). The dryer structure has a tray-based design, two columns of stainless-steel trays arranges in two columns with al maximum height od 1.75 m (5.7ft). Dryer components must me detachable, this will ensure the prototype can be carried by a standard bed pick-up truck. The dryers power system (air flow and heating) must be fuel driven, a diesel engine will be used to move a centrifugal fan and propane gas will heat the air using a burner. The drying chamber will be covered with insulated panel conformed by oven painted sheet metal and high-density polyurethane. Drying air circuit would integrate a recirculation duct, these to increase the efficiency of the dryer by reducing fuel consumption.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se aborda el proceso de diseño y manufactura de un secador tecnificado de cardamomo, la premisa del diseño fue optimizar el proceso de secado mediante la implementación de conceptos de termodinámica, mecánica de fluidos y transferencia de calor. El secador diseñado tiene como objetivo cumplir con los requerimientos de secado de cardamomo de pequeñas comunidades productoras, haciendo el proceso de secado accesible y permitiendo a estas comunidades comercializar este producto a un mayor precio. El diseño se enfocó en dos aspectos de mejora principales; la reducción de la manipulación excesiva del grano durante el proceso de secado y mejorar la uniformidad en el secado. El diseño implementó simulaciones a través de software del comportamiento de fluidos las cuales permitieron predecir el comportamiento de estos y establecer las geometrías necesarias para su manejo óptimo. El dispositivo fue diseñado pensando en la seguridad de operario, apegado a las limitantes establecidas en la ley para las prácticas seguras para los trabajos manuales. Los componentes fueron diseñados y construidos cumpliendo los requerimientos de las buenas prácticas para el procesado de alimentos.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Diseñar y construir los componentes necesarios que conforma el secador tecnificado de cardamomo.

B. ESPECÍFICOS

- Definir el tipo de secador que se adapta mejor a los requerimientos específicos del proceso de secado de cardamomo.
- Seleccionar los materiales adecuados para la fabricación del secador disponibles en el mercado nacional cumpliendo los requerimientos de resistencia y sanidad (procesado de alimentos)
- Dimensionamiento de estructura primaria, basado en las limitantes establecidas en la ley para los procesos de trabajo manual.
- Diseñar y fabricar los componentes necesarios para el manejo del aire de secado.
- Seleccionar los procesos de manufactura adecuados para la fabricación del secador.
- El dispositivo final debe ser transportable en un vehículo tipo pick-up

III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es uno de los principales países productores y exportadores de cardamomo en el mundo. Los principales campos de cultivo de esta especia se encuentran en las regiones norte y noroccidental del país, por las favorables condiciones de ambiente de estas hacia el cardamomo. A la vez, tales condiciones provocan que dicho fruto sea recolectado con porcentajes de humedad relativa altos, aspecto desfavorable para su exportación. Actualmente el proceso de secado se lleva a cabo de manera artesanal en centros de acopio o por empresas dedicadas a su exportación en cantidades relativamente grandes (4000lb-5000lb) por corrida de secado. Estos centros de secado tienen una estructura establecida en la que el pequeño productor debe transportar su producción de cardamomo hasta el centro de acopio (en la mayoría de los casos a pie y por distancias extensas) para poder venderla. La principal desventaja de esta estructura es el bajo retorno que obtiene el productor, ya que el precio del grano húmedo (cereza) es muy bajo en comparación al grano seco (pergamino), esto aunado al rápido deterioro del grano cereza obliga a los pequeños productores a vender su producción cereza a precios bajos.

Este proyecto busca diseñar, manufacturar y ensamblar un secador de cardamomo que pueda adecuarse a las demandas de las pequeñas comunidades, brindando así la posibilidad a estos pequeños consumidores el poder llevar a cabo el proceso de secado y de esa manera obtener mayor retorno de la cosecha del cardamomo. El diseño y fabricación de la estructura tiene distintos objetivos. La estructura primaria y estructuras secundarias deben ser capaces de soportar las cargas de operación establecidas. La selección de los materiales (tipos de acero, geometría de perfiles y revestimientos) adecuados no solo garantizar la resistencia antes mencionada sino la durabilidad del dispositivo, los procedimientos establecidos como buenas prácticas en el procesado de productos alimenticios y la viabilidad de fabricación. La estructura debe contemplar los espacios necesarios para los distintos componentes que conforman el sistema, así como un desmontaje y montaje sencillo al momento de realizar reparaciones. El dimensionamiento del dispositivo debe contemplar la normativa de seguridad laboral, con el fin de reducir los riesgos para los operarios y hacer el dispositivo lo más ergonómico posible. La estructura se debe dividir en subestructuras desacoplables para facilitar su transporte, sin comprometer la integridad de la estructura ensamblada.

IV. MARCO TEÓRICO

A. GENERALIDADES DEL PROCESO DE SECADO DE ALIMENTOS

1. Transferencia de calor y masa

El proceso de secado de alimentos tiene como objetivo el retirar humedad de los productos con el fin de evitar los efectos percederos de los mismos, por lo que es uno de los procesos más importantes de la industria. El secado se compone de dos procesos principales y simultáneos: el primero es la transferencia de calor del ambiente al producto lo cual causa la evaporación de la humedad que se encuentra en la superficie del de este, una vez evaporada esta humedad es absorbida por el medio y acarreada por el mismo. El segundo proceso es la transferencia de humedad del núcleo del producto a la superficie de este. La tasa de secado se rige por cómo se desarrollan estos dos procesos (Mujumdar, 2006).

Una de las configuraciones más utilizadas para el secado de alimentos el colocar los alimentos húmedos en una corriente de aire caliente, la transferencia de calor hacia el producto se da principalmente por convección, teniendo como resultado la formación de vapor de agua en la superficie del producto, vapor que es acarreado por la corriente de aire y retirado del producto. En una configuración en la cual la corriente de aire caliente se hace circular de manera paralela a la cara más amplia del producto, la temperatura, humedad y la velocidad del aire son parámetros que deben permanecer constantes y determinan la efectividad del proceso (Brennan, 2006).

La temperatura (diferencial de temperatura) es la fuerza impulsora de la transferencia de calor, para que el agua puede salir del grano evaporarse y ser acarreada por el aire. La humedad del aire de secado puede limitar la transferencia de vapor de agua entre el grano y este, la humedad relativa del fluido establece la cantidad máxima de vapor de agua que este puede contener $\varphi = \frac{m_v}{m_g}$, si el fluido se encuentra saturado $\varphi = 100\%$ no puede existir transferencia de vapor entre este y el grano, efecto que debe ser contrarrestado con el aumento de la temperatura ya que la humedad relativa aumenta a medida que la temperatura aumenta la temperatura. (Cengel & Boles, 2009). La temperatura en el secado de granos debe estar calibrada de manera precisas según el tipo de grano para prevenir cambios físicos o químicos no deseados como la oxidación, actividad enzimática, perdida de color, etc. (Chen & Mujumdar, 2008). El área efectiva de transferencia debe ser la mayor posible por lo que la hacer circular la corriente de aire por una de las caras más amplias del producto tiene un mejor resultado en el proceso de secado (Brennan, 2006). La velocidad relativa del fluido vehículo tiene incidencia en la transferencia de calor por convección, Engel y Ashfin (2011) afirman que entre más alta la velocidad del fluido mayor es la velocidad de la transferencia de calor, esto debido a la alta velocidad genera un flujo turbulento lo que aumento el movimiento entre partículas del fluido, alcanzando así la transferencia de calor su valor máximo cuando el flujo es totalmente turbulento. (Cengle & Afshin J, 2011).

C. CARACTERÍSTICAS DEL SECADO DE CARDAMOMO

La cápsula del cardamomo tiene un largo de 10 a 20 mm y un diámetro de 5 a 10 mm, de un color verde amarillento en su estado maduro (Deulofeu, 2006). El cardamomo cereza recién cortado tiene una densidad aparente de entre 355.07 y 436 g/l (kg/m^3) esta densidad contempla el espacio entre granos ocupado por aire (T.K. Khura, 2013)

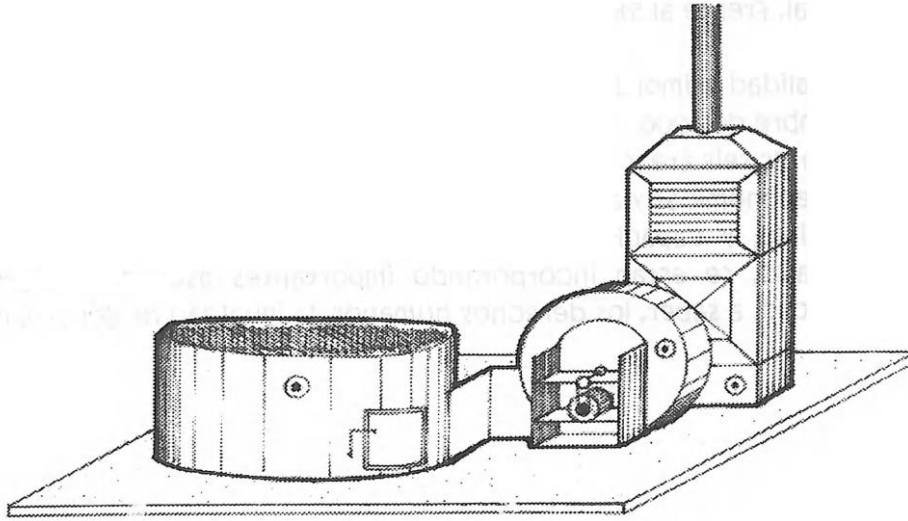
El cardamomo y su proceso de secado difieren de la mayoría de los secados convencionales. La principal característica del secado de cardamomo es que el grano se seca dentro de la cápsula, esto se debe a que los requerimientos del consumidor final así lo exigen. El producto final se clasifica en función a sus características físicas, en donde el tamaño de la cápsula, como intensidad y la uniformidad del color son los criterios principales de clasificación (datos de exportadora Semuy, Cobán). La cápsula del cardamomo aumenta su fragilidad a medida que este se seca, el manejo apropiado del grado evita que la cápsula se rompa y deje el “oro” salir de la misma, este producto se comercializa a un precio menor que el grano con la cápsula cerrada.

En el proceso de secado de granos es una práctica común mover o mezclar el grano durante el secado, como en el secado de café, esto para asegurar que todos los granos tengan contacto con el medio de secado y de esa manera uniformizar el secado. El cardamomo, por el contrario, no puede moverse durante el proceso de secado, el mezclarlo tiene como consecuencia que las cápsulas se golpeen entre sí causando manchas de colocación blanca en la superficie de la cápsula (dato provisto por productores de cardamomo en campo). Este fenómeno reduce la calidad del producto final teniendo impacto en el precio de venta.

D. PROCESOS DE SECADO ACTUAL

El secado de cardamomo en Guatemala se lleva a cabo en secadores de café adaptados al uso del secado de cardamomo. Estos secadores tienen la configuración denominada “bien” o secadores de contenedor. Este tipo de secadores son los más económicos y sencillos de fabricar, constan de un contenedor cilíndrico con el fondo perforado. El grano se coloca en dicho contenedor y se hace circular aire caliente a través del grano, el aire caliente absorbe vapor de agua en el proceso el cual es descartado al ambiente.

Ilustración 1 Secador comúnmente utilizado en el proceso de secado



Fuente: (Fundación para el Desarrollo y Rducación de la Mujer Indígena)

Arévalo (2009) afirma que el secado actualmente se realiza de una manera empírica en la cual no se requiere de un operador tecnificado para llevar a cabo la tarea, debido a la exigencia de mayor calidad en el producto es común ver la implementación de secadores y hornos convencionales para realizar el proceso de secado

E. TIPOS DE SECADOR

Los secadores se clasifican según 4 características principales:

1. Modo de operación

a. Secador por Lote

El secador por lote es aquel se carga una vez al principio del ciclo de secado y se descarga al final de este, contiene una cantidad específica de producto por corrida de secado. De acuerdo con Smith y Hui (2004), este tipo de secador es comúnmente utilizado en producciones de pequeña escala, plantas piloto, producción rural y productos de alto valor (Smith & Hui, 2004).

b. Secador continuo

El secador continuo es cargado y descargado múltiples veces durante el ciclo de secado, consiste en un secador con partes móviles que permiten al producto pasar a través del secador. En su mayoría constan de distintas etapas de secado configuradas a temperaturas específicas según el producto a procesar.

2. Modo de calentamiento

a. Directo

Los secadores directo, son aquellos en los cuales los gases de combustión de calentamiento del aire tienen contacto con el producto que se seca.

b. Indirecto

El sistema de calentamiento indirecto emplea intercambiadores de calor para transferir el calor de un fluido de trabajo al grano, en esta configuración el grano no tiene contacto directo con el fluido sino. El fluido de trabajo transfiere calor a superficies en contacto con el producto, estas se encargan de transferir el calor necesario al producto para evaporar el agua en este (Brennan, 2006).

3. Naturaleza del producto

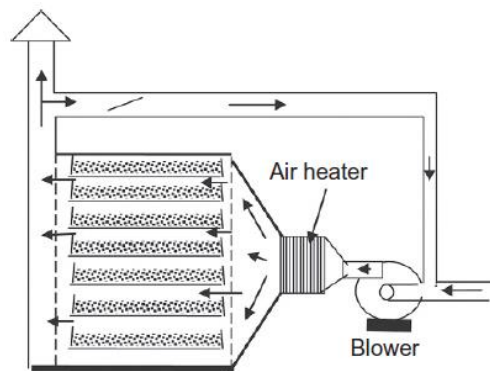
Es posible clasificar los secadores según la consistencia el producto que se procesa, los productos pueden ser: sólidos, líquidos, acuosos y granulares.

F. SECADOR DE BANDEJAS

1. Esquema general

El secador de bandejas es un secador de calentamiento artificial, utilizando un combustible fósil como fuente de calor para el aire; el calentamiento artificial se implementa en entornos en donde las condiciones de humedad no permiten que el producto se seque mediante algún medio natural (secado solar) (Mujumdar, 2006). El secador de bandejas hace circular una corriente de aire a través de la recámara de secado en donde el grano se ubica en compartimientos diseñados para maximizar el área a la que este es expuesto al flujo. En la mayoría de los casos las bandejas tienen una forma rectangular y un espesor considerablemente menor a su largo y a su ancho.

Ilustración 2 Esquema de secador de bandejas



Fuente: (Berk, 2018)

La configuración de bandejas permite secar el producto en “capas delgadas”; se considera una capa delgada de producto a una capa con un espesor menor a 0.2m. Hall (como citó Mujumdar 2006) afirma que manteniendo el espesor inferior a 0.2m no se produce un gradiente de humedad significativo en el grano el cual pueda afectar el proceso de secado. La temperatura dentro del secador en un esquema de bandejas está limitada únicamente por la temperatura segura para secar el producto en específico sin dañarlo.

2. Pérdidas de calor

En todos los dispositivos de secado está presente la pérdida de calor hacia el ambiente. La pérdida depende del área superficial expuesta, del aislamiento térmico con el cual se secador cuenta y del diferencial de temperatura que exista con el entorno. Calculando las pérdidas de calor implícitas en el proceso la pérdida de calor representa usualmente menos del 7% de la carga total de calor del secador (Mujumdar, 2006).

G. LIMITANTES DE DISEÑO SECADOR

1. Peso máximo por bandeja

Debido a que el proceso de secado se desarrolla en un entorno agroindustrial, se tiene limitantes en cuanto a los equipos que puedan ser provistos al operario para desarrollar la parte manual del proceso de secado. El Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional establece los valores máximos de peso que pueden ser manejados de manera manual por un operador en base a los criterios presentados a continuación.

“ARTÍCULO 90. En la manipulación manual de cargas, no debe exceder los límites máximos sobre pesos descritos a continuación:

- *Varones de 16 a menos de 18 años: 15 kilogramos*
- *Varones de 18 a 21 años: 20 kilogramos*
- *Mujeres de 16 a menos de 18 años: 10 kilogramos*
- *Mujeres de 18 a 21 años: 15 kilogramos*
- *Varones adultos: 55 kilogramos*

a) El peso máximo de la carga que debe ser transportada o manipulado en forma manual por un trabajador, adulto de sexo masculino, no será superior a cincuenta y cinco kilogramos (55kgs.), y esta manipulación ha de ser intermitente hasta un máximo de tres (3) movimientos por hora; para una frecuencia mayor, el límite de levantamiento de peso será de cincuenta kilogramos (50kgs.) por trabajador. En cualquier caso, pesos mayores a los estipulados, pueden ser manejados por varios trabajadores conjuntamente, siempre que los límites señalados por trabajador, no se sobrepasen.

b) El peso máximo de las cargas que transporten o manipulen las mujeres adultas debe ser equivalente a un setenta y cinco por ciento (75%) al que se admite para trabajadores adultos de sexo masculino. Para tal efecto, se deben de ajustar por lo menos a los criterios que sobre el particular señale la OIT.

c) Se prohíbe el empleo de mujeres durante un embarazo comprobado por un médico o durante las diez (10) semanas siguientes al parto, para el transporte manual de cargas, si a juicio de un médico calificado este trabajo puede comprometer su salud o la de su hijo.”

(Reformado según Art.45 del Ac. Ju. 33-2016)

(Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, 2019)

2. Altura máxima de carga

El método de carga de grano en un secador de bandejas se asemeja a un proceso de almacenamiento de materiales, por lo que se desea diseñar el almacenamiento a una altura máxima de carga establecida en la ley. El artículo 96 del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional establece:

“ARTÍCULO 96. La altura máxima para almacenamiento en forma manual no debe superar a un metro con setenta y cinco centímetros (1.75mts.) o la media de la estatura de los trabajadores que realicen tal operación. Si la altura para el almacenamiento manual es superior a este nivel, debe proporcionársele al trabajador algún medio fijo o móvil que le permita llegar hasta la altura deseada, sin sobrepasar el límite mencionado.”

(Reformado según Art.49 del Ac. Ju. 33-2016)

H. MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA

1. Materiales estructurales

a. Perfiles metálicos disponibles en el mercado guatemalteco

Los perfiles metálicos en el mercado guatemalteco se apegan a la norma ASTM-A36, siendo sus propiedades mecánicas; módulo de elasticidad de 200 Gpa. Los perfiles se venden en un largo de 6m.

2. Materiales en contacto directo con el producto

De acuerdo con Schmidt (2012), las superficies en contacto directo con el grano deben cumplir con algunos requerimientos entre los que se encuentran; no porosas, no reactivas, no contaminantes, resistentes a la corrosión, durables y fáciles de limpiar. (Ronald H, Daniel J, Steven, & Wolf, 2012). Con el objetivo de satisfacer estos requerimientos el acero inoxidable presenta una alternativa adecuada para la fabricación de equipo y utensilios destinados a estar en contacto directo con productos alimenticios.

a. Acero inoxidable AISI 304

La familia de aceros AISI 300, es una familia de aceros inoxidables con los cuales se fabrica la mayoría de los instrumentos o equipos que tiene contacto directo con productos alimenticios. Aproximadamente el 50% de los productos en contacto directo con alimentos están fabricados de acero 304 por su alta resistencia a la corrosión (Ronald H, Daniel J, Steven, & Wolf, 2012). El acero inoxidable 304 tiene un módulo de elasticidad de 193GPa. El acero inoxidable 304 se comercializa en láminas de 1x2m.

3. Procesos de manufactura

a. Soldadura de arco en perfiles delgados

Uno de los criterios más importantes para la selección de los parámetros de soldadura (posición, ángulo del electrodo, corriente, polaridad y electrodo) es el espesor del material base en el que se está soldando. La corriente, grosor de electrodo y la posición de soldadura se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1 Amperajes recomendados para chapas delgadas

Espesor de Metal Base	Grosor de Electrodo	Amperaje Aproximado
Calibre 18	3/32"	50-80
Calibre 16	3/32"	
Calibre 14	1/8"	90-135
Calibre 12	1/8"	
Calibre 10	5/32" ó 1/8"	120-175
3/16"	5/32" ó 1/8"	
1/4"	3/16" ó 5/32"	140-200

Fuente: Manual el Soldador, OXIGASA

La soldadura de láminas delgadas (espesor inferior a 1/8") presenta un problema adicional para el proceso. Debido al grosor del metal es muy fácil perforarlo. Con el objetivo de reducir esos problemas, se deben seguir las siguientes 4 reglas simples:

1. Mantenga un arco muy corto. Esto evita la perforación, ya que los principiantes tienden a mantener el arco durante mucho tiempo.
2. Utilice un electrodo de 3.2 mm (1/8") o 2.4 mm (3/32").
3. Utilice un amperaje bajo. 75 amperes para el electrodo de 3.2 mm (1/8"), 40-60 amperes para el electrodo de 2.4 mm (3/32").
4. Realice movimientos rápidos. No mantenga el calor en un punto dado por demasiado tiempo. Continúe. Avance el electrodo con un movimiento corto.
5. Utilice soldaduras de empalme cuando sea posible. Esto duplica el grosor del metal.

(Lincoln Electric, 2013)

4. Soldadura de materiales galvanizados

Según Jeffus (2013) los revestimientos y aplicados a los materiales para evitar su corrosión, debido a su composición química (Zinc), pueden representar un riesgo de emanación de gases nocivos para el soldador. Previo a realizar la soldadura es necesario preparar la pieza de trabajo de la manera apropiada mediante el pulido de las zonas donde la soldadura se aplica. La adecuada preparación de la pieza de trabajo junto con una ventilación adecuada en el recinto donde se lleva a cabo la soldadura previene cualquier efecto nocivo de los gases (Jeffus, 2009)

5. Soldadura de Acero inoxidable

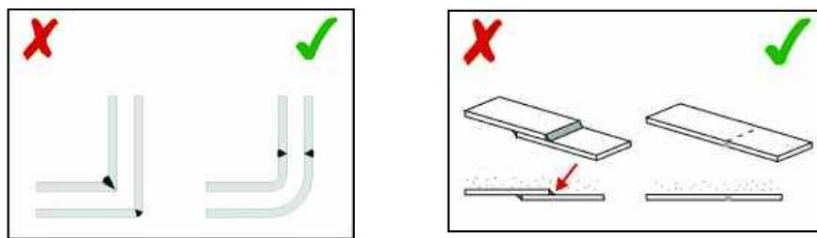
El proceso más apropiado para efectuar soldaduras en Acero Inoxidable es el proceso TIG (Tungsten Inert Gas), mediante la implementación de este proceso se obtiene una dureza superior en las soldaduras comparado

con el procedimiento de soldadura de arco eléctrico con el que se logra el 50% de la dureza obtenida con el proceso TIG (Rodríguez, 2001).

6. Uniones en Acero inoxidable

Los materiales en contacto directo con el producto deben cumplir los requisitos antes mencionados, para un satisfacer las necesidades de un proceso puntual es común recurrir a la fabricación de contenedores a medida. El tipo de uniones para lograr las geometrías deseadas deben respetar características específicas. Parrington (2006) de Euro Inox describe los criterios de diseño de contenedores para productos alimenticios, así como la ubicación de las soldaduras para minimizar los posibles alojamientos de contaminantes en los contenedores.

Ilustración 3 Juntas y vértices en Acero inoxidable



Fuente: (Partington, 2006)

I. ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE MATERIALES

1. Vigas a flexión con carga distribuida

La deformación máxima (en el punto $L/2$) de una viga a flexión bajo los efectos de una carga distribuida está dada por la ecuación (Timoshenko, 1957):

$$\text{Deformación Máxima } (y_{max}) = \frac{5WL^4}{384EI}$$

En donde:

- W es la magnitud de la carga
- L es la distancia entre apoyos de la viga
- E es el módulo de elasticidad del material
- I es el momento de inercia de la sección de la viga.

2. Placas planas a flexión

Se considera una placa plana a una viga cuyo espesor es mucho menor que sus otros dos lados, para el análisis de placas planas en estado flexional se utiliza el término:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Que es el equivalente a EI en el análisis de vigas (Massa, 2017)

V. METODOLOGÍA

A. INVESTIGACIÓN Y VISITA DE CAMPO

La visita de campo se realizó en el municipio de Senahú Alta Verapaz localizado a 127 kilómetros de la cabecera departamental (Cobán). En esta localidad se encuentra la finca administrada por el Ing. Sergio Méndez (a 14 kilómetros del centro de Senahú), aquí se pudo observar el proceso de secado de cardamomo, así como obtener información valiosa del proceso de secado implementado en la actualidad.

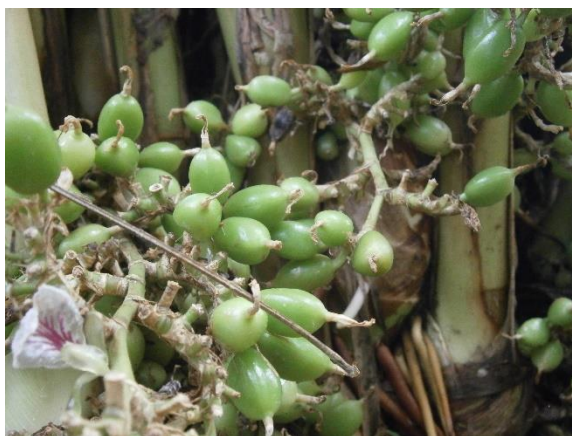
1. Producción

La producción de cardamomo se lleva a cabo principalmente por pequeños y medianos productores, estos suelen ser familias quienes obtienen un máximo de 1.5 quintales por cosecha. Estos productores llevan el cardamomo cereza (verde) a los centros de secado en donde pueden vender, esto dependiendo de si el productor cuenta con los medios necesarios para transportar el cardamomo. Una práctica común es que el cardamomo sea comprado en las localidades de producción por un “coyote”, estas son personas que se dedican a comprar el cardamomo cereza a un menor precio que el pagado en los centros de secado para luego llevarlo al centro de secado y de esa manera obtener ganancias.

2. Corte y almacenamiento

El proceso de producción comienza con el corte del grano, el grano es cortado de manera manual por personal designado. La manera de seleccionar el grano que está en el punto apropiado para su corte es tocando con los dedos de manera suave el racimo de granos, los granos que se sueltan con este leven movimiento o contacto son los que están listos para su cosecha.

Ilustración 4 Cardamomo verde previo al corte



Elaboración propia

Se tomó una muestra de granos, la especie predilecta por los productores es la denominada “jocote” por su tamaño (mayor a 20mm) y la intensidad del tono verde que posee. El cardamomo que se produce en la finca visitada tiene una densidad promedio de 553g/litro (dato provisto por personal de la finca).

Ilustración 5 Cardamomo "Jocote"



Fuente: Elaboración propia

Una vez el cardamomo es recolectado, es almacenado en costales de Nylon, esto con el objetivo de reunir la cantidad en peso necesaria para poder alcanzar la capacidad máxima del secador utilizado.

Ilustración 6 Almacenamiento en sacos



Fuente: Elaboración propia

3. Secadores utilizados

Los secadores utilizados para llevar a cabo el proceso de secado de cardamomo son en realidad secadores de café adaptados al secado de cardamomo. Se utilizan dos geometrías principales los secadores de depósito circular y los de depósito rectangular, los cuales comparten algunas características y difieren en otras.

a. Secador circular

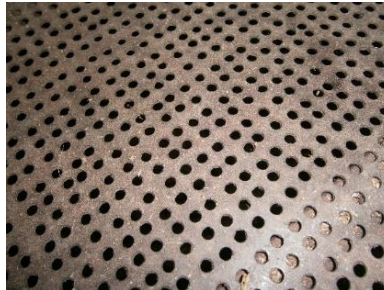
Los secadores circulares constan de un depósito circular de 3 m de diámetro construido en lámina negra pintada con anticorrosivo. El fondo perforado, fabricado de lámina negra perforada con agujero de 5 mm de diámetro divide el compartimiento en donde se carga el grano del compartimiento por donde se suministra el aire de secado.

Ilustración 7 Secador circular



Elaboración propia

Ilustración 8 Fondo perforado secador circular



Fuente: Elaboración propia

El aire es suministrado por un sistema compuesto de un ventilador centrifugo (suministro de caudal de aire) y un quemador de gas propano (fuente de calor para el aire). Un motor Diesel de 12 HP impulsa el ventilador centrifugo transmitiéndole potencia por medio de fajas.

Ilustración 9 Unidad de potencia (Motor-Ventilador= de Secador circular)



Fuente: Elaboración propia

El motor está firmemente sujeto al suelo mediante una fundición con pernos, para acoplar la base de este. La de poleas utilizada para impulsar los motores es de 1 a 1. Los gases de escape del motor son evacuados del

recinto donde se encuentran los secadores mediante la prolongación de la tubería de escape hasta el exterior de este.

Ilustración 10 Prolongación de tuberías de escape



Fuente: Elaboración propia

El calentamiento del aire se lleva a cabo mediante un quemador de gas propano ubicado en la entrada del ventilador centrífugo. Este quemador es encendido de manera manual por un operador, incluso cuando este se apaga durante el secado y el ventilador está funcionando.

Ilustración 11 Quemador secador circular



Fuente: Elaboración propia

El tanque de gas propano se ubica en el exterior del recinto donde se encuentran los secadores por seguridad y debido a su tamaño, los tanques utilizados son tanques de 500 galones montados en carretones para facilidad de transporte. El aire caliente se hace pasar a través del grano para que este sea secado.

b. Secador rectangular con fondo en rampa

Los secadores rectangulares están conformados por un depósito rectangular de block de 6m de largo y 1.85m de ancho y 1.10m de profundidad. Estos secadores cuentan con un fondo en rampa con un ángulo de 10° en la parte inferior del mismo. Una lámina perforada separa el compartimiento del grano del compartimiento del aire de secado.

Ilustración 12 Secador rectangular con fondo en rampa



Fuente: Elaboración propia

Los secadores rectangulares a diferencia de los secadores circulares poseen el sistema de suministro de aire de secado afuera del recinto en donde se encuentra la recámara de secado. Los ventiladores son impulsados por motores Diesel de 12 caballos por medio de fajas.

Ilustración 13 Unidades de potencia secadores rectangulares fuera del recinto de secado



Fuente: Elaboración propia

4. Proceso de secado

El proceso de secado independientemente de la configuración geométrica del secador consta de los mismos pasos. El grano previamente almacenado en sacos se vierte en el depósito de secado de manera manual levantando los sacos y vaciándolos en el depósito de secado, el grano no es “batido” ni movido durante el proceso hasta el “volteo” descrito más adelante. Cada uno de estos sacos posee alrededor de 1.45 quintales de cardamomo (145lb), la carga mínima rodea los 25-30 quintales, pero puede llegar a 50 quintales como máximo, esto dependiendo de la disponibilidad del grano. Cabe resaltar que la carga mínima del grano está regida tanto por la disponibilidad del grano como por el tiempo que el grano permanece almacenado en sacos, se busca reunir la cantidad mínima lo antes posible, de lo contrario el grano verde se pudre.

Ilustración 14. Carga y uniformizado de capa de cardamomo en secador circular.



Fuente: Elaboración propia

Una vez el grano es cargado, se trata de uniformizar la capa de este con el uso de una pala, la capa de grano suele tener un espesor de entre 0.3 y 0.45 m. Luego de uniformizar la capa de grano este es “aireado”, se le suministra aire (sin calentar) con el uso del ventilador por alrededor de 1 o 1.5 horas, esto para retirar el exceso de humedad, remanentes producto de la colecta (tierra y horas secas), así como insectos. El personal a cargo del proceso de secado afirma que no darle este “aireado” al grano tiene consecuencias directas en la calidad del producto final perjudicando la misma. Luego de terminar el proceso de “aireado” de del grano se procede a encender los quemadores y así suministrar aire caliente a una temperatura de entre 40 y 50°C. Alrededor de 20 horas después de iniciado el proceso de secado el grano se cubre con los mismos costales en los que es almacenado esto para reducir el tiempo de secado afirma el personal a cargo.

Ilustración 15 Cubierta con sacos del cardamomo



Fuente: Elaboración propia

Luego de alrededor de 24 horas el grano se voltea, es decir el grano que está en la parte de abajo del volumen de secado se pasa para arriba y el de arriba (que se encuentra más húmedo) se pasa para abajo, este proceso se realiza de manera manual mediante el uso de palas, canastos plásticos y costales. Luego del procedimiento de volteado el secado continúa hasta que el grano se encuentra en la humedad correcta. Al terminar el secado se seca la otra mitad del cardamomo hasta su punto de extracción, el punto correcto de secado del grano se determina por uno de los trabajadores (el de mayor experiencia en el proceso de secado). El operador extrae varias muestras del lote de secado, en distintas ubicaciones y distintas profundidades. Evalúa estas muestras en

base al color y a que tan quebradiza se encuentra la vaina para así decidir cuándo cortar el suministro de aire caliente.

Ilustración 16 Cardamomo seco



Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado el proceso de secado, se debe dejar que el grano regrese a la temperatura ambiente, se deja reposar por una o dos horas para luego ser descargado del secador. La descarga del grano se lleva a cabo (al igual que la carga) de manera manual, se utilizan palas, canastos plásticos para esta tarea.

Ilustración 17 Descarga de Lote de secado



Fuente: Elaboración propia

El grano seco pasa por una limpieza antes de ser envasado en costales, se utiliza un tamiz para retirar la basura aun contenida en el grano, así como la capsula rota (producto de la manipulación del grano en el proceso de volteo). El grano sin cápsula por ser de menor tamaño, pasa a través del tamiz cayendo al suelo del lugar donde se realiza la limpieza. El grano que se encuentra fuera de la cápsula (Oro) es separado en el proceso de

tamizado, este producto es recogido y envasado en costales ya que este a pesar de no tener una demanda tan alta como el grano con la capsula completa también es comercializado a un menor valor.

Ilustración 18 Limpieza de grano y separación de oro



Fuente: Elaboración propia

a. Oportunidades de mejora

Una vez observado el proceso de secado de cardamomo se determinaron los aspectos a mejorar:

- Volúmenes y pesos de secadores actuales: En el proceso de secado actual los secadores están dimensionados para cargas superiores a los 25 quintales, lo cual no se ajusta a las capacidades de producción de los pequeños y medianos productores.
- Aislamiento térmico: El proceso de secado actual no cuenta con ningún tipo de aislamiento térmico, más que el que proporcional el recinto en donde se encuentran los secadores. Los ductos y depósitos fabricados en lámina negra no cuentan con ningún aislante térmico.
- Material de superficies en contacto con el grano: Las superficies en contacto con el grano están fabricados de lámina negra, la cual en algún momento estuvo pintada que producto de la fricción con los utensilios de manipulación del grano y el grano mismo ya no cuenta con dicho revestimiento, dejando así una superficie oxidada en contacto directo con el grano.
- Manipulación del grano: La manipulación excesiva del grano combinada con la fragilidad del producto seco da lugar a que este se deteriore y reduzca su valor. Debido al grosor de la capa de grano que se atraviesa el aire de secado (mayor a 0.2m) se tiene un gradiente de humedad el cual afecta la uniformidad del secado, debido a esto se debe voltear el grano. El procedimiento de un trabajador subiendo al depósito del grano y sea manipulado con una pala, tiene como consecuencia que las cápsulas se quiebren.
- Uso de gas propano como fuente de calor: El uso de gas propano es algo que pudo observarse en el proceso actual, el fomentar el uso de este recurso tiene el propósito no solo de brindar al operador el control de la temperatura de aire de secado sino también un propósito ambiental. En diseños anteriores

de secadores el principal combustible utilizado como fuente de calor para el aire era la leña lo cual tiene un impacto directo en la deforestación de las zonas productoras de cardamomo, por lo que se desea erradicar el uso de leña tanto en aplicaciones agroindustriales como domésticas.

- Saturación del aire de secado: El aire de secado tiene interacción con el grano solamente una vez, es decir atraviesa la capa del grano y luego es descartado, teniendo aún una gran capacidad de absorber humedad. El cubrir el cardamomo con los mismos sacos de nylon en los que es almacenado, crea una barrera en la superficie del grano lo cual impide que el aire de secado pase libremente. El retener el aire de manera parcial aumenta el tiempo que este está en contacto con el grano permitiéndole absorber más humedad antes de ser descartado, en un esquema más apropiado la recirculación del aire de secado permitiría alcanzar una mayor saturación del aire previo a ser descartado, reduciendo el consumo de gas propano y aumentando la eficiencia del dispositivo.

b. Definición de requerimientos

La visita de campo organizada por el CEAA (Centro de Estudios Agrícolas y Alimenticios) tuvo como principal objetivo el conocer el proceso de secado del cardamomo, así como observar las posibles mejoras que se pueden hacer a este. Una vez establecidas los posibles aspectos a mejorar del proceso de secado, se estableció el cliente final del proyecto. El departamento de ingeniería mecánica tiene como responsabilidad entregar un prototipo funcional de secador tecnificado de cardamomo, así como la documentación necesaria para la réplica del mismo. Es necesario realizar pruebas de campo con el prototipo para realizar las calibraciones necesarias. Una vez terminadas las pruebas de campo el CEAA en conjunto con ADECAR serán los encargados de seleccionar la comunidad en donde se quiere realizar la prueba piloto del secador.

Los requerimientos establecidos para el secador fueron:

- Minimizar la manipulación del cardamomo en el proceso de secado.
- Los equipos y componentes que se utilizarán no pueden ser eléctricos, ya que no se cuenta con acceso a energía eléctrica.
- Utiliza gas propano como fluido de calentamiento.
- La capacidad máxima (peso) del secador debía ser 15 quintales (tener la posibilidad de secar entre 5 y 10 quintales).
- Debe ser fácil de transportar (usando vehículo tipo pick-up).
- El prototipo debe ser sencillo de ensamblar.
- Utilizar componentes y materiales disponibles en el mercado nacional.
- El prototipo debe ser sencillo de operar.

B. DISEÑO PRELIMINAR

1. Definición de tipo de secador

Para definir el tipo de secador a realizar se hizo una comparación de 4 tipos de secadores: Gabinete (bandejas), Rotativo, Contenedor y Solar. Se realizó una ponderación de los parámetros de interés

establecidos para determinar cuál de los tipos de secadores se adaptaba de mejor manera a las mejoras en el proceso que se buscaban.

Tabla 2 Matriz de Decisión

Parámetro	Peso	Gabinete		Rotativo		Contenedor		Solar	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Uniformidad de secado.	30%	7	2.1	9	2.7	3	0.9	4	1.2
Impacto físico del grano.	30%	10	3	1	0.3	1	0.3	7	2.1
Modular.	20%	10	2	10	2	7	1.4	10	2
Tiempo de secado.	20%	6	1.2	6	1.2	8	1.6	1	0.2
Total.	100%	8.3		6.2		4.2		5.5	

Elaboración propia

Basado en los parámetros en los que se desea obtener una mejora en el proceso se seleccionó el secador de gabinete.

2. Primer diseño

El primer paso para realizar el diseño del secador fue establecer el volumen de secado que este debía tener la capacidad de albergar. Utilizando el dato de densidad aparente del cardamomo obtenida en campo, se calculó el volumen necesario para albergar los 15 quintales de cardamomo que se fijaron como capacidad máxima.

$$\rho_{a,cardamomo} = \frac{0.553kg}{ml} = \frac{0.553kg}{cm^3} = \frac{553kg}{m^3} = \frac{1217lb}{m^3} = \frac{12.17quintales}{m^3}$$

$$v_{esp,cardamomo} = (\rho_{a,cardamomo})^{-1} = \frac{0.0824m^3}{quintales}$$

$$W_{max} = 15quintales$$

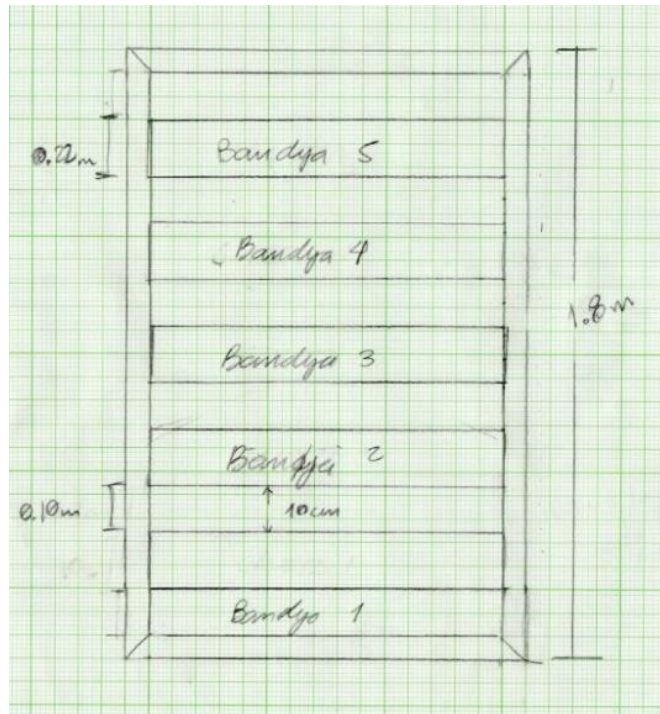
$$V_{secador} = W_{max} * v_{esp,cardamomo} = 15quintales * \frac{0.0824m^3}{quintales} = 1.236m^3$$

El volumen obtenido es de 1.236m³ a este valor se le aplicó un factor de seguridad de sobrecarga de f=1.25, es decir en caso los usuarios quisieran cargar más de los 15 quintales estipulados este tuviera la capacidad volumétrica de albergarlos.

$$V_{diseño} = 1.25 * V_{secador} = 1.55m^3$$

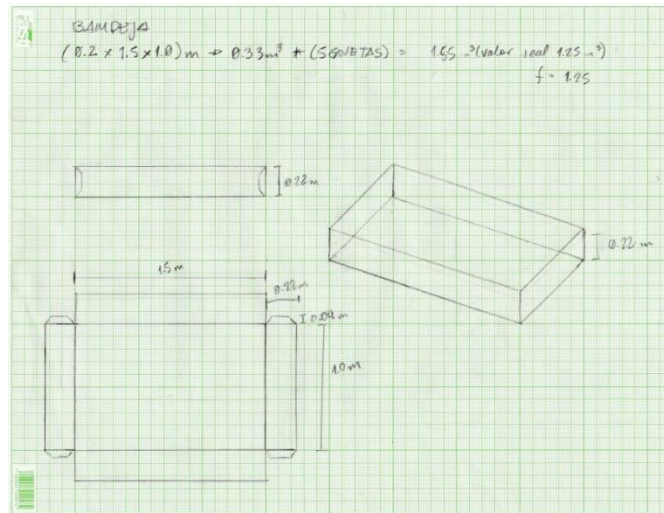
Como primer acercamiento al diseño del secador se consideró un esquema de bandejas perforadas, esto debido a que en este esquema el grano es manipulado únicamente durante la carga. Para cumplir con el requerimiento volumétrico se consideró un esquema de 5 bandejas de 0.2x1.5x1 (m), dejando expuesta al flujo un área de 1.5m². Cada una de las bandejas tendría la capacidad de albergar 300lb de cardamomo. Las bandejas estarían ubicadas en una sola columna y el espacio entre bandejas sería de 0.1m, con esta configuración se obtiene una recámara de secado con una altura total de 1.8 m.

Ilustración 19 Primera propuesta configuración de bandejas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20 Primer dimensionamiento de bandejas

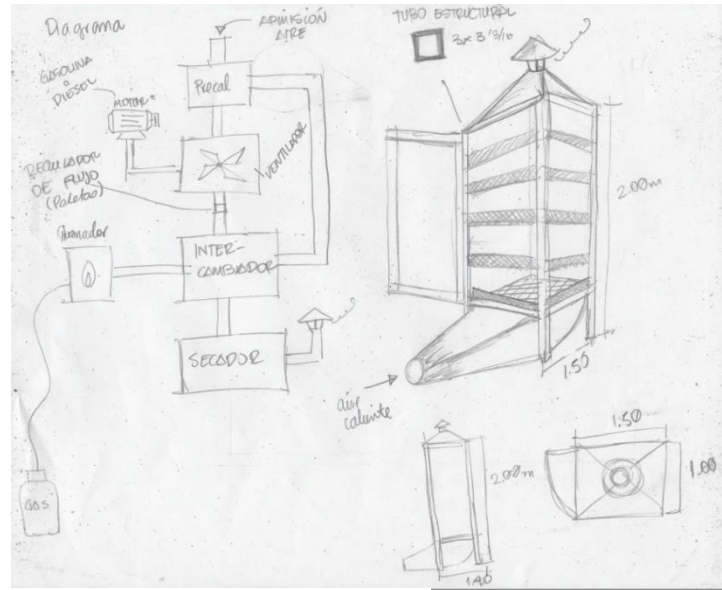


Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de potencia y calentamiento de gas se consideró un sistema de calentamiento indirecto. El sistema de calentamiento se contaba con dos intercambiadores de calor que utilizaban los gases producto de la combustión del propano para realizar una fase de precalentamiento del aire y una de calentamiento. Un motor Diesel o gasolina impulsaría un ventilador para la alimentación del aire. En esta configuración el aire ingresaría

a la recámara de secado por la parte inferior del secador y sería descartado por la parte superior. El secador no contaría con un circuito de recirculación, en lugar de eso se incluirían las dos etapas de calentamiento para aumentar la eficiencia del secador.

Ilustración 21 Primero esquema de secador



Fuente: Elaboración propia

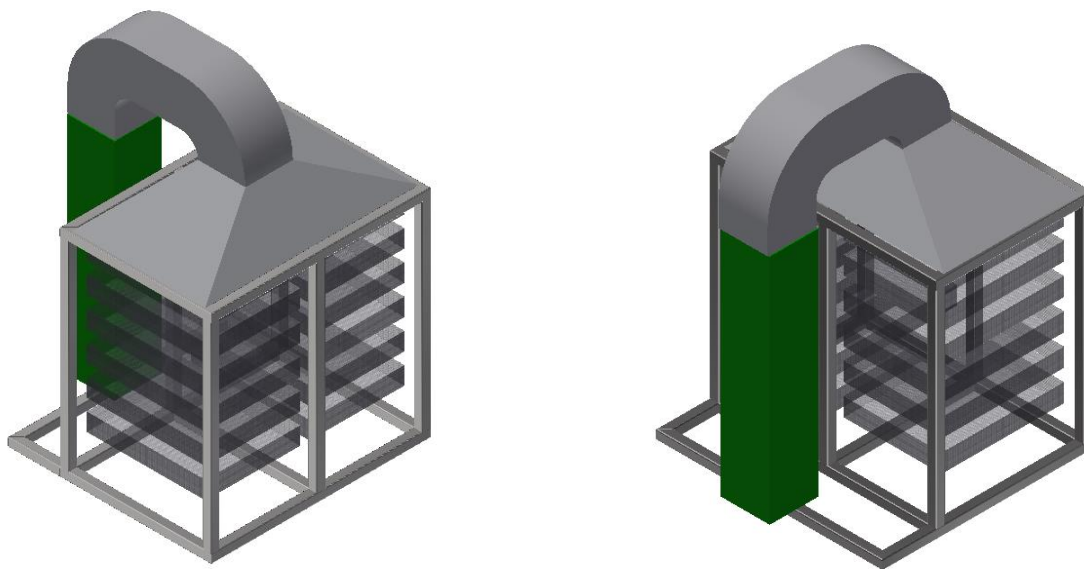
El material para fabricar en secador sería acero estructural, las bandejas estarían construidas con un marco de perfil angular y lámina desplegada para las caras de esta. La estructura primaria estaría fabricada de perfil cuadrado para poder soportar las bandejas. El acople del sistema de suministro de aire de secado a la recámara de secado se realizaría por medio de un difusor conectado a la parte inferior, este espacio para el difusor agregaría 0.2m a la altura del secador. La altura del difusor y la altura de la campana de extracción en la parte superior (0.35m) se sumarían a la altura total del secador siendo esta 2.35m, dando como resultado una altura de carga de 1.70 m lo cual cumple con lo establecido por ley como la altura máxima de almacenamiento (1.75m).

La operación de este prototipo de secador está diseñada para llevarse a cabo por 2 o 3 personas, esto se debe a que cada bandeja cargada superaría el peso establecido por la ley como el máximo a manipular de manera manual por un operario (121 lb por operador).

3. Segundo diseño

Como una alternativa al diseño previamente planteado se planteó un diseño con un esquema similar, con la variante que el tamaño de las bandejas se reduciría y estas estarían acomodadas en dos columnas. El tamaño de las bandejas sería de 1x0.8x0.15(m) teniendo una capacidad de peso de 150lb por bandejas, respetando la altura máxima de carga establecida previamente de 1.7m. Este diseño cuenta con una campana superior la cual se conecta a un ducto de recirculación. Este ducto se encarga de retornar en aire de secado a la parte inferior en donde se calentaría de nuevo y sería impulsado a la recámara de secado por la unidad de potencia.

Ilustración 22 Propuesta de diseño de dos columnas



Fuente: Elaboración propia

4. Primera evaluación de diseño

Una vez establecidas las dos propuestas generales de diseño, se tuvo una reunión con el representante del CEAA (Ing. Luis Arévalo) con el fin de evaluar el diseño y verificar el cumplimiento de los requerimientos solicitados. En la reunión se abordó el tema del esquema de bandejas y se llegó a la conclusión que este esquema permite reducir la manipulación del grano, sin embargo, las dimensiones de estas no se ajustaban a los requerimientos. El Ing. Arévalo comentó que el peso por bandeja (aún en el diseño propuesto 2, de 150lb) era un peso demasiado alto para ser manipulado por una persona, estableció que el peso por bandeja no debía exceder las 55lb (peso del grano más el peso de la bandeja).

En esta reunión se le expresó al ingeniero Arévalo que reducir la capacidad de las bandejas aumentaría el número de estas lo cual aumentaría la altura total del secador, excediendo el límite previamente establecido. Para mantener las bandejas en un peso seguro para su manipulación y no sobrepasar la altura máxima de carga, se decidió reducir la capacidad de peso del secador se redujo a 10 quintales, se aclaró que esta capacidad deberá ser respetada por los usuarios.

Se implementará una recirculación parcial debido a que una recirculación total del aire necesitaría de un sistema para retirar la humedad del aire de secado, lo cual agregaría más componentes al sistema reduciendo su confiabilidad.

En otra reunión en la cual participaron el ingeniero Rony Herrarte (asesor del proyecto) y el ingeniero Arévalo, se establecieron otros requerimientos de diseño:

- Los componentes del secador en contacto directo con el grano debían estar fabricados en acero inoxidable o un material que no se oxidara.
- El secador debe contar con una bandeja de recolección de residuos en la parte inferior, esto para captar los granos de cardamomo en caso las capsulas se rompieran.
- Se debe evitar a toda costa que el condensado (en caso de existir) caiga sobre el grano. Esto puede causar coloraciones que afectar la calidad el producto final.

Establecidos los nuevos requerimientos, se procedió a elaborar otro diseño integrando la recirculación del aire de secado y las dimensiones de las bandejas utilizando la nueva capacidad establecida (10 quintales). Se integró una bandeja de captación de residuos, así como un depósito de condensados.

C. SEGUNDO DISEÑO

1. Chasis primario

Como primero paso se realizó el dimensionamiento de las nuevas bandejas con la capacidad establecida de 10 quintales. Se recalculó necesario para albergar los 10 quintales de cardamomo que se fijaron como capacidad máxima.

$$\rho_{a,cardamomo} = \frac{0.553kg}{ml} = \frac{0.553kg}{cm^3} = \frac{553kg}{m^3} = \frac{1217lb}{m^3} = \frac{12.17quintales}{m^3}$$

$$v_{esp,cardamomo} = (\rho_{a,cardamomo})^{-1} = \frac{0.0824m^3}{quintales}$$

$$W_{max} = 10 \text{ quintales}$$

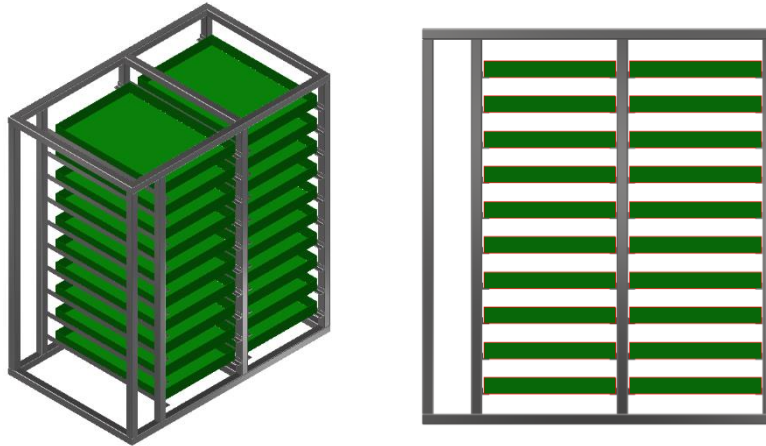
$$V_{secador} = W_{max} * v_{esp,cardamomo} = 10quintales * \frac{0.0824m^3}{quintales} = 0.824m^3$$

En este caso se diseña para el volumen establecido debido a las limitaciones de peso por bandeja establecidas previamente. Tomando la capacidad total del secador como 10 quintales (1000 lb) cada una de las bandejas deberá tener la capacidad de 50lb de cardamomo, por lo que se para cumplir con la capacidad del secador se necesitan 20 bandejas. Se calculó el volumen por bandeja partiendo del volumen específico del cardamomo.

$$V_{bandeja} = W_{bandeja} * v_{esp,cardamomo} = 0.5quintales * \frac{0.0824m^3}{quintales} = 0.0410m^3$$

Bajo el criterio de dejar la cara más amplia expuesta al flujo se establecieron las dimensiones de las bandejas minimizando el espesor de la esta. Se seleccionaron las dimensiones de 0.85x0.6x0.08 (m), con esta configuración se obtuvo un volumen por bandeja de 0.0410m³. Debido a que el número de bandejas aumento en un factor de dos, se decidió conservar la configuración de dos columnas con un espacio entre bandejas del igual al espesor de cada bandeja.

Ilustración 23 Diseño de bandejas con capacidad de 50 libras de grano



Fuente: Elaboración propia

El espacio entre bandejas seleccionado fue de 0.08m (mismo que el ancho de cada bandeja) ya que con esta configuración no se sobrepasa la altura máxima de carga de 1.75.

Como solución a una posible corrosión en las superficies en contacto directo con el grano (las bandejas y las bandejas de recolección) se propuso la utilización de acero inoxidable 304, este acero es grado alimenticio y hay disponibilidad en el mercado nacional.

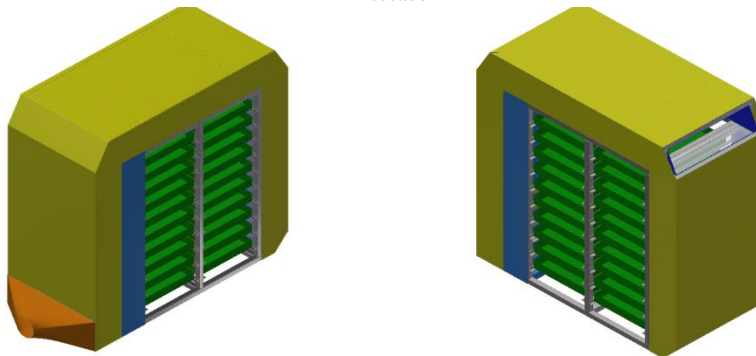
2. Diseño de ductos de aire de secado

Para el análisis del comportamiento del fluido en el sistema se utilizó el software CFD, las simulaciones estuvieron a cargo de Moris Polanco (Sistema de Ventilación y Calefacción), esto fue un proceso iterativo en donde se buscó un compromiso entre una la implementación de las geometrías necesarias para obtener una distribución de flujo deseado ajustadas a las limitantes existentes tanto de diseño como los procesos de manufactura disponibles.

a. Primera iteración de diseño

Como primera propuesta para el diseño de los ductos el aire caliente ingresaría por un difusor ubicado en la parte inferior del secador (componente naranja), una vez en aire ingresara al secador este sería distribuido por un difusor de distribución ubicado en el interior de la recámara de secado (componente azul).

Ilustración 24 Primera propuesta de ductos de manejo de aire de secado



Fuente: Elaboración propia

El difusor interno tendría perforaciones rectangulares ubicadas en los espacios entre las bandejas esto para forzar el aire a pasar por esos espacios, y de esa manera maximizar el contacto del aire de secado con el grano al hacerlo pasar por sus caras más amplias.

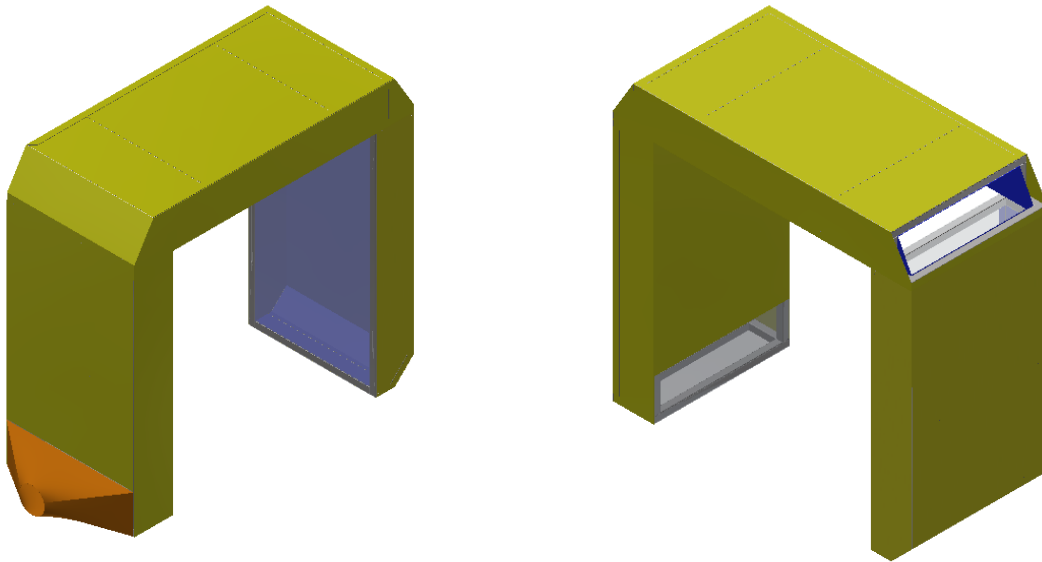
Ilustración 25 Primer diseño difusor



Fuente: Elaboración propia

El aire saldría luego por el extremo opuesto al difusor de distribución a un ducto de recirculación (componente amarillo) este tendría toda la cara en contacto con la recama de secado abierta para permitir que el aire salga. Este ducto contaría con una compuerta para descartar el aire de secado la cual podría regularse para recircular la porción del aire deseada.

Ilustración 26 Primer diseño ducto de recirculación

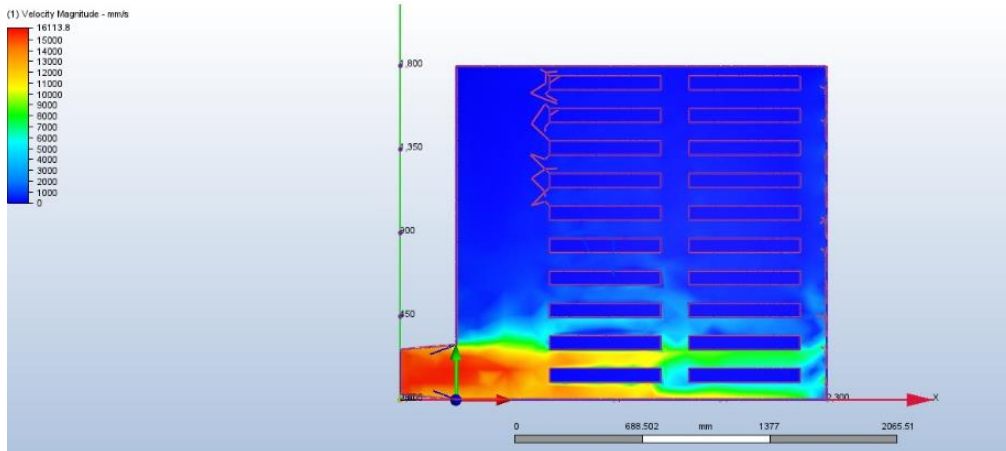


Fuente: Elaboración propia

El ducto antes mencionado estaría conectado al difusor primario en la parte inferior de la recámara de secado para que le aire de recirculación pudiera ingresar de nuevo a la recámara de secado.

El diseño propuesto fue sometido a simulaciones realizadas por Moris Polanco en donde se demostró que las geometrías seleccionadas no permitían tener una distribución de flujo uniforme en los espacios entre bandejas.

Ilustración 27 Simulación de comportamiento de fluidos de primer diseño (Autor: Polanco M. 2019)



Fuente: Elaboración propia

Esta configuración fue descartada debido a no obtener un resultado satisfactorio en cuanto a la distribución del aire de secado, los resultados demostraron que la corriente de aire era distribuida por el difusor interno, contrario a esto el aire pasaba de manera directa por las bandejas inferiores a gran velocidad y sin pasar por el resto de las bandejas.

b. Segundo iteración de diseño

El segundo diseño propuesto se realizó según la información obtenida del artículo científico que se titula “The prediction of drying uniformity in tray dryer system using CFD simulation” por Misha, S. *et al.* International Journal of Machine Learning and Computing. Vol. 3, No. 5, October 2013. En donde se proponen ductos con curvos y reducciones de área en rampa para mejorar la uniformidad del fluido en los espacios entre bandejas.

Ilustración 28 Diseño de secador con reducción de área en rampa

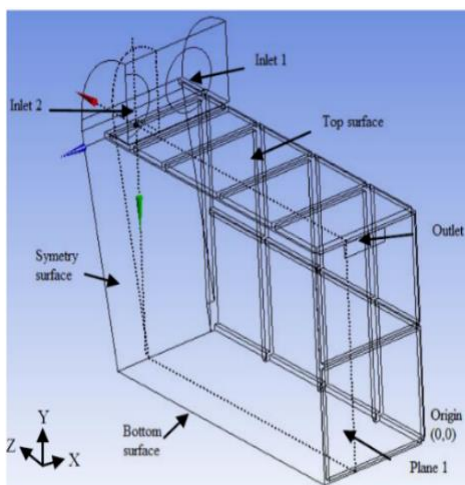


Fig. 1. Drying chamber layout and the boundary condition.

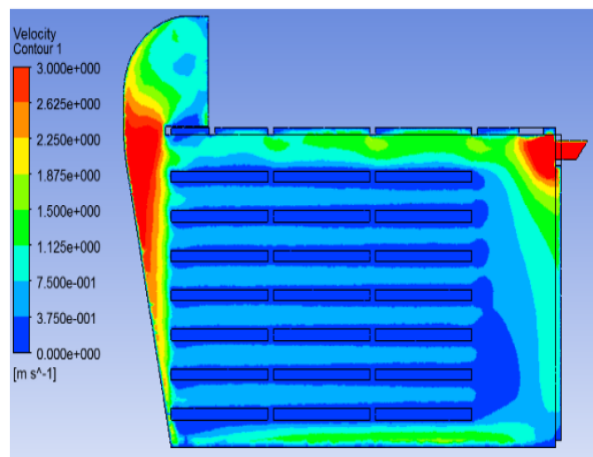
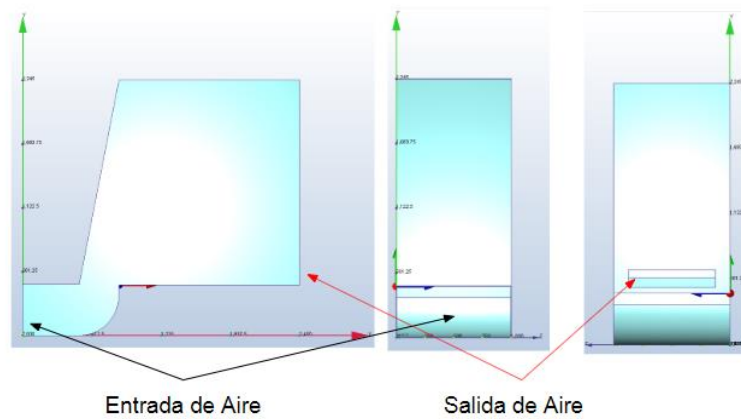


Fig. 3. Velocity distribution profiles at plane 1 (in between 2 fans).

Fuente: Misha S. 2013

Como se puede observar en el diseño propuesto por Misha. S., la inyección de aire de secado se realiza en la parte superior, seguido por una curva acompañada de una reducción de área en rampa para mejorar la distribución del aire de secado. En una reunión con Moris Polanco se estableció que la principal variante entre el diseño de Misha. S. y el diseño del equipo debía ser la ubicación de la inyección de aire. En el diseño propuesto por Misha. S., el aire de secado era impulsado por ventiladores eléctricos los cuales tienen un peso menor e inducen menos vibraciones que el motor impulsado a gasolina o diésel (limitante establecida previamente al no contar con acceso a la red eléctrica). Bajo la premisa de que la unidad de potencia debía ubicarse en la parte inferior de la recámara de secado, se propuso un diseño con el cual se realizaron simulaciones mediante software en donde la inyección de aire se realizaba en la ubicación antes descrita.

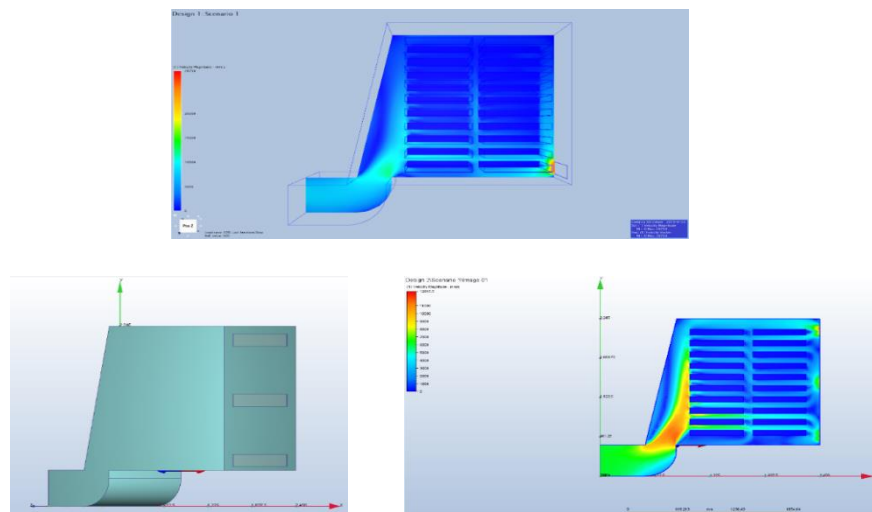
Ilustración 29 Segundo diseño con reducción de área en rampa



Fuente: Polanco M. 2019

Las distintas simulaciones demostraron que la distribución del aire entre las bandejas está afectada de manera directa por la ubicación y las dimensiones de las salidas de este. La ubicación y las dimensiones se variaron hasta obtener una mejor distribución del aire entre las bandejas.

Ilustración 30 Perfil de velocidad de aire de secado segundo diseño Polanco M. 2019



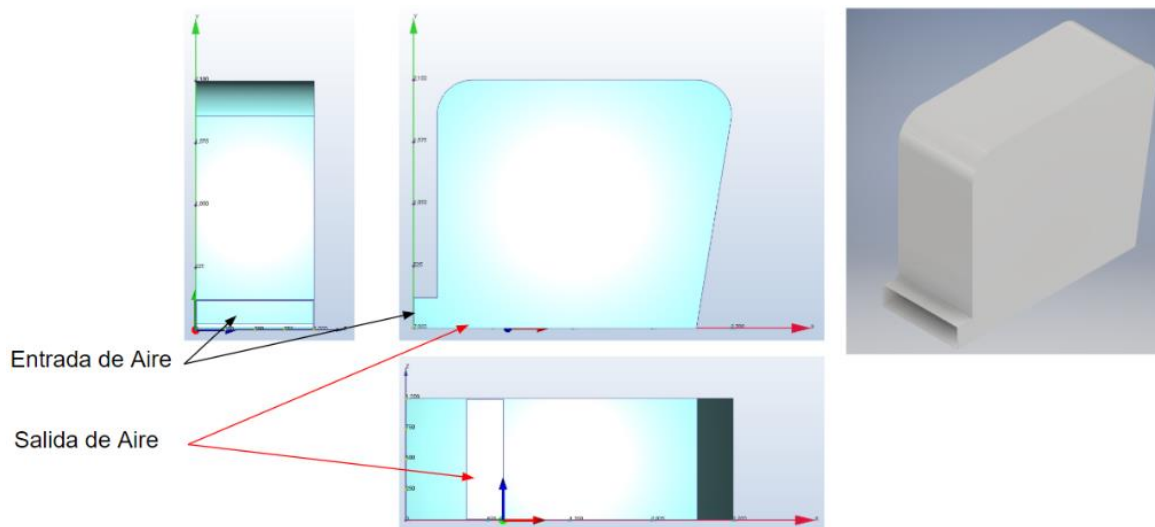
Fuente: Polanco M. 2019

Este diseño fue descartado debido a no obtener una distribución de velocidades de aire y uniforme y representar que la recámara de secado debía desplazada 0.6m hacia arriba para dar lugar al ducto de inyección de aire, esto teniendo como consecuencia superar la altura máxima de carga establecida en la ley de 1.75m. La integración de una recirculación en este diseño es compleja debido a hacer la inyección y extracción del aire en caras opuestas de la recámara de secado.

c. Tercera iteración de diseño

En la tercera iteración de diseño se tuvo como premisa conservar la altura inicial del secador e inyectar el aire de secado en la parte inferior. Se optó por un diseño apegado a la configuración propuesta por Misha. S. antes vista con la variante de una inyección inferior y un recorrido por la parte superior del secador hasta llegar a una curva y reducción de aire en rampa antes de ingresar al área de las bandejas. Las salidas de recirculación y escape estarían ubicadas en la cara superior e inferior respectivamente.

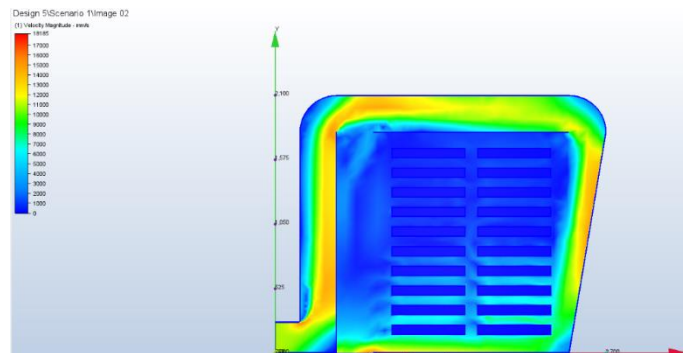
Ilustración 31 Tercera propuesta de diseño



Fuente: Polanco M. 2019

Las simulaciones mostraron como resultados una variación significativa en el perfil de velocidades en los espacios entre bandejas, esto sumado a la complejidad de construir y operar dos compuertas independientes llevo a descartar este diseño.

Ilustración 32 Perfil de velocidades tercera propuesta de diseño

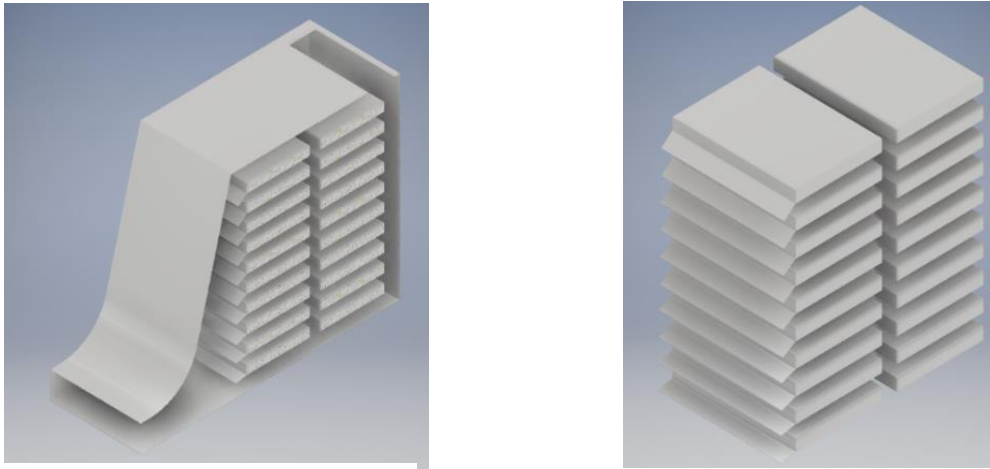


Fuente: Polanco M. 2019

d. Cuarta iteración de diseño

El diseño propuesto constaba de un difusor a la entrada del secador en el cual el aire se expande hasta encontrar en la entrada de las bandejas aletas móviles independientes las cuales se encargarían de distribuir el aire de manera uniforme en los espacios entre bandejas. La salida del aire se haría en una única salida en la parte superior.

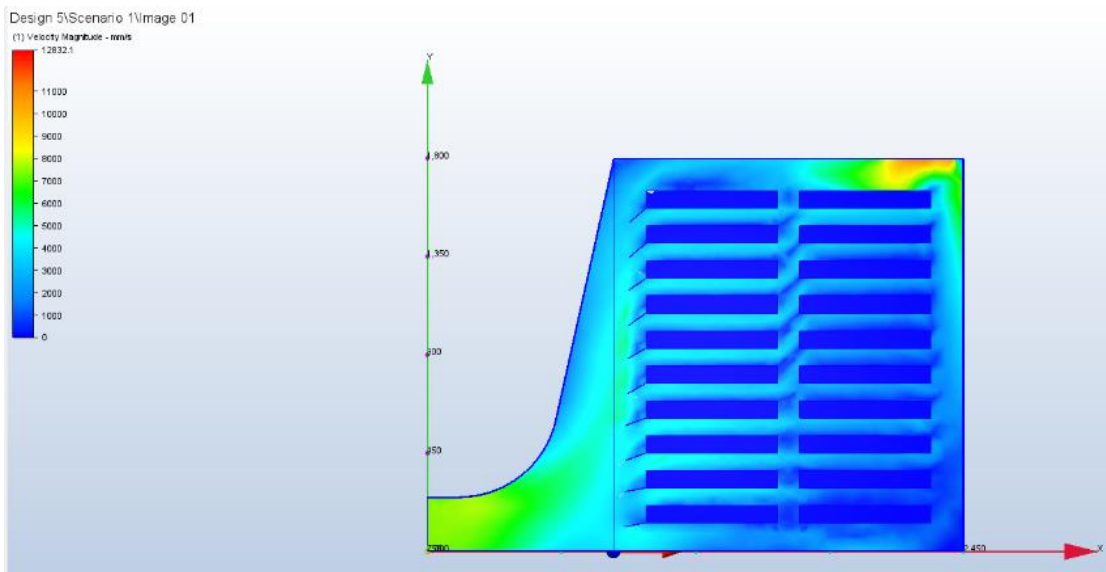
Ilustración 33 Cuarta propuesta de diseño



Fuente: Polanco M. 2019

Las aletas en la entrada de las bandejas demostraron ser efectivas para distribuir el fluido en los espacios entre bandejas, pero diseño tenía características que no eran las buscadas para el manejo del aire de secado después de su contacto con las bandejas.

Ilustración 34 Perfil de velocidades de cuarta propuesta de diseño



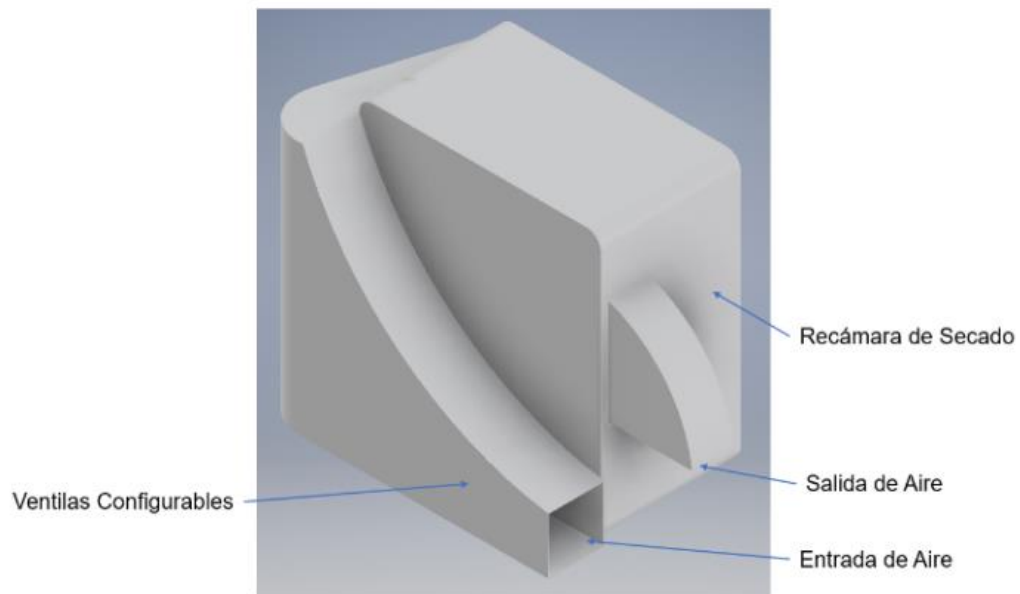
Fuente: Polanco M. 2019

El diseño se descartó debido a dos factores principales, la complejidad de la recirculación y el aumento sustancial en el largo del secador. La fabricación de un ducto que llevara el aire de recirculación de la parte superior de la recámara de secado hasta la parte inferior sería compleja, esto representaría que el ventilador que impulse el aire debería proporcionar la potencia para impulsar ese flujo es trayecto y hacerlo llegar hasta el punto reinyección. Como se muestra en las imágenes el difusor tendría un largo de aproximadamente la mitad de la recámara de secado que tiene 1.7m de largo (aproximadamente 0.8m), dando como resultado un largo total de 2.45m. El tema de discutió con el equipo y se decidió que este largo era demasiado, en especial por que en el diseño no estaba incluida la unidad de potencia que aportaría al largo del dispositivo al menos 1 m más al largo total teniendo un valor tentativo del secador de 3.45m como mínimo.

e. Quinta iteración de diseño

En la quinta iteración de diseño se integraron los conceptos unas aletas o ventilas (que distribuirían el aire verticalmente) y un ducto en curva seguido de una reducción de área en rampa (que distribuirían el aire horizontalmente). El diseño contempla las geometrías necesarias para una adecuada distribución del aire de secado, sin alterar la altura máxima de carga. Los dos componentes incluidos en este diseño serían un difusor que pasa por la parte trasera de la recámara de secado y un reductor de área que haría ingresar el aire de secado a la recámara de secador. El aire de salida de la recámara de secado saldría en un punto muy cercado al que ingresa, permitiendo así una recircular el aire sin necesidad de incrementar la potencia del sistema.

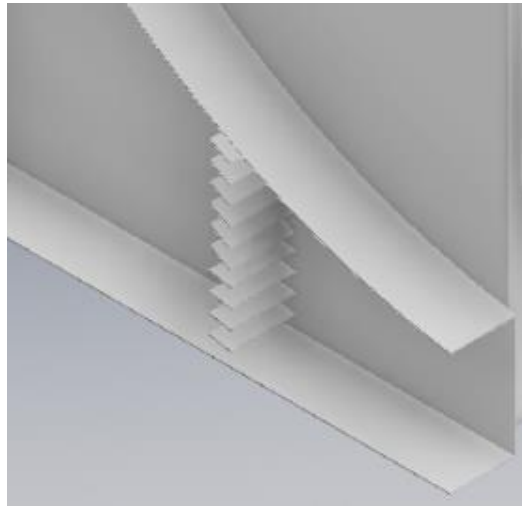
Ilustración 35 Quinta propuesta de diseño



Fuente: Polanco M. 2019

La distribución vertical contaría con un arreglo de 11 aletas que podrían modificar su ángulo de manera independiente para redireccionar el flujo verticalmente.

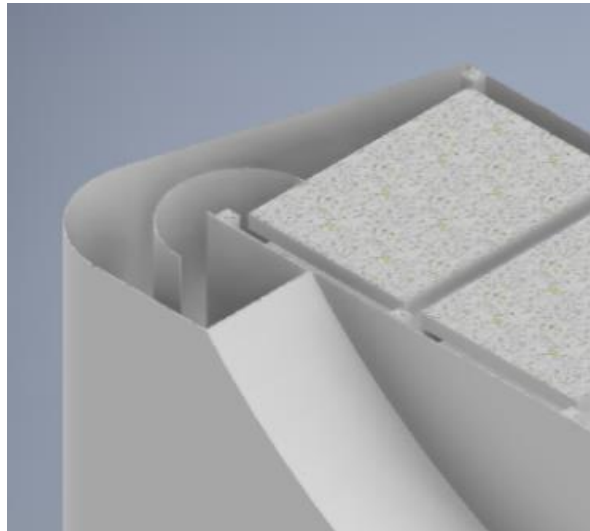
Ilustración 36 Aletas de distribución vertical de aire de secado



Fuente: Polanco M. 2019

El reductor de área en rampa constaría de dos curvas una curva interna y una curva externa, estas en conjunto se encargaría de distribuir el aire de manera horizontal dentro de la recámara de secado. La curva externa tendría una geometría fija, mientras que la curva interna contaría con un mecanismo de regulación.

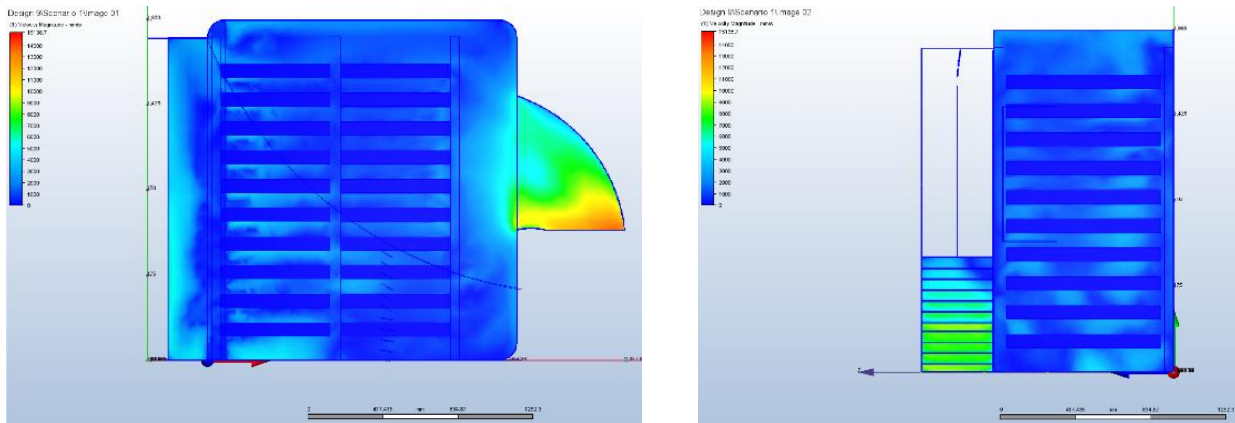
Ilustración 37 Curva interna reductor de área



Fuente: Polanco M. 2019

Fijando estas geometrías se procedió con las simulaciones, las cuales mostraron una distribución apropiada del aire de secado tanto en orientación vertical como horizontal en la recámara de secado.

Ilustración 38 Perfil de velocidades quinta propuesta de diseño



Fuente: Polanco M. 2019

Una vez establecido el diseño fue posible establecer los volúmenes y las rutas del aire de secado, se realizó una división de los componentes primarios que conformarían el secador.

D. DISEÑO DE SECADOR

1. Definición de componentes

Para cumplir con el requerimiento de transportabilidad del secador, fue necesario dividir el ensamble total en componentes los cuales debían ser independientes y desacoplables para su transporte. Se decidió dividir el secador en 6 componentes principales:

- Recámara de secado
- Difusor trasero
- Reductor de área
- Ducto de salida/recirculación
- Bandejas
- Unidad de potencia

2. Herramientas y criterios de diseño

a. Herramienta de diseño

1) Modelado 3D de estructuras

Las estructuras de cada uno de los componentes fueron diseñadas con el software Autodesk Inventor 2018 y la herramienta *Frame Generator*. Usando como sólidos de referencia los utilizados en las simulaciones de fluidos, se generaron estructuras con perfiles comerciales las cuales no invadieran el volumen por donde el aire de secado debía pasar. El modelado de las estructuras permitió realizar a cuantificación de materiales (cantidad de perfiles, insumos de corte, soldadura y consumibles) así como la generación de planos de construcción del dispositivo.

2) Análisis de elementos finitos

Se llevó a cabo un análisis de elementos finitos mediante el software ANSYS Workbench 19R1, en donde los diferentes componentes y estructuras fueron sometidas a las cargas de operación esperadas. Mediante este análisis se obtuvieron valores de deformación, esfuerzos combinados (von Mises) y factores de seguridad en los distintos elementos del sistema.

b. Criterios de diseño

El prototipo se diseñó bajo los siguientes criterios principales:

- Utilizar materiales disponibles en el mercado nacional

Se decidió utilizar materiales y productos disponibles en el mercado nacional, esto tanto en los materiales necesarios para la fabricación de las estructuras como en los componentes del sistema (motor, ventilador y sistema de calentamiento). La disponibilidad de los materiales, el respaldo o soporte técnico en caso de fuera necesario son fundamentales para el éxito de un proyecto.

- Diseño modular de componentes primarios

Una vez separados los 6 componentes primarios se diseñó cada uno de estos de manera modular, en esta configuración cada uno de los componentes puede ser desacoplado de manera independiente para su transporte o mantenimiento (limpieza). En caso de componentes con subsistemas de regulación (geometrías variables) en diseño se enfocó en que estos sistemas a estar contenidos únicamente en el componente al que pertenecen y no invadir otros componentes de ninguna manera.

- Procesos y experiencia en los procesos de manufactura disponibles

La fabricación del dispositivo iba requerir de distintos procesos de manufactura dependiendo del material del componente a fabricar. Se hizo una evaluación de los recursos (máquinas y equipo) y el nivel de experiencia de los procesos de manufactura disponibles en las ubicaciones en donde se trabajaría el secador ya que esto determinaría la manufactura que iba ser realizada por el equipo de trabajo a cargo del proyecto y los trabajos a subcontratar.

- Unión entre componentes sencilla y accesible

La unión entre los componentes debía ser sencilla y los mecanismos de unión deben estar expuestos para un fácil desacople de los componentes. Los mecanismos de fijación no permanente (tornillos) deben ser medidas estándar, así como la variedad de medidas utilizadas debe ser la menor posibles, entre menos medidas de tornillos se encuentren en un ensamble menos herramientas se necesitan para el proceso de armado/desarmado.

- Geometrías variables para ajustes en campo

El realizar ajustes en campo es una práctica común en los procesos, la inclusión de mecanismos o sistemas de ajuste en aquellos parámetros fundamentales del proceso debe ser contemplada desde la fase de diseño. La

complejidad mecánica del sistema no obstante el no incluir estos mecanismos de ajuste puede comprometer el funcionamiento del dispositivo y requerir de modificaciones más complejas.

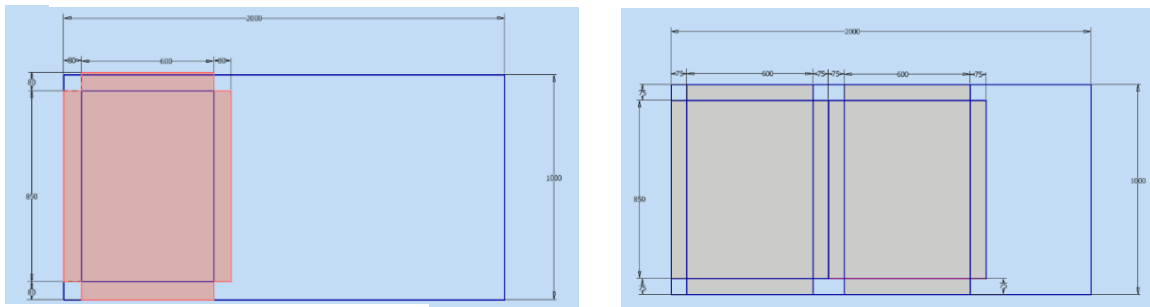
3. Diseño de componentes y selección de materiales

Los materiales para la fabricación del dispositivo se seleccionaron según dos parámetros principales, sus propiedades físicas (rigidez) y sus propiedades de químicas (cumplimiento de requerimientos de grado alimenticio). El proceso de diseño tuvo como punto de partida el diseño del componente dedicado a albergar el grano, este debía cumplir con los requerimientos volumétricos, así como con los requerimientos geométricos y químicos para soportar la carga y no perjudicar la calidad del producto final. Los dimensionamientos posteriores se de los componentes estructurales se realizaron partiendo de las cargas de operación del dispositivo.

a. Bandejas Acero inoxidable

Las bandejas en las que se carga el grano estarían fabricadas en acero inoxidable de 304 (grado alimenticio), las bandejas deben tener perforaciones la cuales permiten que el aire de secado entre en contacto con el grano por la parte inferior de la bandeja. Las dimensiones de las bandejas fueron reajustadas, esto debido a que las láminas perforadas de acero inoxidable se venden en un tamaño de 1x2m. La bandeja debía contar con dobleces en los vértices por lo que el ancho de las láminas no era suficiente para obtener la el desplegado de la bandeja. Se decido cambiar en alto de las bandejas de 80mm a 75 mm, esta variación permitiría obtener dos desplegados de bandeja de cada una de las láminas de acero inoxidable, reduciendo la cantidad de material desperdiciado.

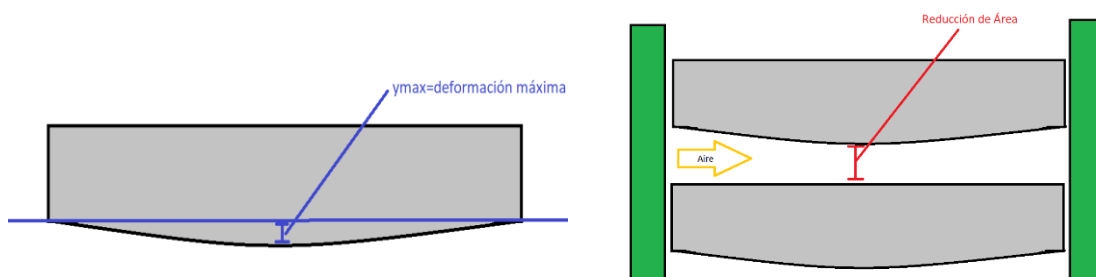
Ilustración 39 Desplegado de bandeja en tamaño de lámina comercial



Fuente: Elaboración propia

La selección del espesor de la lámina se calculó mediante un análisis de resistencia de materiales. La deformación por flexión de las bandejas se tendría como consecuencia una reducción del área entre bandejas para el paso del aire de secado.

Ilustración 40 Deformación en bandejas



Fuente: Elaboración propia

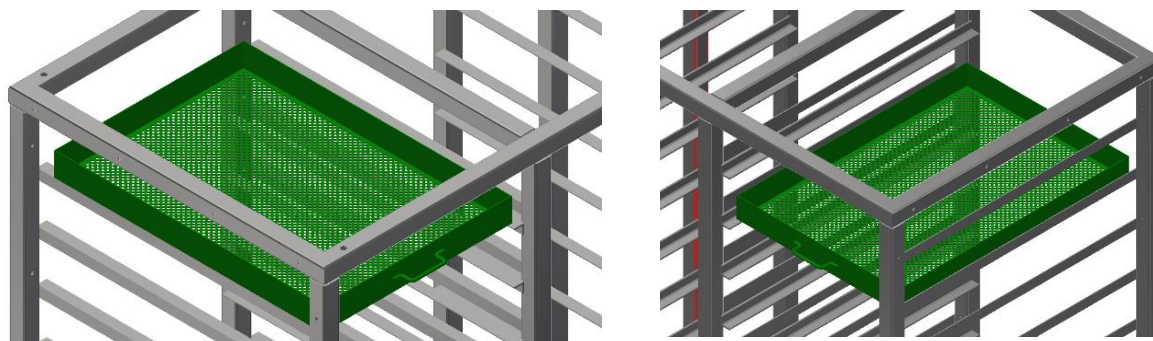
Se consultó con el módulo de ventilación y calefacción de aire al era la mayor deformación que las bandejas podían tener sin tener una reducción de área en el espacio entre bandejas que pudiera limitar el paso del aire de secado. Se estableció que la mayor deformación que se podría tener era de 1cm, este valor corresponde al 0.01% del largo de la bandeja. Utilizando el valor de deformación máxima, la magnitud de la carga (225N), módulo de poisson (0.3) y el módulo de elasticidad del acero inoxidable 304, se obtuvo un espesor de 2.71mm.

El análisis realizado en este caso no es una buena aproximación a las condiciones reales debido a que este no contempla el efecto que las perforaciones en el de la bandeja puedan tener en la deformación total. Debido a esto se hizo un análisis de elementos finitos con el software ANSYS Workbench 19R1 en donde las bandejas con las cargas a las que son sometidas.

b. Recámara de secado (chasis primario)

El chasis primario es el componente estructuralmente más importante del sistema. Este se encarga de alojar las bandejas y de permitir a los demás componentes acoplarse a él por medio de tornillos. El proceso de diseño de la estructura primario partió de carga a la que se sometería a la estructura producto de la capacidad de grano que puede albergar (requerimiento que debe ser cumplido) y el peso. La selección de los perfiles se realizó mediante un análisis de las cargas y los esfuerzos a los que las estructuras serían sometidas. Se comenzó por evaluar las cargas a las que estarían sometidos los perfiles sosteniendo las bandejas, para este elemento se escogió un perfil angular orientado hasta arriba, esto debido a que ofrece una mayor cantidad de área de contacto con la bandeja en el momento del montaje e impide cualquier tipo de desalineación al momento de colocar la bandeja.

Ilustración 41 Comparación orientación angulares de soporte



Fuente: Elaboración propia

Establecido que el perfil debía ser un angular, se procedió a seleccionar las dimensiones de este, cada uno de los soportes de las bandejas tendría 900mm entre apoyos por lo que se seleccionó un criterio de deformación para seleccionar el perfil. Se estableció que el valor máximo de deformación permisible sería de un 0.5% de la longitud total del elemento es decir 4.5 mm de deformación máxima. Utilizando la expresión que describe la deformación máxima de una viga sometida a una carga distribuida, es posible al fijar una deformación máxima permisible y de esa manera obtener el valor mínimo de momento de inercia de la sección transversal que el perfil debe tener para cumplir con el criterio de deformación.

La carga a la que sería sometido el perfil sería de 62lb (bandeja + grano), esto dividido los dos apoyos en los que se encuentra la bandeja resulta en una carga en cada uno de los apoyos de 32lb o 138N. Los perfiles angulares del proveedor cumplen con la norma ASTM A36, la cual establece un módulo de elasticidad de 200 Gpa o 200000 N/mm² una vez obtenidos los datos necesarios para obtener el momento de inercia de la sección transversal mínimo. La inercia mínima de la sección del angular debía ser de $1.62 \times 10^4 \text{ mm}^4$, aplicando un factor de seguridad de 1.5 este valor debe ser de $2.44 \times 10^4 \text{ mm}^4$ la inercia mayor más cercana es la del perfil angular de 1 1/4x3/16 que es de $2.5 \times 10^4 \text{ mm}^4$ por lo que fue seleccionado (ver tabla de perfiles).

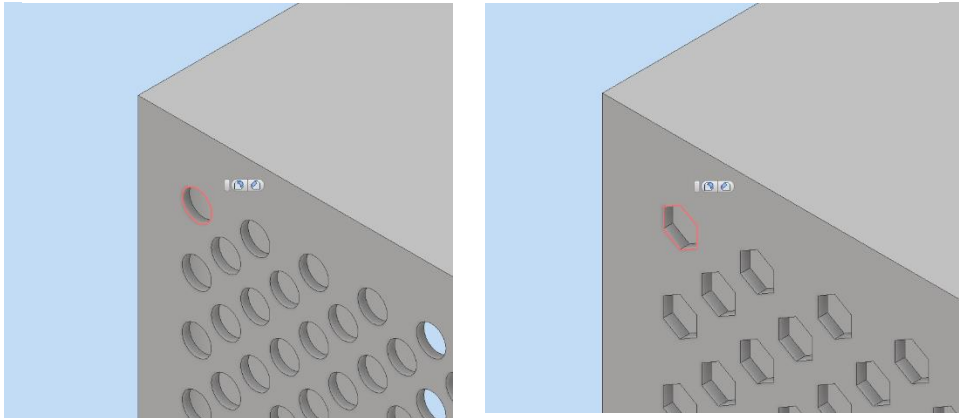
La selección del material de las columnas del chasis, así como para los marcos superior e inferior fue un perfil cuadrado de 2 pulgadas por chapa 16 (1.5mm), este perfil se seleccionó debido a que el espesor facilitaría la soldadura de este. Los distintos perfiles tendrían las perforaciones necesarias para acoplar los demás componentes al chasis primario.

En el análisis previo para la selección de los materiales no se consideran los efectos que las geometrías reales de las piezas (como las perforaciones en las bandejas) pueden tener en su deformación o esfuerzos, un ejemplo con las perforaciones en el fondo de las bandejas las cuales afectan la rigidez del elemento. Con el objetivo de validar la selección de las geometrías y materiales seleccionados para la fabricación de los distintos componentes se realizó un análisis de elementos finitos. En este análisis el chasis primario y las bandejas se sometieron a análisis estructural. El análisis estructural (Static Structural) tiene como objetivo evaluar las deformaciones totales, los esfuerzos internos de los elementos y el factor de seguridad bajo el cual los elementos están diseñados.

Debido a que el análisis de elementos finitos consta en dividir los cuerpos en elementos con geometrías sencillas, fue necesario realizar simplificaciones a las geometrías reales. Se buscó un compromiso entre geometrías analizables y geometrías que representaran de una manera adecuada los elementos analizados, la modificación de geometrías curvas a geometrías rectas con vértices definidos fue la modificación implementada para hacer simplificar las geometrías para el análisis.

Las perforaciones circulares en el fondo de las bandejas se modificaron por perforaciones hexagonales.

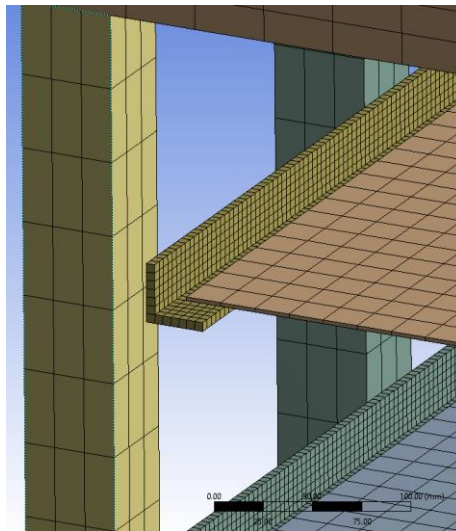
Ilustración 42 Modificación de perforaciones de fondo de circular a hexagonal



Fuente: Elaboración propia

La estructura primaria fabricada de tubo cuadrado de 2x2x1/8" fue modificada, los bordes curvos de los tubos fueron reemplazados con vértices rectos y definidos

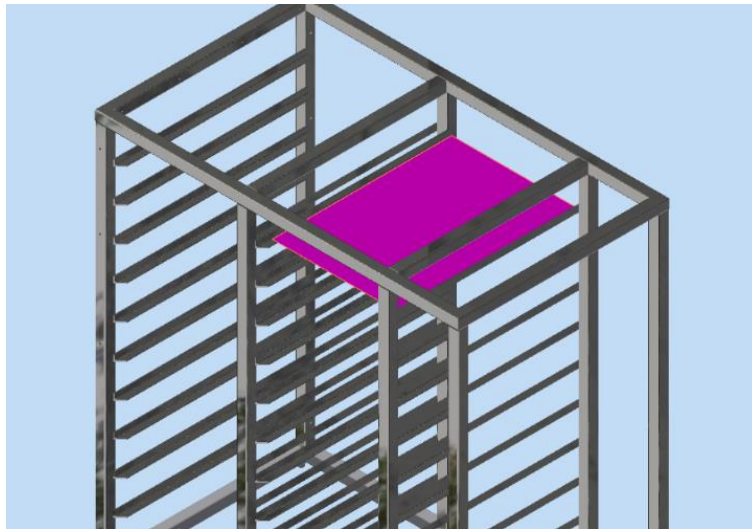
Ilustración 43 Modificación de bordes de tubos cuadrados



Fuente: Elaboración propia

Las bandejas ubicadas en el secador fueron reemplazadas por planchas planas, esto por qué el análisis de la bandeja se realizó de manera independiente. Estas simplificaciones permitieron realizar un mejor mallado, la aplicación de distintos métodos de mallado fue necesaria para obtener resultados concluyentes respecto al comportamiento bajo las cargas de operación de los elementos analizados.

Ilustración 44 Simplificación de planchas en estructura primaria

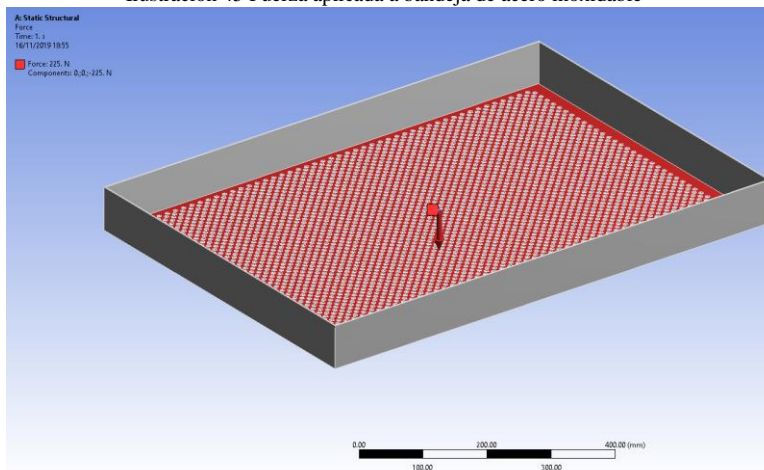


Fuente: Elaboración propia

Luego de hechas las modificaciones a las geometrías se hizo el análisis de los de las bandejas y del chasis primario. Se utilizaron las propiedades mecánicas de los materiales de las bandejas y del chasis primaria.

Se utilizaron las propiedades mecánicas de los materiales implementados para el análisis de elementos finitos (ver anexos). Las cargas aplicadas fueron de 225N (equivalente de 50lb), esta fuerza se aplicó en la superficie del fondo de las bandejas.

Ilustración 45 Fuerza aplicada a bandeja de acero inoxidable



Fuente: Elaboración propia

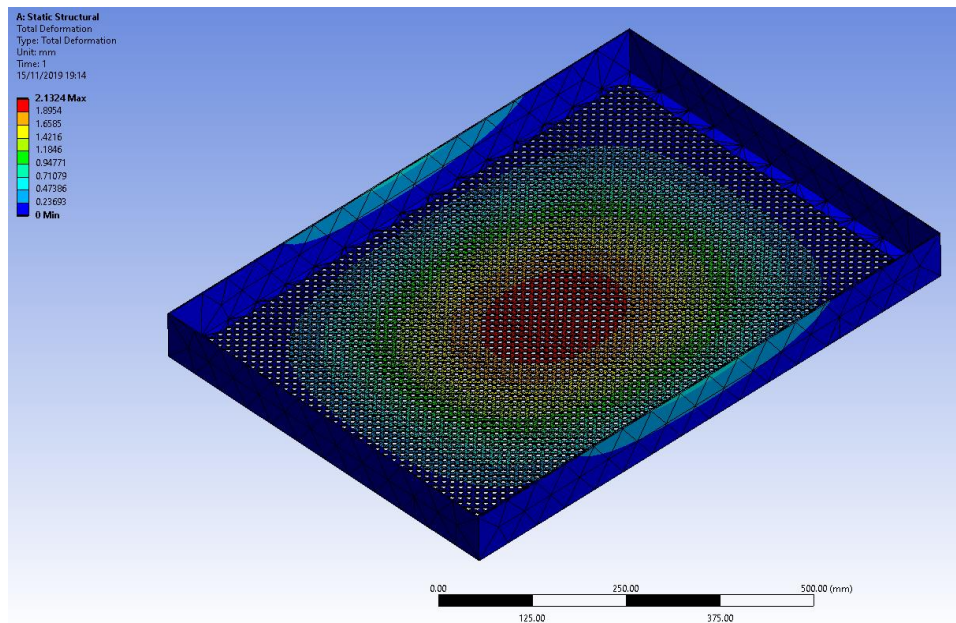
Para en análisis d las bandejas se definieron como *fixed* los vértices de las bandejas en contacto con los angulares de soporte del chasis primario. La estructura de las bandejas cuenta con 160 contactos, los cual son solo *banded*, uno de los principales problemas era que los contactos que generó el programa de manera automática no eran correctos, por lo que fue necesarios revisar los contactos uno por uno para ver las inconsistencias en estos, y redefinirlos de la manera correcta.

Para en análisis d las bandejas se definieron como *fixed* los vértices de las bandejas en contacto con los angulares de soporte del chasis primario. La estructura de las bandejas cuenta con 160 contactos, los cual son solo *bonded*, uno de los principales problemas era que los contactos que generó el programa de manera automática no eran correctos, por lo que fue necesarios revisar los contactos uno por uno para ver las inconsistencias en estos, y redefinirlos de la manera correcta.

Se realizaron los distintos análisis *static structural* para analizar en estos se analizó la deformación total, el esfuerzo de von Misses y el factor de seguridad con el que cuentan los componentes.

En las bandejas se registró una deformación máxima de 2.132mm en el centro de la bandeja (área de color rojo), lo cual se encuentra por debajo de los 10mm establecidos como una deformación admisible.

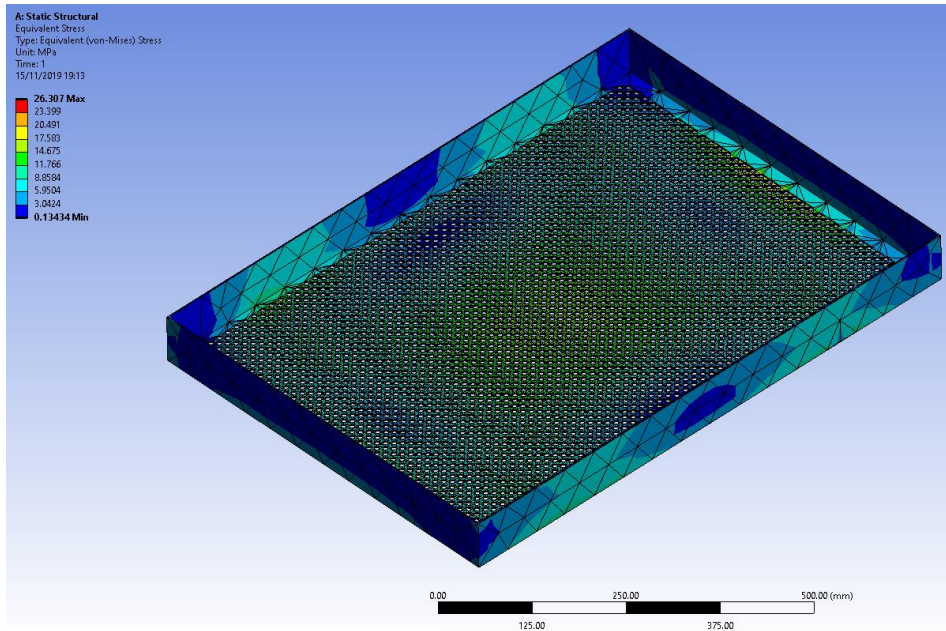
Ilustración 46 Deformación de bandeja



Fuente: Elaboración propia

En el análisis del esfuerzo se obtuvo un valor máximo de 26.307 MPa. El valor de esfuerzo resultado del análisis es mucho menor al esfuerzo de compresión que es de 215 Mpa es 8.2 veces menor, por lo que el material no fallaría.

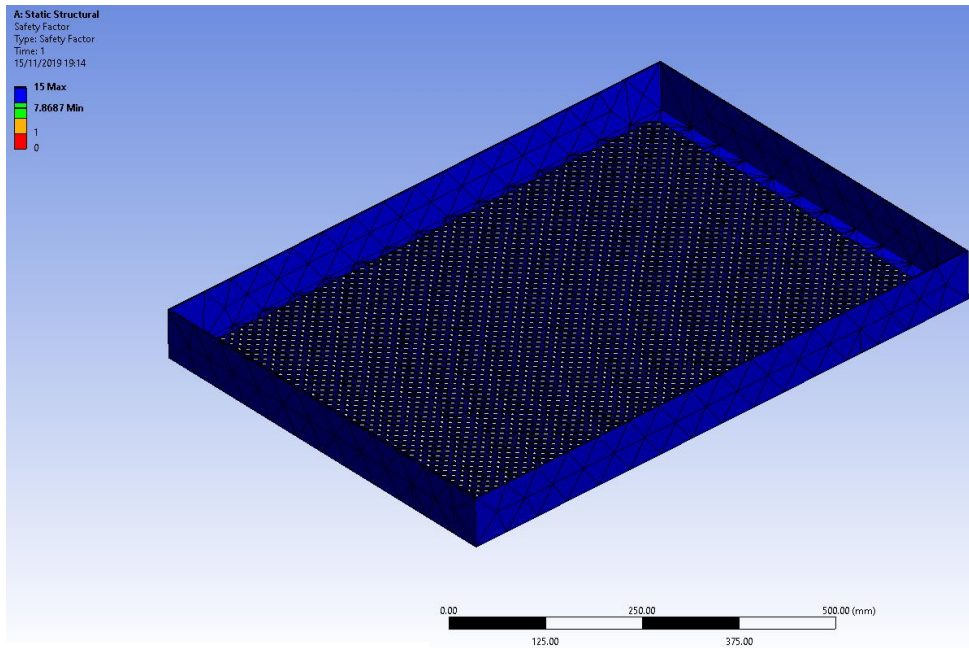
Ilustración 47 Esfuerzo en bandeja



Fuente: Elaboración propia

El factor de seguridad mínimo resultado de las simulaciones fue de 7.86 por cual confirma que no la bandeja soporta las cargas de operación.

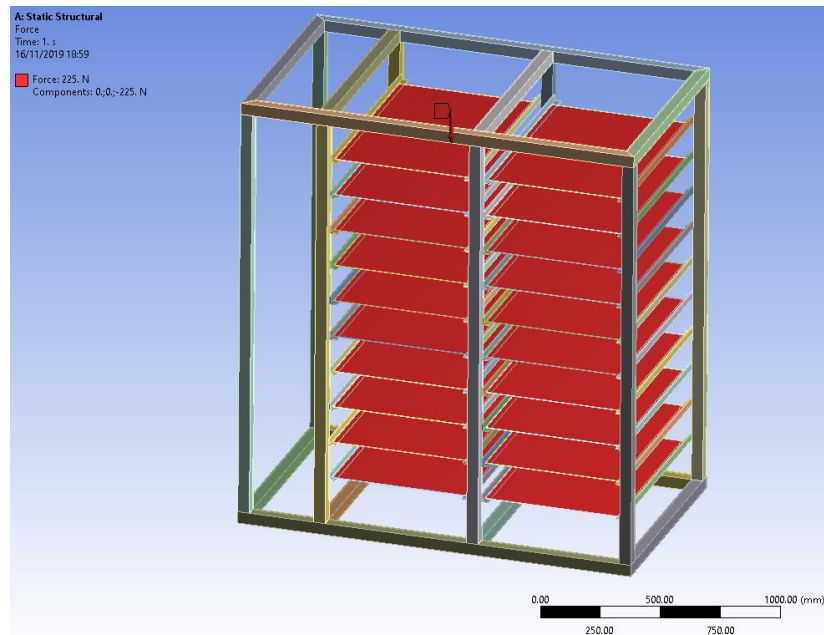
Ilustración 48 Factor de seguridad de bandeja



Fuente: Elaboración propia

En el análisis del chasis primario las bandejas fueron reemplazadas por placas planas, a las que se les aplicó la misma carga en la cara superior.

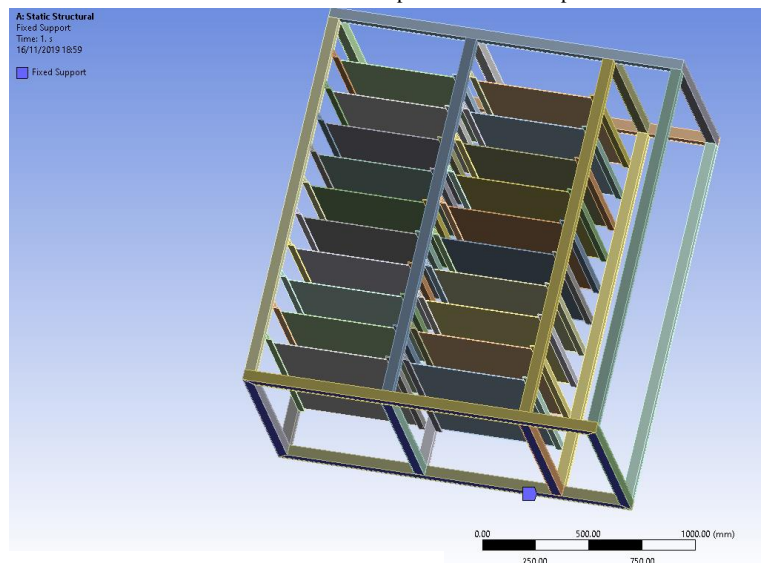
Ilustración 49 Fuerza aplicada en placas



Fuente: Elaboración propia

Los soportes de la estructura se definieron como *fixed* (no permite movimiento) en la parte inferior del chasis, esta se supone tiene contacto con el piso. Los contactos entre las placas colocadas en lugar de las bandejas y las se definieron como (*bonded*) esto no permite movimiento relativo entre las dos superficies, las bandejas no están pensadas para moverse.

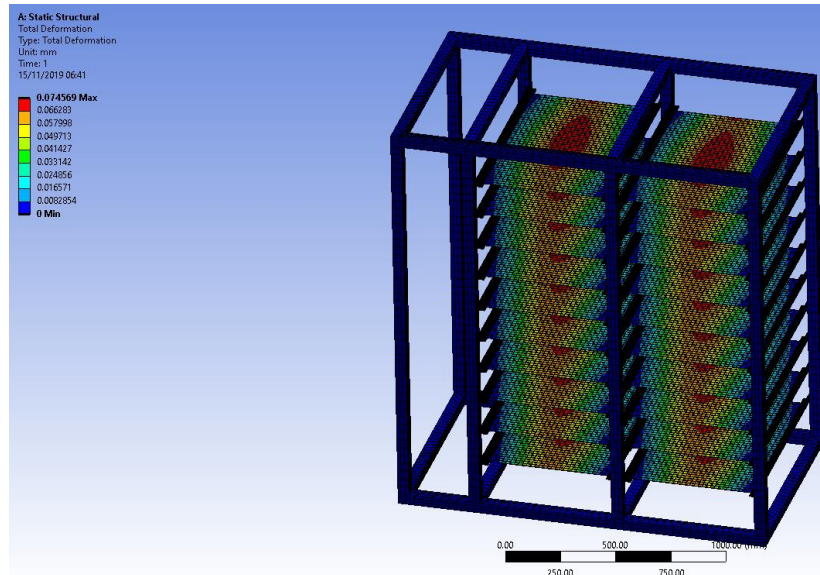
Ilustración 50 Soporte de estructura primaria



Fuente: Elaboración propia

En la simulación se puede observar que la deformación mayor ocurre en las bandejas (color rojo) y que esta tiene un valor de 0.07mm, lo cual es mucho menor que el valor establecido como admisible (10mm) por lo que la deformación no representaría un problema para el flujo del aire de secado.

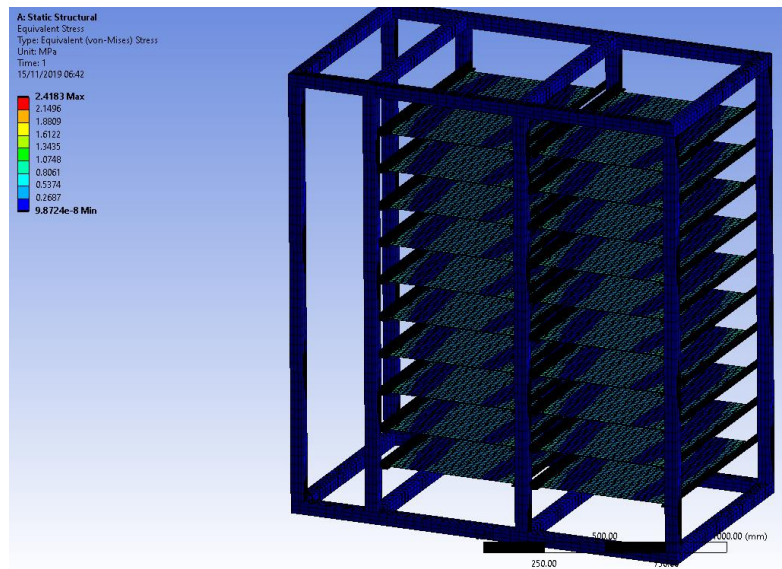
Ilustración 51 Deformación en estructura primaria



Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo máximo registrado en el análisis del chasis primario presenta un esfuerzo máximo de 2.41MPa, debido a que existen elementos a flexión el esfuerzo de los análisis se debe comparar con el esfuerzo a compresión (152 Mpa). El valor es mucho menor que

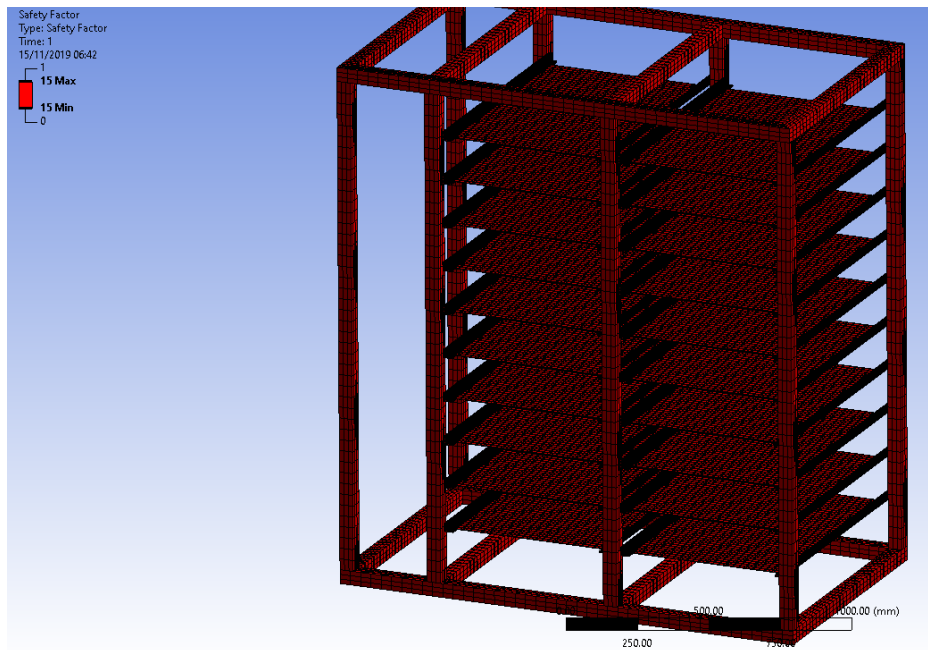
Ilustración 52 Esfuerzo en estructura primaria



Fuente: Elaboración propia

El factor de seguridad mínimo mostrado en los análisis en la estructura primaria fue de 15, por lo que se sabe que el chasis primario puede soportar las cargas de operación a máxima capacidad (10 quintales)

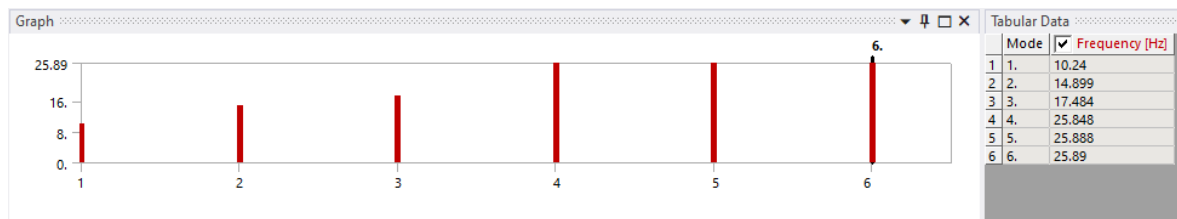
Ilustración 53 Factor de seguridad



Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis modal de la estructura del secador en donde se obtuvieron 6 modos de resonancia, para realizar una comparación y descartar el riesgo a la resonancia, es necesario establecer un rango de frecuencias a las que la estructura estará sometida. En el caso puntual del secador la estructura está acoplada a una unidad de potencia que cuenta con un motor Diesel, como un escenario extremo se puede suponer que las vibraciones van a ser transmitidas directamente a la estructura. El motor Diesel opera entre 2000 -2300 RPM (entre 33 y 38 Hz), este rango de frecuencias está fuera del rango de frecuencias de resonancia por lo que se puede concluir que la estructura no entraría en resonancia por resonancia.

Ilustración 54 Modos de vibración

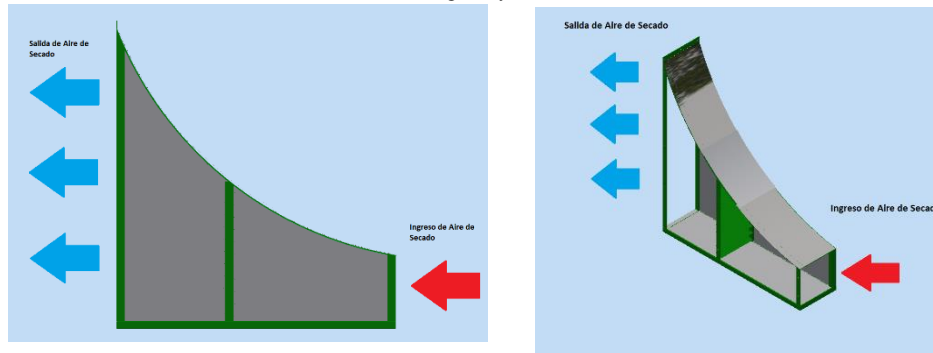


Fuente: Elaboración propia

c. Difusor trasero

El difusor trasero es el componente por el cual el aire de secado ingresa al sistema, el aire de secado ingresa por la parte inferior del difusor en donde luego se expande y distribuye hasta el punto de acceso al siguiente componente del sistema (reductor de área).

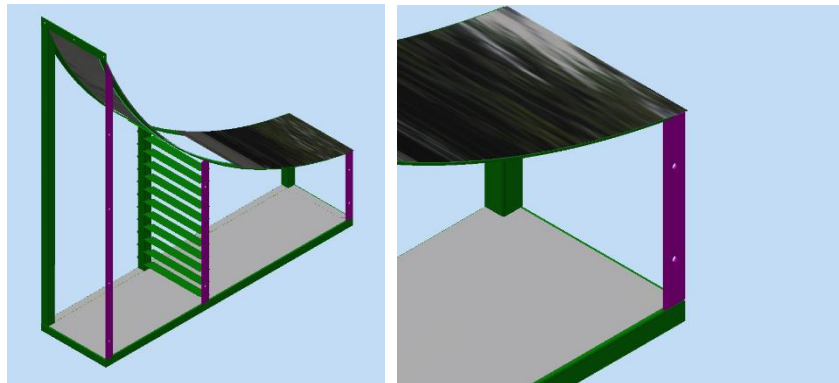
Ilustración 55 Ingreso y salida aire de secado



Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de los miembros rectos del difusor se seleccionó tubería cuadrada chapa 14 (1.2mm de espesor), se buscó una reducción de peso en el difusor debido a que este quedaría acoplado al chasis primario por medio de tornillos. Los miembros de la estructura que se acoplan al chasis primario estarían fabricados en perfil plano de $2 \times 3/16$ ", esto para aprovechar la rigidez de los parales del chasis y simplificar las perforaciones de acoplamiento.

Ilustración 56 Miembros de acoplamiento fabricados en perfil plano de $2 \times 3/16$ "

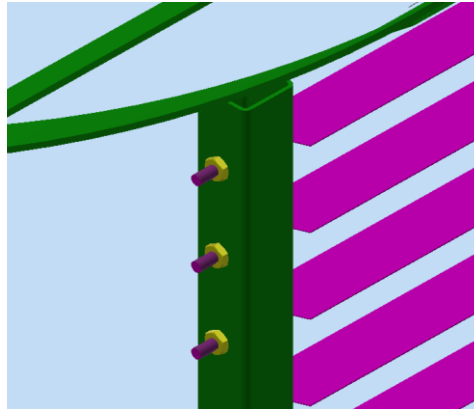


Fuente: Elaboración propia

Los miembros curvos del difusor serían fabricados en perfil plano de $2 \times 1/8$ ", este perfil se seleccionó debido a que no requiere de un proceso de rolado para obtener las curvas que la geometría demanda. Las aletas encargadas de la distribución vertical del aire de secado serían fabricadas en lámina de $1/16$ " y un mecanismo de ajuste de estas desde la parte exterior del ducto, la integración de este mecanismo permitiría realizar ajustes en campo de ser necesario.

El mecanismo de regulación de las aletas consta de un tornillo o varilla roscada que está conectada a la aleta, de esta manera es posible rotar las aletas de manera independiente.

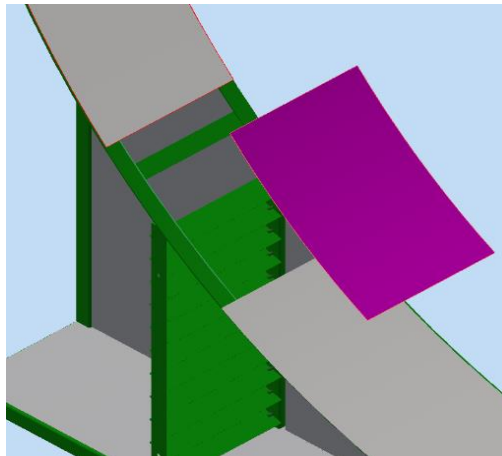
Ilustración 57 Mecanismo de regulación de aletas



Fuente: Elaboración propia

La cara curva del difusor trasero estaría cubierta con segmentos de lámina flexible (galvanizada, calibre 26), se incluyó un segmento de lámina desmontable para facilitar el acceso a las aletas regulables en caso de ser necesario.

Ilustración 58 Compuerta de servicio

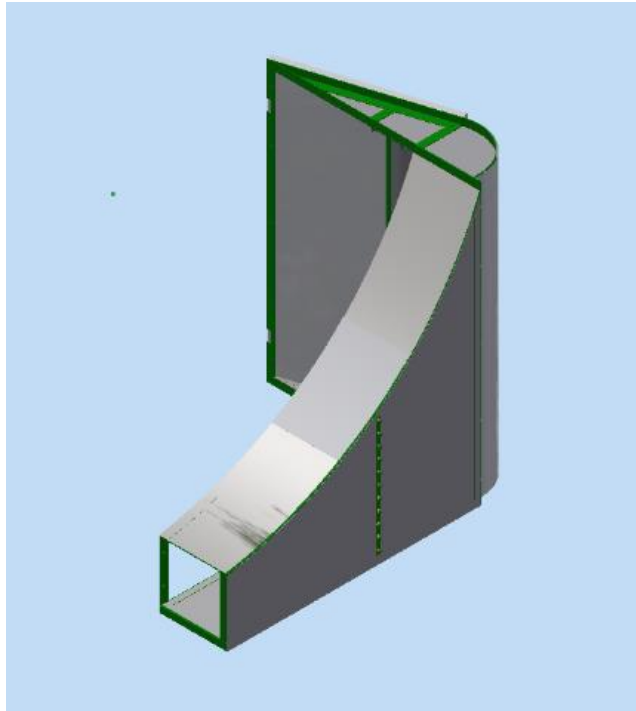


Fuente: Elaboración propia

d. Reductor de área

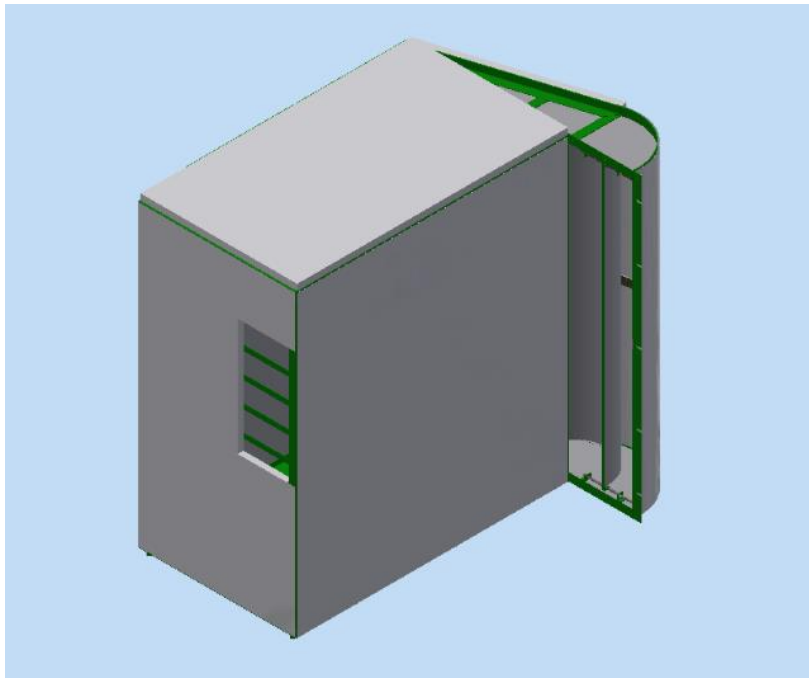
El reductor de área es el encargado de la conexión entre el difusor trasero y la recámara de secado, consta de dos curvas (una externa y otra interna) por una reducción de área en rampa.

Ilustración 59 Conexión con difusor trasero



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 60 Conexión con recámara de secado

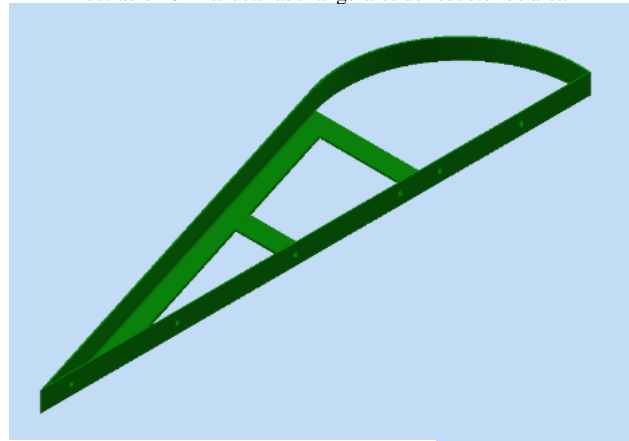


Fuente: Elaboración propia

El reductor de área consta de dos estructuras las cuales están fabricadas en perfil angular 2x3/16", estos forman un ángulo agudo entre ellos, estos tienen miembros de perfil plano de 2x3/16" para prevenir que este

ángulo cambie. Estas están acopladas en uno de los extremos a una curva de perfil plano, las dos estructuras son una un reflejo de la otra de manera que las caras planas de ambas deben apuntar entre sí.

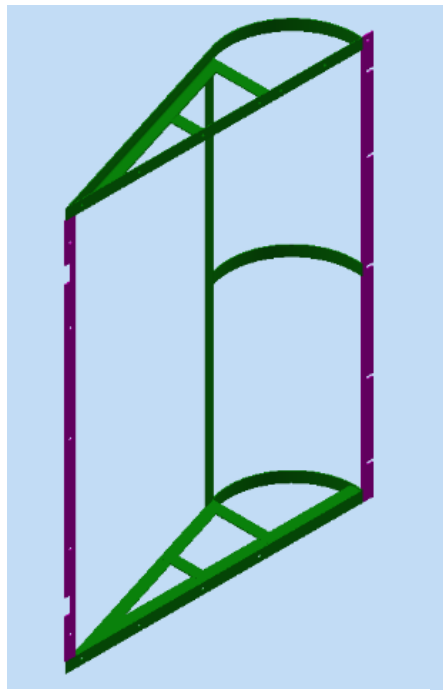
Ilustración 61 Estructuras triangulares de reductor de área



Fuente: Elaboración propia

Las estructuras triangulares están unidas por perfiles planos de 2x3/16" estas van acopladas al chasis primario para aprovechar la rigidez estructural de los parales de la estructura primaria, así como facilitar las perforaciones de acoplamiento.

Ilustración 62 Perfiles de acoplamiento a estructura primaria.

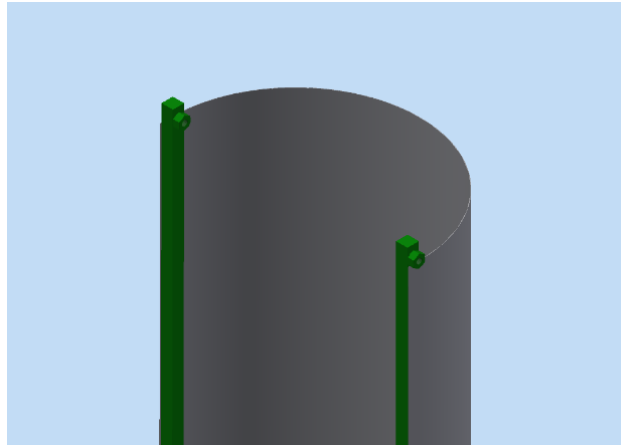


Fuente: Elaboración propia

El reductor de área está compuesto de dos curvas, una curva externa y una curva interna. La curva externa se construyó de lámina acoplada a los miembros curvos de perfil plano de las estructuras triangulares como a

un miembro curvo intermedio. Este componente se construyó con tubo cuadrado de $\frac{3}{4}$ " chapa 18 como parales y lámina galvanizada calibre 26 para la curva, esta última seleccionada debido a su flexibilidad.

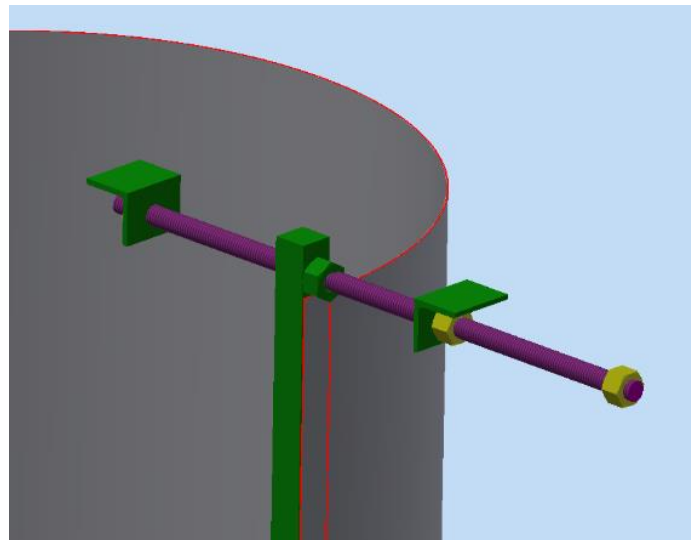
Ilustración 63 Curva interna reductor de área



Fuente: Elaboración propia

La curva interna del reductor de área debía contar con un mecanismo que permitiera variar tanto la curvatura como la ubicación de la curva interna. Se implementó un mecanismo de corredera con rosca en los puntos de acople de la curva interna a la estructura del reductor de área, esto permitiría mediante un giro en los tornillos de graduación desplazar los dos parales de manera independiente.

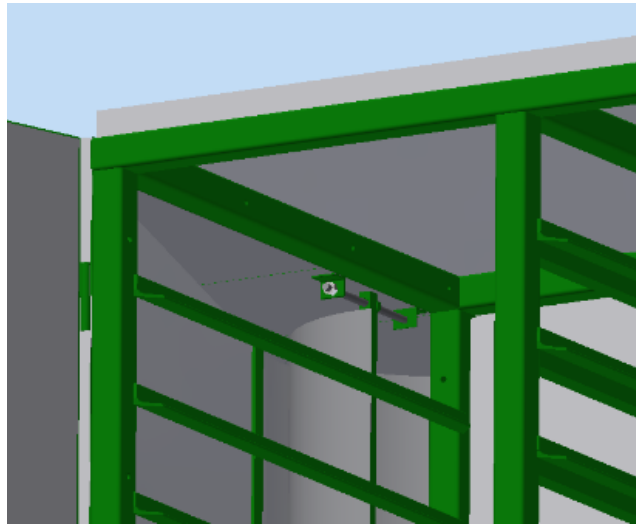
Ilustración 64 Mecanismos de corredera de ajuste curva interna.



Fuente: Elaboración propia

Las graduaciones permitirían hacer ajustes en campo por lo que se debía contar con un fácil acceso al mecanismo. Las graduaciones tanto superior como inferior que ubicadas del lado de la recámara de secado quedan expuestas, por lo que es posible el acceso a estas por dentro de la recámara de secado.

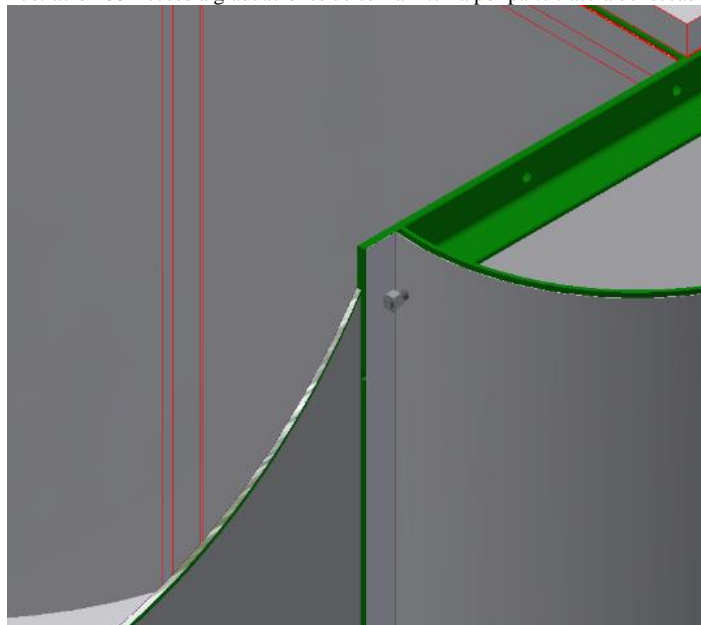
Ilustración 65 Acceso a graduaciones de curva interna por recámara de secado



Fuente: Elaboración propia

Las graduaciones ubicadas del lado del difusor cuentan con un eje prolongado el cual pasa por un agujero en la cubierta de lámina dejando expuesta la calibración para que el operador tenga un fácil acceso a ella por la parte trasera del secador.

Ilustración 66 Acceso a graduaciones de curva interna por parte trasera del secador



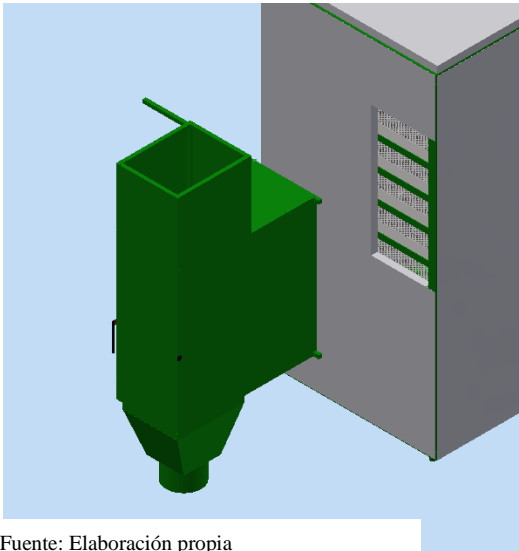
Fuente: Elaboración propia

e. Ducto de salida/recirculación

El ducto de salida/ recirculación debía es el componente final por el cual pasa el aire de secado, el ducto debía a una de las paredes de la recámara de secado mediante una abertura de dimensiones y ubicación

específicas. El ducto quedaría en voladizo por lo que se diseñó una estructura en tubo cuadrado de 3/4" la cual debía de ser capaz de sostenerse en su posición.

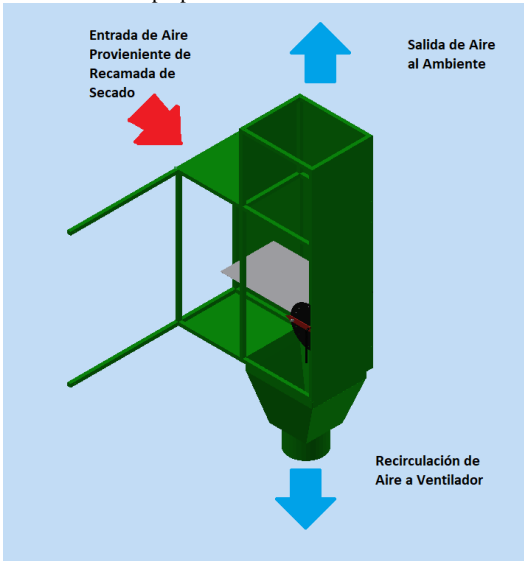
Ilustración 67 Acople de ducto de recirculación a recámara de secado



Fuente: Elaboración propia

La implementación de la recirculación de aire requería de poder controlar la proporción de aire que se recircula y el que se descarta al, ante la necesidad de contar con un mecanismo para controlar este parámetro del secado, el ducto debía contener una aleta que se encargaría de redireccionar el aire proveniente de la recámara de secado, hacia la salida de este a la atmósfera o de regreso a la entrada del ventilador.

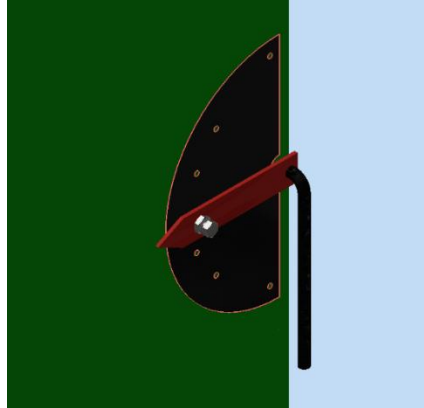
Ilustración 68 Aleta variable de proporción recirculación/salida de aire de secado



Fuente: Elaboración propia

Para esto se diseñó una aleta configurable en posiciones fijas las cuales determinarían el porcentaje de aire que se estaría recirculando y el que se estaría descartando. El mecanismo seleccionado para el control de la proporción de recirculación/salida de aire de secado, está conformado por una manecilla operada desde la parte externa del ducto y un selector semicircular con 5 posiciones en la que se puede colocar la aleta, la fijación en las distintas posiciones se hace por medio de un tornillo que se introduce en los agujeros del selector semicircular montado en un indicador el cual muestra la posición de la aleta en la parte interna del ducto (el ensamble completo no permite ver la aleta desde la parte externa).

Ilustración 69 Mecanismo de control (salida/recirculación)



Fuente: Elaboración propia

f. Aislamiento termico

Con el objetivo de minimizar las pérdidas de calor en la recámara de secado y ductos, se decidió utilizar aislante térmico en las superficies expuestas al ambiente de mayor área. Se seleccionó un aislante de poliuretano en paneles, estos paneles cuentan con una cubierta en ambos lados de lámina pre-pintada en color blanco.

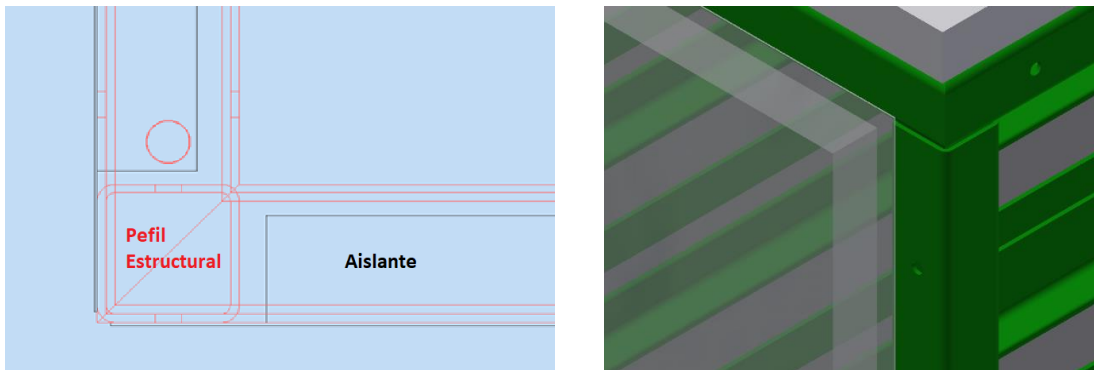
Ilustración 70 Muestra aislamiento térmico panel poliuretano



Fuente: Elaboración propia

La temperatura máxima de operación del panel seleccionado es de 80 °C, que es 20 grados mayor que la temperatura máxima en la recámara de secado (60 °C). El espesor del poliuretano se seleccionó de 1.5 pulg para poder alojar el aislante en el espacio que la estructura tiene en los perfiles.

Ilustración 71 Alojamiento de aislante térmico en cavidades de la estructura



Fuente: Elaboración propia

g. Sellantes y adhesivos

Para los sellos de las juntas se utilizó silicón aprobado por la NSF para el contacto con alimentos, a pesar de no haber una junta en la que se tenga pensado el contacto con el grano. Se comprobó que la temperatura de operación de estos (350°F) fuera mayor a las temperaturas de operación del secador.

E. FABRICACIÓN

1. Disponibilidad de recursos

La evaluación de la disponibilidad de recursos abarcó los aspectos importantes para garantizar la viabilidad de la fabricación de los distintos componentes del secador. Los aspectos que se consideraron fueron:

- Disponibilidad de materiales de fabricación seleccionados en el mercado nacional:

Se verificó las existencias de los materiales propuestos previamente para la fabricación de los distintos componentes del secador. En los casos en donde el material seleccionado no estaba disponible se ajustó el diseño a los materiales disponibles.

- Disponibilidad de equipos en el Taller de Metal Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala

Los equipos disponibles en el Taller de Metal Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala para el uso de los alumnos limitarían los procesos de fabricación que el equipo pudiera realizar. Los procesos de fabricación que requirieran de equipo especial serían tercerizados

- Disponibilidad de espacio físico para la fabricación en el Taller de Metal Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala

La limitante de espacio físico para la fabricación del secador fue una de las limitantes más importantes del proceso, como solución a este problema se contaba con una ubicación alterna con el equipo y espacio necesario

en caso de tener que realizar los procesos de manufactura fuera de las instalaciones del Taller de Metal Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala

- Horarios disponibles para trabajar en el Taller de Metal Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala

Los horarios de disponibilidad se comprobaron solicitando a los técnicos de taller los horarios disponibles para el uso del taller por parte de los alumnos. Como un plan de contingencia se contaba con una ubicación alterna con disponibilidad de tiempo para la fabricación en caso de ser necesario.

- Experiencia en los procesos de manufactura para componentes especializados

Los procesos especializados no requieren únicamente de un equipo adecuado, la experiencia y habilidad que se tenga en los procesos especializados tiene un impacto directo en el producto final. Esto fue el criterio principal para la determinación de los componentes cuya fabricación sería tercerizada.

2. Trabajos tercerizados

Se realizó una evaluación de los procesos de manufactura los cuales debían ser tercerizados basado en los criterios expuestos anteriormente. El equipo de trabajo decidió que los componentes en contacto directo con el grano, cuya fabricación requería manejar acero inoxidable, serían comprados a un proveedor. Se evaluó la posibilidad de fabricar los componentes de hojalata, pero debido a es un trabajo con en el cual no se tiene experiencia se decidió sub-contratar la fabricación del cambio de sección a la salida del ducto de recirculación

3. Proceso de fabricación

a. Plan de fabricación

El plan de fabricación se dividió en fases.

- 1) Fabricación de estructura primaria
- 2) Fabricación de estructura difusor
- 3) Fabricación estructura reductor de área
- 4) Fabricación estructura puertas
- 5) Fabricación estructura ducto de recirculación
- 6) Perforaciones de acople
- 7) Instalación de aislante térmico y cubiertas de lámina
- 8) Pintura
- 9) Aplicación de sellos y adhesivos

4. Fabricación estructuras de componentes

a. Chasis primario (recámara de secado)

Las estructuras están compuestas en su mayoría de miembros rectos los cuales fueron cortados utilizando una tronzadora, el realizar los cortes en tronzadora reduce error que se produce al cortar perfiles de dos caras con una pulidora de mano.

Ilustración 72 Corte con tronzadora de perfiles



Fuente: Elaboración propia

Los distintos miembros de las estructuras cuentan con perforaciones las cuales atraviesan ambas caras del perfil, estas perforaciones se deben realizar en un barreno de banco para evitar problemas de alineación entre los agujeros en las dos caras del perfil. El hacer las perforaciones en la estructura armada dificultaría el proceso y daría lugar a una mala alineación esto debido a medida que las estructuras son más pesadas aumenta la dificultad para manipularlas. Los agujeros fueron usados para colocar los tornillos con los cuales se unirían las distintas estructuras por lo que la alineación de los estos era sumamente importante.

Ilustración 73 Perforación de agujeros de acople en barreno de banco previo a ensamblaje



Fuente: Elaboración propia

Una vez perforados los perfiles se construyen los marcos, estas son estructuras prefabricadas las cuales deben fabricarse con la mayor precisión posible, la alineación de los paraleles de conexión depende que tan escuadrados están estos marcos.

Ilustración 74 Ensamble de marcos de chasis primario



Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de asegurar los ángulos rectos que las estructuras requerían se utilizaron método de sujeción en el proceso de soldadura (escuadras magnéticas)

Ilustración 75 Soldadura de paraleles de conexión con escuadras magnéticas



Fuente: Elaboración propia

Debido a que la fabricación de las bandejas sería tercerizada (componente fundamental del sistema), era necesario garantizar la compatibilidad de estas con el componente encargado de albergar las bandejas (el chasis

primario). Para esto se solicitó al proveedor de las bandejas pudiera entregar dos de las 20 bandejas para poder ubicarlas en la estructura del secador y verificar que las dimensiones coincidieran con las de los alojamientos en el chasis primario.

Ilustración 76 Compatibilidad de bandejas con estructura primaria

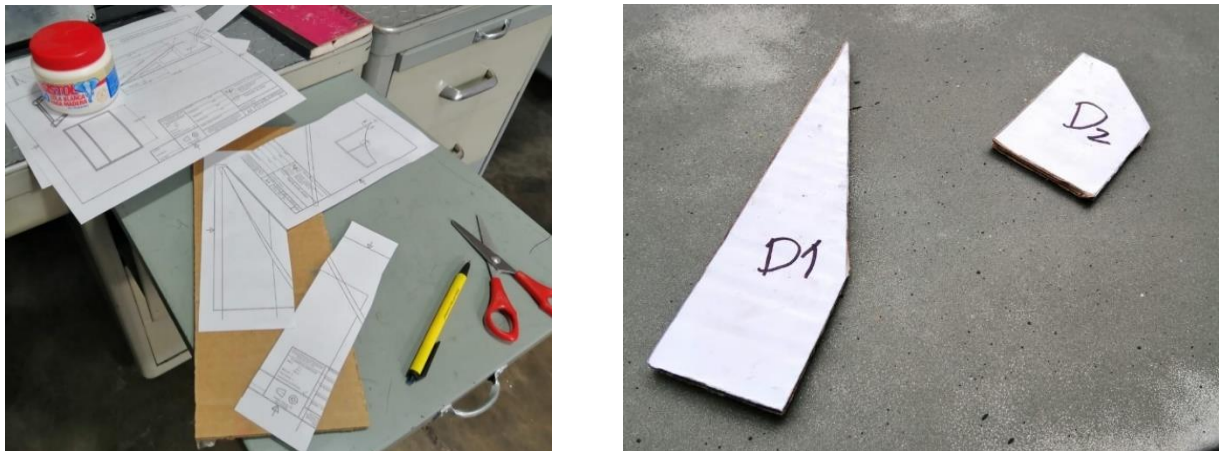


Fuente: Elaboración propia

b. Difusor trasero

El difusor tiene una de las geometrías más complejas del secador, este está conformado por un marco en la parte inferior, a este se une 6 columnas de tres distintas alturas las cuales sostienen en la parte superior una curva ascendente. La técnica seleccionada para lograr la curva deseada fue cortar el extremo de las columnas por donde la curva pasa con la geometría que la intersección de la curva mostraba. Para esto se imprimió un plano en escala 1:1 de las dos intersecciones de la curva con las columnas, con este plano se hizo una plantilla del corte necesario.

Ilustración 77 Plantillas de intersección de curva con parales de difusor



Fuente: Elaboración propia

Con estas plantillas fue posible trazar y cortar la geometría del final de las columnas por las que la curva cortaba las columnas.

Ilustración 75 Corte de intersecciones de parales y curva de difusor



Fuente: Elaboración propia

Luego de hacer los cortes en los extremos de las columnas, se colocó el perfil plano de 2x1/8" se colocó y presionó a contas los extremos de los perfiles previamente cortadas de esa manera se obtuvo la curvatura deseada en la cara superior del difusor.

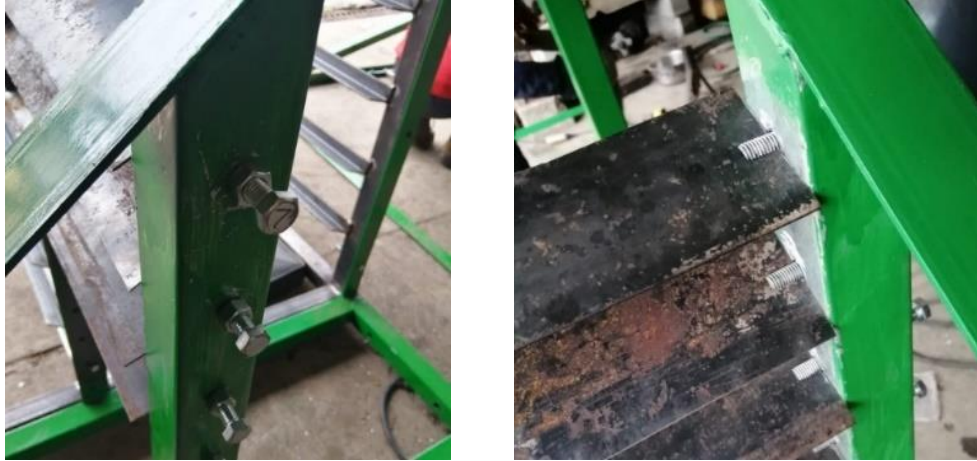
Ilustración 76 Moldeado y soldadura de curva de difusor



Fuente: Elaboración propia

Luego de tener la estructura ensamblada se fabricó el sistema de aletas regulables. El mecanismo cuenta con un tornillo en el lado de ajuste el cual tiene una contratuerca la que al ser apretada comprime el perfil cuadrado para fijar la posición de las aletas.

Ilustración 78 Sistema de fijación de posición de aletas de difusor



Fuente: Elaboración propia

5. Reductor de área

La fabricación de la estructura del reductor de área tuvo como primer paso la construcción de las dos estructuras triangulares, se construyeron ajustando las geometrías de ambas para ser lo más parecido posible.

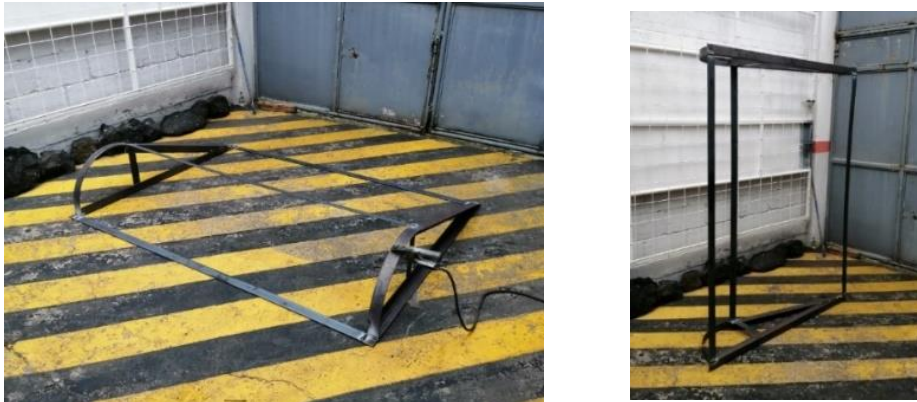
Ilustración 79 Estructuras triangulares de reductor de área



Fuente: Elaboración propia

Los miembros de la estructura encargados de la conexión con el secador se soldaron a las estructuras triangulares, esto se llevo a cabo apoyando la estructura en el suelo, eso para garantizar que la cara que se conectaría al chasis primario fuera plana.

Ilustración 80 Soldadura de estructura de reductor de área



Fuente: Elaboración propia

La construcción de la curva interna regulable represento un reto debido a que la curva debía tener la flexibilidad suficiente para soportar las deformaciones de ajuste, pero debía tener la rigidez transversal suficiente para no deformar las dos columnas desplazables del sistema. La solución a este problema fue el construir dos miembros transversales de tubo cuadrado de $\frac{3}{4}$ " chapa 18 que se encargarían de brindar la rigidez necesaria, a estos miembros se remachó la lámina galvanizada calibre 26 la cual tiene la flexibilidad necesaria para soportar las deformaciones necesarias.

Ilustración 81 Fabricación de curva interna de reductor de área



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 82 Mecanismo de correderas con varilla roscada de curva interna variable



Fuente: Elaboración propia

6. Fabricación ducto de recirculación

Se fabricó el ducto de recirculación se construyó la estructura en la cual fue montado el mecanismo de aleta que controlaría la proporción de la recirculación del aire. La estructura se fabricó en tubo cuadrado de 2/4" chapa 18 con uniones soldadas.

Ilustración 83 Estructura ducto de recirculación en posición de montaje



Fuente: Elaboración propia

El mecanismo de la aleta que decide a proporción de aire recirculado y el aire descartado se fabricó de lámina galvanizada y un eje de varilla de 3/8" el cual pivotaba en dos agujeros hechos en la estructura.

Ilustración 84 Mecanismo eje de aleta recirculación



Fuente: Elaboración propia

El mecanismo debía contar con un sistema de fijación de la aleta en posiciones determinadas, para esto se fabricó un selector semicircular el cual permite fijar la aleta del ducto de recirculación en distintas posiciones para controlar la proporción de aire descartado al ambiente y aire recirculado.

Ilustración 85 Fabricación de mecanismo de aleta de recirculación



Fuente: Elaboración propia

7. Perforación de agujeros de acople

Las perforaciones de acople se realizaron colocando las estructuras de los componentes en las posiciones de acople respecto al chasis primario. Una vez colocadas en la posición correcta se marcaron los lugares de las perforaciones utilizando como guía las perforaciones de acople previamente realizadas en los miembros que forman la estructura primaria. El realizar las perforaciones en el reduce la posibilidad de errar en la alineación de estos y tener problemas en la conexión a través de los tornillos de acople, el realizar las perforaciones de manera previa mediante la medición requiere de una extrema precisión en la medición o trazos guía para las perforaciones.

Ilustración 86 Ensamble de estructuras para perforación de agujeros de acoplamiento

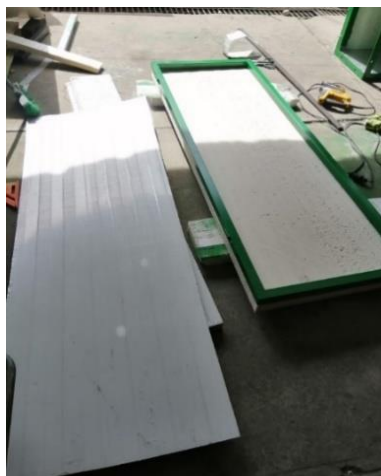


Fuente: Elaboración propia

8. Colocación de cubiertas de aislante y lámina

Las cubiertas de aislante térmico se colocaron previo a la aplicación de la capa final de pintura, se cortó en panel aislante en las geometrías necesarias para llenar las cavidades de la estructura. Las estructuras se colocaron encima de los paneles de aislante para trazar las cavidades que debían cortarse.

Ilustración 87 Cortes y colocación de paneles de aislamiento térmico



Fuente: Elaboración propia

9. Aplicación de capa final de pintura

Una vez terminadas las perforaciones y tareas que implicaran una manipulación de las estructuras se aplicó una capa de pintura anticorrosiva a las estructuras y componentes con superficies propensas a la corrosión.

Ilustración 88 Aplicación de capa de pintura anticorrosiva a estructuras.



Fuente: Elaboración propia

10. Aplicación de sellantes

Se aplicó en las juntas, entre panel aislante y el chasis, silicón grado alimenticio. Se verificó que la temperatura de trabajo del silicón aplicado fuera mayor a las temperaturas de operación del secador, la temperatura de operación del secador es de 350°F (176°C).

Ilustración 89 Silicón grado alimenticio certificado por la NSF

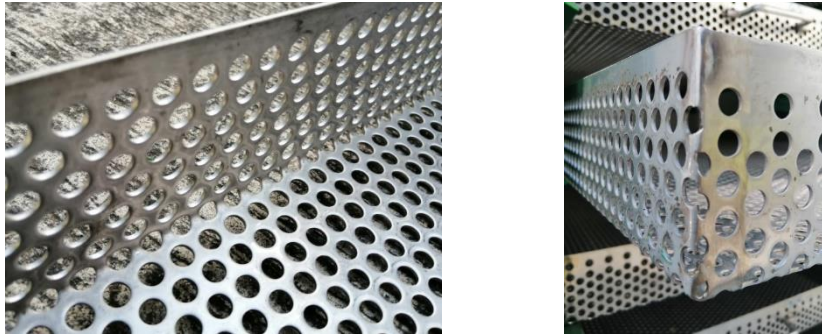


Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS

Se seleccionó un secador con esquema de bandejas debido a que minimiza la manipulación del grano en el proceso de secado, lo cual reduce la cantidad de cápsulas rotas al final del proceso (producto que se vende a un menor precio). Las bandejas dimensionadas inicialmente pese a cumplir con lo establecido en la ley como un peso seguro para su manipulación, no se adaptaban los requerimientos del secador debido al enfoque de este (pequeñas comunidades). Las bandejas de acero inoxidable se fabricaron con bordes doblados y soldaduras a tope.

Ilustración 90 Bordes doblados y soldaduras a tope en acero inoxidable



Fuente: Elaboración propia

La altura máxima de carga fue respetada en el diseño siendo la carga máxima una altura de 1.72 m en la bandeja superior.

Ilustración 91 Altura máxima de carga



Fuente: Elaboración propia

La estructura primaria del secador cumplió el volumen necesario para albergar los 10 quintales de cardamomo. Se realizó una corrida con 5 quintales de cardamomo en donde se pudo observar que las bandejas estaban cargadas a la mitad de su capacidad.

Ilustración 92 Secador a media carga (5 quintales)

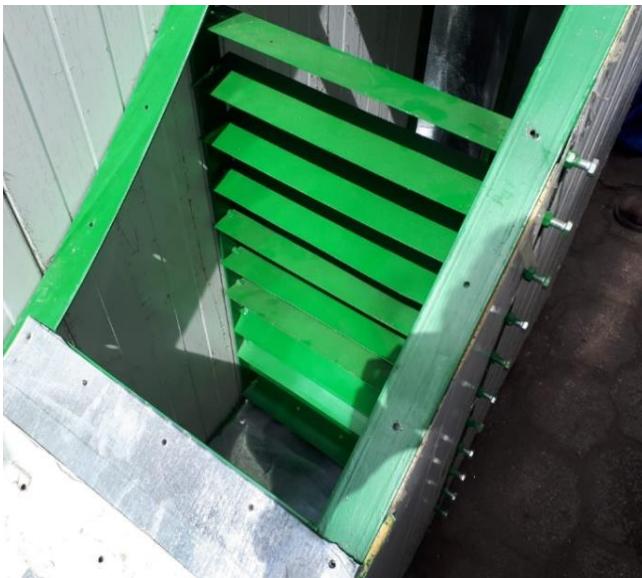


Fuente: Elaboración propia

Se implementó geometrías variables en los elementos que podían afectar de manera crítica el desempeño del secador. Los controles para regular estas geometrías cuentan con un fácil acceso desde la parte externa del secador permitiendo hacer calibraciones sin necesidad de apagar el secador.

Las geometrías variables fueron efectivas para la distribución del flujo de aire de secado.

Ilustración 93 Mecanismos de variación de geometrías



Fuente: Elaboración propia

El diseño modular del secador permite transportarlo en un vehículo tipo pickup palangana estándar. Los diferentes componentes del secador pueden desacoplarse sin necesidad de desacoplar los demás componentes.

Ilustración 94 Transporte de secador en pick-up palangana estándar



Fuente: Elaboración propia

Los componentes fabricados (recámara de secado, difusor trasero, reductor de área y ducto de recirculación) lograron acoplarse a la unidad de potencia de manera sencilla.

Ilustración 95 Ensamble completo de secador



Fuente: Elaboración propia

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La selección de la perforación de las bandejas no fue la adecuada, se seleccionó una perforación con un diámetro de 8 mm, el cardamomo al secarse reduce su tamaño por lo que este pasa por las perforaciones y cae de las bandejas. Esto se puede resolver colocando un cedazo acero inoxidable en el fondo de las bandejas para evitar que el cardamomo caiga por los agujeros.

Ilustración 96 Perforaciones circulares en fondo de bandejas



Fuente: Elaboración propia

El aislamiento térmico seleccionado soportó las temperaturas las que fue sometido, no hubo presencia de quemaduras en la cubierta de lámina pre-pintada o en los sellantes aplicados a los ductos de manejo de aire de secado.

Ilustración 97 Prueba de llama en secador



Fuente: Elaboración propia

Se pudo notar que en el momento de la operación las vibraciones causaron que el aislante se separara de las estructuras de hierro lo cual causó fugas de aire de secado por esas aberturas, esto se puede resolver aplicando sellantes en esas juntas para rellenar los espacios ya que estos no exceden los 10 mm de separación.

El poder separar los componentes facilita su transporte en un vehículo tipo pick-up, pero este no puede ser transportado en su totalidad en un solo vehículo. Se requiere de al menos 3 vehículos para el transporte del secador en su totalidad (Unidad de Potencia, Tanques de Gas y Recámara de Secado con componentes). El contar con un vehículo tipo camión (de 1.5 toneladas) que cuente con una palangana lisa (si loderas que resten volumen de carga a la palangana) permite reducir el número de vehículos necesarios para el transporte del secador en su totalidad.

VIII. CONCLUSIONES

- Se construyó un secador con esquema de bandejas el cual maximiza el área de la capa de grano expuesta al aire de secado.
- Se construyeron bandejas de acero inoxidable 304 (grado alimenticio) las cuales cumplen con los requerimientos de peso máximo para una manipulación manual segura (70 lb)
- La altura máxima de carga del dispositivo (1.72m) no sobrepasa la altura máxima establecida en la ley como altura segura para trabajos de carga manual (1.75m)
- Los componentes del secador fueron construidos en base a las geometrías fijas y variables solicitadas por el módulo de Sistema de Ventilación Y Calefacción
- Los procesos de manufactura para los distintos componentes y materiales del secador fueron los adecuados, en los casos en donde no se contaba con el equipo o la capacitación necesaria para emplear los procesos requeridos se recurrió a fabricantes especializados.
- Los componentes del secador son transportables en un vehículo tipo pick-up pero es necesario 3 vehículos para transportar la totalidad de los componentes del sistema.

IX. RECOMENDACIONES

La cantidad de componentes que conforman la totalidad del secador hacen que su transporte sea complicado, aun cuando estos pueden desacoplarse de manera sencilla. El montar el secador en su totalidad en un carretón facilitaría el transporte de este utilizando cualquier carro tipo agrícola, esto porque no se dependería de la capacidad de la palangana sino únicamente de la capacidad del remolque del vehículo.

Las bandejas de acero inoxidable representan el mayor costo del secador, en caso de no ser tan rigurosos con los requerimientos de inocuidad, es posible implementar bandejas plásticas como alternativa a las bandejas de acero inoxidable. Se debe utilizar el mismo cedazo antes mencionado y verificar que la temperatura de operación de las bandejas será inferior a la de operación del secador.

La recámara de secado (estructura donde se colocan las bandejas), es el componente más pesado del secador. Los angulares que sostienen las bandejas representan la mayoría del peso de este componente por lo que se podría buscar un método de sujeción no permanente para estos (como atornillarlos a la estructura) esto permitiría removerlos al momento de transportar la recámara de secado, reduciendo el peso de la recámara de secado. Los angulares pueden ser transportados de manera independiente, siendo más fáciles de manipular de manera individual.

Uno de los principales problemas de la operación del secador es la necesidad de un operador monitoreando los parámetros del secado durante todo el proceso. El acceso a energía eléctrica en la ubicación del secado permitiría integrar un sistema de control al secador, el cual estaría dedicado a monitorear las variables del secado y hacer cambios en tiempo real. La implementación de un sistema de calefacción a través de resistencias eléctricas permitiría tener un control más preciso de la temperatura de secado, así como evitar la utilización de gas propano, combustible que requiere de precauciones específicas para su uso. El reemplazar el motor Diesel por un motor eléctrico eliminaría la principal fuente de ruido y vibraciones del sistema.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, L. (Octubre de 2009). COMERCIALIZACIÓN (PRODUCCIÓN DE CARDAMOMO PERGAMINO) Y PROYECTO: PRODUCCIÓN DE CACAO. *"COMERCIALIZACIÓN (PRODUCCIÓN DE CARDAMOMO PERGAMINO) Y PROYECTO: PRODUCCIÓN DE CACAO.* Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology* (3 ed.). Israel: Elsevier.
- Brennan, J. G. (2006). *Food Processing Handbook*. Wienheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Afshin J, G. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico: McGraw.Hill.
- Chen, X. D., & Mujumdar, A. S. (2008). *Drying Technologies in Food Processing*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Deulofeu, N. (Junio de 2006). DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA. *DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE TRES DISTINTAS CLASES DE CARDAMOMO (Elattaria cardamomum Maton) CULTIVADO EN ALTA VERAPAZ EXTRAÍDA POR MACERACIÓN DINÁMICA Y DOS SOLVENTESDISTINTOS, A NIVEL LABORATORIO.* Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Electric, L. (7 de 2013). *Learning How to Stick Weld*. Cleveland, Ohio, Estados Unidos: Lincoln Global Inc.
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura Principios y Aplicaciones*. Madrid: Delmar Cengage Learning.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of Industrial Drying*. Singapore: Taylor & Francis Group.
- Partington, E. (2006). *Stainless Steel in Food and Beverage Industry*. Luxemburgo: Euro-Inox.
- Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, 229-2014 (Congreso de la República 23 de Julio de 2019).
- Richard, B., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico : McGraw-Hill.
- Rodríguez, P. C. (2001). *Manual de Soldadura*. Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina.
- Ronald H, S., Daniel J, E., Steven, S., & Wolf, P. (2012). Characteristics of Food Contact Surface Materials: Stainles Steel. *Food Protection Trends*, 574-584.
- Smith, J. S., & Hui, Y. (2004). *Food Procesing-Principles and Aplicactions*. Iowa: Blackwell Publising.

XI. ANEXOS

A. MATERIALES

Tabla 3 Materiales

Descripción	Cantidad
Perfiles Metalicos Estructurales	
Tubo Estructural Cuadrado de 2x6m chapa 16 (1.5mm)	4
Tubo Estructural Cuadrado de 2x6m chapa 14 (1.2mm)	2
Tubo Estructural Cuadrado de 1.5"x6m chapa 14 (1.2mm)	2
Tubo Cuadrado de 3/4" x 6 m chapa 18 (1.25mm)	3
Lamina Galvanizada Calibre 26 (4x8')	3
Lamina de negra de 1/16	1
Perfil Angular de 2x 3/16 x 6m	1
Perfil Angular de 1-1/8 x 3/16"X6m	8
Perfil Plano de 2x3/16"x 6m	2
Perfil Hembra de 2x1/8" x 6m	2
Varilla de 3/8"x 6m	1
Perfiles en Acero Inoxidable 304	
Lamina Perforada con perforaciones circulares de 8mm de diametro, 2x1000x2000 mm	10
Consumibles	
Libra de electrodo 6013 de 3/32"	20
Disco de Crote Abrasivo de 14"	2
Disco de Pulir de 4-1/2"	2
Disco de Corte de 4-1/2"	5
Disco de Lija 4-1/2" grano 36	2
Cepillo de Hierro	2
Broca de 3/8"	2
Broca de 1/2"	1
Broca de 3/16"	2
Galon de Thiner	4
Galon de Pintura Anticorrosiva	1.5
Galon de Pintura Gris	0.25
Libra de Waipe	2
Pie de cinta de sello de esponja	20
Tubor de Silicon Grado Alimenticio	4
Sujeción	
Remache de 3/16"x1/2" ala ancha	450
Remache de 3/16"x1/2" normal	100
Tornillo de 3/8" x 3" UNC	50
Tuerca de 3/8" UNC	50
Roldana de 3/8"x1"	50
Roldana de Presión 3/8"	50
Varilla Roscada de 7/16	2
Tuerca de 7/16" UNC	30
Tornillo de 5/8"x2" UNC	6
Tuerca de 5/8" UNC	12
Bisagra de Cartucho	4
Tornillos de Lámina de 1-1/2"	25
Tornillos de Lámina de 3"	25
Tornillos buscarosda de 5/32 x 3/4"	25
Aislamiento Termico	
Panel de aislamiento térmico de poliuretano de 1.5" de esperon con cubiertas de lámina prepintada en colo blanco de 1m de ancho útil por 2m de largo	12

Fuente: Elaboración propia

B. PROPIEDADES DE MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Propiedades físicas de los materiales utilizados

Tabla 4 Propiedades Mecánicas del Acero Inox 304

Acero Inoxidable 304		
Physical Properties	Metric	English
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	123	123
Hardness, Knoop	138	138
Hardness, Rockwell B	70	70
Hardness, Vickers	129	129
Tensile Strength, Ultimate	505 MPa	73200 psi
Tensile Strength, Yield	215 MPa	31200 psi
	@ Strain 0.200 %	@ Strain 0.200 %
Elongation at Break	70%	70%
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi
Poissons Ratio	0.29	0.29
Shear Modulus	77.0 GPa	11200 ksi
Izod Impact	150 J	111 ft-lb
	@ Temperature -195 °C	@ Temperature -319 °F
	150 J	111 ft-lb
	@ Temperature 21.0 °C	@ Temperature 69.8 °F
Charpy Impact	325 J	240 ft-lb

Fuente: matweb.com

Tabla 5 Propiedades Mecánicas del Acero Estructural ASTM-A36

ASTM A-36		
Physical Properties	Metric	English
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break		20% 20%
		23% 23%
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Compressive Yield Strength	152 MPa	22000 psi
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi
Poissons Ratio		0.26 0.26
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi

Fuente: matweb.com

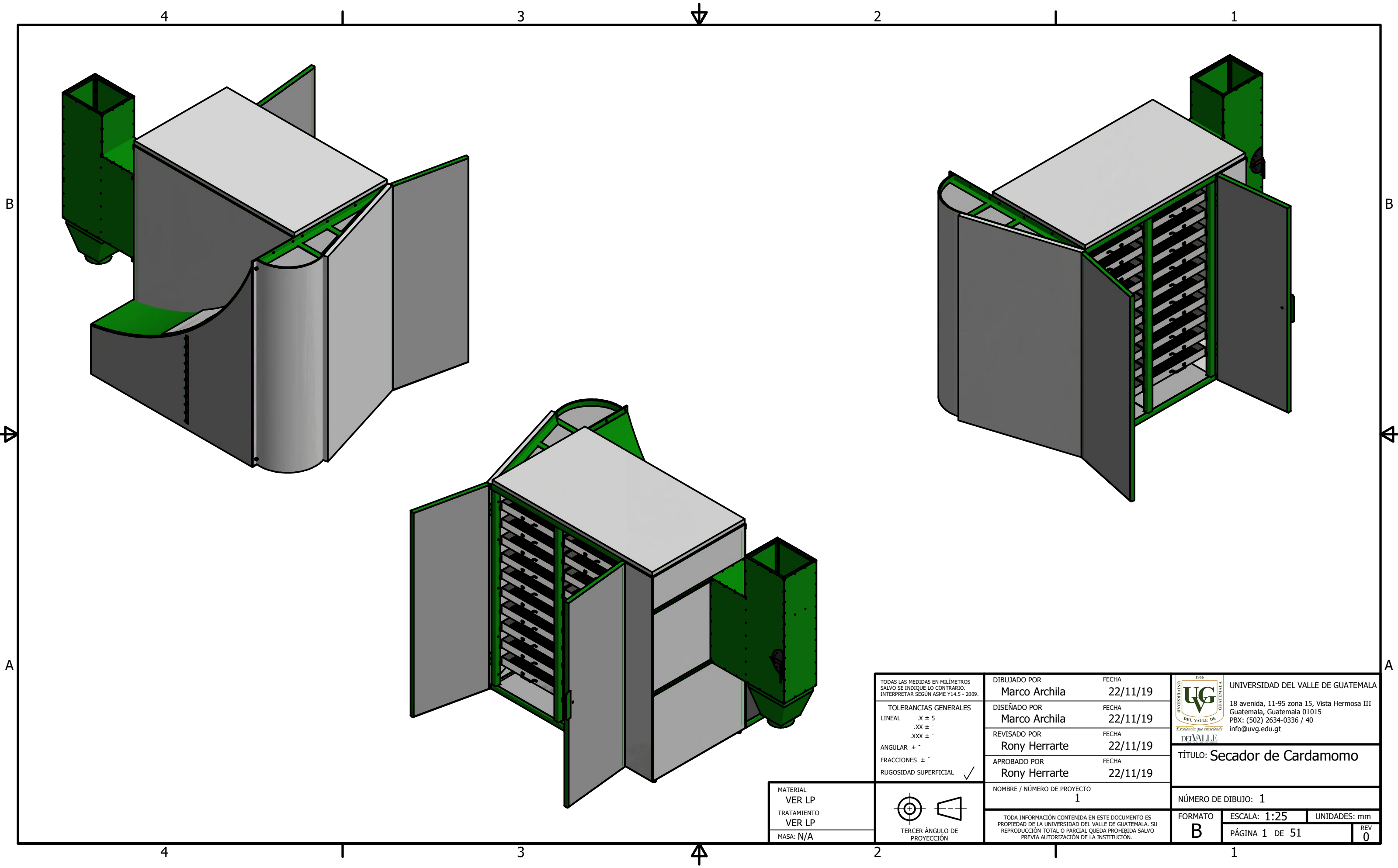
C. EQUIPO Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

Tabla 6 Equipos y herramientas

Descripción
Tronzadora
Pulidora de 4-1/2"
Cegueta
Soldadura de Electrica AC (entre 50-10A)
Cortadora de Plasma (opcional)
Sargentos
Juego de llaves de cola y corona
Compresor de Aire
Pistola de pintura
Barreno de Pedestal
Barreno Manual
Juego de Limas
Punzon
Metro (5m)
Escuadrilon
Escuadras
Regla de 1.2m
Rallador o Marcador
Escuadras magnéticas (2)
Alicates de presión (3)

Fuente: Elaboración propia

D. PLANOS DE FABRICACIÓN



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES	
LINEAL	.X ± 5 .XX ± 7 .XXX ± 7
ANGULAR	± 7
FRACCIONES	± 7
RUGOSIDAD SUPERFICIAL	✓

MATERIAL	VER LP
TRATAMIENTO	VER LP
MASA:	N/A



DIBUJADO POR	Marco Archila	FECHA	22/11/19
DISEÑADO POR	Marco Archila	FECHA	22/11/19
REVISADO POR	Rony Herrarte	FECHA	22/11/19
APROBADO POR	Rony Herrarte	FECHA	22/11/19
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO		1	

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
	18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt

TÍTULO: Secador de Cardamomo

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1:25	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 1 DE 51	REV 0

4

3

2

1

MATERIALES

Descripción	Cantidad
Perfiles Metalicos Estrucutrales	
Tubo Estructural Cuadrado de 2x6m chapa 16 (1.5mm)	4
Tubo Estructural Cuadrado de 2x6m chapa 14 (1.2mm)	2
Tubo Estructural Cuadrado de 1.5"x6m chapa 14 (1.2mm)	2
Tubo Cuadrado de 3/4" x 6 m chapa 18 (1.25mm)	3
Lamina Galvanizada Calibre 26 (4x8')	3
Lamina de negra de 1/16	1
Perfil Angular de 2x 3/16 x 6m	1
Perfil Angular de 1-1/8 x 3/16"X6m	8
Perfil Plano de 2x3/16"x 6m	2
Perfil Hembra de 2x1/8" x 6m	2
Varilla de 3/8"x 6m	1
Perfiles en Acero Inoxidable 304	
Lamina Perforada con peforaciones circulares de 8mm de diametro, 2x1000x2000 mm	10
Sujeción	
Remache de 3/16"x1/2" ala ancha	450
Remache de 3/16"x1/2" normal	100
Tornillo de 3/8" x 3" UNC (TOR-1)	50
Tuerca de 3/8" UNC	50
Roldana de 3/8"x1"	50
Roldana de Presión 3/8"	50
Varilla Roscada de 7/16	2
Tuerca de 7/16" UNC	30
Tornillo de 5/8"x2" UNC (TOR-2)	6
Tuerca de 5/8" UNC	12
Bisagra de Cartucho	4
Tornillos de Lámina de 1-1/2"	25
Tornillos de Lámina de 3"	25
Tornillos buscarosda de 5/32 x 3/4"	25
Aislamiento Termico	
Panel de aislamiento térmico de poliuretano de 1.5" de esperon con cubiertas de lámina prepintada en colo blanco de 1m de ancho útil por 2m de largo	12

Instrucciones:

- Las soldaduras de toda la estructura a excepción de los componentes fabricados en acero inoxidable, se deben realizar con soldadura de arco electrico utilizando eletrodo E6013. Se recomienda un amperaje entre 65 y 85 AC para evitar perforaciones en los perfiles a soldar.
- El orden en el que los planos se presentan en este documento es el orden sugerido para la fabricación del dispositivo. En ninguna parte de la estructura se deben realizar empalmes. Seguir el orden de estos planos asegurará que se aproveche al máximo el material.
- La pintura (importante para proteger la estructura) se debe aplicar una vez finalizado el proceso de soldadura, instalar aislamientos térmicos y forros de lámina.

TÍTULO: INSTRUCCIONES Y MATERIALES

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: NTS	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 2 DE 51	REV 0

4

3

2

1

4

3

2

1

B

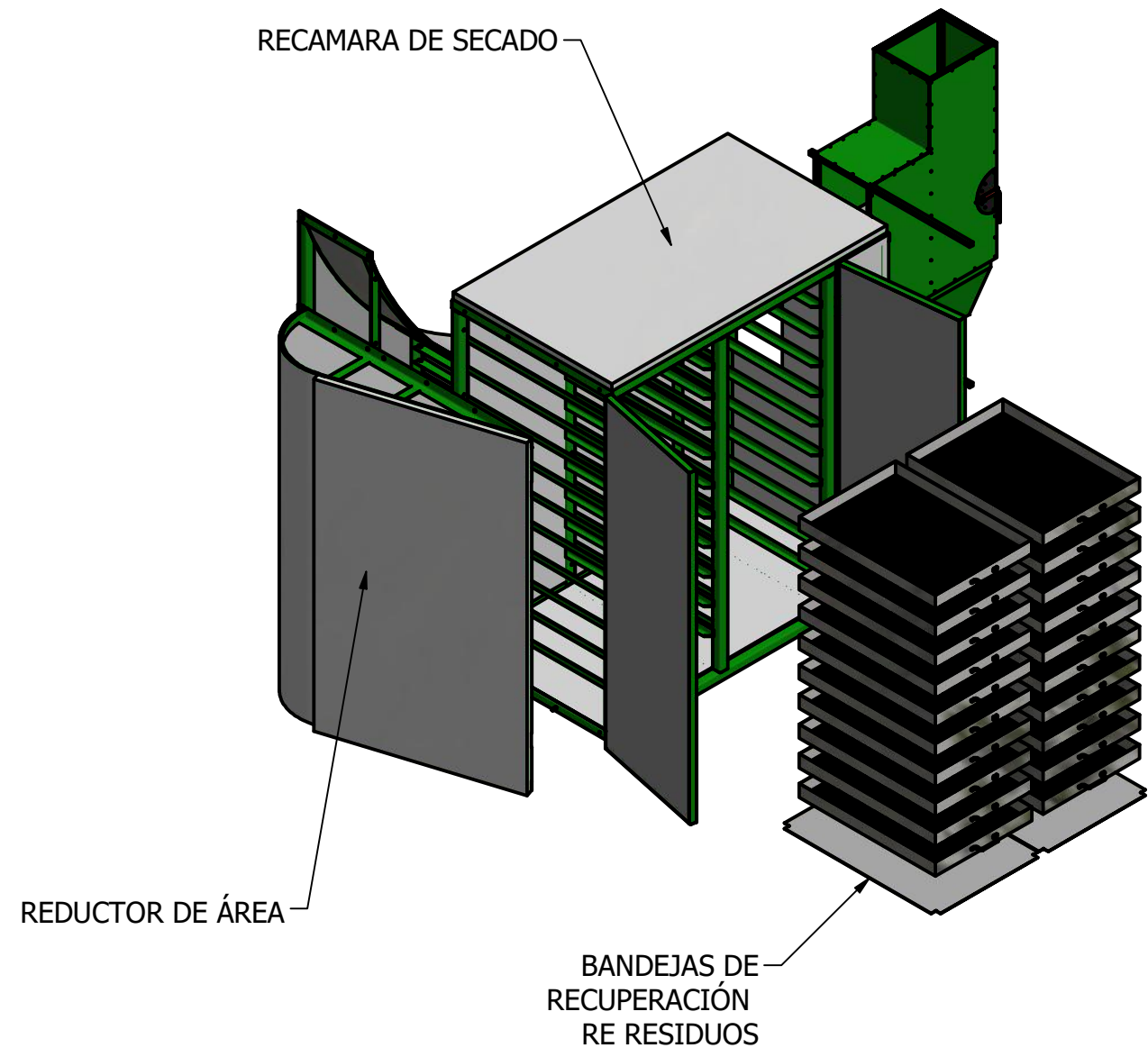
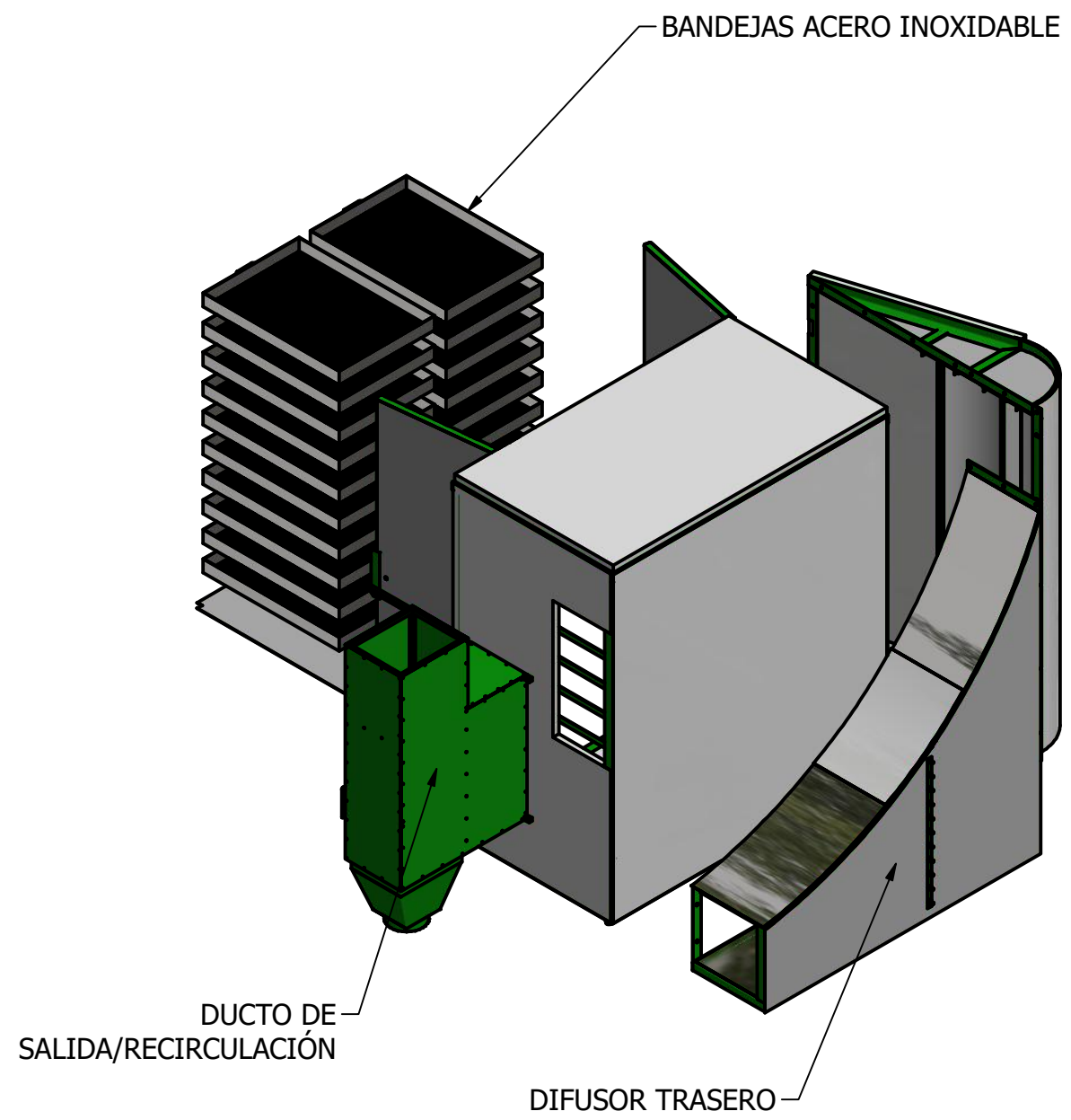
B

A

A

A

A



TÍTULO: División de Componentes Primarios		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 30	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 3 DE 51	REV 0

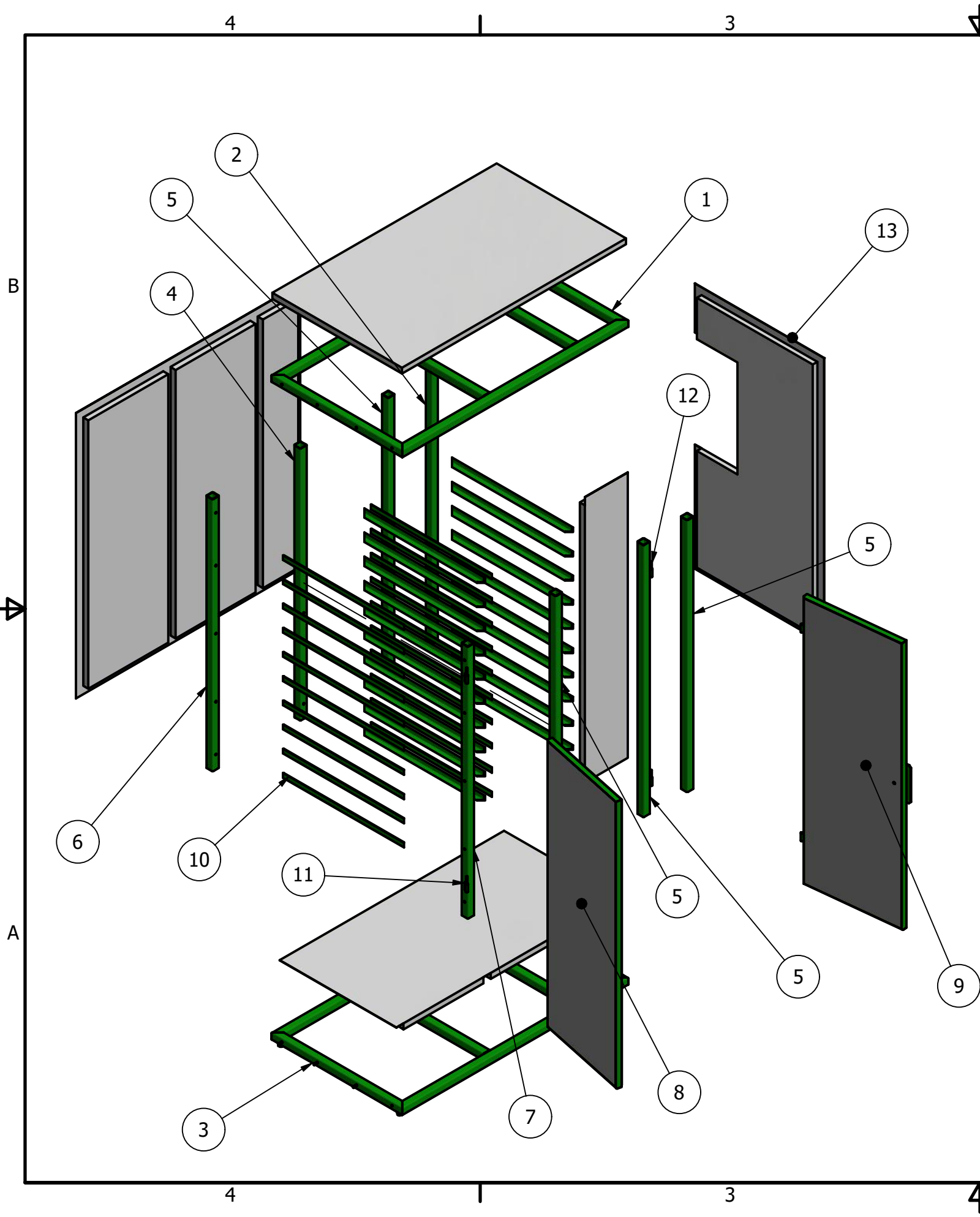
4

3

2

1

A



LISTA DE PARTES				
NÚMERO DE PIEZA	ARTÍCULO	CANT.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
RS-1	1	1	Marco Superior	5
RS-2	2	1	Paral Salida Fondo	6
RS-3	3	1	Base	7
RS-4	4	1	Paral Medio Fondo	8
RS-5	5	4	Paral Simple	9
RS-6	6	1	Paral Entrada Reductor Fondo	10
RS-7	7	1	Paral Entrada Reductor Frente	11
RS-8	8	1	Puerta Simple	12
RS-9	9	1	Puerta con Chapa	13
RS-10	10	40	Angular de Soporte	14
RS-11	11	2	Bisagra Macho A	
RS-12	12	2	Bisagra Macho B	
RS-13	13	1	Cubierta Abertura Recirculación	15

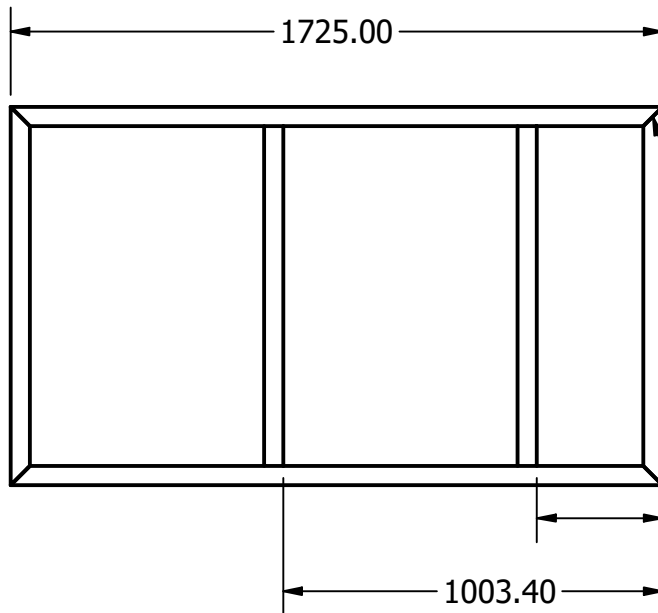
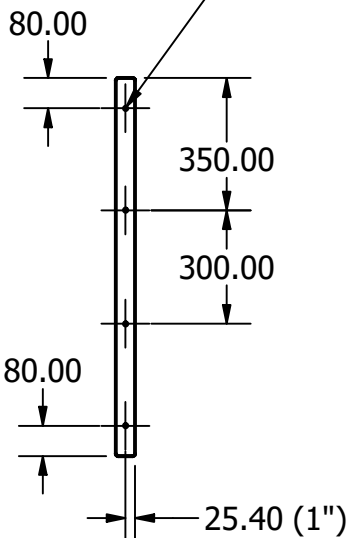
TÍTULO: Partes Recamara de Secado		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 4 DE 51	REV 0

2

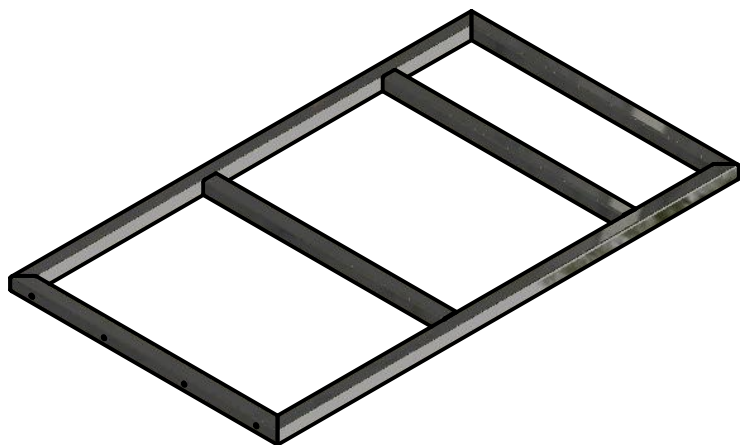
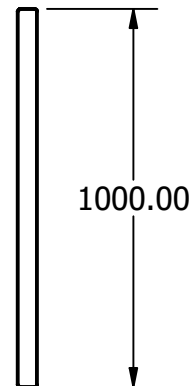


1

Ø9.53 (3/8") AGUJEROS PASADOS EN BARRENO DE BANCO PREVIO A ENSAMBLAR



E6013



TÍTULO: Marco Superior RS-1		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 5 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL CUADRADO DE 2X2 PULGADAS CHAPA 16 (1.5MM)

2



1

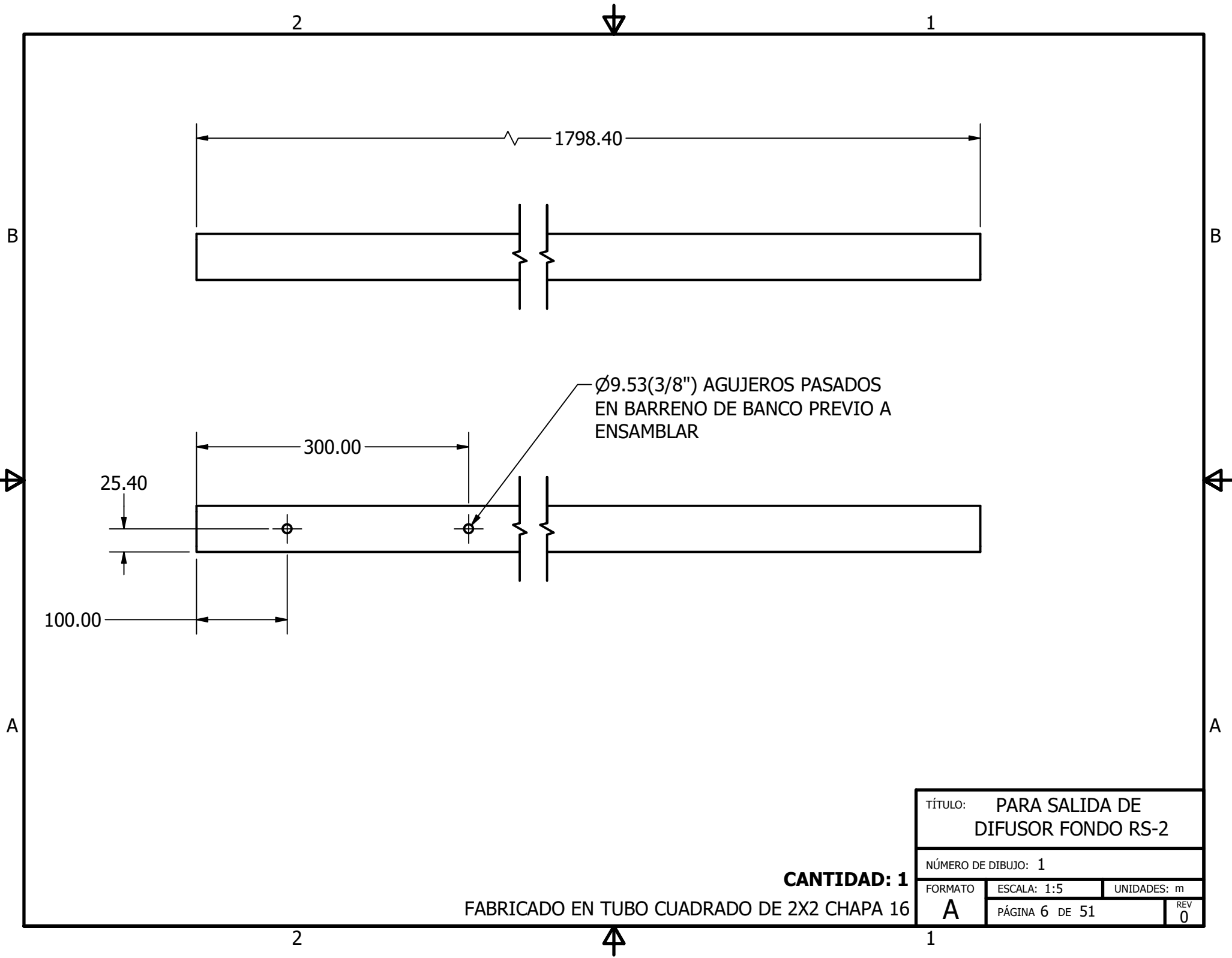
B

B

A

A





Ø9.53(3/8") AGUJEROS PASADOS
EN BARRENO DE BANCO PREVIO A
ENSAMBLAR

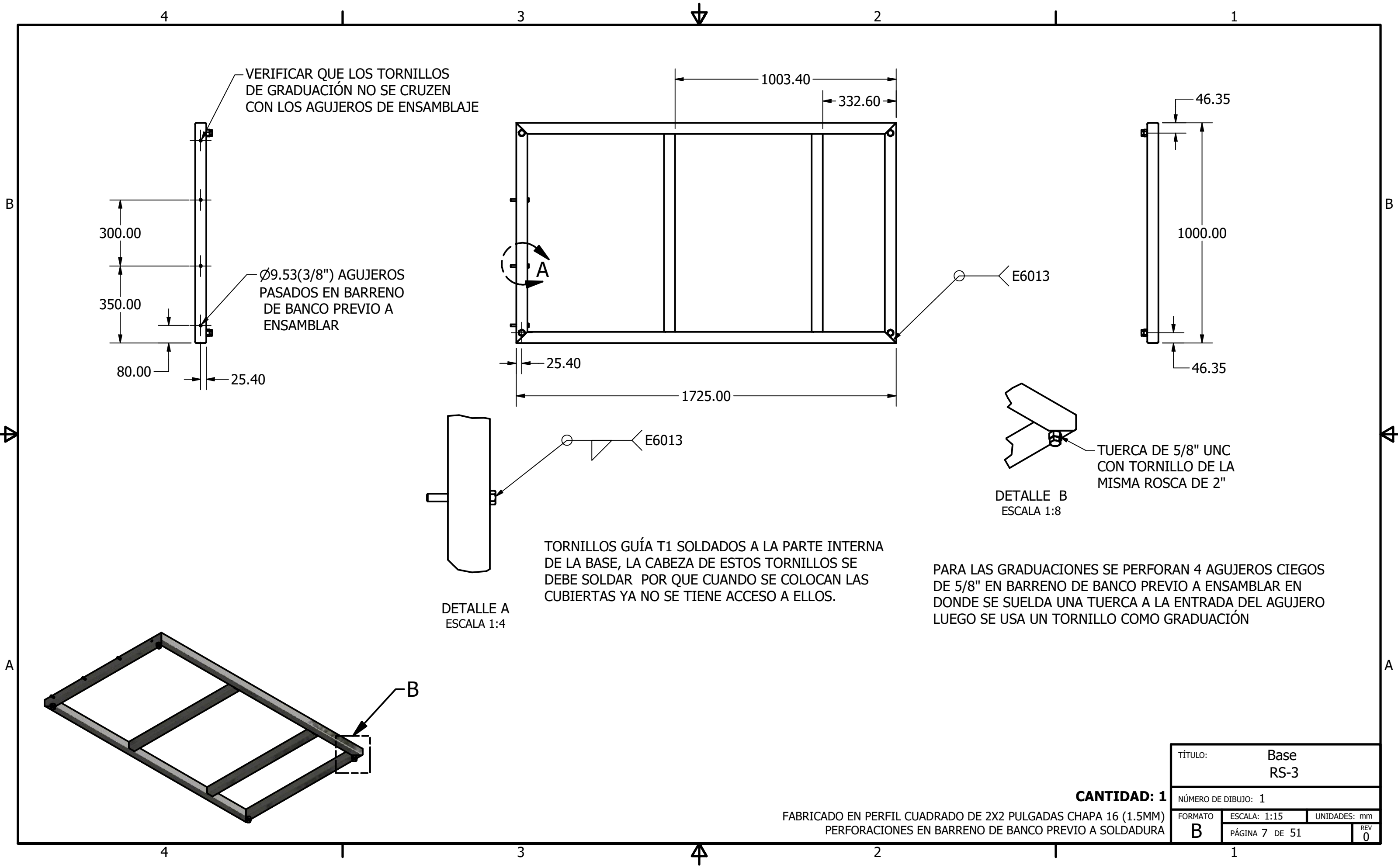
TÍTULO: PARA SALIDA DE
DIFUSOR FONDO RS-2

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: m
A	PÁGINA 6 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16



VERIFICAR QUE LOS TORNILLOS DE GRADUACIÓN NO SE CRUZEN CON LOS AGUJEROS DE ENSAMBLAJE

Ø9.53(3/8") AGUJEROS PASADOS EN BARRENO DE BANCO PREVIO A ENSAMBLAR

TORNILLOS GUÍA T1 SOLDADOS A LA PARTE INTERNA DE LA BASE, LA CABEZA DE ESTOS TORNILLOS SE DEBE SOLDAR POR QUE CUANDO SE COLOCAN LAS CUBIERTAS YA NO SE TIENE ACCESO A ELLOS.

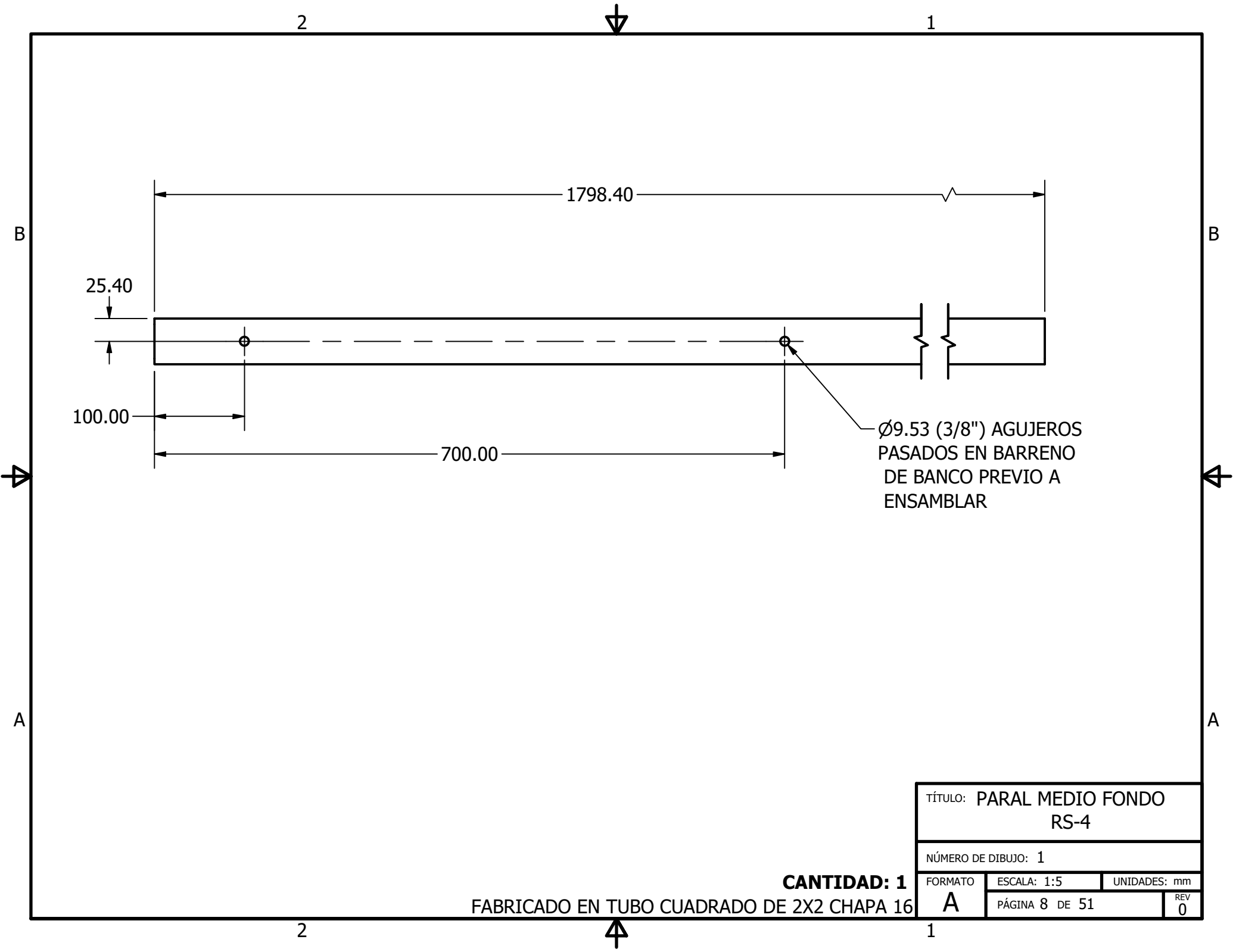
TUERCA DE 5/8" UNC CON TORNILLO DE LA MISMA ROSCA DE 2"

PARA LAS GRADUACIONES SE PERFORAN 4 AGUJEROS CIEGOS DE 5/8" EN BARRENO DE BANCO PREVIO A ENSAMBLAR EN DONDE SE SUELDA UNA TUERCA A LA ENTRADA DEL AGUJERO LUEGO SE USA UN TORNILLO COMO GRADUACIÓN

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL CUADRADO DE 2X2 PULGADAS CHAPA 16 (1.5MM) PERFORACIONES EN BARRENO DE BANCO PREVIO A SOLDADURA

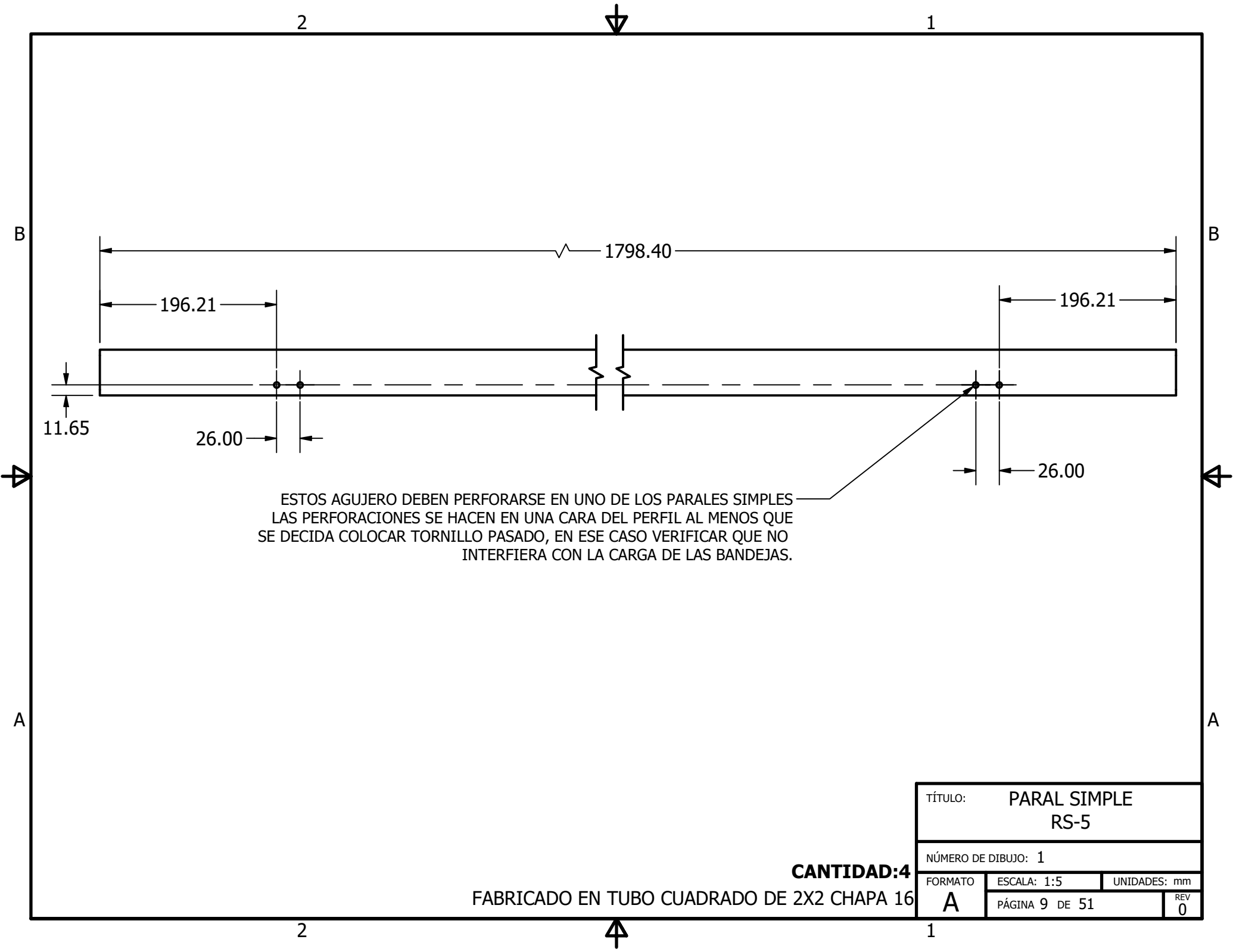
TÍTULO:		Base RS-3	
NÚMERO DE DIBUJO: 1			
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm	REV
B	PÁGINA 7 DE 51		0



Ø9.53 (3/8") AGUJEROS
PASADOS EN BARRENO
DE BANCO PREVIO A
ENSAMBLAR

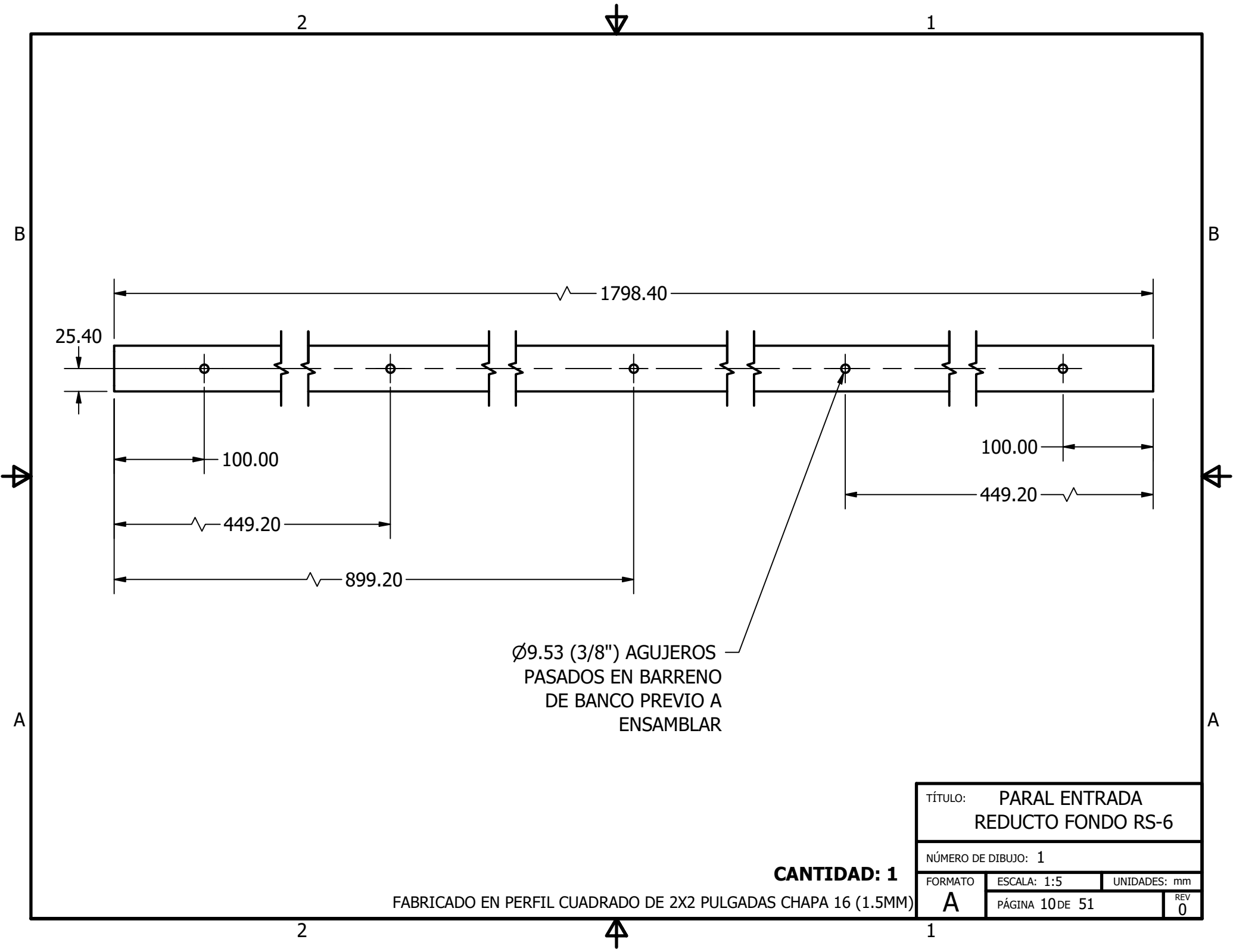
TÍTULO: PARAL MEDIO FONDO RS-4		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 8 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1
FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16



CANTIDAD: 4
 FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16

TÍTULO: PARAL SIMPLE RS-5		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 9 DE 51	REV 0

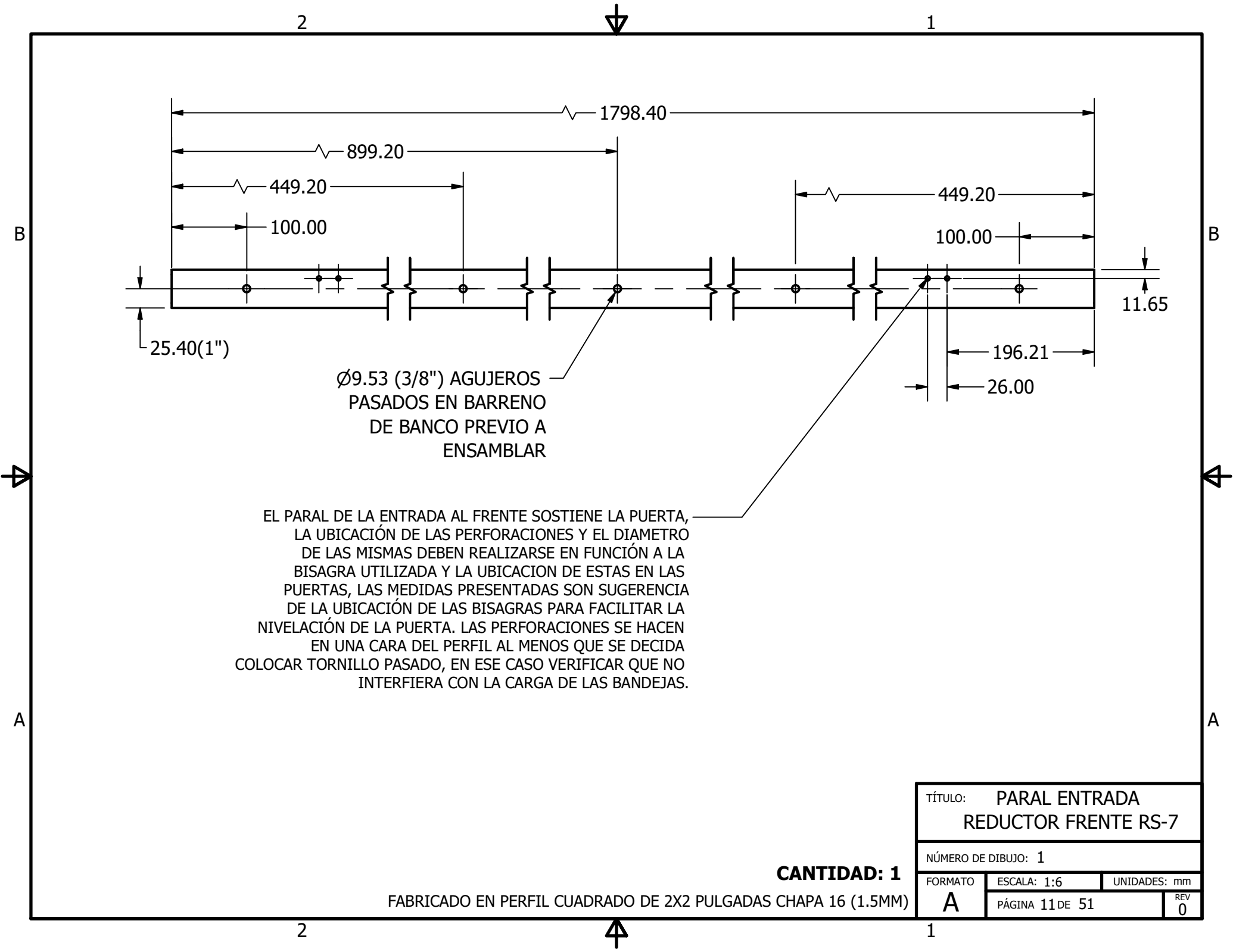


$\varnothing 9.53$ (3/8") AGUJEROS
 PASADOS EN BARRENO
 DE BANCO PREVIO A
 ENSAMBLAR

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL CUADRADO DE 2X2 PULGADAS CHAPA 16 (1.5MM)

TÍTULO: PARAL ENTRADA REDUCTO FONDO RS-6		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 10 DE 51	REV 0



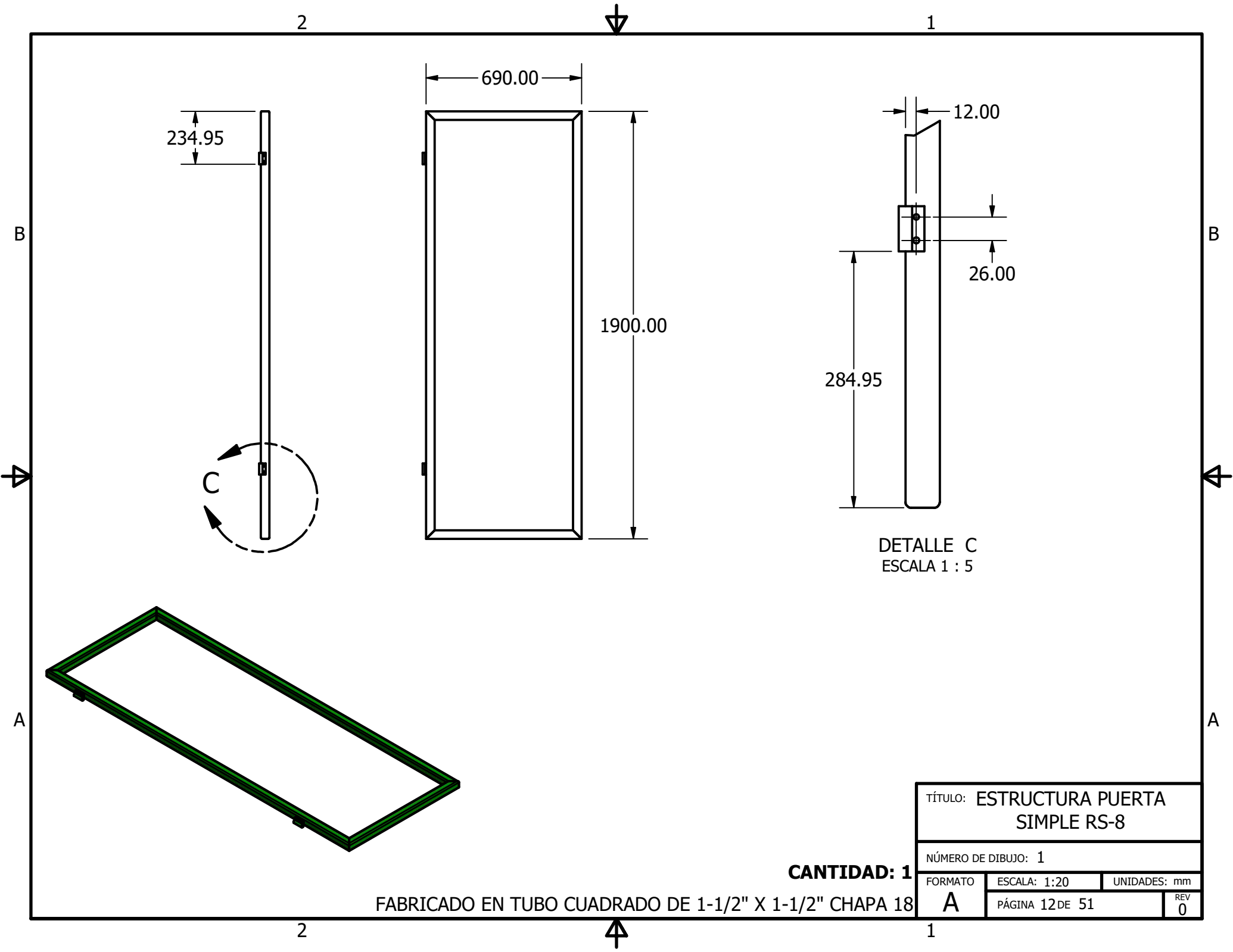
Ø9.53 (3/8") AGUJEROS
PASADOS EN BARRENO
DE BANCO PREVIO A
ENSAMBLAR

EL PARAL DE LA ENTRADA AL FRENTE SOSTIENE LA PUERTA,
LA UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES Y EL DIAMETRO
DE LAS MISMAS DEBEN REALIZARSE EN FUNCIÓN A LA
BISAGRA UTILIZADA Y LA UBICACION DE ESTAS EN LAS
PUERTAS, LAS MEDIDAS PRESENTADAS SON SUGERENCIA
DE LA UBICACIÓN DE LAS BISAGRAS PARA FACILITAR LA
NIVELACIÓN DE LA PUERTA. LAS PERFORACIONES SE HACEN
EN UNA CARA DEL PERFIL AL MENOS QUE SE DECIDA
COLOCAR TORNILLO PASADO, EN ESE CASO VERIFICAR QUE NO
INTERFIERA CON LA CARGA DE LAS BANDEJAS.

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL CUADRADO DE 2X2 PULGADAS CHAPA 16 (1.5MM)

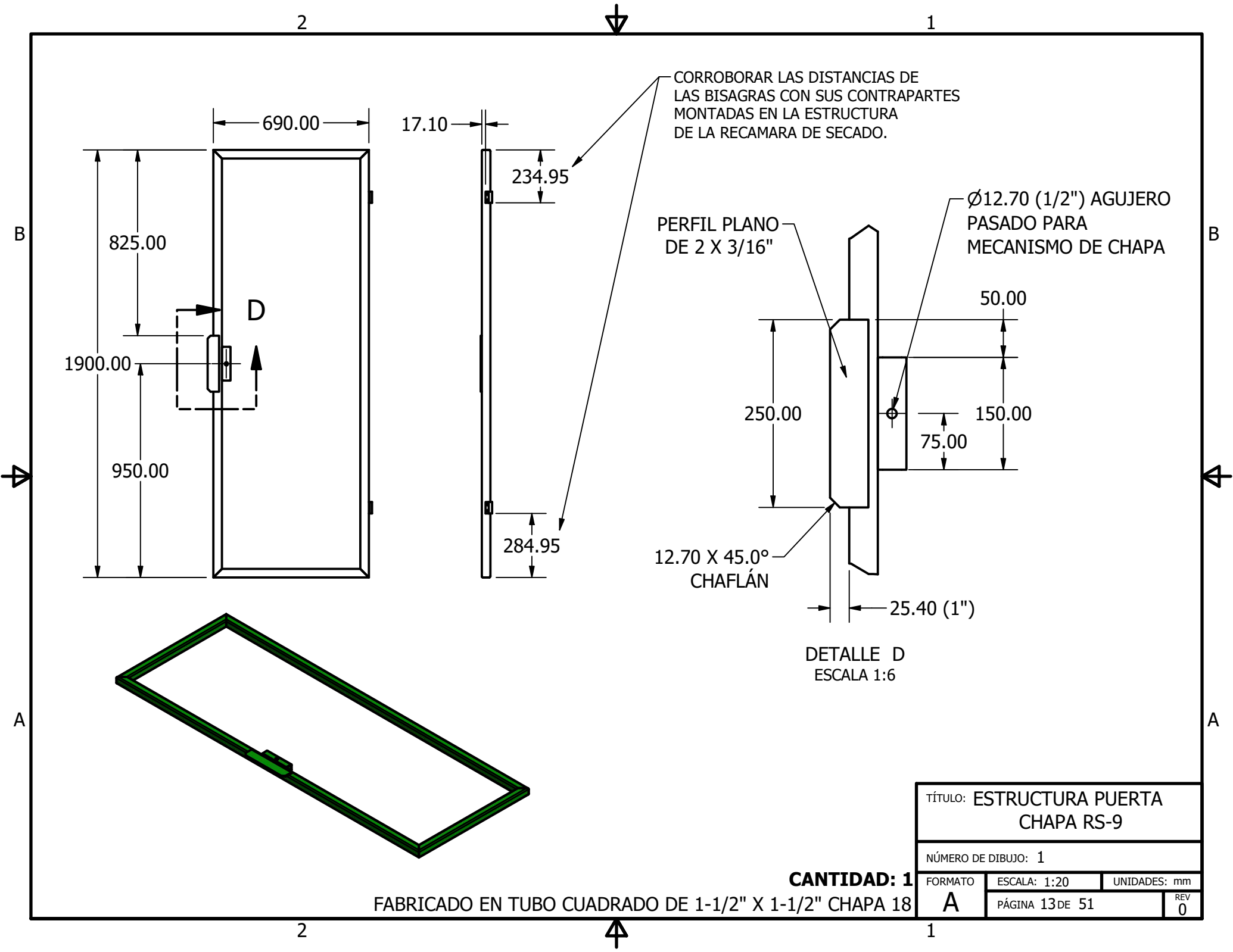
TÍTULO: PARAL ENTRADA REDUCTOR FRENTE RS-7		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:6	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 11 DE 51	REV 0



FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 1-1/2" X 1-1/2" CHAPA 18

CANTIDAD: 1

TÍTULO: ESTRUCTURA PUERTA SIMPLE RS-8		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 12 DE 51	REV 0



TÍTULO: ESTRUCTURA PUERTA
CHAPA RS-9

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 13 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

2

1

923.80

HACER EL CORTE DE 45 GRADOS UNICAMENTE EN UNDA DE LAS CARAS DEL ANGULAR

45.0°

CANTIDAD: 40

FABRICADO EN PERFIL ANGULAR DE 1-1/4" X 3/16

TÍTULO: ANGULAR DE SOPORTE RS-10			
NÚMERO DE DIBUJO: 1			
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 14 DE 51		REV 0

2

1

1

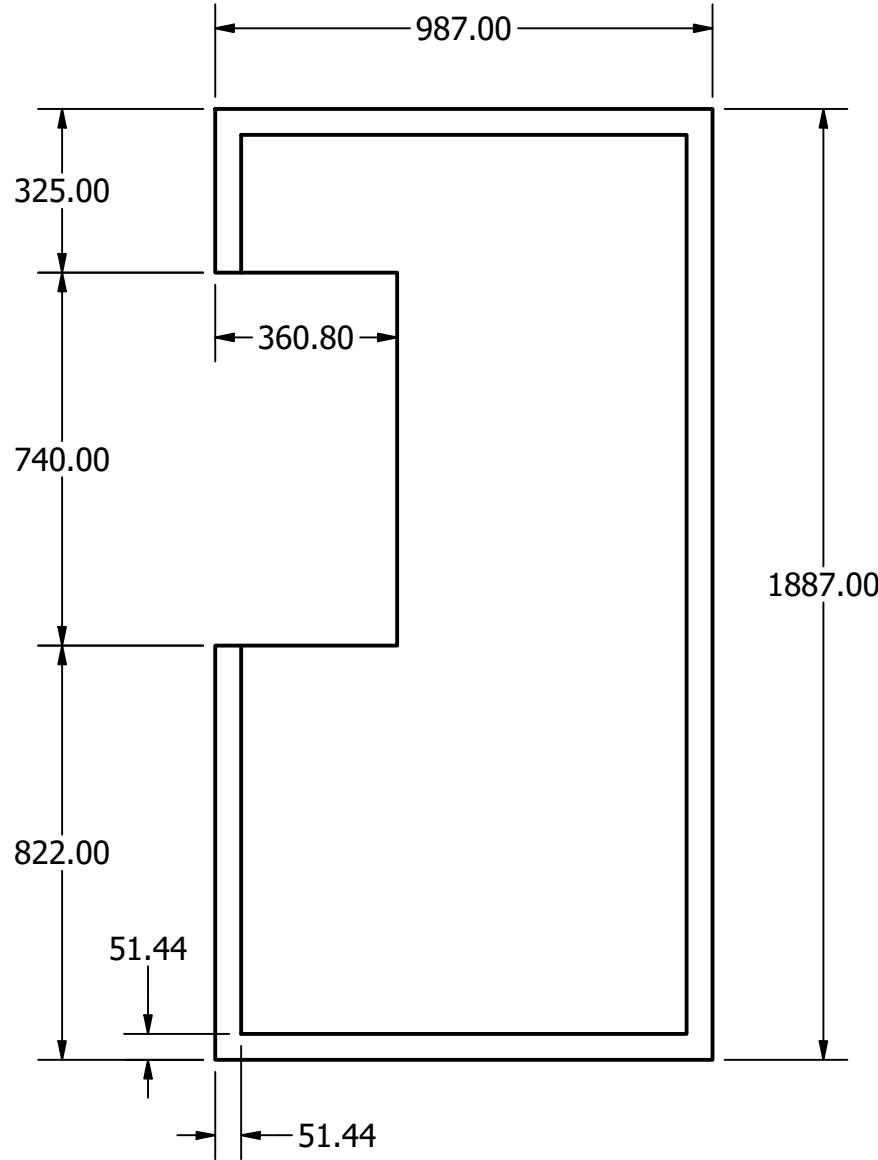
B

B

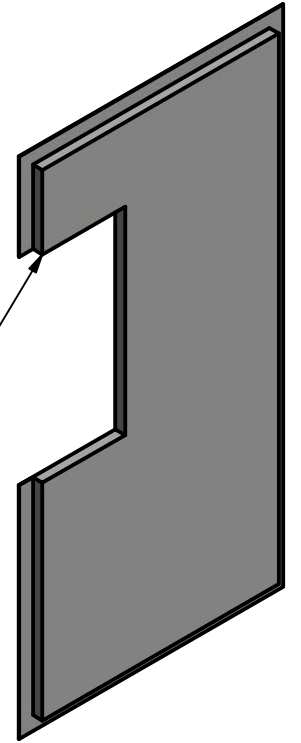
A

A

LAS DIMENSIONES DE LAS CUBIERTAS ESTÁN SUJETAS A LAS DIMENSIONES REALES DE LOS ESPACIOS PARA EL ALOJAMIENTO DEL AISLANTE. SE RECOMIENDA UBICAR LAS CUBIERTAS EN LAS CARAS DE LA ESTRUCTURA DE LA RECAMARA DE SECADO CORRESPONDIENTE Y MARCAR LAS LINEAS EN LA CUALES SE DEBE CORTAR CUBIERTA DEL AISLAMIENTO.



LA POSICIÓN Y LAS DIMENSIONES DE LA ABERTURA DE RECIRCULACIÓN SE DEBEN RESPETAR, EL NO HACERLO PUEDE TENER COMO CONSECUENCIA UN COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO NO DESEADO.



TÍTULO: CUBIERTA DE SALIDA
DE RECIRCULACIÓN RS-13

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO ESCALA: 1:15 UNIDADES: mm

PÁGINA 15 DE 51 REV 0

CANTIDAD: 1

1

2

B

B

A

A

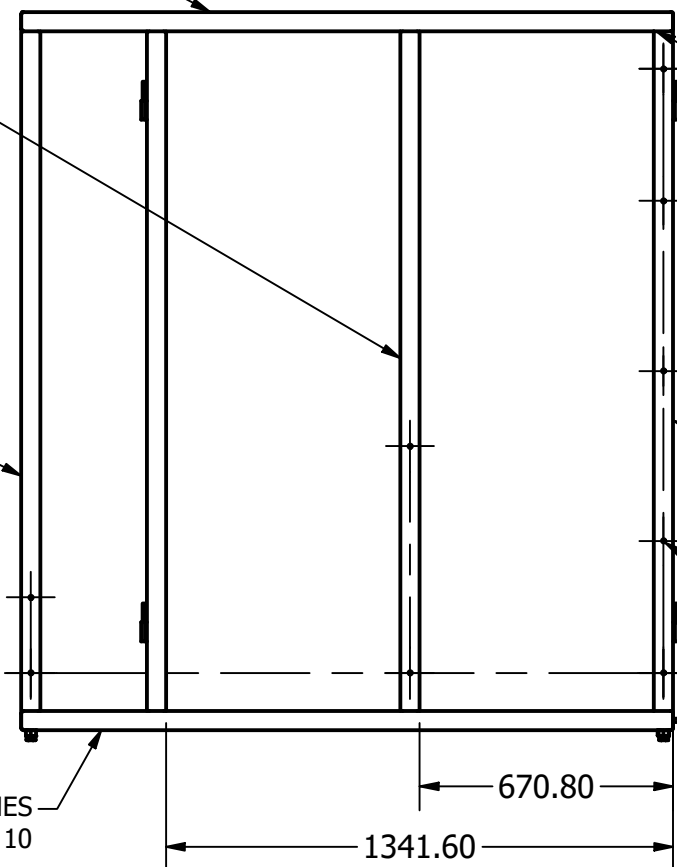
VISTA TRASERA DE RECAMARA DE SECADO
(ACOPLE DIFUSOR)

MARCO SUPERIOR (VER PAG. 5)

PARAL MEDIO FONDO, PAG. 8

PARAL SALIDA FONDO, PAG. 6

BASE (CON GRADUACIONES HACIA ABAJO), VER PAG. 10



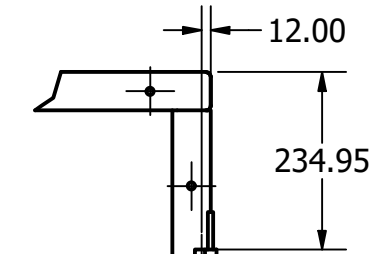
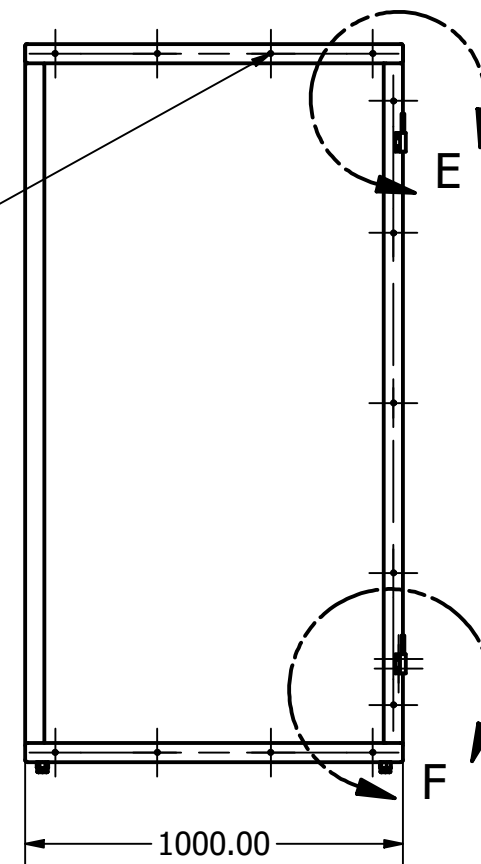
E6013
TODAS LAS SOLDADURAS
A TOPE Y EN TODO EL
CONTORNO

PARAL ENTRADA RED FONDO (VER. PAG. 10)

LOS AGUJEROS DE LOS PAALES DEL FONDO DEBEN APUNTAR HACIA LA PARTE TRASERA DE LA RECAMRA DE SECADO.

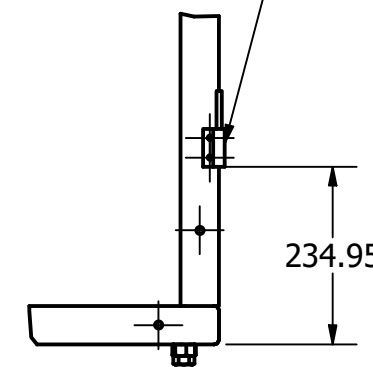
VISTA LATERAL RECAMARA DE SECADO
(ACOPLE REDUCTOR DE ÁREA)

AGUJEROS DE ACOPLA DE REDUCTOR DE ÁREA



DETALLE E
ESCALA 1:10

BISAGRA MACHO A



DETALLE F
ESCALA 1:10

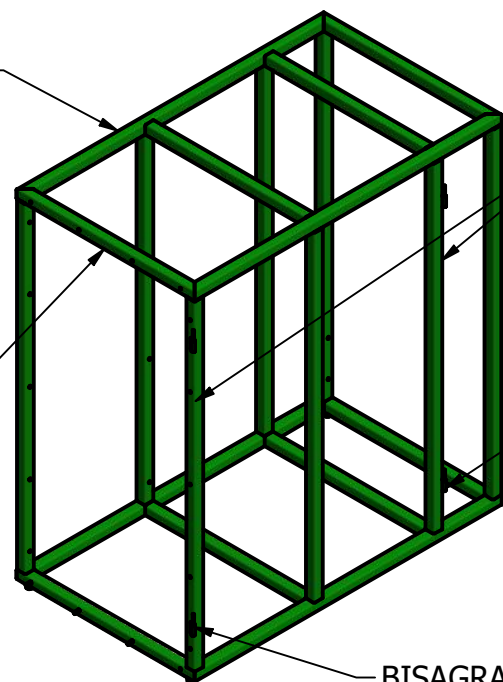
ACOPLE DIFUSOR TRASERO

PARALES EN QUE SE COLOCAN LAS BISAGRAS

ACOPLE REDUCTOR DE ÁREA

BISAGRA MACHO B

BISAGRA MACHO A



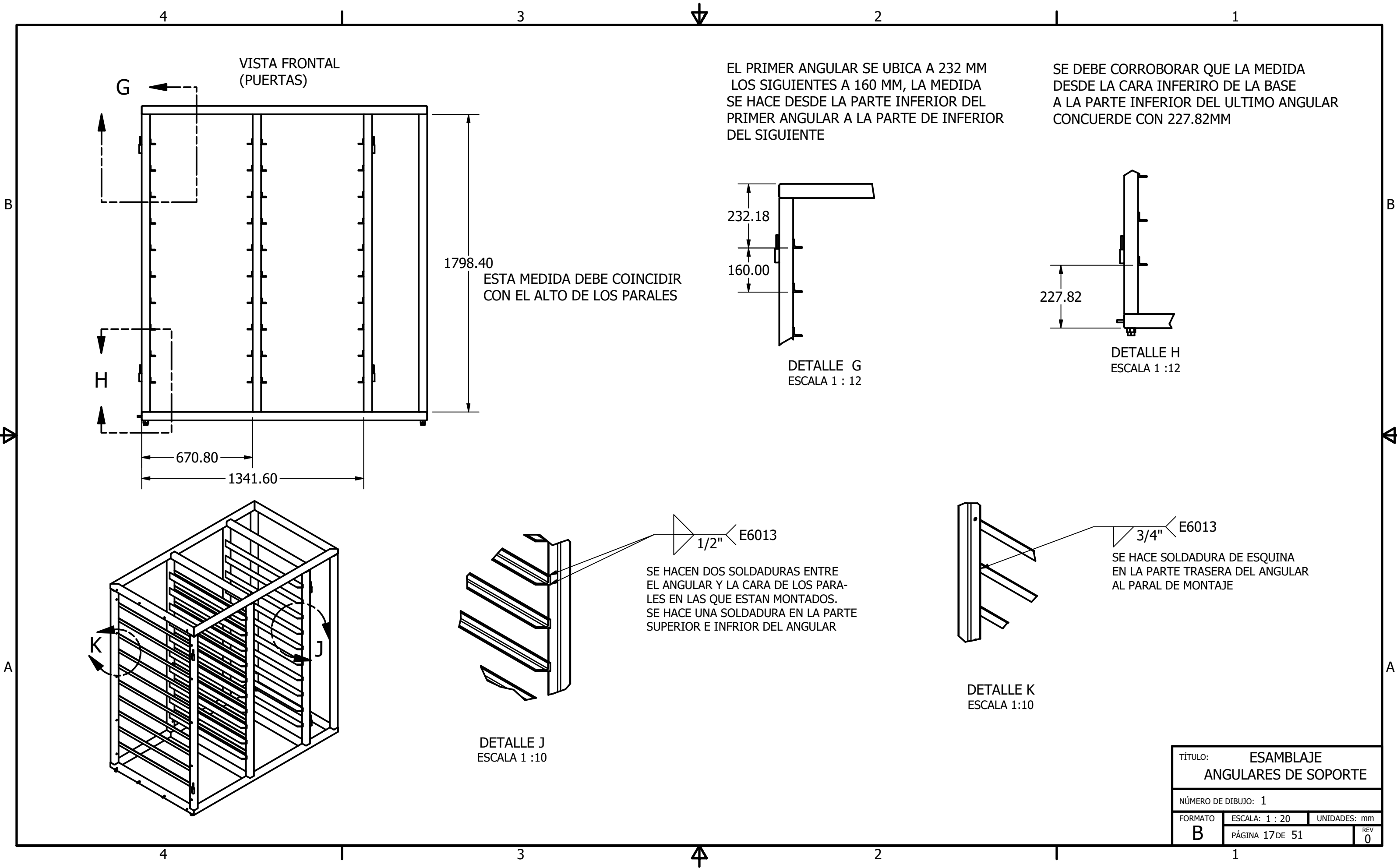
ATENCIÓN: DE DEBE ASEGURAR QUE LAS BISAGRAS SELECCIONADAS TENGAN LA CAPACIDAD DE INVERTIR LA DIRECCIÓN DEL PIN, LOS PINES DE TODAS LAS BISAGRAS DEBEN APUNTAR HACIA ARRIBA PARA PODER DESMONTAR LAS PUERTAS EN CASO SEA NECESARIO.

LAS BISAGRAS SE DEBEN COLOCAR EN LOS PAALES DE FRENTE, SE RECOMIENDA PERFORAR AGUJEROS PARA SUJETAR LAS BISAGRAS CON TORNILLOS O REMACHES Y REMATAR CON SOLDADURA AL MOMENTO DE NIVELAR LAS PUERTAS

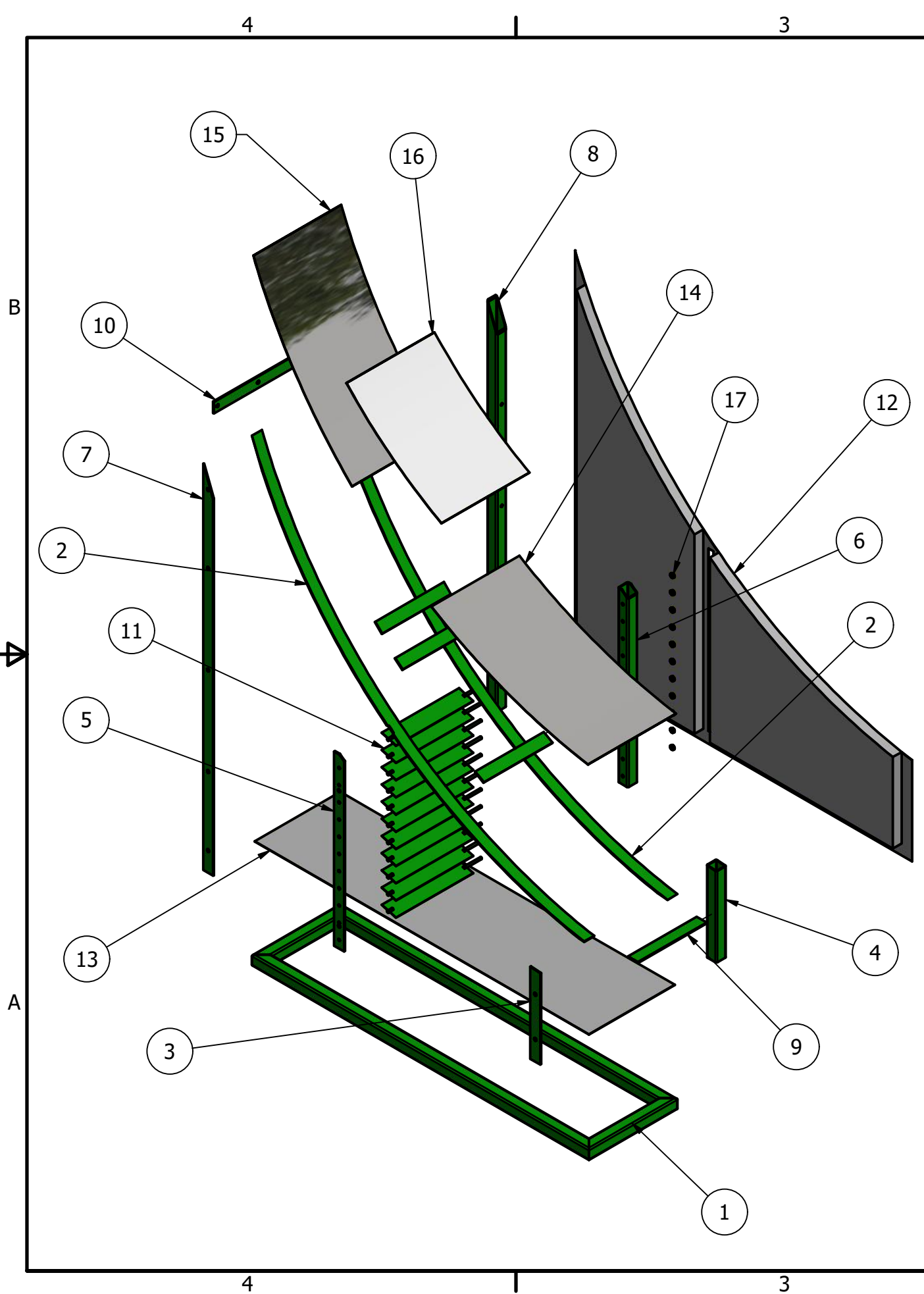
TÍTULO: ESAMBLE ESTRUCTURA PRIMARIA

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1 : 20	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 16 DE 51	REV 0

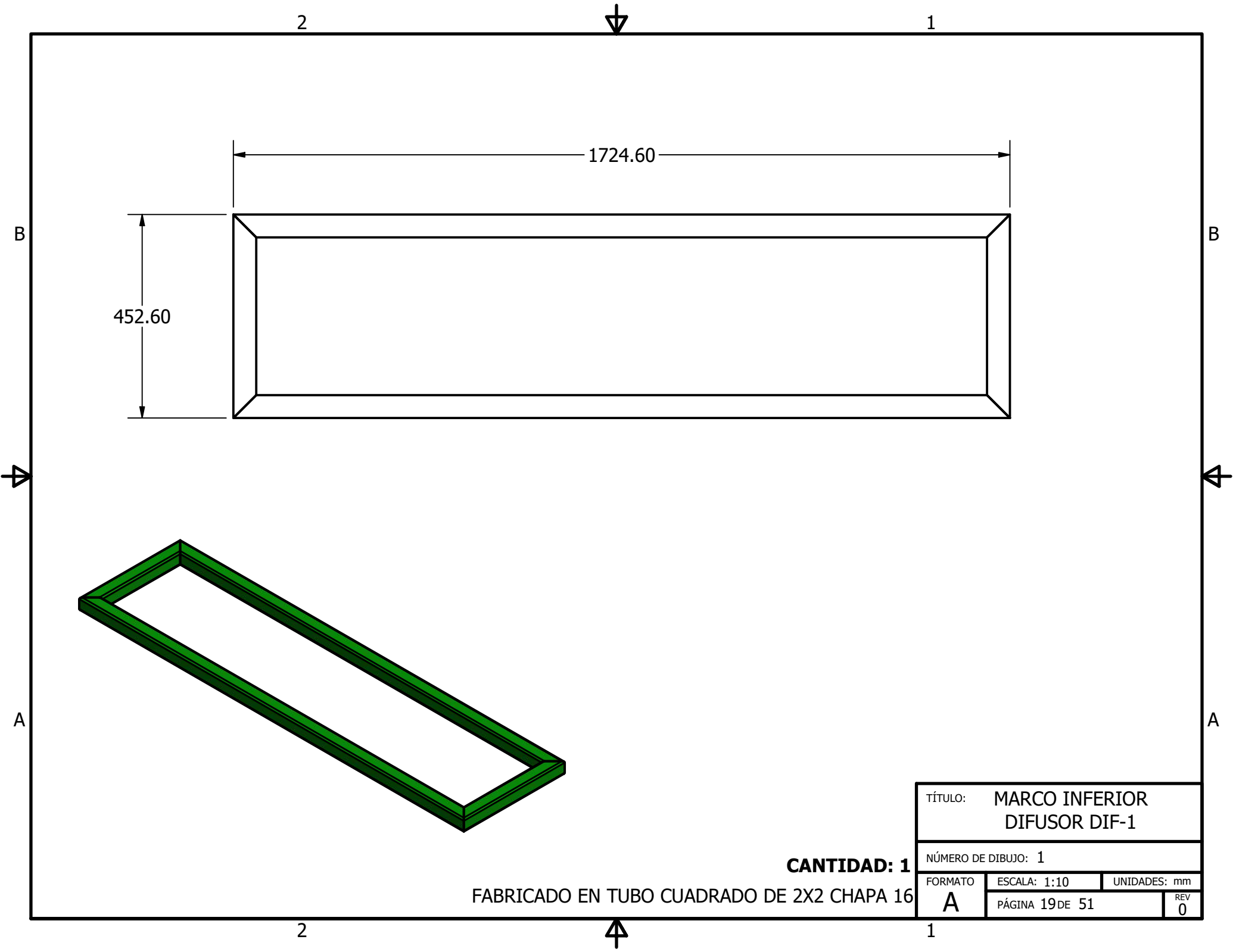


TÍTULO: ESAMBLAJE ANGULARES DE SOPORTE		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 20	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 17 DE 51	REV 0



LISTADO DE PIEZAS				
NÚMERO DE PIEZA	ARTC.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
DIF-1	1	1	Marco Inferior	19
DIF-2	2	2	Perfil plano de curva superior	20
DIF-3	3	1	Paral de Perfil Plano Ingreso Aire	21
DIF-4	4	1	Paral de Tubo Cuadrado Ingreso de Aire	22
DIF-5	5	1	Paral Aletas Perfil Plano	23
DIF-6	6	1	Paral Aletas Tubo Cuadrado	24
DIF-7	7	1	Paral Entrada Reductor de Área Perfil Plano	25
DIF-8	8	1	Paral Entrada Reductor de Área Tubo Cuadrado	26
DIF-9	9	4	Refuerzo Transversal Curva Superior	27
DIF-10	10	1	Refuerzo Superior con Agujeros de Acople	28
DIF-11	11	11	Alteta Regulable	29
DIF-12	12	1	Cubierta de Aislamiento	
DIF-13	13	1	Cubierta Piso Difusor	
DIF-14	14	1	Cubierta de Curva Entrada	
DIF-15	15	1	Cubierta de Curva Salida a Reductor de Área	
DIF-16	16	1	Cubierta de Servicio Aletas	
DIF-17	17	11	Tuerca de 3/8" UNC	

TÍTULO: PARTES DIFUSOR TRASERO		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:18	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 18 DE 51	REV 0



452.60

1724.60

TÍTULO: MARCO INFERIOR DIFUSOR DIF-1			
NÚMERO DE DIBUJO: 1			
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 19 DE 51	REV 0	

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16

B

B

A

A

2

1

2

1

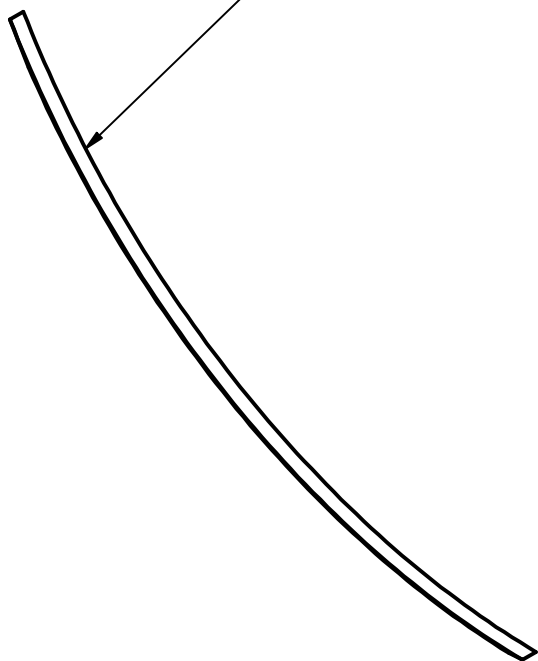
2

1

B

B

CORTAR UN SEGMENTO DE RECTO DE 2320 MM DE LARGO,
 EL REDONDEO SE OBTIENE AL HACER COINCIDIR EL SEGMENTO
 PLANO A LOS PARALES QUE LOS SOSTIENEN EN SU POSICIÓN



A

A

TÍTULO: PERFIL PLANO CURVA SUPERIOR DIF-2		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 20 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 2

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2 X 3/16"

2

1

1

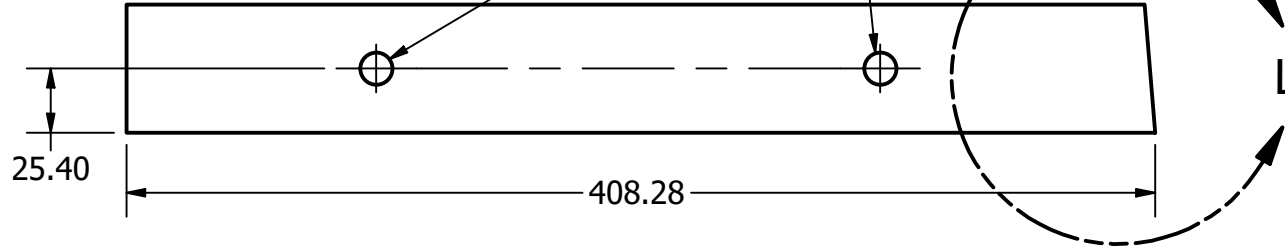
2

1

AGUJEROS DE 1/2" DE ACOPLE CON RECAMARA DE SECADO, ESTOS SE DEBEN MARCAR PREVIO A PERFORAR COLOCANDO EL DIFUSOR EN SU POSICION CON RESPECTO A LA RECAMARA DE SECADO

B

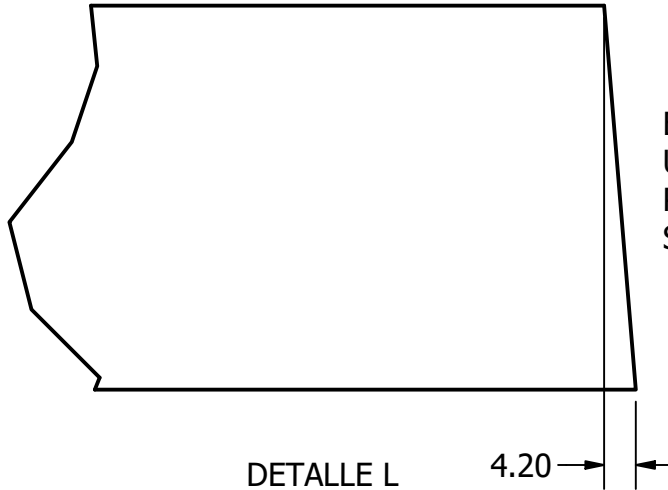
B



25.40

408.28

L



DETALLE L
ESCALA 1:1

4.20

EL DETALLE "L" ESTÁ EN ESCALA 1:1 PARA PODER USARSE COMO UNA PLANTILLA DEL CORTE QUE SE DEBE REALIZAR, ESTA PLANTILLA SIRVE PARA LA FABRICACIÓN DE ESTA Y LA PIEZA SIGUIENTE.

A

A

TÍTULO: PARA TUBO ENTRADA
DIFUSOR DIF-3

NÚMERO DE DIBUJO: 1

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2 X 3/16"

FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 21 DE 51	REV 0

2

1

↑



408.28

TÍTULO: PARAL TUBO ENTRADA
DIFUSOR DIF-4

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1 : 2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 22 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16

B

B

A

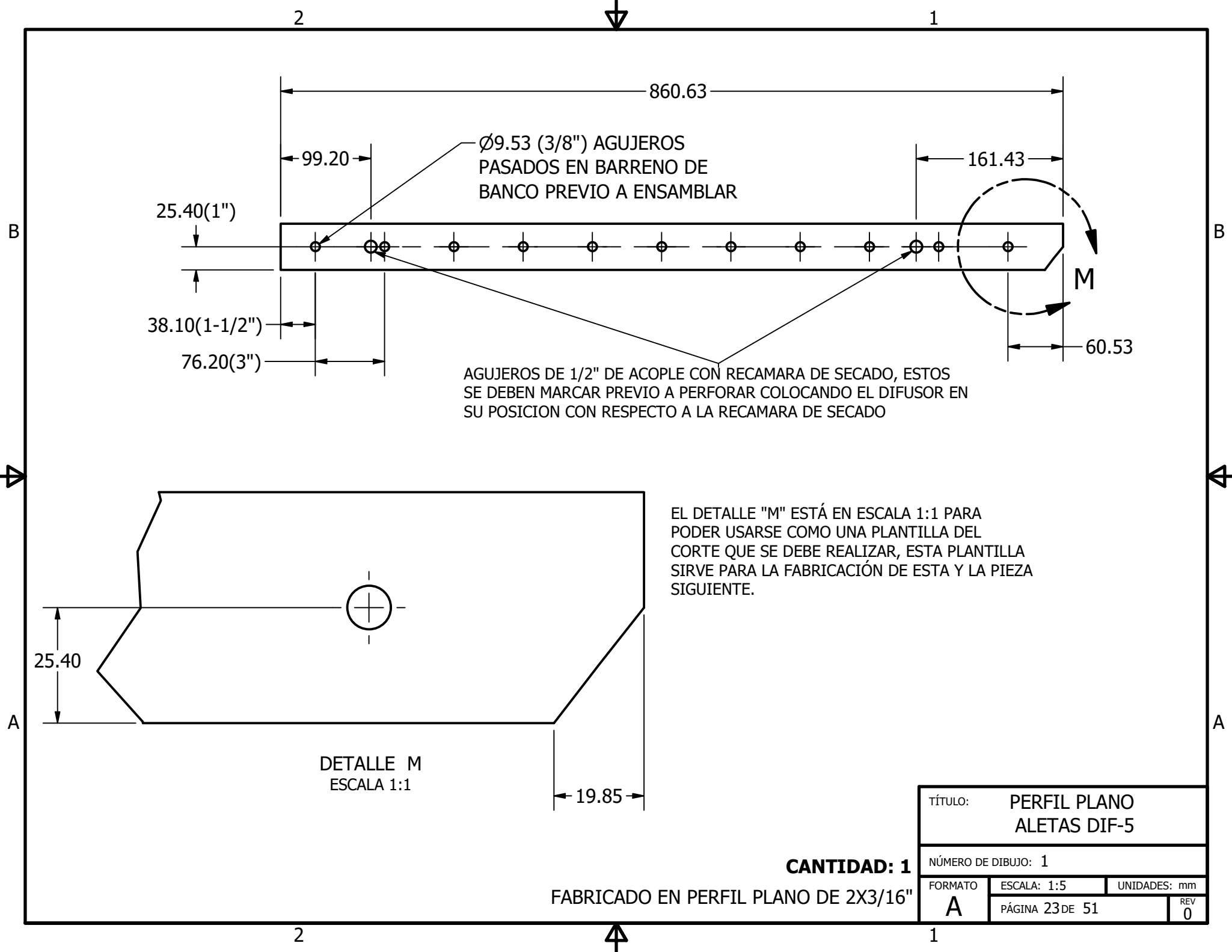
A

2

1

2

1



Ø9.53 (3/8") AGUJEROS PASADOS EN BARRENO DE BANCO PREVIO A ENSAMBLAR

AGUJEROS DE 1/2" DE ACOUPLE CON RECAMARA DE SECADO, ESTOS SE DEBEN MARCAR PREVIO A PERFORAR COLOCANDO EL DIFUSOR EN SU POSICION CON RESPECTO A LA RECAMARA DE SECADO

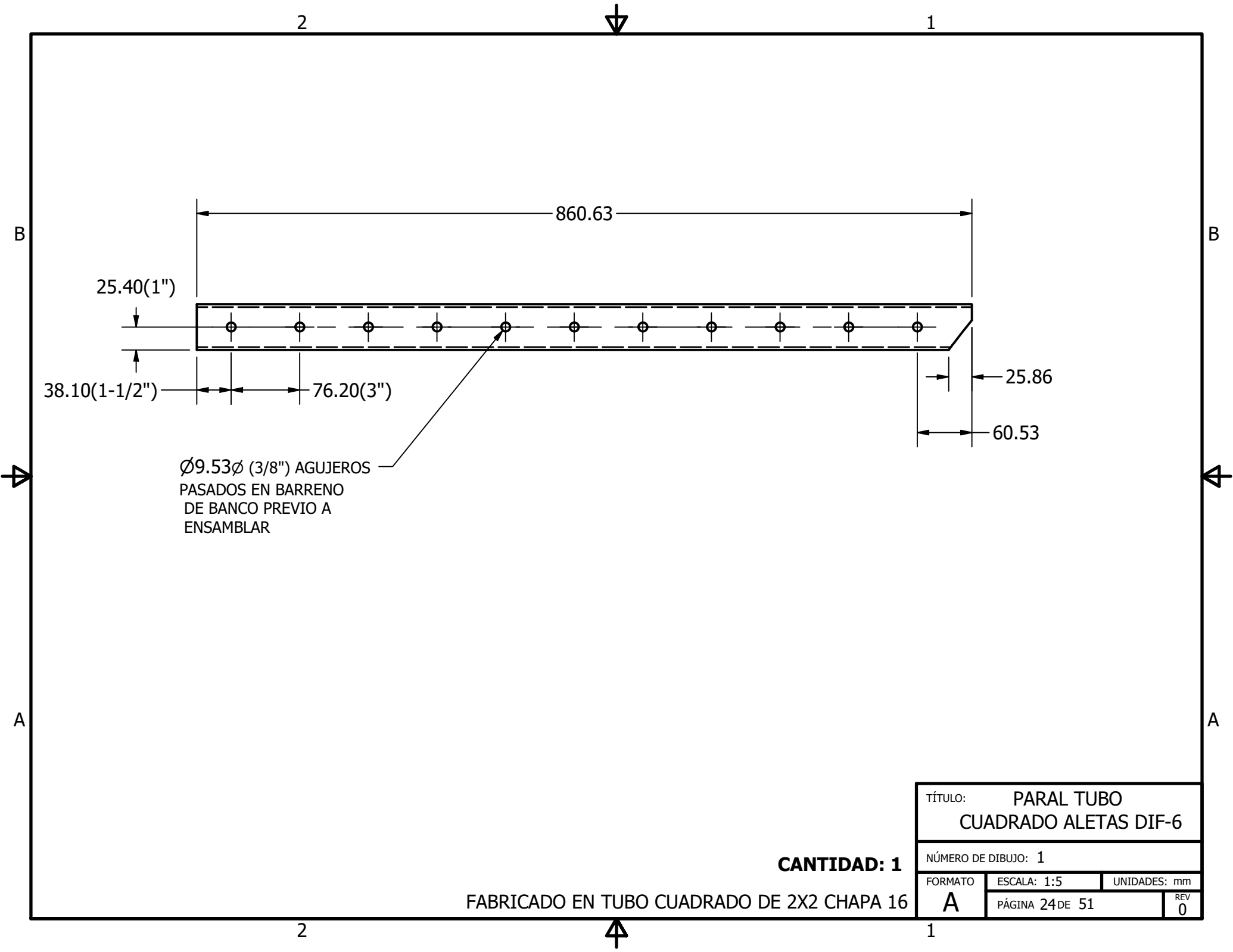
EL DETALLE "M" ESTÁ EN ESCALA 1:1 PARA PODER USARSE COMO UNA PLANTILLA DEL CORTE QUE SE DEBE REALIZAR, ESTA PLANTILLA SIRVE PARA LA FABRICACIÓN DE ESTA Y LA PIEZA SIGUIENTE.

DETALLE M
ESCALA 1:1

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"

TÍTULO: PERFIL PLANO ALETAS DIF-5		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO: A	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
	PÁGINA 23 DE 51	REV 0



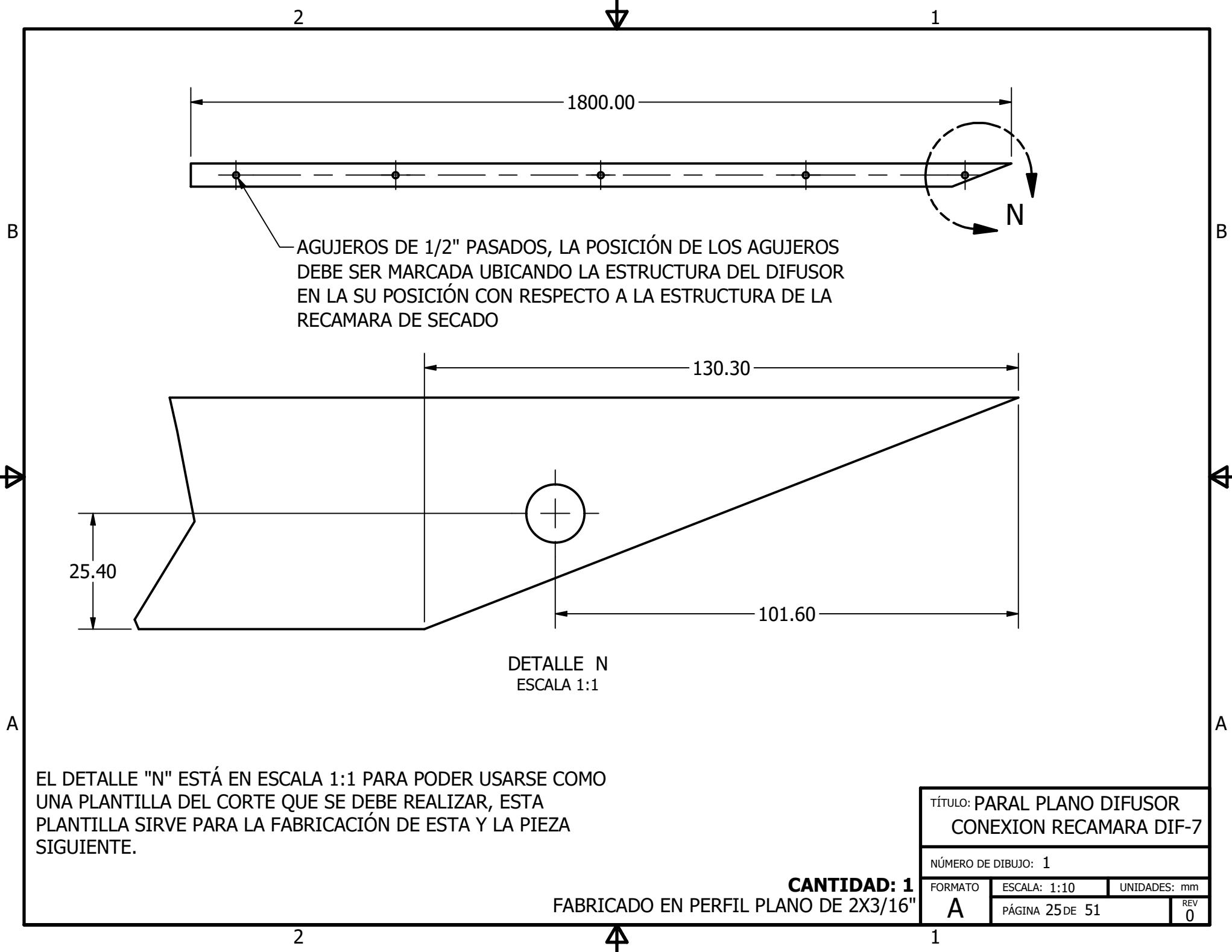
TÍTULO: PARAL TUBO
CUADRADO ALETAS DIF-6

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 24 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16



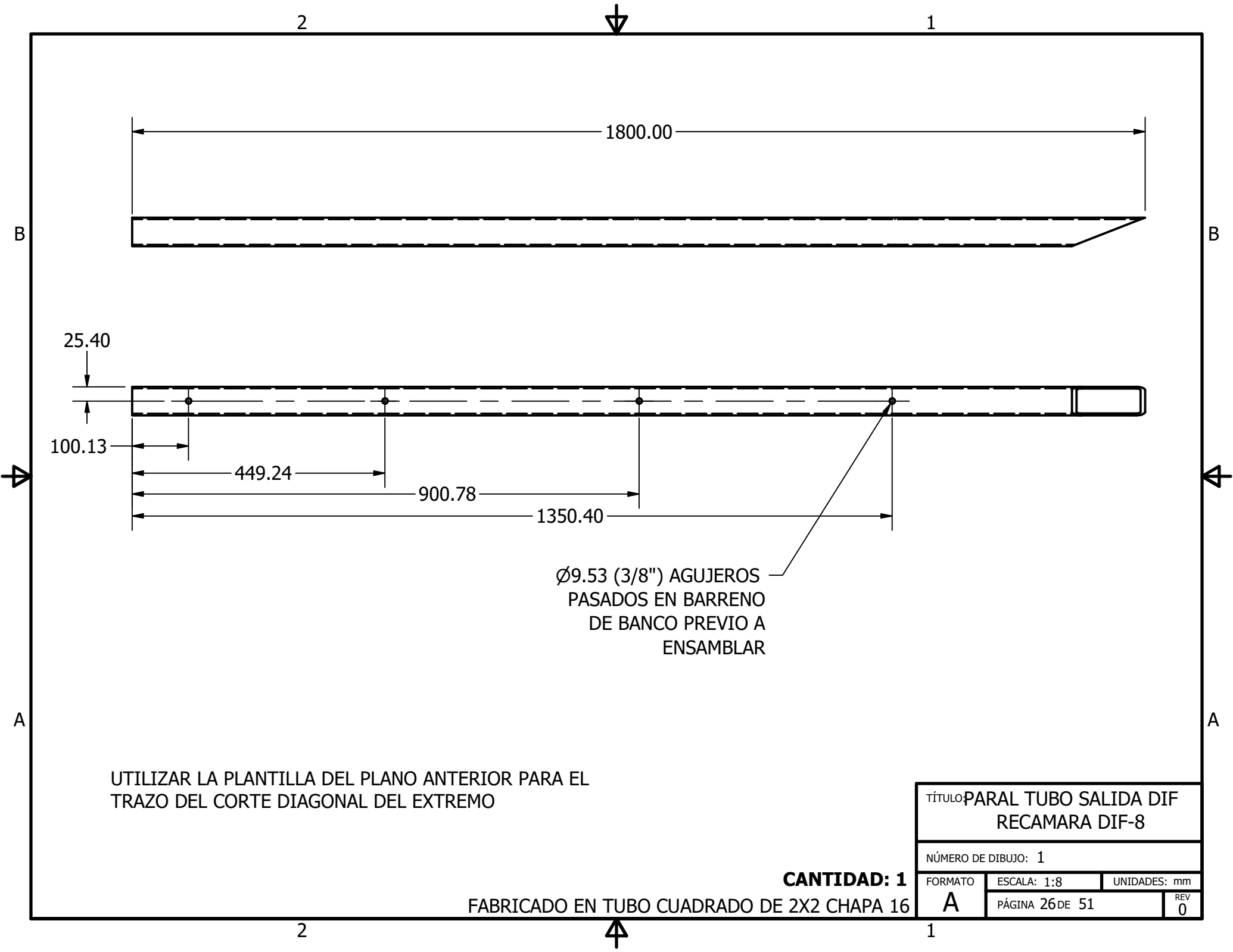
AGUJEROS DE 1/2" PASADOS, LA POSICIÓN DE LOS AGUJEROS DEBE SER MARCADA UBICANDO LA ESTRUCTURA DEL DIFUSOR EN LA SU POSICIÓN CON RESPECTO A LA ESTRUCTURA DE LA RECAMARA DE SECADO

DETALLE N
ESCALA 1:1

EL DETALLE "N" ESTÁ EN ESCALA 1:1 PARA PODER USARSE COMO UNA PLANTILLA DEL CORTE QUE SE DEBE REALIZAR, ESTA PLANTILLA SIRVE PARA LA FABRICACIÓN DE ESTA Y LA PIEZA SIGUIENTE.

CANTIDAD: 1
FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"

TÍTULO: PARAL PLANO DIFUSOR CONEXION RECAMARA DIF-7		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 25 DE 51	REV 0

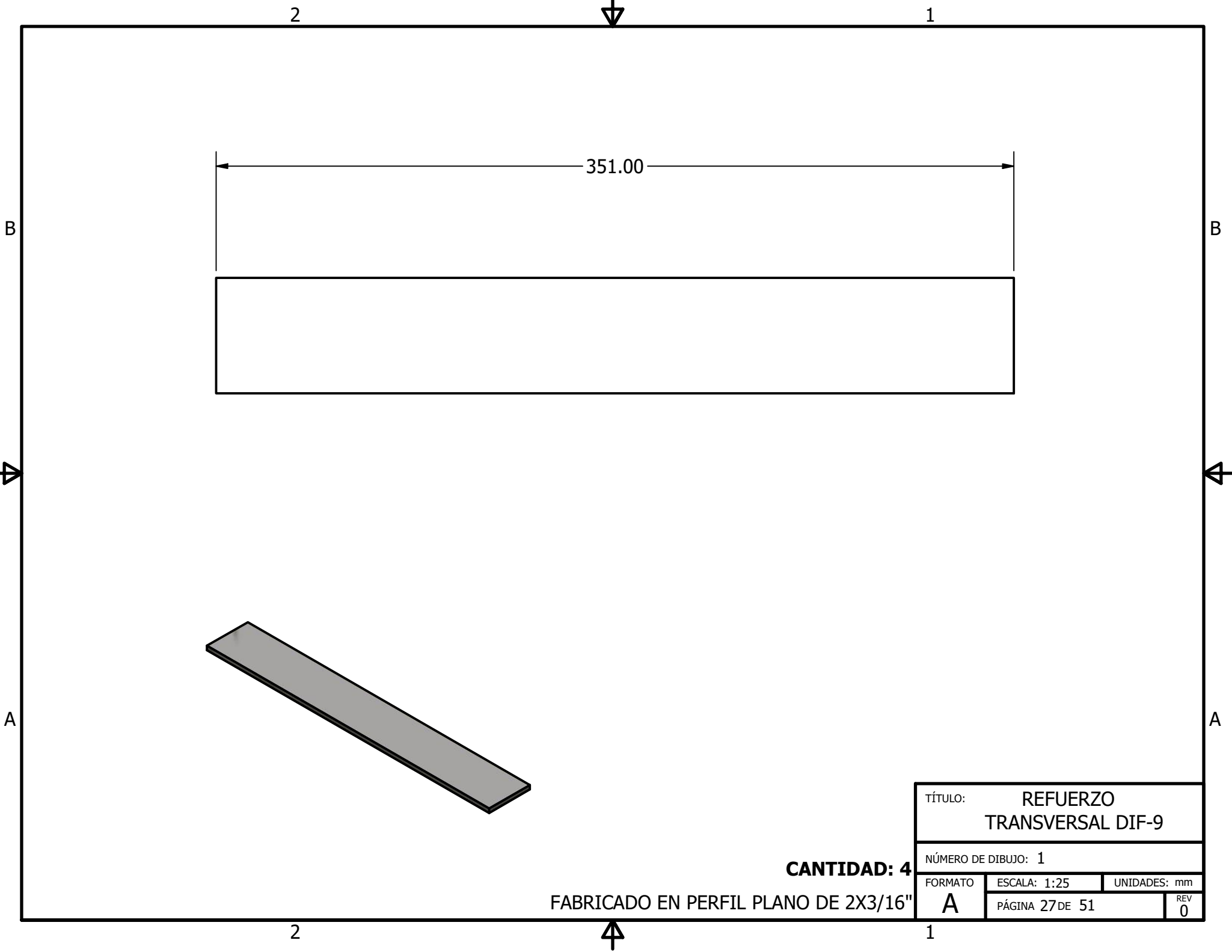


Ø9.53 (3/8") AGUJEROS
 PASADOS EN BARRENO
 DE BANCO PREVIO A
 ENSAMBLAR

UTILIZAR LA PLANTILLA DEL PLANO ANTERIOR PARA EL
 TRAZO DEL CORTE DIAGONAL DEL EXTREMO

CANTIDAD: 1
 FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 2X2 CHAPA 16

TÍTULO: PARAL TUBO SALIDA DIF RECAMARA DIF-8		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:8	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 26 DE 51	REV 0



2

1

B

B

351.00

A

A

TÍTULO: REFUERZO TRANSVERSAL DIF-9		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:25	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 27 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 4

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"

2

1



2

1

452.65

B

B

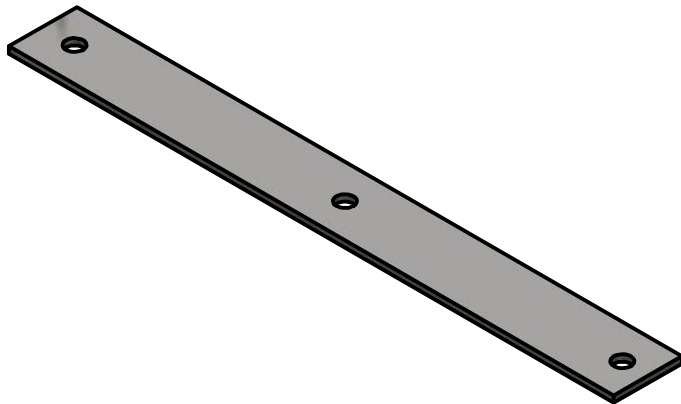
25.40

23.67

202.33

19.05

AGUJEROS DE 1/2" PASADOS, LA POSICIÓN DE LOS AGUJEROS DEBE SER MARCADA UBICANDO LA ESTRUCTURA DEL DIFUSOR EN LA SU POSICIÓN CON RESPECTO A LA ESTRUCTURA DE LA RECAMARA DE SECADO



A

A

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"

TÍTULO: REFUERZO SUPERIOR ACOPLE DIFUSOR DIF-10		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 28 DE 51	REV 0

2

1

1

2

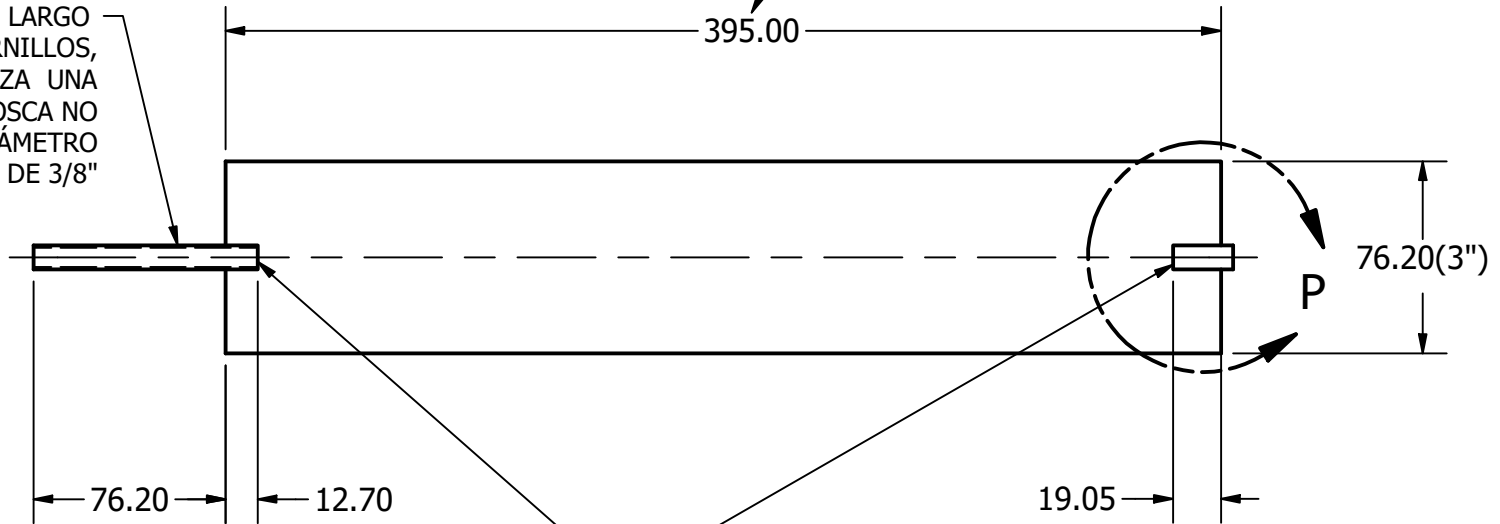
1

EL LARGO PUEDE VARIAR DEPENDIENDO DE LA POSICIÓN DE LA ALETA EN EL ARREGLO DE ESTAS, SE DEBE VERIFICAR LA MEDIDA DE CADA UNA DE ESTAS.

SE DEBE UTILIZAR EN EL EJE LARGO DE LA ALETA VARILLA ROSCADA TORNILLOS, EL MECANISMO DE FIJACIÓN UTILIZA UNA CONTRATUERCA. EL PASO DE LA ROSCA NO ES TAN IMPORTANTE COMO QUE EL DIÁMETRO SEA DE 3/8"

B

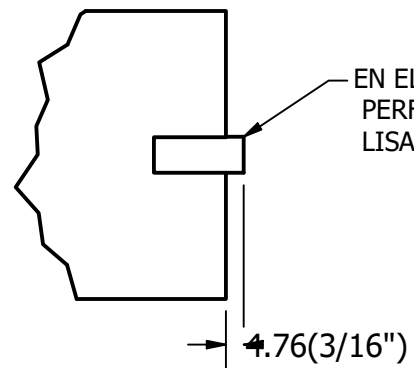
B



SOLDADURAS DE CAMPO, ES DECIR QUE ESTAS SOLDADURAS SE HACEN CON LAS ALETAS PUESTAS EN EL CHASIS DEL DIFUSOR

E6013

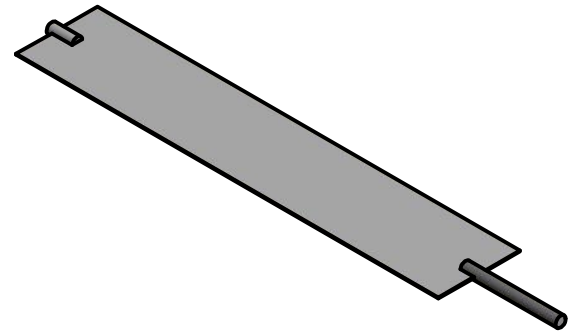
EN EL EXTREMO QUE ENCAJA EN EL PERFIL PLANO SE DEBE USAR VARILLA LISA DE 3/8"



DETALLE P
ESCALA 1:2

A

A



CANTIDAD: 11

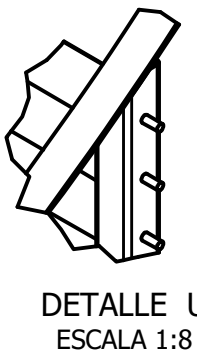
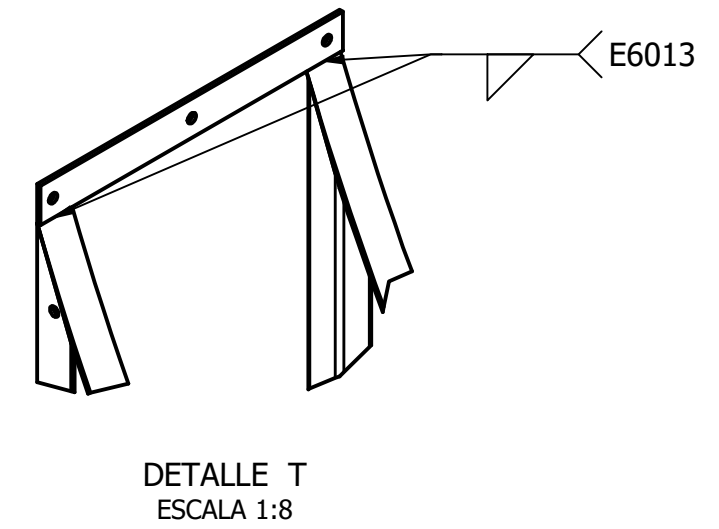
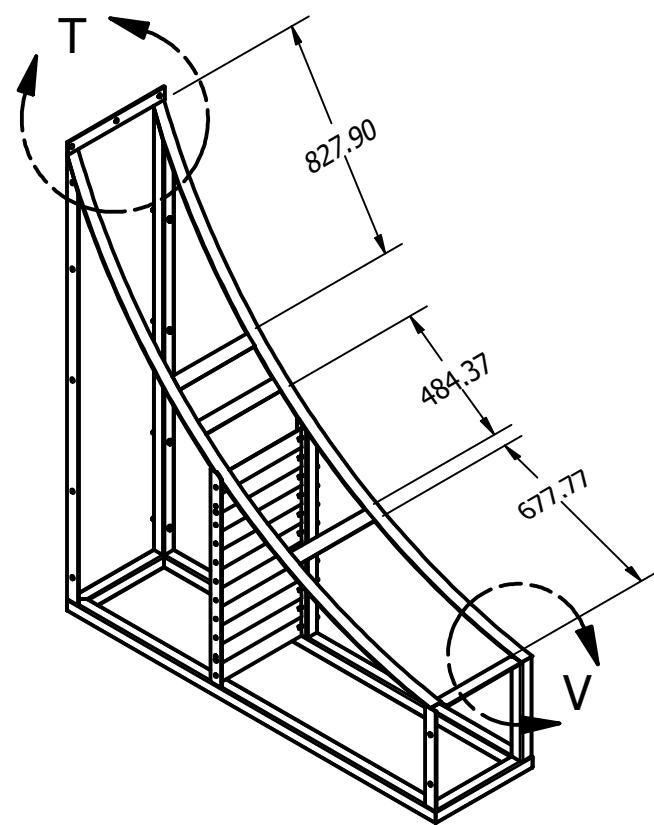
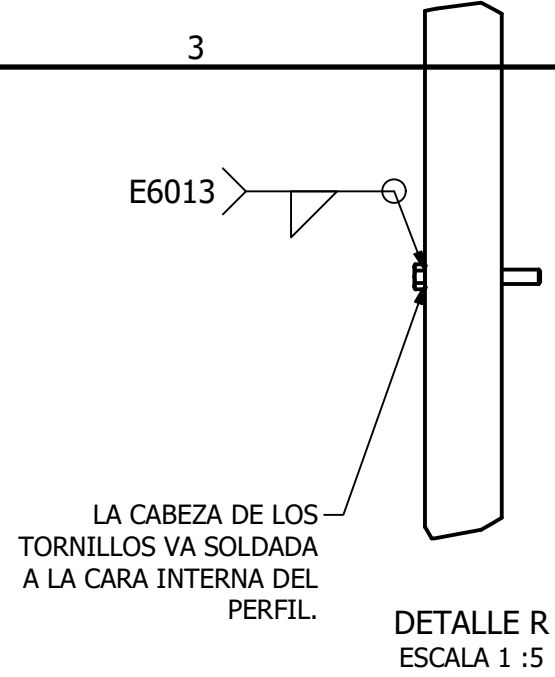
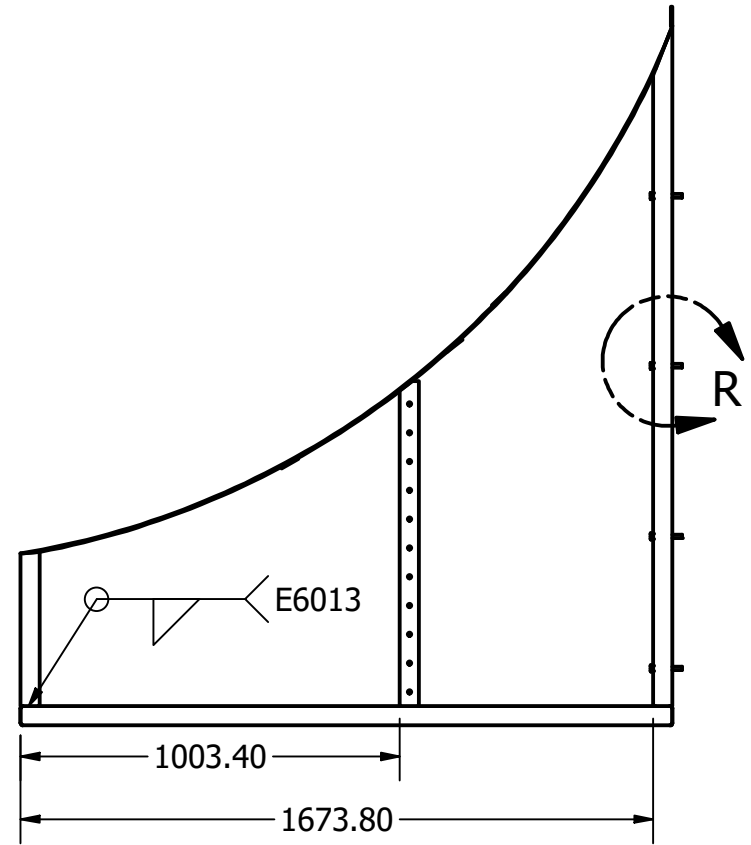
FABRICADO EN LAMINA DE 1/16" DE ESPESOR

TÍTULO: ALETA REGULABLE DIF-11		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 29 DE 51	REV 0

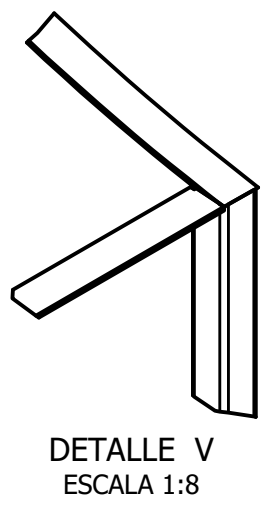
2

1

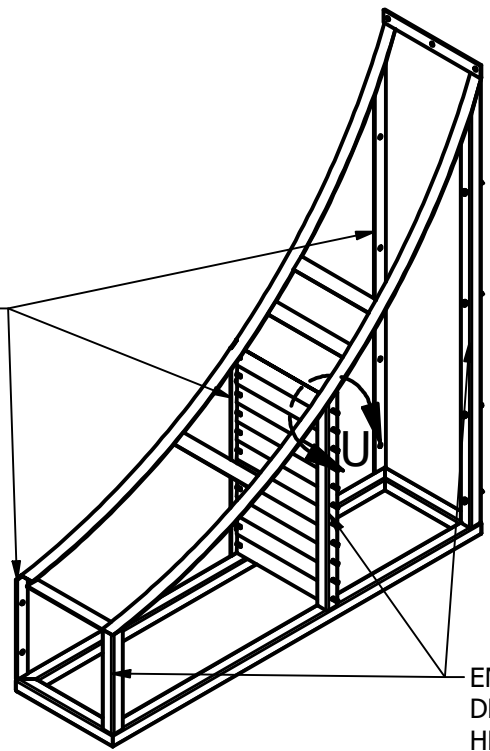




ENSAMBLAR LAS ALETAS, CON EL EJE ROSCADO DEL LADO DE LOS PARALES DE TUBO CUADRADO

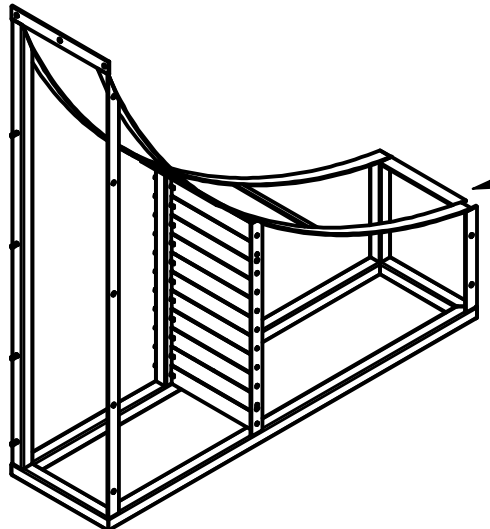


LOS PARALES DEL DIFUSOR FABRICADOS EN PERFIL PLANO SE DEBEN SOLDAR DEL LADO DONDE ESTE ACOPLA CON LA RECAMARA DE SECADO



EN EL LADO OPUESTO A LA RECAMARA DE SECADO SE DEBEN SOLDAR LOS PARALES HECHOS DE TUBO CUADRADO

EL PRIMER REFUERZO TRANSVERSAL SE DEBE SOLDAR EN LA ENTRADA DEL AIRE AL DIFUSOR



TÍTULO: ESTRUCTURA DIFUSOR TRASERO		
NÚMERO DE DIBUJO:		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES:
B	PÁGINA 30 DE 51	REV 0

4

3

2

1

B

B

A

A

4

3

2

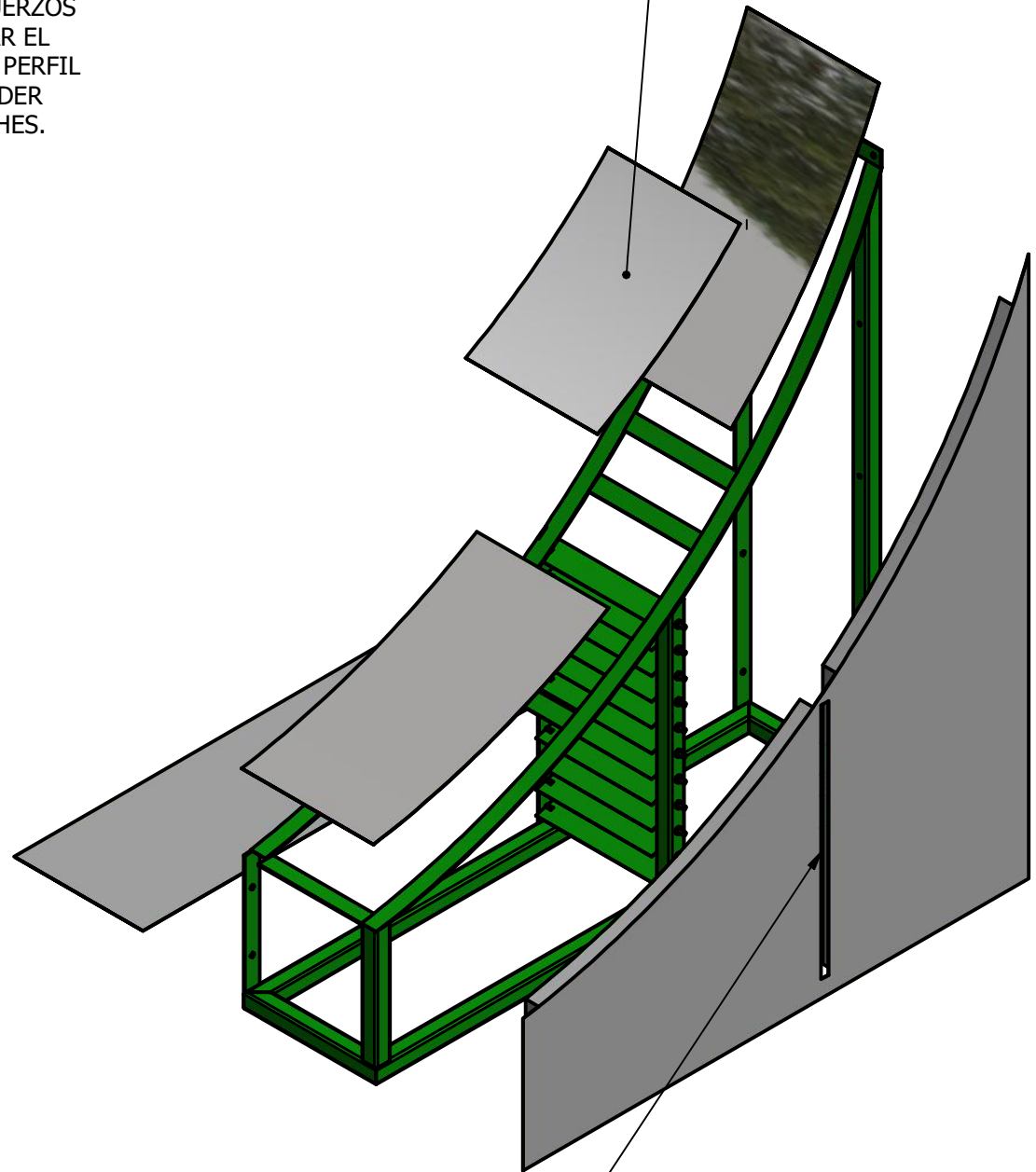
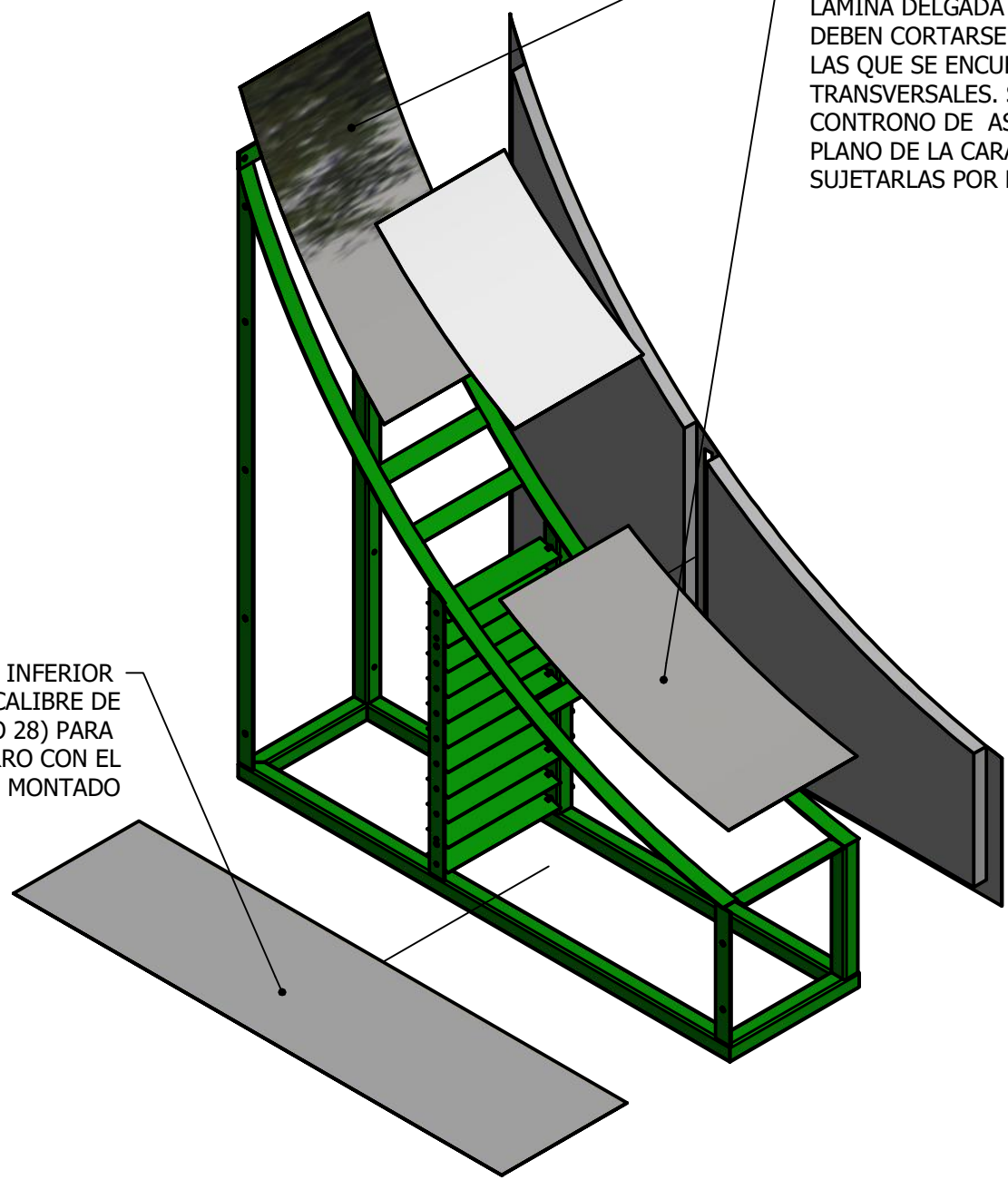
1

LAS CUBIERTAS DE LAMINA DE LA PARTE CARA CURVA DEL DUCTO SE DEBEN FABRICAR EN LAMINA DELGADA (CAL. 28 O 26) ,ESTAS DEBEN CORTARSE A LAS DISTANCIAS A LAS QUE SE ENCUENTRAN LOS REFUERZOS TRANSVERSALES. SE DEBE PERFORAR EL CONTRONO DE AS CUBIERTAS Y EL PERFIL PLANO DE LA CARA CURVA PARA PODER SUJETARLAS POR MEDIO DE REMACHES.

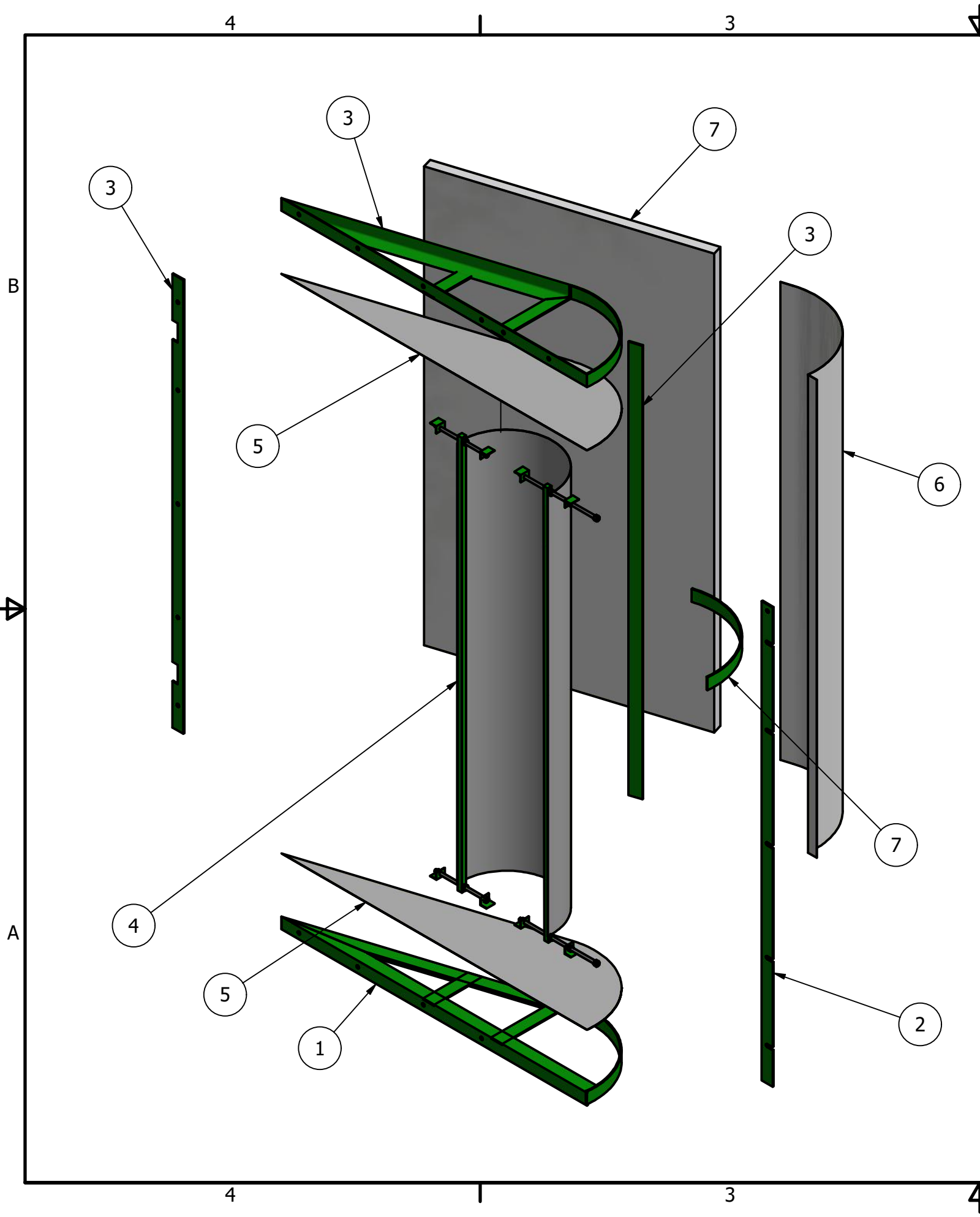
EL SEGMENTO DE CUBIERTA DESMONTABLE, DEBE CORTARSE A LA DISTANCIA A LA QUE SE ENCUENTRAN LOS DOS REFUERZOS TRANSVERSALES QUE ESTAN ANTES Y DESPUÉS DE LAS ALETAS, ESTO PARA PODER ATORNILLARLA AL CONTORNO TANTO A LA CURVA COMO A LOS REFUERZOS TRANSVERSALES. SE RECOMIENDA FABRICAR ESTA CUBIERTA DE UN CALIBRE DE LAMINA DE 20 Ó 22, PARA RESISTIR EL MONTAJE Y DESMONTAJE.

FABRICAR LA CUBIERTA INFERIOR DEL DIFUSOR DE UN CALIBRE DE LAMINA DELGAD (26 O 28) PARA PODER METER EL FORRO CON EL ARREGLO DE ALETAS MONTADO

LA CUBIERTA LATERAL SE DEBE CORTAR A LA MEDIDA EN LA PARED DEL DIFUSOR. SE DEBE TENER EN MENTE QUE LAS GRADUACIONES DE LAS ALETAS DEBEN QUEDAR ACCESIBLES

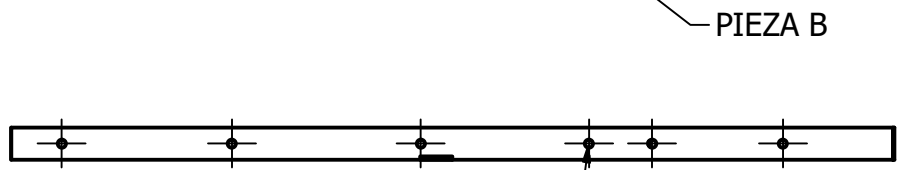
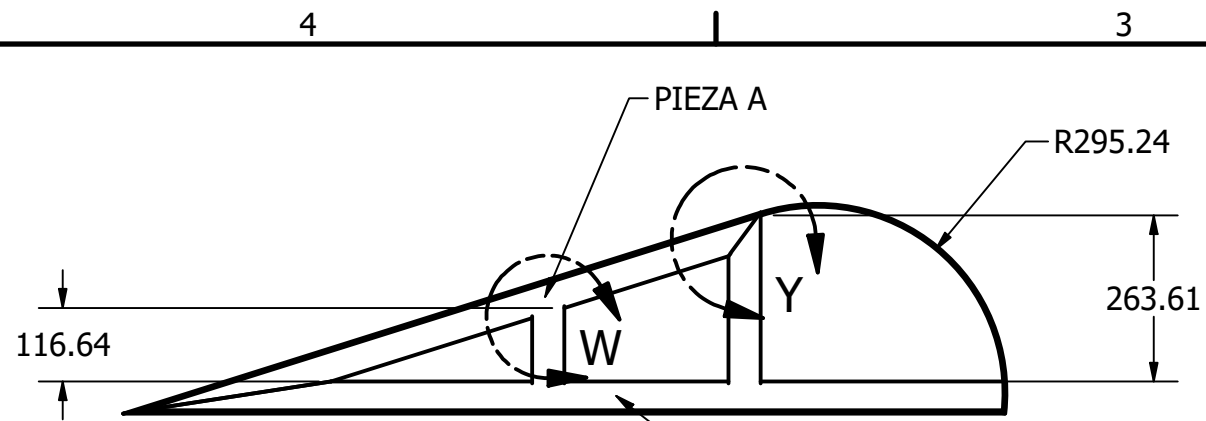


TÍTULO: CIBUERTAS DIFUSOR TRASERO		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:17	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 31 DE 51	REV 0



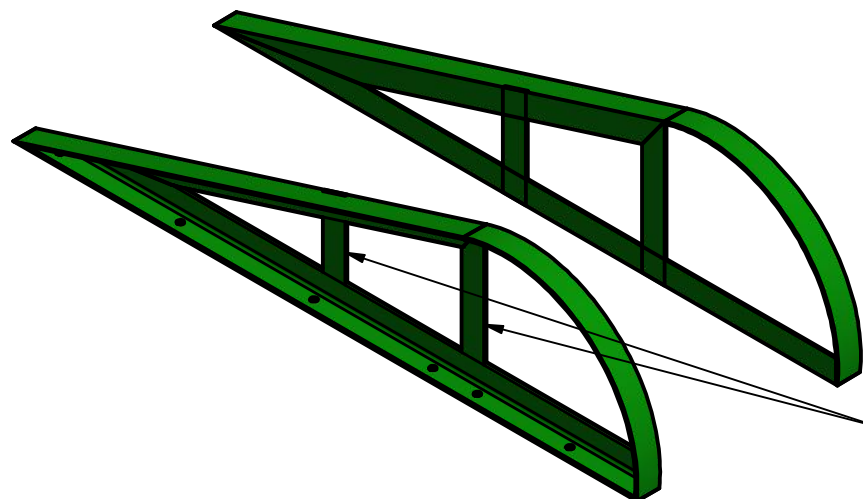
LISTADO DE PARTES				
NÚMERO DE PIEZA	ARTC.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
RED-1	1	2	Estructura Triangular	33
RED-2	2	1	Perfil plano con perforaciones de conexión a difusor	35
RED-3	3	1	Perfil plano con conexiones a recamara de secado	36
RED-4	4	1	Sistema de curva interna variable	37
RED-5	5	1	Cubiertas de Extremos de Reductor de Áreas	38
RED-6	6	2	Cubierta de Curva Reductor de Área	38
RED-7	7	1	Panel Diagonal	

TÍTULO: PARTES REDUCTOR DE ÁREA		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 32 DE 51	REV 0

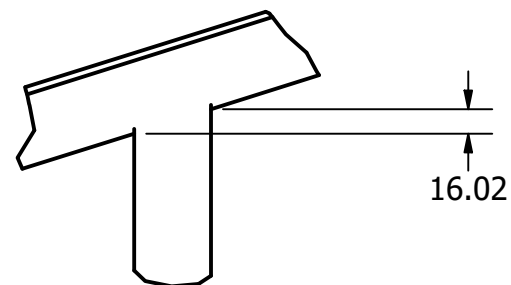
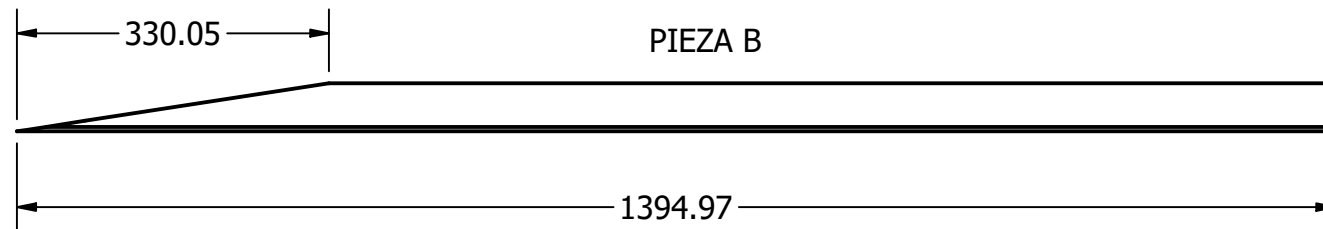
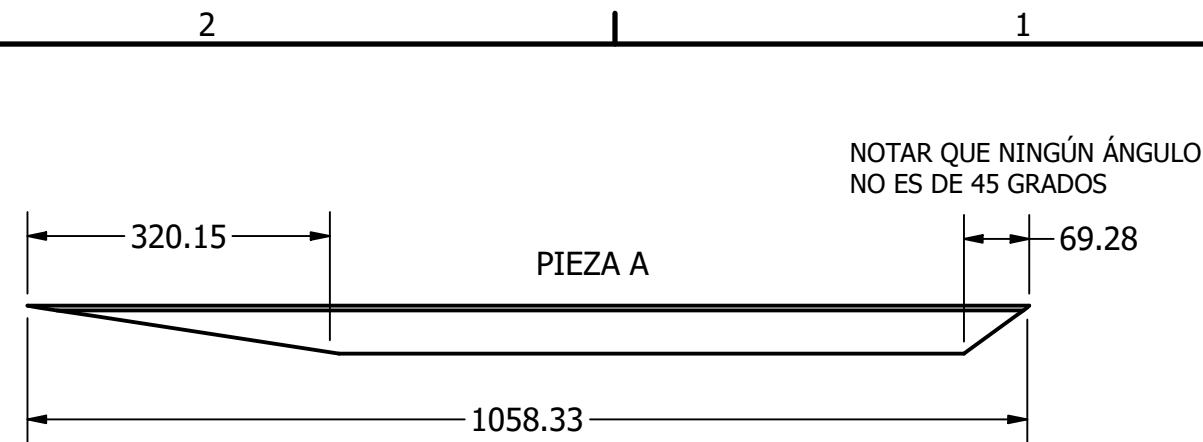


LOS AGUJEROS DE CONEXIÓN EN LA PIEZA DEBEN SER MARCADOS CUANDO SE COLOCA EL REDUCTOR DE ÁREA EN SU POSICIÓN CON RESPECTO RECAMARA DE SECADO. LUEGO DE MARCADOS SE PERFORAN AGUJEROS DE 1/2" ESTO PARA TENER UNA LIBERTAD AL MOMENTO DE ENCAJAR EL REDUCTOR DE ÁREA EN LOS PINES GUÍA.

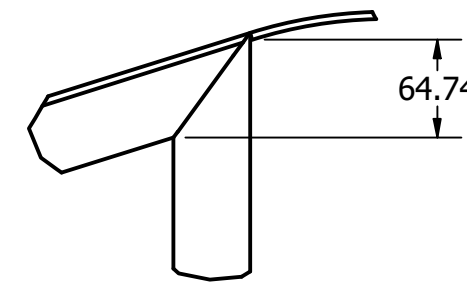
SE DEBEN CONSTRUIR DOS DE ESTAS ESTRUCTURAS, UNA DEBE SER EL REFLEJO DE LA OTRA. LOS CORTES DIAGONALES DE LA SEGUNDA ESTRUCTURA SE DEBEN HACER EN LA OTRA CARA EXTERNA DEL ANGULAR



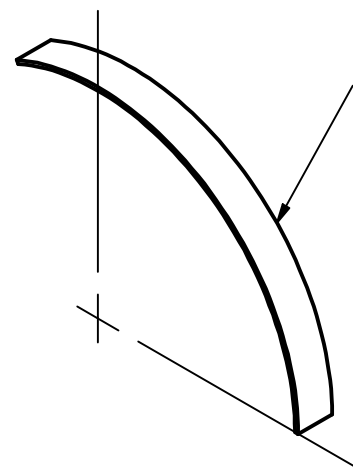
REFUERZOS FABRICADOS EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"



DETALLE W
ESCALA 1 :5



DETALLE Y
ESCALA 1 :5



PARA LOS SEGMENTOS CURVOS DE LA ESTRUCTURA TRIANGULAR, SE CORTAN CINCHOS DE PEFIL PLANO DE 2 X 1/8" DE 595MM, LUEGO SE LES DA LA CURVATURA DESEADA CON UN PROCESO DE ROLADO EN FRÍO

CANTIDAD: 2
PIEZA A Y B FABRICADAS EN PERFIL ANGULAR DE 2X3/16"

TÍTULO: EST. RIANGULARES		
REDUCTOR DE ÁREA RED-1		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:12	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 33 DE 51	REV 0

4

3

2

1

UBICAR EL PERFIL PLANO DE 2X3/16" ADENTRO ESTOS SEGMENTOS

RADIO DE 295MM

ESTA PLANTILLA ESTÁ IMPRESA A ESCALA 1:1 Y TIENE EL OBJETIVO DE USARSE COMO GUÍA PARA LA CURVATURA DEL LOS SEGMENTOS CURVOS, SE DEBE HACER CONCIDIR LA PIEZA DE LA CURVA CON LA PLANTILLA

TÍTULO: PLANTILLA SEGMENTO		
CURVO REDUCTOR DE ÁREA		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 1	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 34 DE 51	REV 0

B

B

A

A

4

3

2

1

4

2

1

B

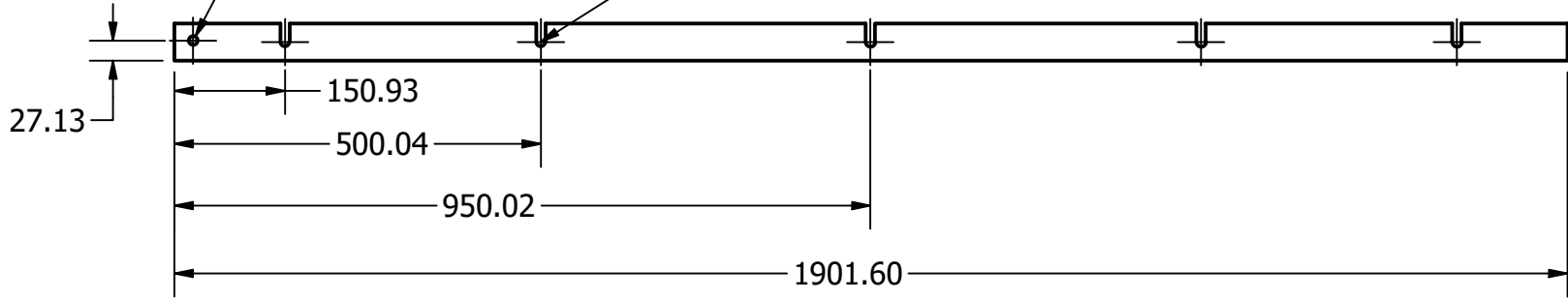
B

A

A

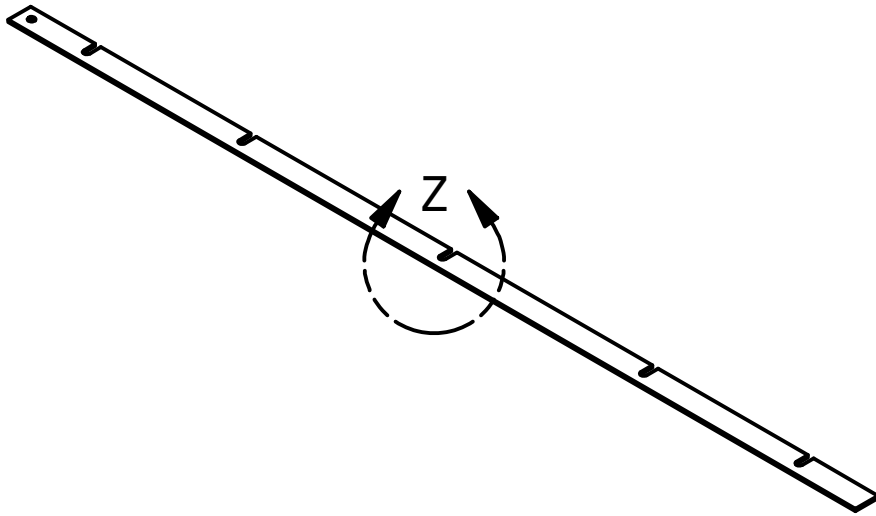
AGUJEROS DE 1/2" PASADOS

LAS PERFORACIONES SE DEBEN MARCAR PREVIO A SER REALIZADAS, COLOCANDO LA ESTRUCTURA EN SU POSICIÓN CON RESPECTO AL DIFUSOR TRASERO, LAS UBICACIONES DE PERFORACIÓN SON APROXIMADOS EN EN MOMENTO DEL MARCADO DE LAS PERFORACIONES



SE DEBEN REALIZAR CORTES DE SALIDA A LOS AGUJEROS DE 1/2" PERFORADOS, ESTO PARA FACILITAR EL ACOPLE Y DESACOPLE.

DETALLE Z
ESCALA 1:4



TÍTULO: PARAL PLANO CON DIFUSOR RED-2			
NÚMERO DE DIBUJO: 1			
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 35 DE 51		REV 0

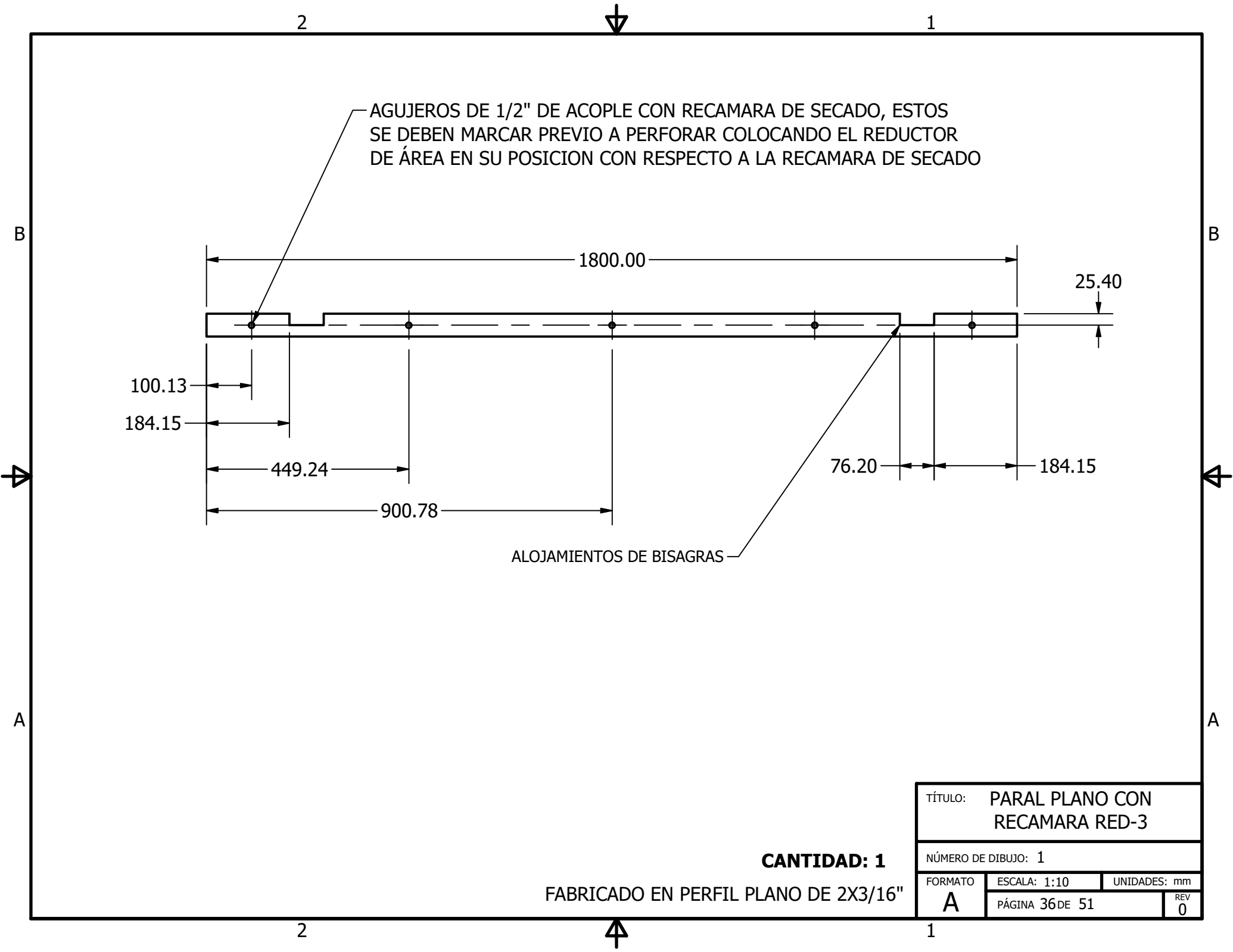
CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"

2

1





2

1

B

B

A

A

A

A

2

1

AGUJEROS DE 1/2" DE ACOPLER CON RECAMARA DE SECADO, ESTOS SE DEBEN MARCAR PREVIO A PERFORAR COLOCANDO EL REDUCTOR DE ÁREA EN SU POSICION CON RESPECTO A LA RECAMARA DE SECADO

1800.00

25.40

100.13

184.15

449.24

900.78

76.20

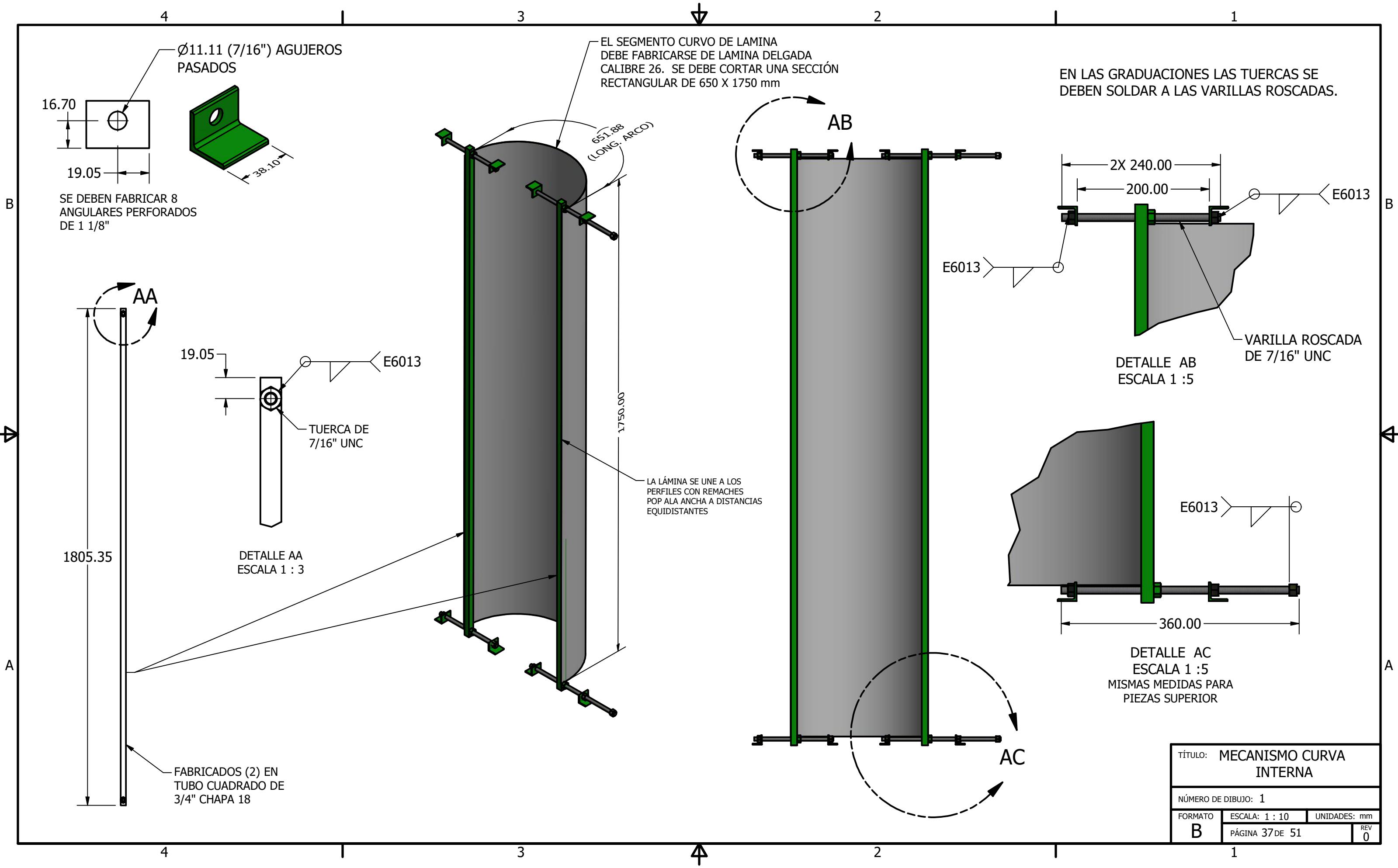
184.15

ALOJAMIENTOS DE BISAGRAS

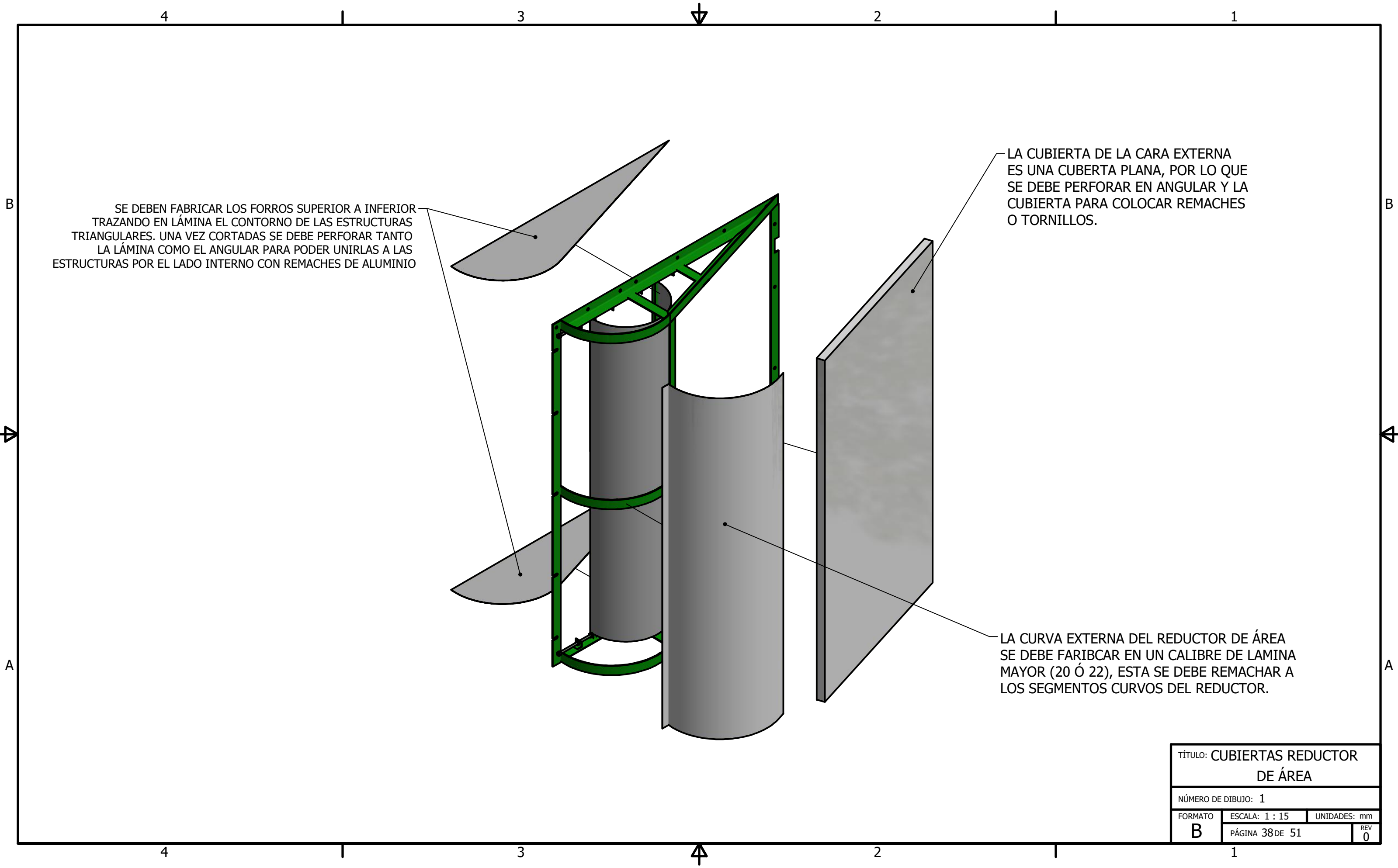
TÍTULO: PARAL PLANO CON RECAMARA RED-3		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 36 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN PERFIL PLANO DE 2X3/16"



TÍTULO: MECANISMO CURVA INTERNA		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 10	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 37 DE 51	REV 0

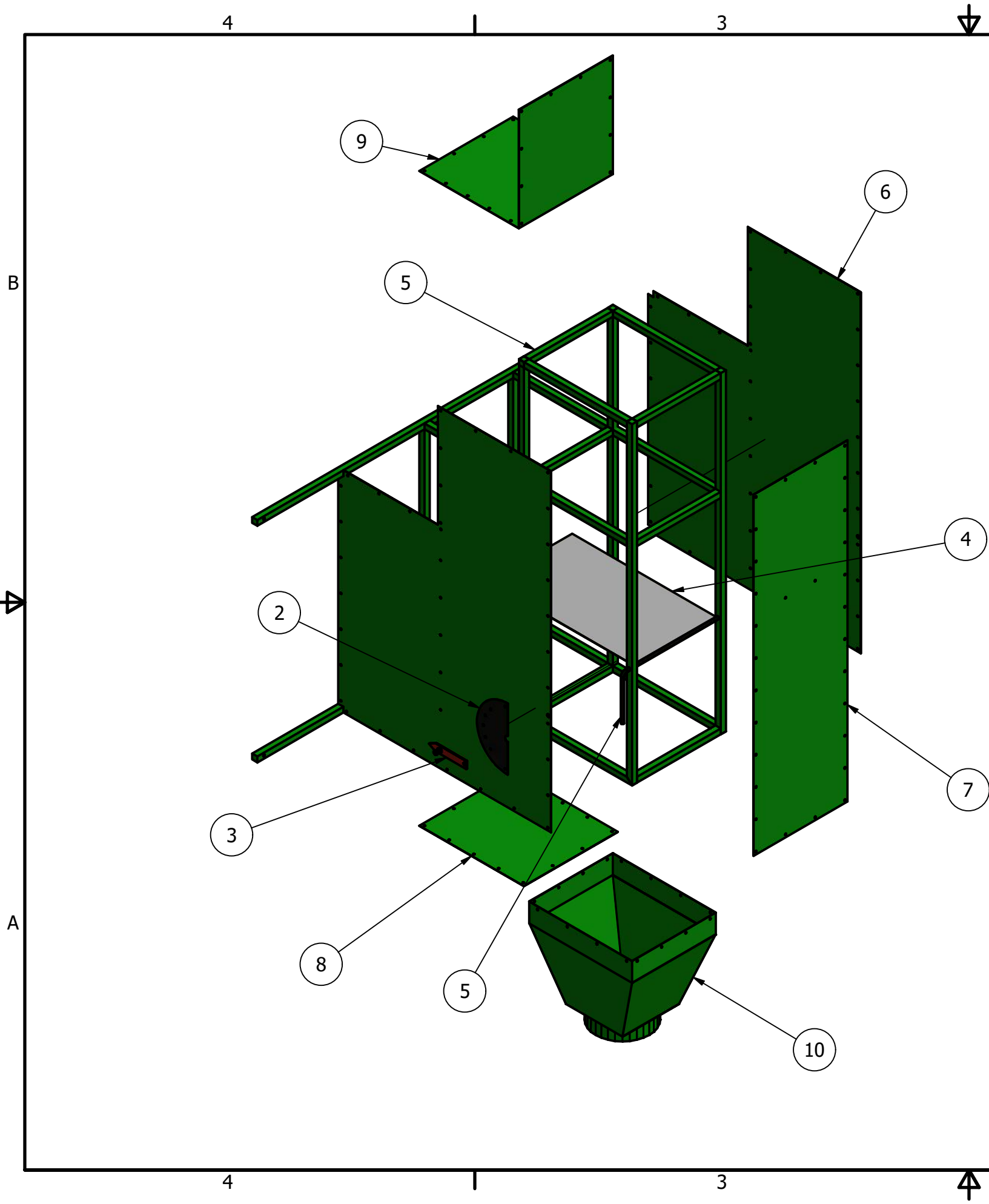


SE DEBEN FABRICAR LOS FORROS SUPERIOR A INFERIOR TRAZANDO EN LÁMINA EL CONTORNO DE LAS ESTRUCTURAS TRIANGULARES. UNA VEZ CORTADAS SE DEBE PERFORAR TANTO LA LÁMINA COMO EL ANGULAR PARA PODER UNIRLAS A LAS ESTRUCTURAS POR EL LADO INTERNO CON REMACHES DE ALUMINIO

LA CUBIERTA DE LA CARA EXTERNA ES UNA CUBERTA PLANA, POR LO QUE SE DEBE PERFORAR EN ANGULAR Y LA CUBIERTA PARA COLOCAR REMACHES O TORNILLOS.

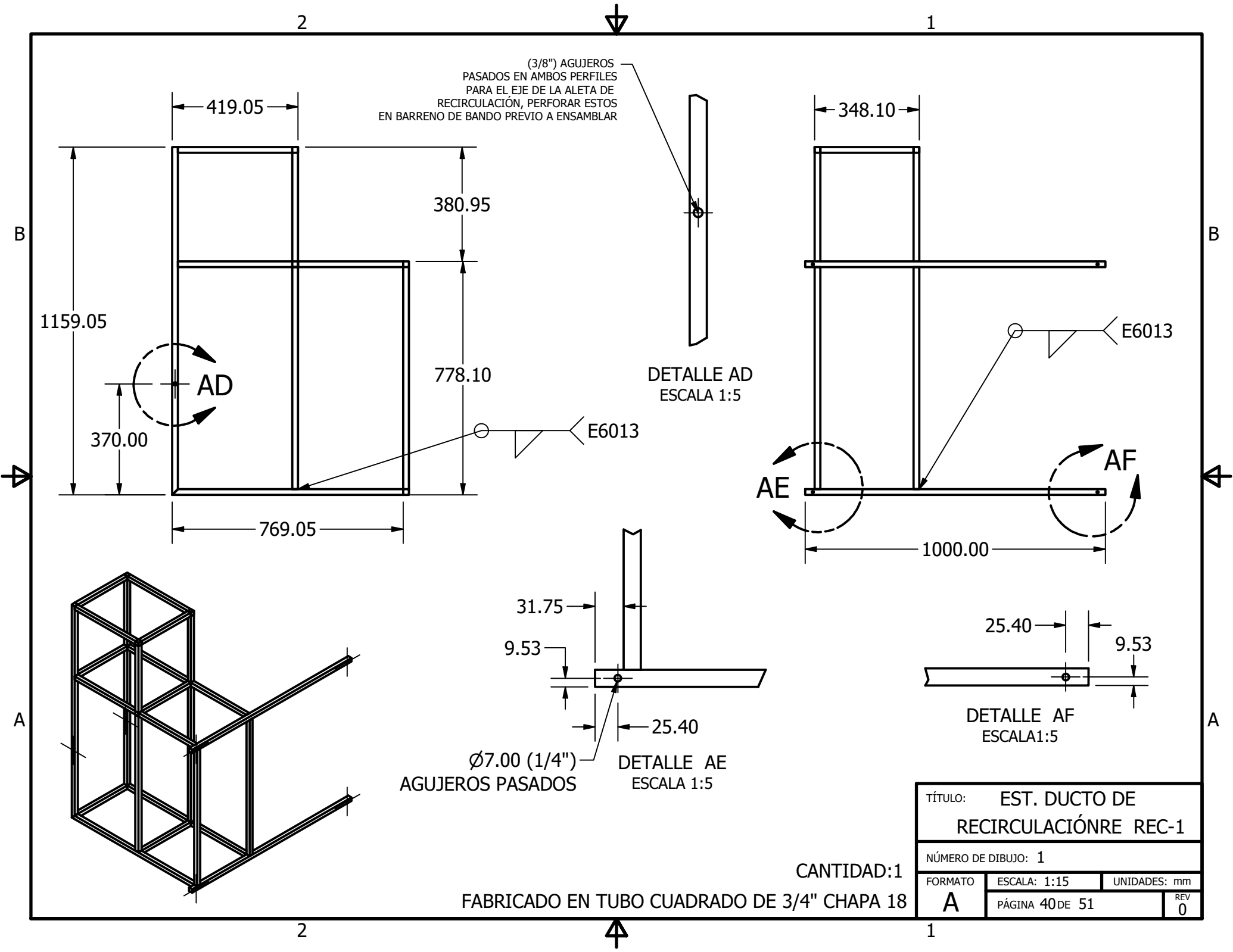
LA CURVA EXTERNA DEL REDUCTOR DE ÁREA SE DEBE FABRICAR EN UN CALIBRE DE LAMINA MAYOR (20 Ó 22), ESTA SE DEBE REMACHAR A LOS SEGMENTOS CURVOS DEL REDUCTOR.

TÍTULO: CUBIERTAS REDUCTOR DE ÁREA		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 15	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 38 DE 51	REV 0



LISTADO DE PIEZAS				
NÚMERO PIEZA	ARTC.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
REC-1	1	1	Estructura de Ducto Recirculación	40
REC-2	2	1	Selector Semicircular	41
REC-3	3	1	Indicador	42
REC-4	4	1	Aleta de Recirculación	43
REC-5	5	1	Eje de Aleta de Recirculación	43
REC-6	6	2	Cubiertas Laterales	44
REC-7	7	1	Cubierta Trasera	44
REC-8	8	1	Cubierta Inferior	44
REC-9	9	1	Cubierta Superior	44
Rec-10	10	1	Reduccion de Sección Rectangular a Circular	45

TÍTULO: PARTES DUCTO DE RECIRCULACIÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:12	UNIDADES: mm
B	PÁGINA 39 DE 51	REV 0



2

1

B

B

A

A

2



1

419.05

380.95

778.10

1159.05

370.00

769.05

348.10

AE

AF

1000.00

31.75

9.53

25.40

Ø7.00 (1/4")
AGUJEROS PASADOS

DETALLE AE
ESCALA 1:5

25.40

9.53

DETALLE AF
ESCALA 1:5

TÍTULO: EST. DUCTO DE RECIRCULACIÓN REC-1

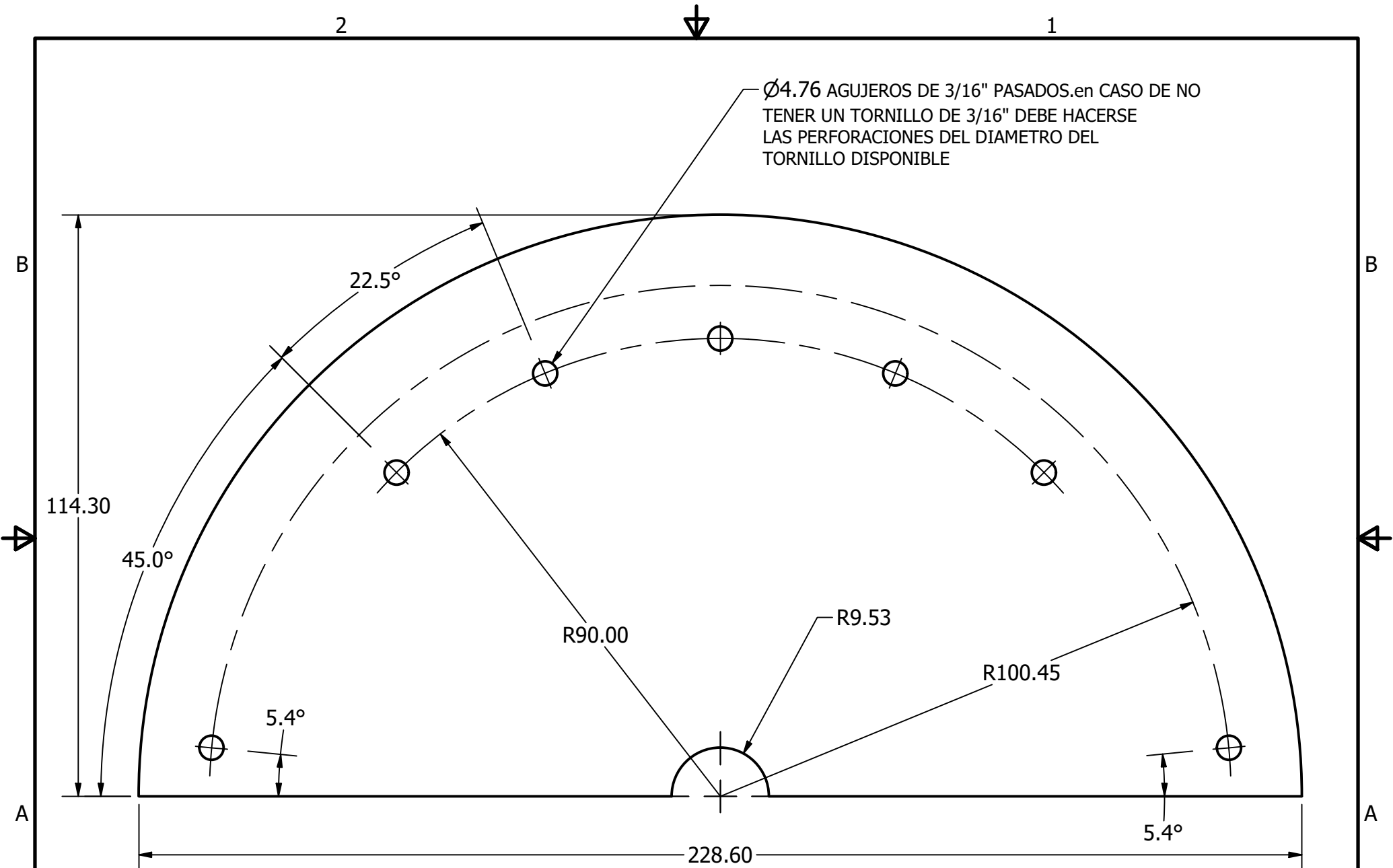
NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO: A ESCALA: 1:15 UNIDADES: mm

PÁGINA 40 DE 51 REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO EN TUBO CUADRADO DE 3/4" CHAPA 18

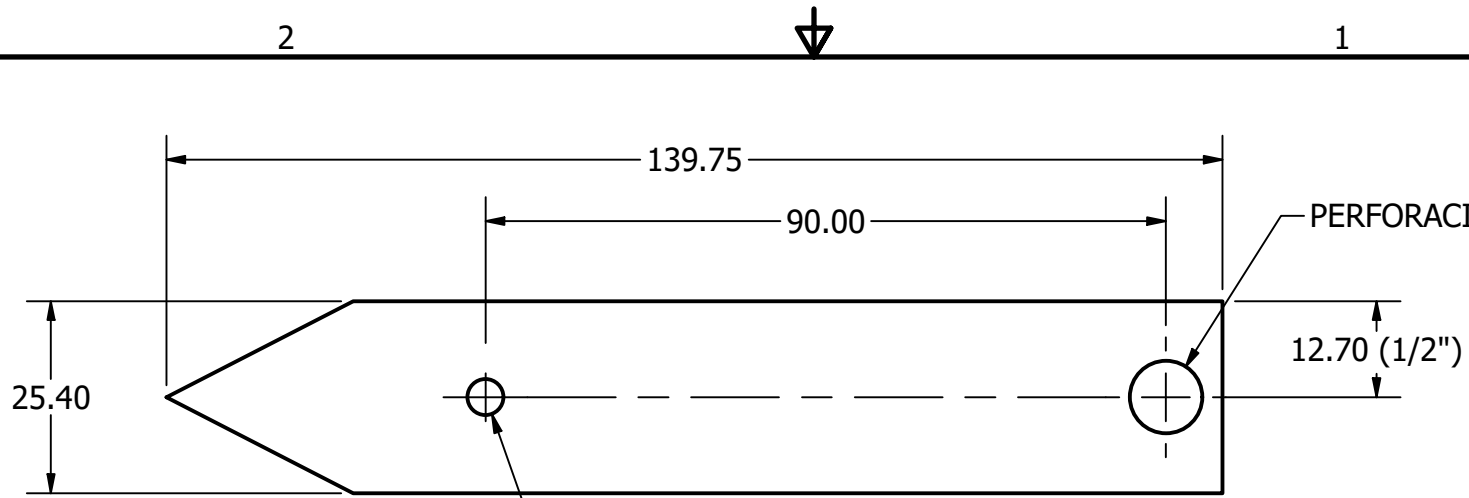


EL PLANO ESTÁ EN ESCALA 1:1 PARA USARLO COMO PLANTILLA PARA FABRICAR LA PIEZA.

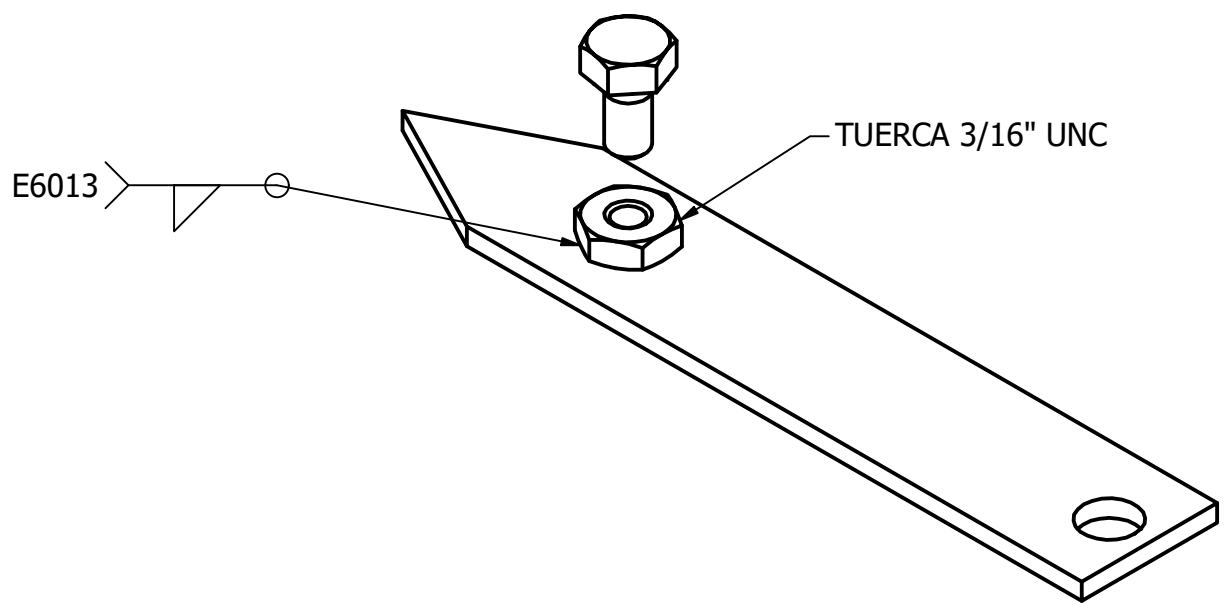
CANTIDAD:1

FABRICADO LÁMINA NEGRA DE 1/16"

TÍTULO: SELECTOR SEMICIRCULAR REC-2		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 41 DE 51	REV 0

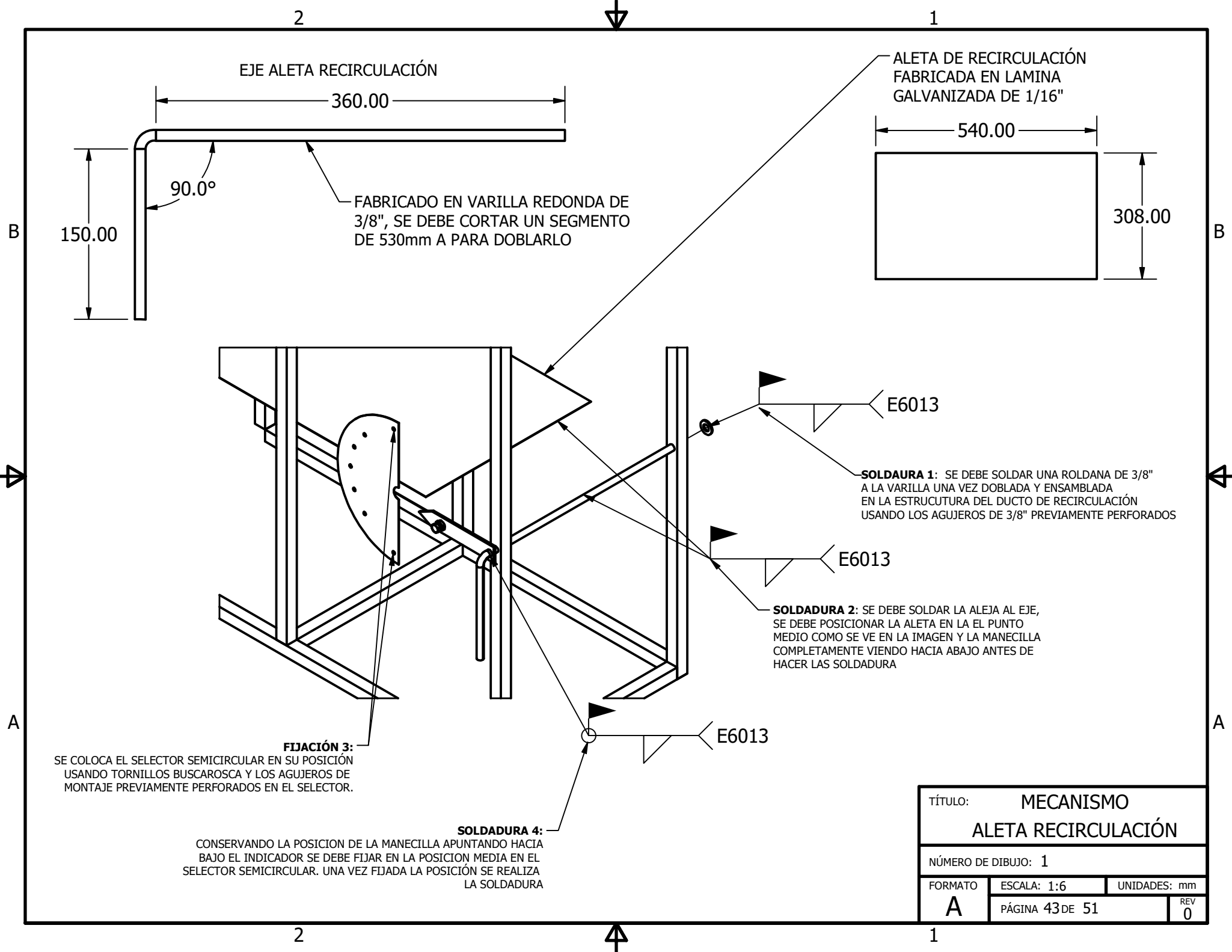


AGUJERO DE 3/16" PASADOS. EN CASO DE NO TENER TORNILLO DE 3/16" AJUSTAR EL DIAMETRO DE LA PERFORACIÓN AL TORNILLO DISPONIBLES



EL PLANO ESTÁ EN ESCALA 1:1 PARA USARLO COMO PLANTILLA PARA FABRICAR LA PIEZA.

TÍTULO: INDICADOR POSICIÓN ALETA REC-3		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 42 DE 51	REV 0



2

1

EJE ALETA RECIRCULACIÓN

360.00

ALETA DE RECIRCULACIÓN
FABRICADA EN LAMINA
GALVANIZADA DE 1/16"

540.00

308.00

90.0°

FABRICADO EN VARILLA REDONDA DE
3/8", SE DEBE CORTAR UN SEGMENTO
DE 530mm A PARA DOBLARLO

150.00

E6013

SOLDADURA 1: SE DEBE SOLDAR UNA ROLDANA DE 3/8"
A LA VARILLA UNA VEZ DOBLADA Y ENSAMBLADA
EN LA ESTRUCTURA DEL DUCTO DE RECIRCULACIÓN
USANDO LOS AGUJEROS DE 3/8" PREVIAMENTE PERFORADOS

E6013

SOLDADURA 2: SE DEBE SOLDAR LA ALEJA AL EJE,
SE DEBE POSICIONAR LA ALETA EN LA EL PUNTO
MEDIO COMO SE VE EN LA IMAGEN Y LA MANECILLA
COMPLETAMENTE VIENDO HACIA ABAJO ANTES DE
HACER LAS SOLDADURA

E6013

FIJACIÓN 3:

SE COLOCA EL SELECTOR SEMICIRCULAR EN SU POSICIÓN
USANDO TORNILLOS BUSCAROSCA Y LOS AGUJEROS DE
MONTAJE PREVIAMENTE PERFORADOS EN EL SELECTOR.

SOLDADURA 4:

CONSERVANDO LA POSICION DE LA MANECILLA APUNTANDO HACIA
BAJO EL INDICADOR SE DEBE FIJAR EN LA POSICION MEDIA EN EL
SELECTOR SEMICIRCULAR. UNA VEZ FIJADA LA POSICIÓN SE REALIZA
LA SOLDADURA

TÍTULO: MECANISMO		
ALETA RECIRCULACIÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:6	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 43 DE 51	REV 0

2

1

4

3

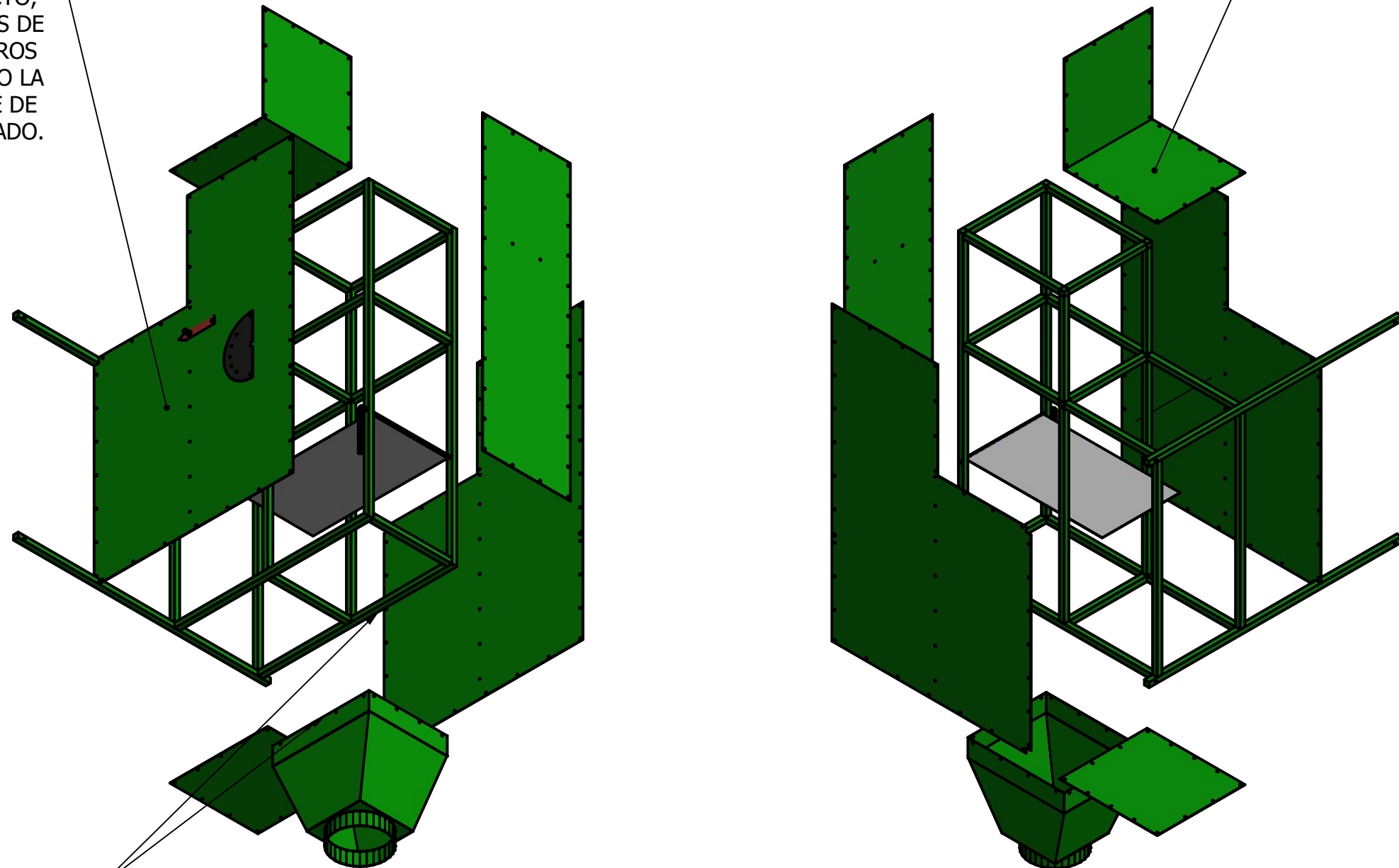
2

1

CUBIERTAS COLOCADAS EN LA PARTE EXTERIOR DEL DUCTO, ASEGURADAS CON REMACHES DE 3/16X1/2" ALA ANCHA, LOS AGUJEROS SE DEBEN PERFORAR POSICIONANDO LA CUBIEERTA SOBRE ASEGURANDOSE DE PERFORAR EL TUBO CUADRADO.

LA CUBIERTA SUPERIOR SE DEBE FABRICAR DE UNA PIEZA CON DOBLEZ PARA MINIMIZAR EL RIESGO DE FUGAS.

EL REDUCTOR DEBE ENCAJAR EN LA PARTE INTERNA DE LA ESTRUCTURA. LUEGO DE ENCAJARLO SE DEBEN COLOCAR REMACHES EN LA PARA SEGURARLO AL MARCO DE TUBO.



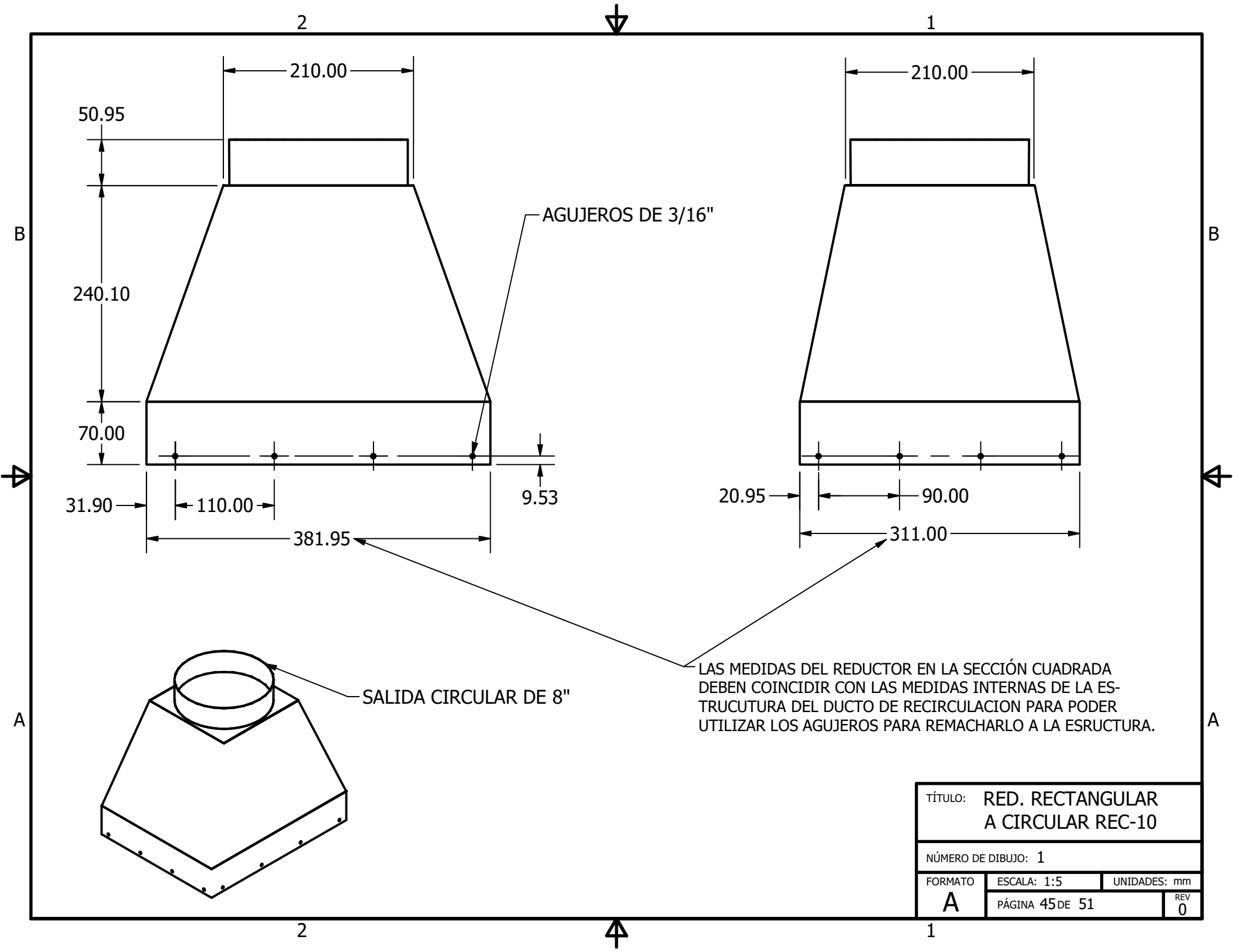
TÍTULO: CUBIERTAS DUCTO RECIRCULACIÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES:
B	PÁGINA 44 DE 51	REV 0

4

3

2

1



2

1

B

B

A

A

2

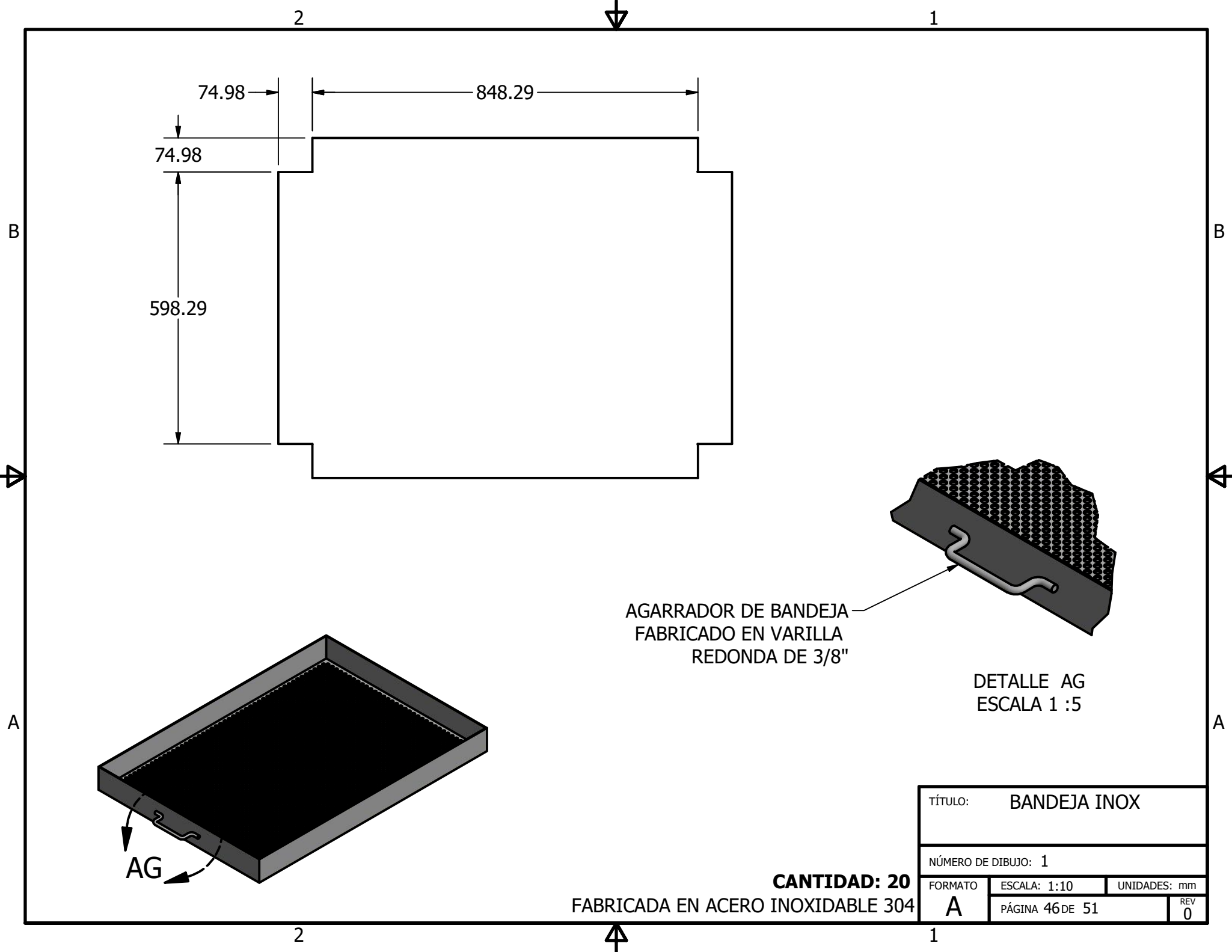
1

AGUJEROS DE 3/16"

SALIDA CIRCULAR DE 8"

LAS MEDIDAS DEL REDUCTOR EN LA SECCIÓN CUADRADA DEBEN COINCIDIR CON LAS MEDIDAS INTERNAS DE LA ESTRUCTURA DEL DUCTO DE RECIRCULACION PARA PODER UTILIZAR LOS AGUJEROS PARA REMACHARLO A LA ESTRUCTURA.

TÍTULO: RED. RECTANGULAR A CIRCULAR REC-10		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 45 DE 51	REV 0



B

B

A

A

2

1

2

1

74.98

848.29

74.98

598.29

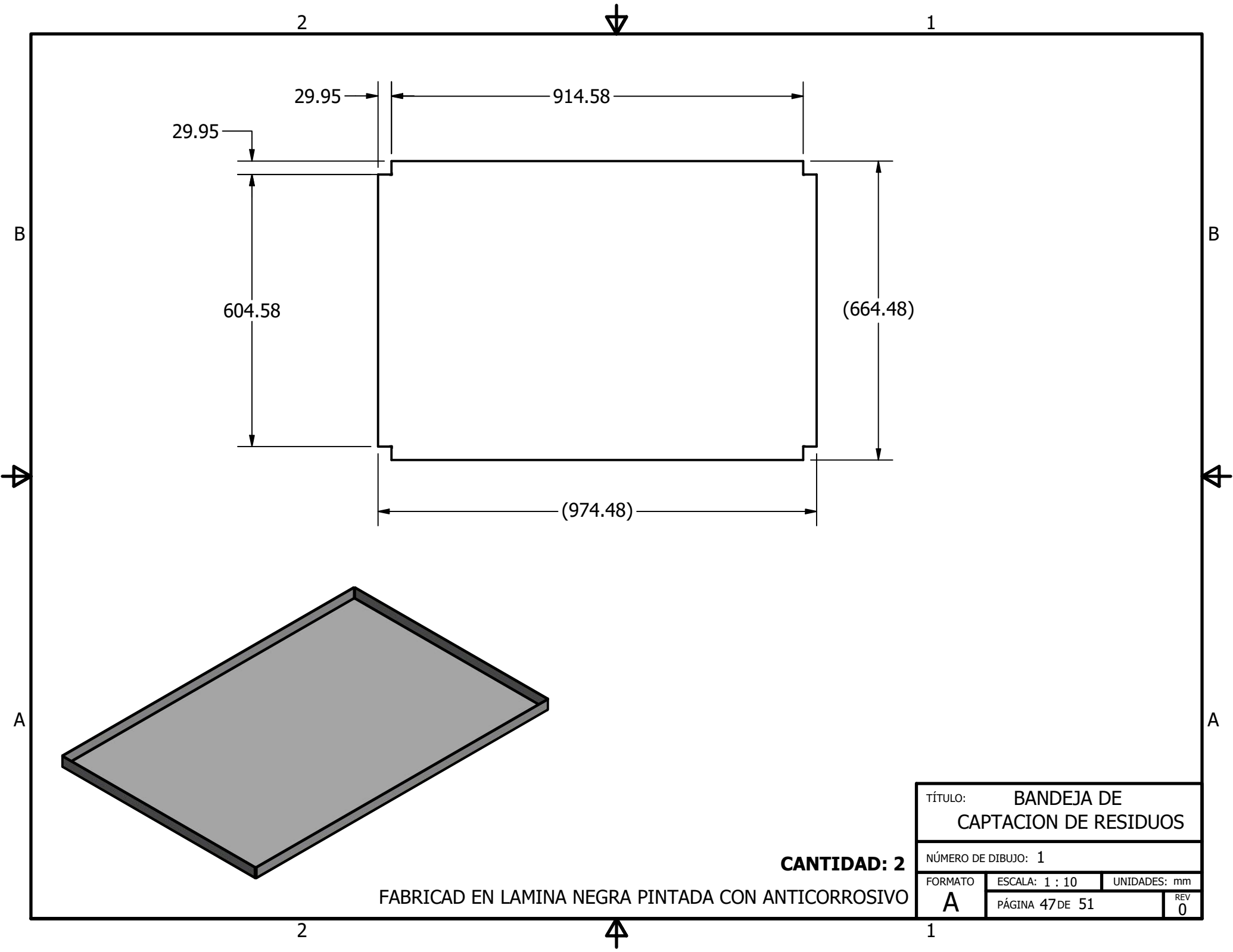
AGARRADOR DE BANDEJA
FABRICADO EN VARILLA
REDONDA DE 3/8"

DETALLE AG
ESCALA 1 :5

AG

CANTIDAD: 20
FABRICADA EN ACERO INOXIDABLE 304

TÍTULO: BANDEJA INOX		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 46 DE 51	REV 0



FABRICAD EN LAMINA NEGRA PINTADA CON ANTICORROSIVO

CANTIDAD: 2

TÍTULO: BANDEJA DE CAPTACION DE RESIDUOS		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1 : 10	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 47 DE 51	REV 0

2

1

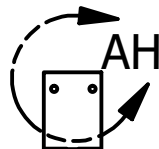
B

B

49.80

896.40

38.10 (1.5 in)



6.70

25.40

11.00

Ø3.97(5/32") ESTOS AGUJEROS SE HACEN EN LAS DOS ALETAS DEL DEFLECTOR

DETALLE AH
ESCALA 1:1

A

A

CANTIDAD: 1

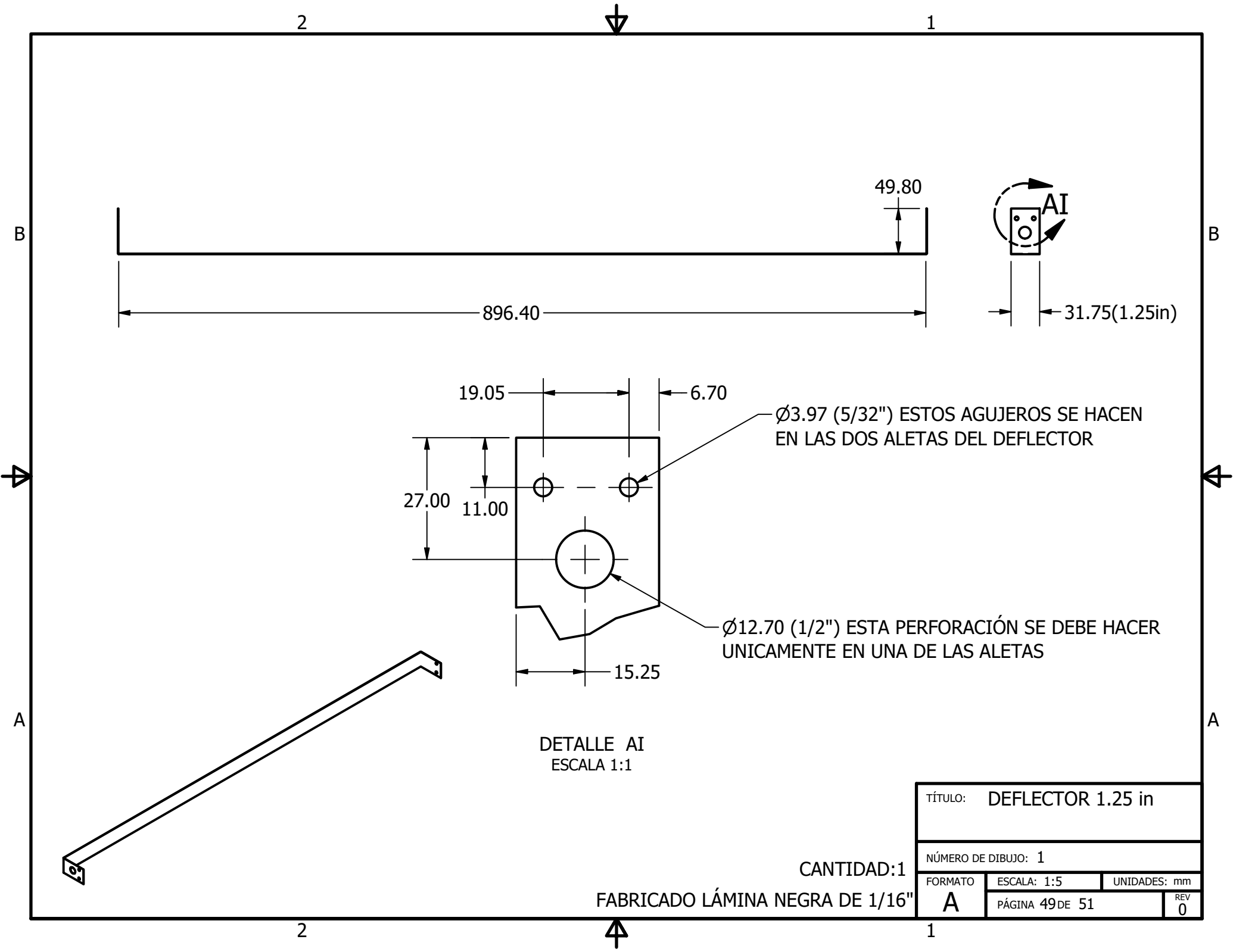
FABRICADO LÁMINA NEGRA DE 1/16"

TÍTULO: DEFLECTOR 1.5 in		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 48 DE 51	REV 0

2

1

1



2

1

B

B

896.40

49.80

31.75(1.25in)

19.05

6.70

27.00

11.00

Ø3.97 (5/32") ESTOS AGUJEROS SE HACEN EN LAS DOS ALETAS DEL DEFLECTOR

Ø12.70 (1/2") ESTA PERFORACIÓN SE DEBE HACER ÚNICAMENTE EN UNA DE LAS ALETAS

15.25

DETALLE AI
ESCALA 1:1

CANTIDAD: 1

FABRICADO LÁMINA NEGRA DE 1/16"

TÍTULO: DEFLECTOR 1.25 in		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 49 DE 51	REV 0

2

1

A

A

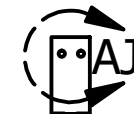
2

1

B

B

49.80



25.40

896.40

6.70

12.70

11.00

Ø3.97 (5/32") ESTOS AGUJEROS SE HACEN EN LAS DOS ALETAS DEL DEFLECTOR

DETALLE AJ
ESCALA 1:1

A

A

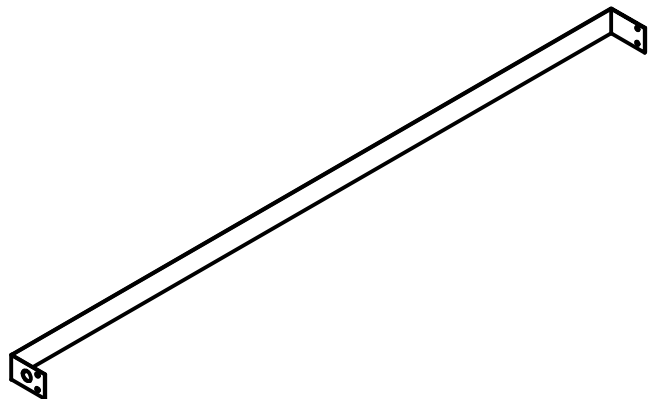
TÍTULO: DEFLECTOR 1 in		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 50 DE 51	REV 0

CANTIDAD: 1

FABRICADO LÁMINA NEGRA DE 1/16"

2

1



4

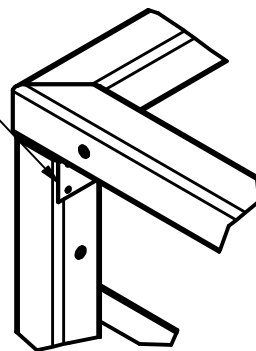
3

2

1

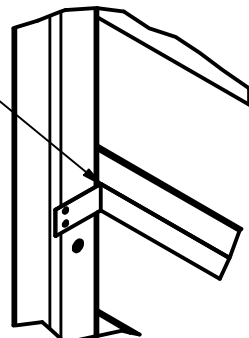
LOS DEFLECTORES DEBEN COLOCARSE PREVIO A LA COLOCACIÓN DEL REDUCTOR DE ÁREA

EL DEFLECTOR DE 1.5 in DEBE COLOCARSE EN LA PARTE SUPERIOR DE LA BANDEJA SUPERIOR, ESTE DEBE ESTAR TOPADO AL MARCO SUPERIOR



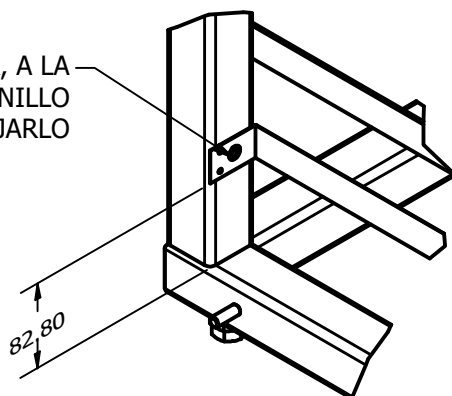
DETALLE AM
ESCALA 1:6

EL DEFLECTOR DE 1 in SE COLOCA JUSTO POR DEBAJO DEL TERCER ANGULAR DE SOPORTE, SE DEBE ANCLAR UTILIZANDO LOS AGUJEROS DE 5/32"

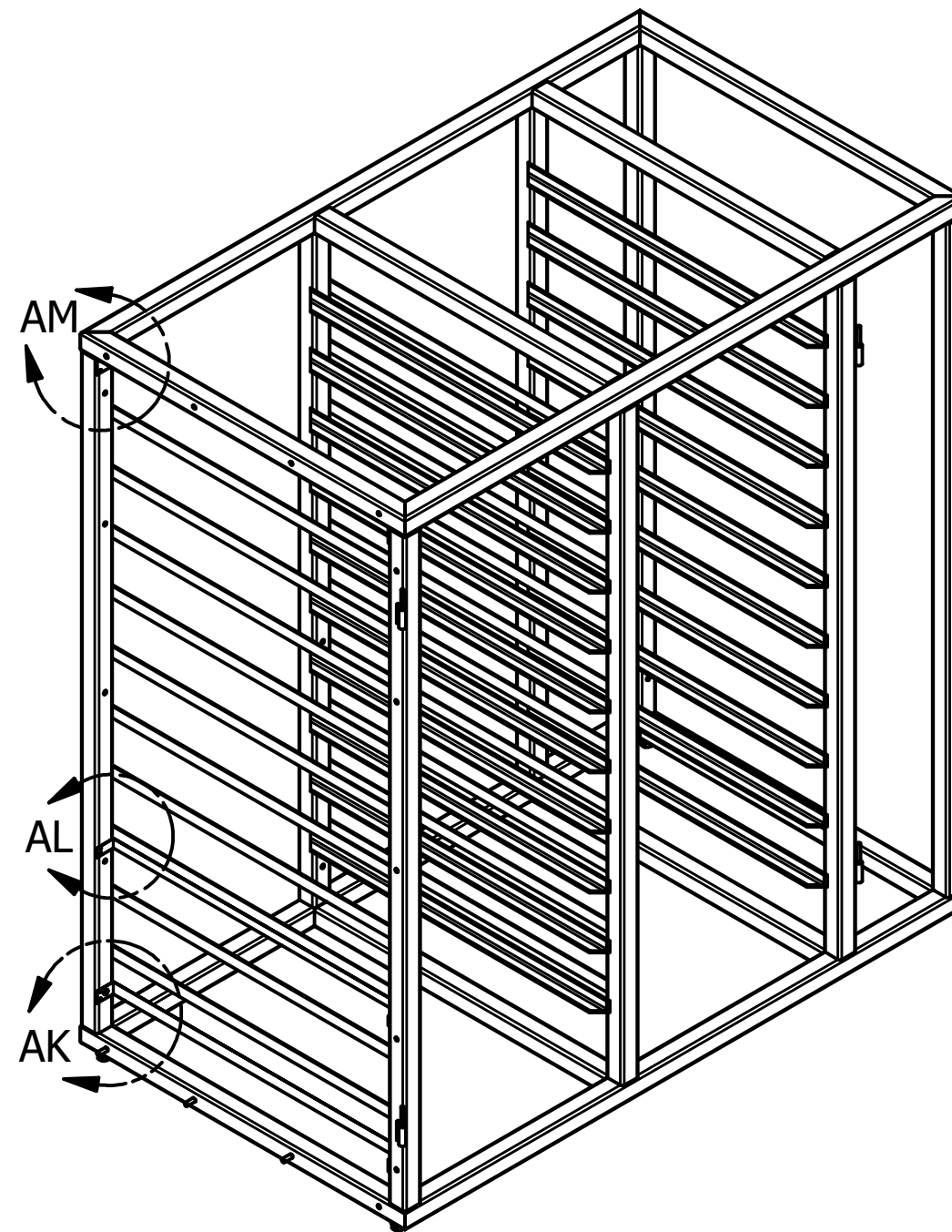


DETALLE AL
ESCALA 1:6

EL DEFLECTOR DE 1.25 in SE COLOCA EN LA PARTE INFERIOR, A LA DISTANCIA DESCRITA, SE PUEDE UTILIZAR EL AGUJERO DEL TORNILLO DE ACOPLE ASI COMO EN LOS AGUJEROS DE 5/32" PARA FIJARLO



DETALLE AK
ESCALA 1:6



B

B

A

A

A

A

4

3

2

1

TÍTULO: POSICIÓN DEFLECTORES		
NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO: B	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
	PÁGINA 51 DE 51	REV 0