

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Mecánica



Diseño y evaluación de un modelo de secador de cacao replicable  
en departamento de Alta Verapaz, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional por

Dulce María González y González

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2019



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Mecánica



Diseño y evaluación de un modelo de secador de cacao replicable  
en departamento de Alta Verapaz, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional por

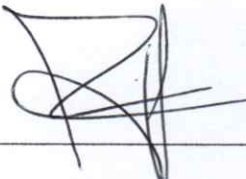
Dulce María González y González

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

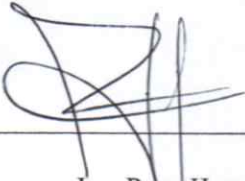
Guatemala

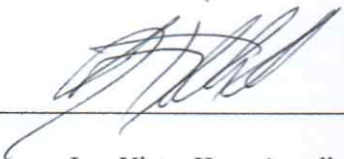
2019


Vo.Bo:

(f)   
Ing. Rony Herrarte

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Rony Herrarte

(f)   
Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f)   
Ing. Andres Vizu

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de diciembre de 2019

## **PREFACIO**

En el siguiente trabajo se expone mi experiencia en el diseño e implementación de un secador solar que fue construido en varias zonas de bajos recursos en Guatemala. Este fue un proyecto que se trabajó como participación del “Programa integral para el incremento de la calidad, productividad y sostenibilidad del sistema CACAO en el norte de Guatemala”. Dicho programa es un proyecto en conjunto con USDA, el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, IICA y el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA).

Agradezco a mi asesor, el ingeniero Rony Herrarte, por guiarme durante el periodo de investigación y diseño del presente trabajo.

Agradezco a los catedráticos de la Universidad del Valle de Guatemala, sobre todo a el ingeniero Víctor Hugo Ayerdi y a la ingeniera Ana Silvia Colmenares.

Agradezco a los ingenieros Gustavo Orellana, André Guillen, Héctor Gómez, Mayarí Pérez por su apoyo.

Agradezco a la Universidad del Valle por apoyar a trabajos de este tipo.

## CONTENIDO

Lista de Tablas.....	v
Lista de Ilustraciones .....	vi
Resumen.....	vii
I.    Introducción.....	1
II.   Objetivos .....	2
A.  General .....	2
B.  Específicos.....	2
III.  Justificación.....	3
IV.  Marco teórico.....	4
A.  Características y propiedades del cacao.....	4
B.  Hábitat del cacao.....	4
C.  Épocas de cosecha de cacao en Guatemala.....	4
D.  Tipos y usos del cacao .....	4
E.  secado y almacenamiento.....	5
F.  Proceso de secado de cacao.....	7
G.  Tipos de secadores .....	8
1.  Secado artificial .....	8
2.  Secado natural .....	8
H.  Mecanismos de transferencia de calor.....	11
1.  Transferencia de calor.....	11
2.  Conducción .....	11
3.  Convección natural .....	11
4.  Radiación .....	11
V.    Antecedentes.....	13

A.	Producción de cacao en Guatemala .....	13
B.	Clima promedio en Cobán.....	15
VI.	Metodología.....	17
A.	Selección de secador .....	17
B.	Diseño inicial y cálculos preliminares .....	18
C.	Análisis financiero .....	30
VII.	Resultados .....	32
VIII.	Conclusiones.....	36
IX.	Recomendaciones .....	37
X.	Bibliografía.....	38
XI.	Anexos.....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Promedios de las características químicas de cacao fermentado y secado al sol. ....	8
Tabla 2 Precio de compra del cacao pagado al productor y a las organizaciones.....	15
Tabla 3 Humedad relativa Cobán.....	16
Tabla 4 Matriz de valoración para selección de tipo de secador.....	18
Tabla 5 Parámetros necesarios para cálculo de radiación solar incidente .....	21
Tabla 6 Proceso de calefacción y humidificación del aire.....	24
Tabla 7 Peso recomendado de las cargas en condiciones ideales de levantamiento .....	27
Tabla 8 Recuperación de inversión .....	30
Tabla 9 Cantidad de módulos necesarios para cubrir la época pico de cosecha .....	31
Tabla 10 Comparación de dimensiones entre secadores .....	32
Tabla 11 Incidencia de la radiación solar sobre colector solar .....	34

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Modelo de secador solar directo .....	9
Ilustración 2 Modelo de secador solar indirecto .....	10
Ilustración 3 Reflexión, absorción y transmisión de radiación incidente sobre un material .....	12
Ilustración 4 Temperatura promedio por hora .....	16
Ilustración 5 Diseño preliminar secador solar.....	19
Ilustración 6 Radiación solar, Cobán Alta Verapaz .....	22
Ilustración 7 Radiación solar de 5am a 6pm .....	22
Ilustración 8 Proceso de secado.....	23
Ilustración 9 Modelo 3D módulo secador solar .....	26
Ilustración 10 Modelo 3D módulo secador solar vista interna .....	26
Ilustración 11 Vista lateral cámara de secado .....	28
Ilustración 12 Muestras de cacao con moho de los procesos de secado actuales .....	29
Ilustración 13 Mallado plástico para bandejas de secado .....	29
Ilustración 14 Vista frontal secador armado .....	35
Ilustración 15 Vista trasera, secador armado .....	35

## RESUMEN

El cacao es un producto cuya demanda a incrementando tanto a nivel nacional como a internacional. Guatemala es uno de los 23 países con las condiciones geográficas y climáticas para producir cacao fino. La industria de cacao, en Guatemala, está conformada principalmente de pequeños productores. La mayor parte de la producción se concentra en Alta Verapaz y Huehuetenango.

El secado natural es un método común utilizado por los pequeños productores debido a su bajo costo. Este método de secado presenta inconvenientes como: alto tiempo de secado y variación por factores climáticos. De incrementarse mucho el tiempo de secado afecta tanto la efectividad económica del producto como la calidad del producto debido a la mayor vulnerabilidad a contraer moho y otras enfermedades de la semilla. Además, la época de cosecha más importante coincide con la estación lluviosa. El objetivo es diseñar, e implementar un secador de cacao para pequeños agricultores que se caracterice por su simplicidad de diseño, operación y mantenimiento.

Durante el proyecto se diseñó un secador de cacao que reduce la humedad del grano entre el 65% - 55% hasta llegar a una humedad menor al 7%. Esto con el fin de permitir la conservación y almacenaje del cacao sin perjudicar su calidad. Durante el proceso de secado la temperatura del grano debe estar por debajo de los 65°C. Durante el secado el proceso de fermentación sigue en pie, por lo que se requiere que el proceso de secado se realice lentamente para no interrumpir la fermentación de forma abrupta. Un secado menor a 24 horas causa que el grano no consiga las características necesarias como olor, color y sabor. Para el desarrollo del trabajo se utilizó como el clima promedio en Cobán, Alta Verapaz. La época de cosecha se realiza de noviembre a marzo donde la temperatura varía desde 17.5°C a 19.1°C y la humedad relativa varía desde 80% a 86% (INSIVUMEH,2010). La siguiente temporada de cosecha se realiza de mayo a octubre, donde la temperatura varía desde 18°C hasta 22°C y la humedad relativa desde 82% hasta 86% (INSIVUMEH,2010).

Por medio de información recaudada por el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios la Universidad del Valle de Guatemala, se determinaron los requerimientos que los agricultores de cacao necesitan para mejorar el proceso de secado. Siendo estos: la humedad específica del grano al final del proceso, combustibles disponibles, espacio disponible entre otros. Debido a que existen muchos modelos de secadores se utilizó una matriz de valoración con el cual se evaluaron los criterios más importantes y de determinó que un secador solar mixto es el que cumplía mejor los requisitos de este proyecto.

Los secadores fueron contruidos en 10 asociaciones que se encuentran en Alta Verapaz. El costo de materiales para construir un módulo de secador es de Q2,600.00 en donde en promedio los agricultores podrían recuperar la inversión en 20 días. El secador puede soportar una carga de 120 lb de cacao en baba fermentado, donde se espera que entre con un porcentaje inicial de humedad de 65% y en un periodo de 4 días reduzca a 7%, con una temperatura de secado proyectada de 45°C.

# I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se trabajó en conjunto con el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios en donde el módulo de trabajo específico en el que se colaboró fue en la mejora del proceso de secado del cacao por medio del diseño de un secador. El área de aplicación del proyecto fue Alta Verapaz, Guatemala.

Entre los retos que presentaba este proyecto fue que se buscaba aplicar a un área amplia en donde en un principio no se tenía claro las zonas específicas en donde se instalarían los secadores. Esto significaba que se debía de tomar en cuenta de que las situaciones iniciales y necesidades de cada centro de beneficiado cambiarían por lo que se debía de considerar un diseño versátil. Al realizar entrevistas de campo, investigación y entrevistas con el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios se determinó de que el proceso de secado de cacao en Guatemala es uno de los puntos más débiles en el beneficiado de este. Esto debido a que las condiciones climáticas suelen ser muy variables y no se cuenta con secadores eficientes que logren secar el cacao en un tiempo reducido. Esto repercute en la calidad del grano final debido a que, al tener un mayor tiempo de secado, el grano es más vulnerable a la proliferación de moho y otros microorganismos.

Entre las condiciones que debía de cumplir el secador es tener la capacidad de reducir la humedad del grano de un 60-55% a un 7%, ya que a partir de dicha humedad el cacao puede ser almacenado y vendido a los exportadores de granos de cacao. Debido a que es un proyecto que fue aplicado a distintas asociaciones de Alta Verapaz, se debía realizar un modelo que se adaptara a la disponibilidad de espacio de cada lugar.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. GENERAL**

Diseñar y evaluar un prototipo de secador de cacao artesanal para reducir el porcentaje de humedad del producto a 7%.

### **B. ESPECÍFICOS**

- Disminuir el contenido de humedad relativa de los granos a 7% en un periodo alrededor de 36 horas activas de secado (4 días).
- Realizar un diseño que permita se replicado en diferentes regiones de Guatemala.
- Diseñar un deshidratador de cacao que utilice la energía solar para reducir la humedad del grano y que utilice flujo natural como sistema de ventilación.
- Diseñar un secador que se construya en base a materiales encontrados localmente.
- Calentar el aire a temperatura ambiente para alcanzar una temperatura de secado de 45°C dentro de la cámara de secado.

### III. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de cacao es un sector de la agroindustria que es manejado en su mayoría por pequeños productores con un rendimiento promedio menor a 28 Tm/ha, cuyas regiones de producción son Alta Verapaz, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos; todas zonas rurales en donde se considera que el 80% de los habitantes se encuentran en situación de pobreza y pobreza extrema. En la industria cacaotera están registrados alrededor de 9,172 productores lo cual es equivalente a 990 empleos de los cuales el 30% está destinado a mujeres.

Guatemala es uno de los pocos países con las condiciones climáticas y topográficas para poder producir cacao fino y de aroma. Producto cuya demanda ha incrementado internacionalmente el 10% en los últimos 5 años. (Teneda, 2016) Esto es una oportunidad para el país, pero debido a los métodos ineficientes de beneficiado debido a falta de infraestructura y producción, la calidad del producto es afectado, impidiendo a los pequeños productores tener acceso a dicho mercado. El cacao es un producto cuyo precio varía según características como sabor, aroma y color, todos factores que se ven afectados por los métodos de transformación tales como la fermentación y el secado; convirtiéndolas en etapas críticas del proceso. El proceso de secado no solamente afecta la calidad del producto sino también la economía del productor, debido a que un proceso de secado ineficiente puede provocar la proliferación de moho y enfermedades en el grano, los cuales son pérdidas para el productor. Entre los pequeños productores es común el uso del método de secado natural, pero debido a que en Cobán la época lluviosa dura un periodo de 10 meses y el porcentaje de humedad anual es en promedio del 81%, el tiempo de secado se puede prolongar muchas semanas haciendo este proceso ineficiente y reduciendo la calidad del cacao.

El precio promedio que reciben los productores por libra de cacao en baba es de Q.3 – Q. 4 mientras que un quintal de cacao seco es pagado en promedio por Q. 800/ el quintal. Esto significa que para los productores es más rentable realizar el proceso de secado debido a que el precio de venta es mayor.

El secado de cacao artificial contribuye a la mejora de la seguridad alimentaria de los productores y sus familias a través del aumento en la productividad y sus ingresos económicos. La implementación de nueva tecnología les permite a los productores nuevas capacidades y acceder a mejores precios del mercado. Esto a su vez contribuye a la mejora de la calidad de vida de los asociados. Debido a que la producción del secador de cacao será realizada con materiales encontrados localmente, tiene un alto potencial de réplica en condiciones y entornos diferentes, de manera que se puede mejorar e impactar a otros productores y familias.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CACAO

La semilla de cacao es procedente del cacaotero *Theobroma cacao L.* que está separado del resto del fruto fermentada y secada. El fruto o mazorca de este árbol es una baya entre 15 a 30 cm de largo y 7 a 10 cm de grueso. Cada fruto contiene alrededor de 30 a 40 semillas. La semilla se caracteriza por tener el tamaño promedio 2 a 3 cm de largo. Dentro del volumen de la semilla en el interior se encuentran o cotiledones que son conocidos como granos de cacao. Estos granos son los que brindan el valor nutritivo real ya que son altos en almidón, proteínas y grasa. (CONABIO, 1753)

Entre las principales cualidades del cacao se encuentran sus altas propiedades antioxidantes y sus beneficios para el corazón debido a que ayuda a reducir el riesgo a un ataque cardiaco. También es conocido por sus efectos anticancerígeno, estimulador cerebral, antitusígeno y antidiarreico, (Teneda, 2016)

### B. HÁBITAT DEL CACAO

Crece en topografía ondulada que no sobrepasen el 50% de pendiente, usualmente encontrado en cañadas a orilla de los arroyos. Para poder rendir frutos es necesario que existan temperaturas elevadas (20-30°C) y con pequeñas fluctuaciones (Mínimo de 16°C) en el año. El clima debe de ser constantemente húmedo (70-80%) y con precipitación, alrededor de 1,300 a 2,800 mm por año y estación seca corta. (República de Colombia, s.f)

### C. ÉPOCAS DE COSECHA DE CACAO EN GUATEMALA

El país cuenta con las condiciones climáticas favorables para que el Cacao sea un producto que esté disponible a lo largo de todo el año. (Guzman Silva, 2016). La cosecha se realiza de noviembre a marzo y de mayo a octubre. Muchas veces solo se realiza una cosecha de mayo a octubre. Esto puede depender de factores como el terreno, las cosechas que se realicen en paralelo a el cacao y la situación climática anual. Entre las mayores razones de pérdidas en los frutos se debe por ataque de enfermedades, avifauna o por un mal almacenamiento (Vasquez Tajtaj, 2005).

### D. TIPOS Y USOS DEL CACAO

Según el informe de ANACAFÉ sobre el cultivo de cacao (2004), en el mercado internacional los granos de cacao se dividen en dos categorías. La primera son los granos utilizados para la fabricación de chocolate corriente, chocolate en polvo, licor y manteca de cacao; estos son denominados granos ordinarios y representan alrededor del 90% de la producción mundial, conocido como cacao forastero y también su híbrido, el cacao trinitario. La segunda son los granos con características específicas como aroma y sabor que se buscan para chocolates finos, en capas de cobertura o en otras preparaciones especiales.

La herencia genérica del que provienen las semillas a procesar son un factor esencial en la calidad final del producto. Desde el punto de vista botánico, el cacao presenta tres categorías principales: Criollo, Forastero y Trinitario. (República de Colombia, s.f)

*El cacao forastero* se caracteriza por su buena capacidad de producción y resistencia. Este es conocido como cacao convencional y su sabor es amargo, grano pequeño y astringente. Su mayor productor es África. (Ac Pangán, 2017). Dentro de esta raza se destacan distintas variedades como el Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacito y Angoleta.

*El cacao Trinitario* es una mezcla entre el criollo y forastero. La calidad de estos granos depende de las características intermedias entre los criollos y forasteros en diferentes grados. (República de Colombia, s.f)

*La variedad de cacao Criollo* que es más propensa a enfermedades y tiene menor rendimiento. Este es conocido como un cacao fino de aroma, lo que quiere decir que es comercializado en mercado como un producto especializado para la elaboración de chocolates de alta calidad. Estos tipos de chocolates finos representan solo el 5% de la producción mundial. Se caracteriza por un tipo de almendras grandes, con el cotiledón recién salido de la mazorca es blanco y ligeramente rosado (Ac Pangán, 2017).

Tanto los materiales de cacao trinitario y criollo están siendo evaluados debido a que presentan buenas características de aroma y fineza, por lo que se actualmente se están identificando los árboles élites que presenten en mayor proporción dichas características. (Tapia, 2017). Adicionalmente, están sustituyendo las plantaciones antiguas de Forasteros por cacao Criollo debido a que se adapta de mejor manera a los cambios climáticos y a la mejora de calidad que estos representan. (ANACAFE, 2004).

## E. SECADO Y ALMACENAMIENTO

En el beneficio del cacao, la fermentación y el secado son las etapas más importantes debido a que durante la fermentación se producen reacciones bioquímicas responsables de la disminución del amargor y astringencia necesarios para estimular el aroma y sabor en la semilla. Durante el secado se reduce el exceso de la humedad que queda después de la fermentación facilitando el almacenamiento y comercialización del producto. Asimismo, afecta las características químicas del grano ya que se continúa con la fase oxidativa iniciada en la fermentación y se producen reacciones térmicas que ocasionan cambios en los compuestos precursores del sabor con lo cual se terminan de formar compuestos sensoriales del grano. Además, durante la etapa de secado se produce el color marrón representativo producto de los compuestos fenólicos. (Bertorelli, Ligia, & Lucía, 2009)

El secado y almacenamiento son partes críticas en el proceso debido a que de no realizarse de forma correcta se puede incentivar el crecimiento de varios hongos. (Vasquez Tajtaj, 2005) Para los agricultores es importante poder mantener la integridad de la semilla aun fuera de la mazorca. En la mejor respuesta de almacenamiento que ha sido registrada se obtuvo un 24% de viabilidad después de 8 meses de haber sido almacenado a una temperatura constante de 20°C. Las semillas contenían un 40.6% de humedad y se encontraban bajo presencia

de un funguicida. Al momento de realizarse el secado se debe evitar llegar a temperaturas mayores a los 60°C. El proceso debe de ser lento y a bajas temperaturas al principio del secado. Posteriormente, se puede hacer el proceso de secado todo el día. Esta precaución evita que el grano que se hinchó durante la fermentación se comprima abruptamente perdiendo tu textura y propiedades. (República de Colombia, s.f)

El almacenamiento de granos de cacao suele presentar problemas debido a una combinación de bodegas inadecuadas y el secado inapropiado. Lo cual hace que los granos se vuelvan más propensos a la invasión de moho en los granos y a infestarse de insectos. En los países tropicales el cacao puede almacenarse de 2 a 3 meses sin asumir riesgos de calidad. (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008)

El objetivo principal del secado es reducir el porcentaje de humedad del grano recién fermentado que usualmente se encuentra entre el 50 al 70% hasta llevarlo entre el 7% o 8% de humedad. (Rigel, 2005) . Los granos no deben de estar por debajo del 6% de humedad debido a que incrementa su fragilidad y se vuelven quebradizos y una humedad mayor del 8% facilita la proliferación de hongos. (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008) Una humedad menor puede causar que la estructura se vuelva quebradiza y pierda características como olor o sabor, que impide llegar a niveles óptimos para su comercialización. Un aspecto importante es lograr que dicha humedad óptima sea obtenida homogéneamente en los granos, debido a que eso determinará si se logró mantener la calidad establecida inicialmente en el proceso. (ANACAFE, 2004).

Según el código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación del cacao por OcrA toxina A (CAC/RCP/72-2013), un contenido por debajo del 8% se considera óptimo para impedir la proliferación de microorganismos y un buen almacenamiento. La capa de granos de cacao que se estén secando no debe de exceder los 6 cm de espesor o su equivalente de 40 kg de cacao por metro cuadrado de la zona de secado ya que esto evita la formación de moho además de hacer el proceso más eficiente. Además, no se deben mezclar los granos que se encuentren en diferentes fases de secado debido a que puede causar que los granos se vuelvan a humedecer, lo cual acelera la formación de micelio y la posibilidad de producción de OTA. Adicionalmente, baja la calidad de la producción debido a la falta de homogeneidad. En cuanto al almacenamiento la estructura debe de cumplir con ser impermeable, ventilado, limpio y libre de humedad plagas o insectos. Un buen diseño de almacén asegura que el grano se mantenga seco y uniforme. Estos almacenes no deben de ser expuestos a la luz solar directa ni cerca de fuentes de calor ya que puede afectar el contenido de humedad de los granos.

Los principales parámetros de calidad de compra en Guatemala es que el tamaño del grano sea grande, la higiene, una humedad del 7% y que se encuentre bien fermentado (Say, Villalobos, Yin, & Somarriba, 2013). Debido a esto se ha seleccionado de que el secador debe de llegar entre 7 a 7.5% de humedad, ya que es un rango aceptado de humedad en la industria.

## F. PROCESO DE SECADO DE CACAO

Durante el proceso de secado ocurren reacciones térmicas que dependen de la temperatura que alcance el grano ya que, al aumentar la temperatura en el secado, se acelera la velocidad de la reacción de degradación de polifenoles. (Bertorelli, Ligia, & Lucía, 2009) . La velocidad o tiempo de secado y la temperatura son dos factores esenciales para mantener activas las reacciones de oxidación de alcoholes y otros compuestos que se crearon durante la fermentación. Debe de existir un balance entre estas variables ya que bajas temperaturas y velocidades de secado se traducen en mayor número de días de secado lo cual afecta la eficiencia del proceso.

Por otro lado, las temperaturas cercanas o mayores a los 60 °C pueden detener las reacciones químicas, además la rápida pérdida de humedad también detiene la actividad enzimática debido a los cambios son inducidos por una variación de concentración de los ácidos orgánicos, el cambio de pH en el grano de cacao. (Rigel, 2005). Se sugiere que el proceso de secado dure más de 24 horas para que se permita que termine el proceso de fermentación. Para poder determinar la efectividad de secado se utiliza un índice de reducción en el cual se divide el peso inicial de los granos entre el peso final (Bela, 2013).

Estudios demuestran de que el proceso de secado tiene un impacto directo sobre la calidad de producto final. Si este proceso se realiza a altas temperaturas ( arriba de 60 °C) el grano retiene un alto contenido de ácido acético y otros ácidos que provocan acidez en el producto final; esto en el mercado es evaluado negativamente lo cual provoca que la calidad del producto reduzca y por lo tanto su precio (S.D. Dina, 2014).

El tiempo de secado depende del tipo de semilla que se está utilizando. En un estudio realizado sobre la Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol realizado en por Ortiz y colaboradores (2009) se determinó mediante la prueba de Duncan como las características de humedad, pH, Acidez entre otros varía entre cacao Criollo y Forastero, como se puede observar en el cuadro 1. En este se muestra que el cacao tipo criollo presenta mayores porcentajes de humedad, acidez, grasas y proteínas.

Uno de los problemas con la producción de cacao en Guatemala es que usualmente se siembran varios tipos de cacao en una misma área y al momento de la recolección se tienden a mezclar, afectando el proceso de fermentación y calidad del producto. (Tapia, 2017)

Tabla 1 Promedios de las características químicas de cacao fermentado y secado al sol.

Factores		Características químicas					
		Humedad %	pH	ceniza %	Taninos %	Grasa %	Proteína %
<b>Tipo de cacao</b>	Criollo	5,20a	6,00b	0,73a	0,81b	54,49a	16,26a
	Forastero	4,50b	6,20a	0,65b	1,27a	54,08b	14,32b
<b>Almacenamiento</b>	0 días (AM1)	4,29b	5,98b	0,74a	1,00a	55,15a	16,82a
	5 días (AM2)	5,40a	6,23a	0,64b	1,06a	53,42b	13,78b
<b>Frecuencia de remoción</b>	SR	5,13a	6,13ab	0,68a	1,00a	54,59a	15,66a
	C/48h	4,86b	6,10a	0,68a	1,08a	53,77b	15,05b
	C/24h	4,55c	6,07b	0,70a	1,01a	54,50a	15,18b

Fuente: (Bertorelli, Ligia, & Lucía, 2009)

## G. TIPOS DE SECADORES

El proceso de secado de cacao es comúnmente clasificado dependiendo de la fuente de energía que estos utilizan. Estos se conocen como secado natural y secado artificial. El secado natural es aquel que utiliza la energía solar, por la misma razón este tipo de secadores también son conocidos como secadores solares.

Un secador artificial es aquel que disminuye de forma controlada la humedad de productos por medio de equipos y dispositivos que requieren de fuentes de energía como combustibles o energía eléctrica.

### 1. Secado artificial

Este método es recomendado para países en donde las condiciones naturales o la época de invierno coincidan con los picos de cosecha, debido a que prologarían el tiempo de secado volviendo el proceso ineficiente y riesgoso debido a que incrementa la probabilidad de contaminación de los granos. Entre las principales ventajas se encuentra el ahorro de espacio y tiempo. Con temperaturas entre 55-59°C el proceso de secado se completa entre 30 a 34 horas. (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008). Durante el secado artificial se debe tener en cuenta la pureza del aire para evitar que el grano no adquiera olor a humo. (Bela, 2013).

### 2. Secado natural

La fuente principal de energía de estos tipos de secadores es la solar por lo que también son conocidos como secadores solares. Este es el método de secado más conveniente para los granos de cacao en comparación con el secado artificial. Entre las mayores debilidades de este tipo de secadores es que es intermitente debido a que

depende de la radiación solar y es dependiente de las condiciones climáticas. (S.D. Dina, 2014) Según las condiciones climáticas el secado demora entre 3 a 9 días. (Cubillos, Merizalde, & Correa, 2008)

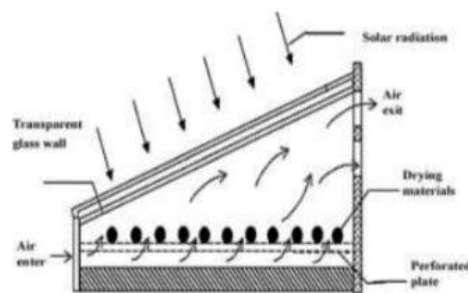
Durante este proceso es importante notar que los granos son afectados tanto por la textura del piso, como por la frecuencia de remoción de los granos. (Bertorelli, Ligia, & Lucía, 2009).

Entre los secadores de cacao más simples se encuentran los secadores de patio de cemento y sus variantes. Estos constan de un techo rodante para proteger el cacao de las lluvias y se realiza sobre plataformas móviles de madera; unas muchas ocasiones los productores tienden a utilizar como superficie de secado el asfalto. (Rigel, 2005)

Otra forma se secar el cacao es utilizando una estera, los cuales tienen la ventaja de que al encontrarse a cierta altura reduce el riesgo de los daños causados por animales. En ambos métodos se debe remover durante el día el cacao con frecuencia. En los días soleados para asegurar la homogeneidad se debe de incrementar la frecuencia de remoción; además la frecuencia también varía en la etapa de secado que se encuentra el grano. En el primer día se recomienda una frecuencia de 3 veces y en los siguientes días la remoción debe de ser más espaciada. Las herramientas utilizadas para la remoción deben de ser de madera. De existir condiciones ambientales favorables se estima que el secado se completará en tres días (Rigel, 2005). Este es un método común entre los pequeños productores, pero no ofrece un secado uniforme lo cual provoca defectos comerciales. (Bela, 2013)

Los secadores solares de convección natural se pueden clasificar según el tipo de radiación al que son expuestos los granos, siendo estos secadores directos, indirectos y secadores de modo mixto. Los secadores directos son aquellos que utilizan la radiación solar directa para secar el producto. Este consta de una cabina de secado, una estructura y un material transparente para cubrir el producto.

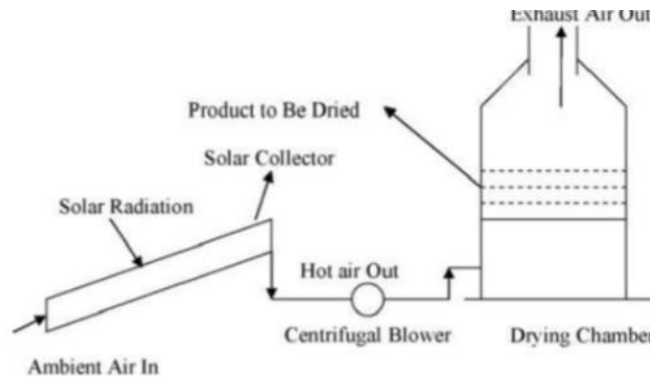
Ilustración 1 Modelo de secador solar directo



Fuente: Pranav C. Phadake, P. V. Walke, V.M. Kriplani Direct type natural convection , ISSN-2319-8354(E)

Los secadores solares indirecto son aquellos utilizan un calentador solar para incrementar la temperatura del aire previo a llegar a la cámara de secado y cuentan con una chimenea o respiraderos para que la humedad pueda salir del secador.

Ilustración 2 Modelo de secador solar indirecto



Fuente: Design and fabrication of solar air dryer K. M. Arunraja, ISSN: 2278-0181

El secador solar mixto es aquel que tiene tanto radiación solar directa como indirecta. Por lo que cuenta con tres partes principales, el colector solar, el secador y la chimenea. Estudios sugieren que este es el modelo de diseño más efectivo térmicamente y que suele tener mejores resultados en áreas tropicales húmedas (F.K Forson, 2006).

El tipo de secador solar que entrega como resultado final un cacao con una mayor calidad son los secadores solares indirectos. (S.D. Dina, 2014).

Debido a que durante la noche la temperatura disminuye la humedad relativa aumenta y puede causar la reabsorción de humedad por parte del grano; esto hace que el grano sea más propenso a enfermedades, moho o incrementar el tiempo de secado. Para poder reducir los efectos de intermitencia en el secado se propone que al secador se le sea integrado un material de almacenamiento térmico para que retenga el exceso de calor durante el día y prolongue el tiempo de secado por unas horas durante la tarde/noche. (S.D. Dina, 2014). Estos al ser expuestos a radiación modifican su energía interna, cediendo calor al incrementar la temperatura y absorbiendo cuando la temperatura del aire incrementa. Un estudio comparando arena, granito y agua como almacenador térmico demostró que el granito es el material con el que se pueden obtener temperaturas mayores durante la noche. (J. M. Teixeira, 2016)

El parámetro más influyente en un secador es el incremento de temperatura del aire de secado ya que es directamente proporcional al incremento en la humedad de aire a su salida. Para poder incrementar la temperatura del aire se puede hacer uso de colectores solares. Estos han demostrado obtener temperaturas aproximadas de 80°C en convección natural y 60°C en convección forzada. (J. M. Teixeira, 2016). El ángulo de inclinación recomendado para un funcionamiento óptimo es de 60° y la relación entre largo y profundidad se recomienda de 20:1 y 200:1 (F.K Forson, 2006)

## H. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

### 1. Transferencia de calor

La transferencia de calor es cualquier intercambio de energía derivado de un diferencial de temperatura. Esta transferencia ocurre del medio con una mayor temperatura hacia el de menor temperatura y se detiene cuando el sistema se encuentra en equilibrio, es decir, la temperatura de ambos cuerpos es iguales. Existen tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. (Cengel & Ghajar, 2011)

### 2. Conducción

La conducción se define como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencial de temperatura.

La conductividad térmica es la medida de la capacidad del material para conducir calor; el hierro tiene una conductividad térmica a temperatura ambiente de  $k = 80.2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ . Un valor elevado de conductividad térmica indica que el material es buen conductor. (Cengel & Ghajar, 2011)

### 3. Convección natural

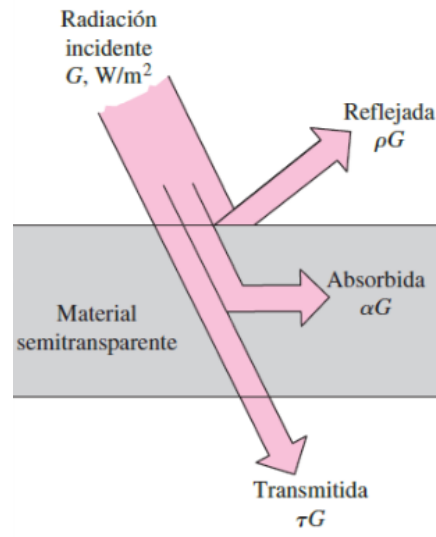
La convección es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido adyacente que se encuentra en movimiento. Esto implica que, a mayor caudal, mayor transferencia de calor existirá entre los medios. Existen dos clasificaciones generales para la convección: convección forzada y convección natural. La convección forzada es aquella en donde el fluido de trabajo es forzado el sistema, siendo este caso con ayuda de un ventilado o otra máquina que aumente el flujo volumétrico. La ventilación natural es aquella que es causada por un diferencial de densidad causado por un cambio de temperatura. (Cengel & Ghajar, 2011)

### 4. Radiación

La radiación, es un método de intercambio de energía que, a diferencia de la conducción y la convección, no requiere la presencia de un medio intermedio como lo es una superficie sólida o un fluido. Esto es debido a que la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas de los átomos. (Cengel & Ghajar, 2011)

Existen distintos tipos de radiación electromagnética, la radiación térmica es la pertinente para la transferencia de calor. (McQuiston, Parker, & Spitler, 2005) Cuando la radiación choca con una superficie, parte de ella es absorbida, otra parte es reflejada y otra parte es transmitida, como se puede observar en la Ilustración 3. La mayor fuente de radiación para la tierra es el sol, por lo cual es necesario para el diseño considerar la cantidad de radiación solar que incide sobre una superficie. La radiación directa, es aquella que no a sido dispersada por los gases atmosféricos. La radiación difusa es el resultado de radiación después del cambio de dirección causado por la atmosfera terrestre; para determinar la orientación relativa a la tierra y la radiación difusa incidente se pueden utilizar relaciones geométricas que pueden ser descritos por medio de ángulos. La radiación total es la suma de la radiación directa y la difusa. La tasa de transferencia de energía incidente sobre unidad de área es conocida como insolación ( $\frac{W}{m^2}$ ). (Duffie & Beckman, 2013)

Ilustración 3 Reflexión, absorción y transmisión de radiación incidente sobre un material



Fuente: Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones. Cengel & Ghajar

## V. ANTECEDENTES

### A. PRODUCCIÓN DE CACAO EN GUATEMALA

La producción de cacao en Guatemala se concentra en Alta Verapaz, en la costa sur occidental y en los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos. El 62% de la producción se encuentra en Alta Verapaz (31%) y Suchitepéquez (Ac Pangán, 2017). Estas son zonas rurales y donde el 80% de sus municipios se clasifican en pobreza y pobreza extrema. En su mayoría los cacaoteros son pequeños productores que cuentan con un área menor a 1 hectárea para su producción, con un rendimiento bajo de 0.28 Tm/ha. Esto se debe principalmente a la baja densidad de árboles por hectárea, la presencia de placas, plantaciones viejas y baja disponibilidad financiera para poder comprar árboles jóvenes o acceder a asistencia técnica en la plantación. (Tapia, 2017)

En 2015 estaban registrados 9,172 productores de cultivo de cacao, lo cual se traduce en 277 mil 200 jornales anuales lo que representa un total de 990 empleos, dentro de los cuales se estima que el 30% está destinado para mujeres. Actualmente hay un gran interés en el desarrollo de este campo debido al incremento de demanda internacional. En el periodo de 2010 a 2015 se reportó un crecimiento de exportaciones del 11% (Tapia, 2017). Se estima que el promedio de producción de cacao por familia se encuentra entre 210-255 kg/ha/año y cuentan con un área de producción entre 0.25-1 ha. (Say, Villalobos, Yin, & Somarriba, 2013)

Existe una demanda en aumento del cacao fino y de aroma y en los últimos en los mercados especializados de cacao a nivel mundial debido a un avance en este sector. En 2008 mercados como Estados Unidos y Alemania reportaron un aumento de consumo de chocolate oscuro, bajo en azúcar, en leche de 30% y 42% respectivamente. Esto es una demostración de una tendencia mundial del aumento del consumo de cacao fino o de aroma. (Teneda, 2016)

Internacionalmente se reconocen 23 países como productores de cacao fino de aroma entre los cuales esta Guatemala. Entre las oportunidades que tiene el país es la capacidad potencial de producir cacao fino con características que son altamente deseables en la industria chocolatera. El 50% del cacao producido en el país puede ser comercializado como cacao fino, por lo que se está promoviendo expandir el terreno 2,500 hectáreas más en los próximos 5 años. (Ac Pangán, 2017) Actualmente el 4% de la producción es exportado como cacao fino de aroma principalmente a Estados Unidos. Guatemala tiene fama internacional por la producción de cacao de calidad con propiedades sensoriales codiciadas en la industria con el valor agregado de que es cultivado en su mayoría con pueblos indígenas Mayas. Debido a que estos cuentan con un bajo volumen de producción no les es posible explotar el potencial de entrada a este mercado (Tapia, 2017).

Guatemala es el principal exportador de cacao de Centroamérica, cuya industria esta principalmente orientada a la producción de productos a base de chocolate y cocoa en polvo endulzada, asimismo exporta productos como licor de cacao, polvo y pasta en menores proporciones. El principal rubro de las exportaciones es la cocoa en polvo endulzada, seguido del chocolate en tableta. (Tapia, 2017)

En 2015 se reportó una producción de 1,301.82 Tm, de las cuales el 96% se beneficia y transforma a nivel nacional. Debido a la deficiencia de producción, el 40% de los requerimientos anuales es importado de Centroamérica, importando el 87% de sus requerimientos de Nicaragua y el 10% de Honduras. (Tapia, 2017). Una parte de la producción guatemalteca está destinada a ser exportado en forma de polvo a los mercados de El Salvador, Honduras y Estados Unidos de América. También se hacen exportaciones de chocolates y alimentos preparados con cacao por un valor de \$1,095,000. (ANACAFE, 2004)

En Guatemala se estima que hay 4,400 hectáreas sembradas de cacao. Aunque la producción es relativamente baja a comparación de otros países como África que tiene alrededor de 4,316,000 hectáreas cultivadas, Guatemala tiene la ventaja de contar con las condiciones climáticas y geográficas para producir un cacao de alta calidad. (Guzman Silva, 2016). Se considera una estrategia clave para la cadena de valor del cacao guatemalteco posicionarse en el mercado de producción gourmet debido a que el volumen de producción dentro de la demanda total mundial no es significativo. El 73% de la producción mundial proviene de África y los países centroamericanos representan solamente el 1% de la producción. (Say, Villalobos, Yin, & Somarriba, 2013)

En 2017 durante el Programa Cocoa of Excellence (CoEx) se destacó a Guatemala como productor de cacao fijo de aroma. Este programa se realiza a nivel mundial en donde 166 muestras de cacao procedentes de 40 países productores participan y las mejores 50 muestras son seleccionadas y de estas únicamente 18 reciben el Premio Internacional del Cacao; debido a esto dos empresas guatemaltecas fueron acreedoras de este premio. (AGEXPORT Guatemala, 2017).

Por tratarse de un producto que se vende según la calidad en base a su sabor y aroma se ve altamente afectado por los métodos deficientes de transformación primaria que no aplican las técnicas recomendadas para realizar un buen proceso de fermentación de secado y secado del grano. Estas son etapas críticas en el proceso ya que es en donde se fijan las características que le dan valor al producto tales como sabor, aroma y apariencia física. La falta de certificaciones también impide acceder a mercados más especializados. Estos incluyen el seguimiento de estándares tales como un moderado uso de sustancias activas en pesticidas, normas generales de higiene, control de los materiales que están en contacto con el grano entre otros aspectos. Otra limitante es la falta de infraestructura de procesamiento post cosecha, lo que incluye las áreas de fermentado, secadores, clasificadores y embalaje. La baja tecnología disponible no permite optimizar el proceso de fermentado y secado, incrementado la cantidad de días del proceso lo cual se traduce en pérdidas de dinero. (Tapia, 2017). Debido al interés mostrado por el mercado internacional, se está buscando mejorar la producción tanto en productividad como en la calidad de producto ofrecido.

El proceso de beneficio del cacao es crucial para poder obtener el mayor beneficio de la cosecha, tomando en cuenta de que económicamente se puede explotar la semilla que representa el 10% del fruto cosechado. (Teneda, 2016). Todos los factores anteriores son juegan un factor crucial en la calidad del producto final por lo que es importante su estandarización para obtener una mayor rentabilidad y eficiencia.

El precio promedio que reciben los productores por su producto es de Q.3 a Q4 por libra el cacao en baba mientras que por el quintal de cacao seco el valor se incrementa a Q.800/ quintal. Con el fin de mejorar la calidad en 2012 en Alta Verapaz se inició un proceso de acopio de cacao en baba para poder crear procesos estandarizados de fermentación y secado. En cuanto a la fermentación se utilizan cajones de fermentación y el secado se realiza de forma natural o se utiliza el secador Samoa. A pesar de la existencia de estos acopios y los beneficios que estos brindan (Tabla 2), en el país lo más común es que cada productor realice estos procesos de acopio por su propia cuenta. El proceso fermentación y secado suele tomar entre 7 a 10 días, siempre tomando en cuenta que este tiempo puede incrementar debido a las condiciones climáticas. (Say, Villalobos, Yin, & Somarriba, 2013)

Tabla 2 Precio de compra del cacao pagado al productor y a las organizaciones.

Organización/ Empresa	Cacao	Unidad de medida	Monto (Q)	Precio de toneladas (US\$)	Detalle
Fundación Laguna Lachua	En baba	Libra	Q 3	\$ 809	Precio de 1 tonelada de cacao en baba, precio pagado al productor
INUP, S.A	En baba	Libra	Q 3	\$ 840	Precio de 1 tonelada de cacao en baba, precio pagado al productor
INUP, S.A	En baba	Libra	Q 3	\$ 906	Precio de 1 tonelada de cacao en baba, precio pagado al productor
FEDECOVERA	En baba	Libra	Q 4	\$ 1.529	Precio de 1 tonelada de cacao en baba, precio pagado al productor
Concepción Pop (intermediaria)	Grano seco, fermentado o no.	Quintal	Q 800	\$ 2.242	Precio de intermediario al productor
ADIOESMAC	Grano seco, fermentado.	Quintal	Q 900	\$ 2.522	Precio de intermediario a organización
Fundación Laguna Lachua	Grano seco.	Quintal	Q 1.100	\$ 3.083	Precio pagado a la fundación
Chocolate imperial	Grano seco, fermentado.	Quintal	Q 1.100	\$ 3.083	Precio chocolateros artesanales a la organización empresarial
Fundación Laguna Lachua	Grano seco.	Quintal	Q 1.500	\$ 4.204	Precio pagado a la fundación
Gernaro Maldonado	Grano seco, fermentado.	Quintal	Q 1.600	\$ 4.484	Precio de intermediario al productor

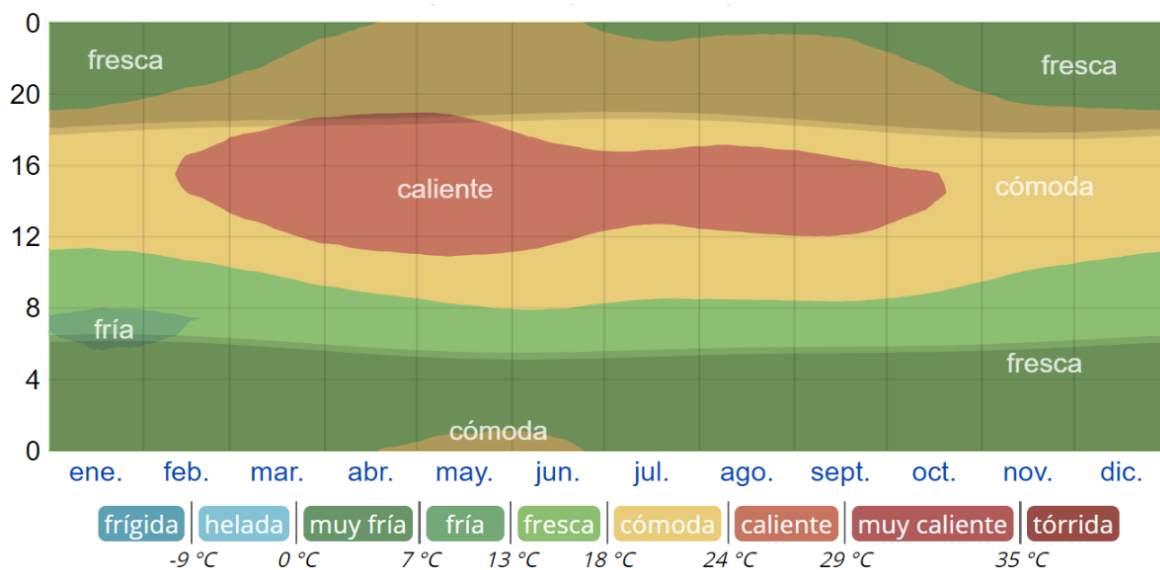
Fuente: (Say, Villalobos, Yin, & Somarriba, 2013)

## B. CLIMA PROMEDIO EN COBÁN

La temperatura a lo largo del año varía entre 12 a 28°C. La época templada es de aproximadamente 2 meses desde marzo hasta mayo, en esta época la temperatura máxima promedio suele ser de 27°C. La temporada fresca dura aproximadamente 3 meses desde noviembre hasta febrero, en donde la temperatura máxima promedio es de 24°C. En la Ilustración 1 se puede ver como varía la temperatura promedio por hora en todo el año. Debido a que la época de cosecha de cacao ocupa lugar casi todo el año se debe tomar en cuenta la fluctuación de temperatura lo largo de año y diaria a las cuales se debe poder adaptar el secador. Otro factor que tomar en cuenta es qué tan despejado está el sol a lo largo del año. En Cobán el porcentaje de cielo nublado varía mucho a lo largo del año. La parte del año más despejada es de noviembre a abril, siendo aproximadamente 5 meses en donde se considera que el cielo está despejado o parcialmente nublado el 75% el tiempo. La época más nublada del año es de abril a noviembre en donde el cielo se considera que está nublado o mayormente nublado

el 92% del tiempo. La temporada lluviosa dura 10 meses, los cuales son desde marzo hasta enero. (cedar lake ventures, inc, 2018). En el cuadro número 3 se puede observar la humedad relativa de Cobán a lo largo del año, la cual en promedio es del año 2010 fue de 83%, en donde desde agosto a noviembre se tiene la humedad más alta del año del 86%. (INSIVUMEH , 2010)

Ilustración 4 Temperatura promedio por hora



Fuente: Weather Spark

Tabla 3 Humedad relativa Cobán

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2006	81	79	75	74	78	83	82	81	83	83	85	87	81
2007	79	76	80	75	75	80	79	79	82	83	86	81	80
2008	82	80	79	77	77	82	85	83	83	90	86	87	83
2009	82	81	75	76	79	79	80	82	82	83	85	83	81
2010	83	82	80	79	82	82	84	86	85	85	86		83

Fuente: Insivumeth,2010

## VI. METODOLOGÍA

### A. SELECCIÓN DE SECADOR

Para elegir el tipo de secador que mejor cumplía con los requerimientos de diseño se utilizó una matriz de valoración. Se definieron cuatro criterios principales: Costo de producción, tiempo de instalación, tiempo de secado y fuente de energía.

El costo de producción es un criterio que influye en la decisión del secador debido a que, en su mayoría, las personas encargadas del proceso de secado son los agricultores que suelen contar con bajos recursos económicos y viven en zonas lejanas a la ciudad, por lo cual el modelo debe de ser accesible para su reproducción futura, por lo mismo se le dio una valoración del 25%. El tiempo de instalación se consideró como otro factor importante debido a que el proyecto tenía como limitante de tiempo estar construido para julio de 2019, por lo que se le dio una valoración del 10%.

El tiempo de secado se consideró como uno de los factores más importantes debido a que se necesita que sea menor a una semana para evitar la proliferación de moho y otros microorganismos. En una visita de campo realizada en una asociación aledaña a la laguna Lachuá, se realizaron entrevistas a los miembros del comité. Ellos comentaban que el mayor inconveniente que tenían en el proceso de beneficiado era el secado. Esto debido a que su proceso podía durar entre 9 a 31 días, por lo que su rango de tiempo de secado es muy variable.

Quincenalmente en la época pico de cosecha pueden producir hasta 2.5 toneladas de cacao en baba. Debido a que el tiempo de secado es muy variable, existen ocasiones en donde necesitan ingresar el nuevo lote al proceso de secado, sin embargo, aun se sigue secando el anterior. En estos casos los agricultores tienen a retirar el cacao prematuramente del secador y continuar el proceso al aire libre.

Además, comentaban que la cosecha se realiza quincenalmente, en donde en la época pico pueden llegar a producir hasta 2.5 toneladas de cacao. Debido a que el tiempo de secado es muy variable existen ocasiones en donde un lote nuevo necesita entrar al proceso de secado, sin embargo, existe un lote anterior que aun no a terminado su proceso. En estas ocasiones los agricultores tienen a retirar prematuramente el lote viejo y terminar el proceso de secado al sol. Esta exposición ambiental puede afectar negativamente la calidad del producto final. En la Tabla de valoración, el tiempo es una característica de alta importancia debido a que se trata de mantener la calidad de cada lote completando el ciclo de secado en un tiempo ideal. Este tiempo ideal queda en el rango de 15 días o menor, para poder permitir que el lote viejo se seque y que sea retirado a tiempo para que el nuevo tome su lugar.

Finalmente, la fuente de energía se consideró como otro factor a evaluar debido a que es necesario tomar en cuenta qué recursos y métodos son con los que cuentan los agricultores actualmente y junto a esto determinar qué fuente de energía es la más apropiada para el secador. Esto debido a que de intentar implementar algún método al cual no estén acostumbrados pueden presentar resistencia y por lo tanto no usar el secador.

Tabla 4 Matriz de valoración para selección de tipo de secador

		Costo de producción	Tiempo de instalación	Tiempo de secado	Fuente de energía	Total
	Ponderación	25%	10%	35%	30%	
<b>Solar directo</b>	Calificación	3	2	1	3	
	Puntuación	0,75	0,2	0,35	0,9	2,2
<b>Solar indirecto</b>	Calificación	3	2	1	3	
	Puntuación	0,75	0,2	0,35	0,9	2,2
<b>Solar mixto</b>	Calificación	2	2	3	3	
	Puntuación	0,5	0,2	1,05	0,9	2,65
<b>Solar activo</b>	Calificación	1	1	3	1	
	Puntuación	0,25	0,1	1,05	0,3	1,7
<b>De leña/ Combustible</b>	Calificación	1	1	3	1	
	Puntuación	0,25	0,1	1,05	0,3	1,7

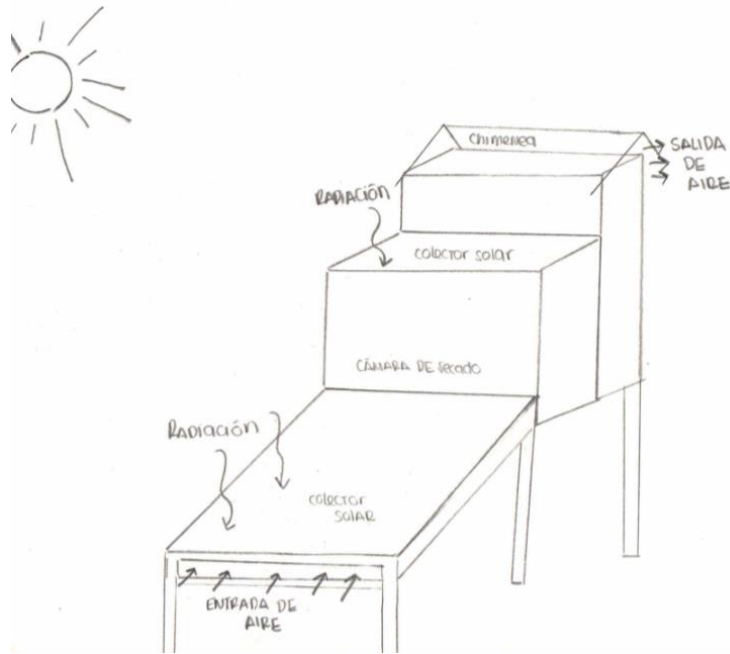
Fuente: Elaboración propia

Debido a entrevistas de campo y a información de distintas asociaciones en Alta Verapaz, se concluyó que la mejor opción de diseño era un secador solar. La principal razón es debido a que actualmente las asociaciones cuentan con secadores solares para su proceso de secado y saben los procedimientos correctos para utilizarlos. Las asociaciones en su mayoría no cuentan con acceso a electricidad, por lo que instalar un secador con ventilación forzada podría ser un modelo no replicable en distintas áreas de Alta Verapaz, además de que incrementaría su costo. Finalmente, se eligió un secado solar mixto, debido a que tiene un tiempo de secado más bajo que los secadores solar directo e indirecto.

## B. DISEÑO INICIAL Y CÁLCULOS PRELIMINARES

Después de haber seleccionado un secador solar mixto se procedió al diseño el mismo. Se decidió optar por un secador con gabinetes por la facilidad que presenta en la introducción del producto y de ensamble en campo. Como se pudo observar en la Ilustración 5, se había considerado que el mismo contara con un colector solar primario, un colector solar secundario que se encontraría arriba de los granos de cacao, una cámara de secado y una chimenea, en donde la salida de aire se daría hacia los lados principalmente.

Ilustración 5 Diseño preliminar secador solar



Fuente: Elaboración propia

Este diseño paso por una serie de iteraciones a medida que se conoció de mejor forma las condiciones ambientales, radiación y limitantes. El primer cambio que se realizó fue la eliminación del segundo colector solar de lámina de policarbonato que se encontraba por encima de los granos de cacao. Esto debido a que se determinó que la transferencia de calor ocurriría en dirección contraria a la deseada, es decir, desde la cámara de secado hacia el ambiente. Este segundo colector solar fue intercambiado por una lámina galvanizada, que permitía la transferencia de calor hacia el interior del secador, sin embargo, permitía un mejor sello entre las paredes del secador, reduciendo las pérdidas de calor. Además, contaba con la ventaja de que no permitía la radiación solar directa sobre los granos de cacao, que como se mencionó anteriormente, permite una mayor calidad del grano.

Inicialmente se había considerado realizar un secador de tamaño industrial de 10m de largo, pero se concluyó que la mejor alternativa era realizar un secador con diseño modular. Esto debido a que esto permitía una mayor flexibilidad tanto de presupuesto como de movilidad de los materiales e instalación en las distintas comunidades de Alta Verapaz. Debido a que los secadores serían instalados en distintas asociaciones, se debía tomar en cuenta que cada una tenía espacios disponibles distintos y capacidades de producción variables, al igual que diversidad de terrenos. Por lo que diseñar un secador tan largo no se adaptaba a las necesidades de todas las comunidades y presentaba problemas de logística. Estos problemas se podrían solucionar diseñando un secador modular, que permitiría la instalación de 1 o más módulos en diferentes configuraciones como se puede observar en la guía de instalación y utilización que se encuentra en el anexo 2.

Luego se determinó la radiación solar incidente sobre el colector solar. Para esto se realizó una iteración entre datos recolectados del INSIVUME, datos del global solar atlas y una iteración de cálculo de radiación total por hora. Para calcular la radiación solar se utilizó las coordenadas de Alta Verapaz, Guatemala. Se obtuvo un valor de radiación solar incidente de  $523 \frac{W}{m^2}$ . Los datos utilizados para calcular dicha radiación se pueden observar en la Tabla 5 y en la Tabla 11 se encuentra el proceso para calcular la incidencia de la radiación sobre el colector solar.

Para determinar la orientación del colector solar con respecto al sol se utilizaron las coordenadas de Alta Verapaz, Guatemala. El número de claridad se decidió en base a la ASHRAE, donde un valor de 0.23-0.25 se interpreta como un día nublado y un valor cercano a 1 un día soleado. Se decidió realizar los cálculos simulando el caso de tener un día nublado ya que de esta forma se asegura que al momento de dimensionar el colector solar este será capaz de secar el grano incluso en condiciones de mal clima.

El ángulo de inclinación del colector solar se determinó utilizando el Global solar Atlas debido a que es una herramienta que cuenta con amplios registros de comportamiento solar. Esto es un dato que se integra con el tiempo, por lo cual es más preciso que la estimación de una ecuación.

El colector solar cuenta con una lámina de policarbonato acanalada transparente, la que es la encargada de absorber y transmitir la radiación hacia el aire que se encuentra atrapado dentro del colector. El valor de reflectancia de dicho material se determinó por medio de un manual técnico de un proveedor de láminas de policarbonato llamado TUFFAK.

Tabla 5 Parámetros necesarios para cálculo de radiación solar incidente

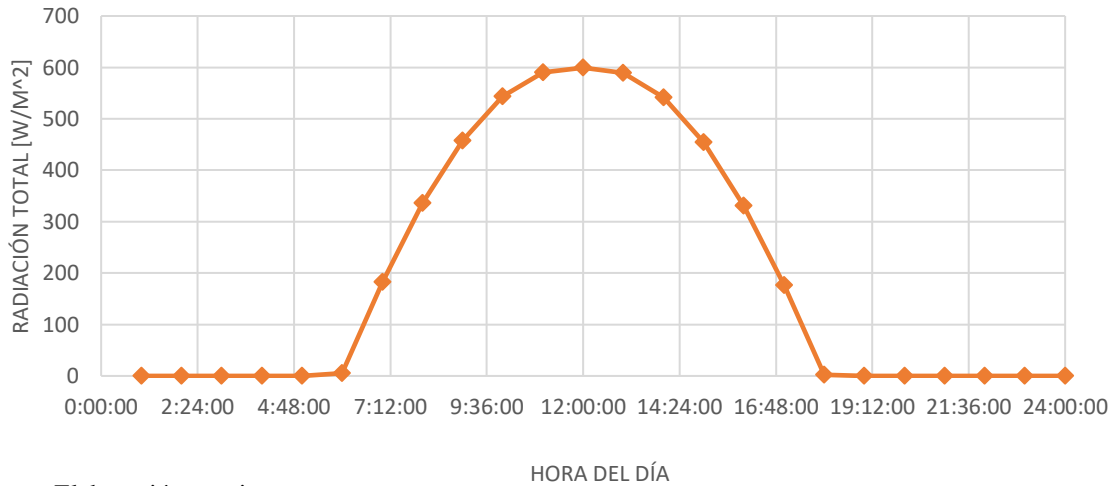
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Dimensión</b>
Latitud	$\varphi$	15,48	Deg
Longitud estándar	Ls	-90,36	Deg
Longitud local	Ll	-90,67	Deg
Año		2019	
Mes		4	
Día		16	
Día del año	n	105	
Ecuación del tiempo	EOT	-0,24	min
Declinación	$\delta$	9,58	Deg
Altitud solar máxima	$\alpha_s$	84,11	Deg
Acimut de la superficie	$\gamma$	180	Deg
Inclinación	$\beta$	18	Deg
A		1136	[W/m <sup>2</sup> ]
B		0,164	
C		0,12	
Número de claridad (Clearness number)	c_n	0,23	
Reflectancia de la superficie	Rf	1,586	
Fracción de la radiación difusa por la superficie		0,024	
Fracción de la radiación transmitida		0,976	SHCC CFD
Salida del Sol		5:30:00	horas
Puesta del Sol		18:30:00	horas
Horas de Sol		13:00:00	horas

Fuente: Elaboración propia

Para la radiación de horas activas se dividió la radiación total diaria entre las nueve horas (Ver Tabla 5) en donde la radiación es mayor a  $300 \frac{W}{m^2}$ . Estas nueve horas serán las que se tomarán como horas efectivas de secado más adelante. De esta forma se concluye que la radiación promedio es de  $535 \frac{W}{m^2}$  (ver Tabla 11); este valor será utilizado más adelante para el cálculo del área requerida del colector solar.

Ilustración 6 Radiación solar, Cobán Alta Verapaz

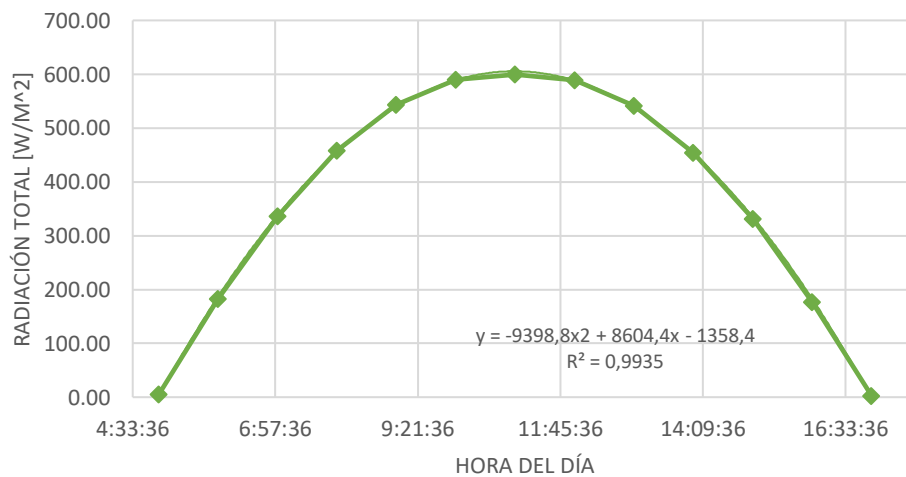
## RADIACIÓN SOLAR, ALTAVERAPAZ



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7 Radiación solar de 5am a 6pm

## RADIACIÓN SOLAR DE 5AM A 6PM



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 6, la radiación solar es representada por una ecuación de segundo grado, que tiene su máximo a las 12:00 de la mañana.

Después del proceso de fermentación el cacao puede salir con un porcentaje de humedad entre el 65-50%, durante el proceso de secado se debe de reducir el porcentaje de humedad a un 7%. El secador se diseñó para ser capaz de secar 120 lb (54.43 kg) de cacao después del proceso de fermentación.

La cantidad de agua que debe de ser extraída del producto se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

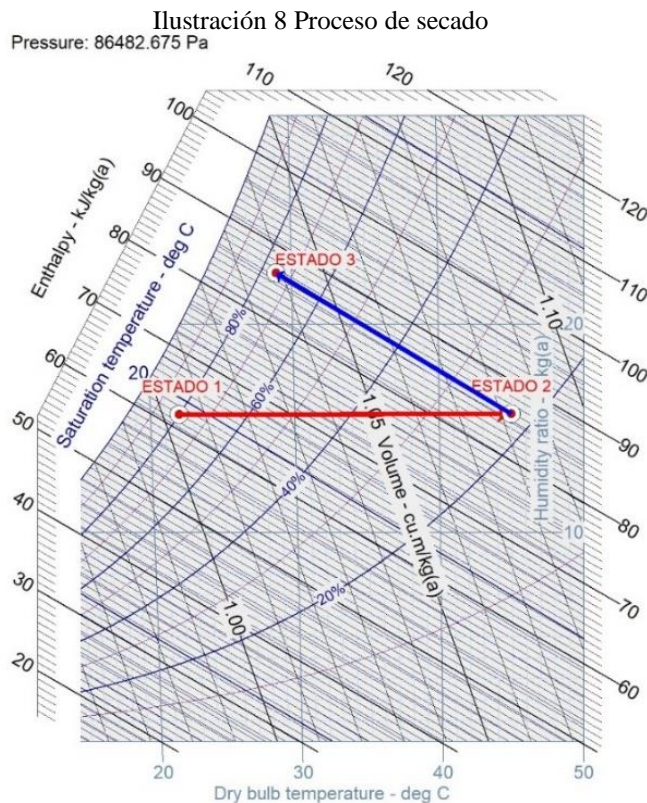
Ecuación 1

$$ma = \frac{mi(Hr1 - Hr2)}{(1 - Hr2)} = 33.95 \text{ kg de agua}$$

Donde “ma” se refiere a la cantidad de agua extraída del producto, “mi” es la nada inicial del producto, “Hr1” y “Hr2” es la humedad inicial y final del producto respectivamente.

El peso del producto al final del proceso de secado es la diferencia entre el peso al inicio del proceso y la cantidad de agua extraída, que como resultado da un total de 20.48 kg.

Con ayuda de una carta psicrométrica online (CYTSoft Psychrometric Chart 2.2 ) programada para una elevación de 1316 (msn de Alta Verapaz, Guatemala) se determinó el proceso de calefacción y humificación del aire.



Fuente: Elaboración propia

El proceso de 1 a 2 incrementa el calor sensible del aire, es decir incrementa su temperatura sin afectar su contenido de humedad específica. Del proceso 2 al 3 empieza la humidificación y enfriamiento del aire; en esta parte el contenido de humedad del aire aumentará y la temperatura descenderá debido a que parte del calor latente de vaporización del agua se evapora provendrá del aire. Para el estado 3 se asume que el aire llega a una humedad relativa del 60%.

Tabla 6 Proceso de calefacción y humidificación del aire

ESTADO 1 (entrada al colector solar)			
Temperatura ambiente	T1	22	°C
Humedad relativa ambiente	HR1	80	%
Entalpía estado 1	h1	61.94	kJ/kg aire seco
Humedad específica 1	w1	0.015656	kg agua/kg aire seco
Volumen específico	v.e1	1.008	m3/kg aire seco
ESTADO 2 (entrada a la cámara de secado)			
Temperatura a la salida del colector solar	T2	45	°C
Humedad específica 2	w1=w2	0.015656	kg agua/kg aire seco
Entalpía de líquido saturado	hf	85.74	kJ/kg
Entalpía de vapor saturado	hfg	2394	kJ/kg
Volumen específico	v.e2	1.082	m3/kg
Temperatura búlbo húmedo	WB2	25.2	°C
Humedad relativa salir del colector solar	HR2	22.033	%
ESTADO 3 (Salida de la cámara de secado)			
Temperatura búlbo húmedo	WB2=WB3	25.2	°C
Humedad relativa	HR	75	%
Temperatura salida de cámara de secado	T3	28	°C
Humedad específica	w3	0.023946	kg agua/kg aire seco

Fuente: Elaboración propia

El volumen total de aire requerido para remover la humedad de la cámara de secado se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$V_a = \frac{ma * Ra * Lt * T1}{Cpa * Pa * (T3 - T2)} = 5200.05 \text{ m}^3$$

Donde “Ra” es la constante específica de gases ( $287.1 \frac{J}{kg * K}$ ), “Lt” el calor latente de vaporización del agua ( $2260 \frac{kJ}{K}$ ), “Cpa” la capacidad calorífica específica ( $1007 \frac{J}{kg * K}$ ) y “Pa” la presión parcial del aire atmosférico (86482 Pa).

El flujo volumétrico del aire es, por lo tanto, la división del volumen total dentro del tiempo estimado de secado. Para un secador solar, el tiempo secado promedio de secado varía entre 30-36 horas (F.K Forson, 2006). Se escogió el límite superior del rango para asumir un proceso de secado lento.

Ecuación 3

$$\dot{V}_a = \frac{va}{t} = \frac{5853 \text{ m}^3}{36h * 60min * 60s} = 0.0401 \frac{\text{m}^3}{s}$$

Se seleccionaron los parámetros geométricos para la entrada del aire al colector solar, estableciendo que la separación entre placas sería de 0.05m y el ancho del colector de 1.63m. Por lo tanto, el área de entrada del aire se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$A = \text{Separación entre placas} * \text{ancho de colector} = 0.0815 \text{ m}^2$$

Ecuación 5 Flujo másico de aire a la entrada del colector solar

$$\dot{m}_{aire} = \frac{ma / (w3 - w2)}{t} = 0.032 \frac{\text{kg aire}}{s}$$

Ecuación 6 El área requerida para el colector solar

$$A_c = \frac{\dot{m}_{aire} * Cpa * (T2 - T1)}{0.5 * I} = 2.73 \text{ m}^2$$

Donde “I” es la irradiación solar promedio ( $523 \frac{W}{m^2}$ ).

Ecuación 7 Tasa de calor requerido para calentar el aire de 23°C a 45°C

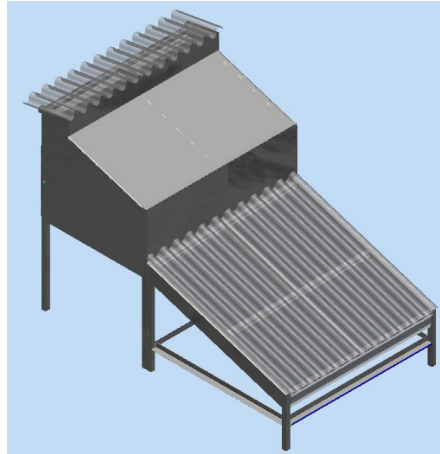
$$\dot{Q} = \dot{m} * Cpa * (T2 - T1) = 730 \text{ W}$$

Ecuación 8 Eficiencia térmica del colector solar

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}}{A_c * I} * 100 = 50.10\%$$

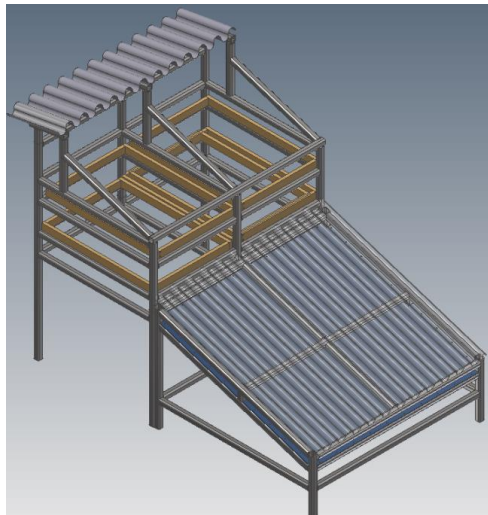
Este es un valor de eficiencia térmica promedio para un colector solar.

Ilustración 9 Modelo 3D módulo secador solar



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10 Modelo 3D módulo secador solar vista interna



Fuente: Elaboración propia

Como resultado final se obtuvo un módulo de secador solar que contaba con un área total de  $56.7 m^2$  y una capacidad de secado teórica de 120lb. Las partes principales del módulo de secador solar son: colector solar,

cámara de secado y bandejas. El colector solar es el encargado de absorber la radiación solar y transferirla por medio de convección al aire. La captación de radiación solar se da por medio de una lámina de hierro negro con un recubrimiento de pintura negro mate anticorrosivo para mejorar las propiedades del material. El hierro negro es un material que tiene una alta conductividad térmica y con el recubrimiento de pintura negra se puede mejorar, además de que alarga el tiempo de vida del secador debido a sus propiedades anticorrosivas. Para transferir la radiación solar se utiliza una lámina de policarbonato transparente y tanto las paredes laterales como las inferiores cuentan con una capa de duroport de 4cm, para reducir la transferencia de calor hacia el ambiente y una capara de lámina galvanizada para proteger y sellar la estructura.

Al momento de salir del colector solar, el aire incrementa su temperatura desde la temperatura ambiental hasta una temperatura estimada de 45°C. Este aire se introduce a la cámara de secado, en donde sucede el proceso de humidificación del aire y por medio de una chimenea este se libera nuevamente al ambiente.

Se consideró el aspecto ergonómico para la decisión de altura de las bandejas y el peso de estas. El peso del cacao en baba que se introduce al secador es de 54 kg (120 lb). Según estándares de seguridad industrial, el peso máximo que puede manipular un trabajador en general es de 25 kg, sin embargo, a mujeres, jóvenes y adultos mayores se recomienda que el peso se reduzca a 15 kg. Se decidió tomar este dato debido a que en la industria del cacao se involucran tanto mujeres como adolescentes. Con esta consideración el 95% de la población manipula pesos seguros y se evita el riesgo de caída de objetos en manipulación y sobreesfuerzos; para lograr esto se dividió la carga en cuatro bandejas iguales, donde cada una tendría un peso de producto de 13 kg.

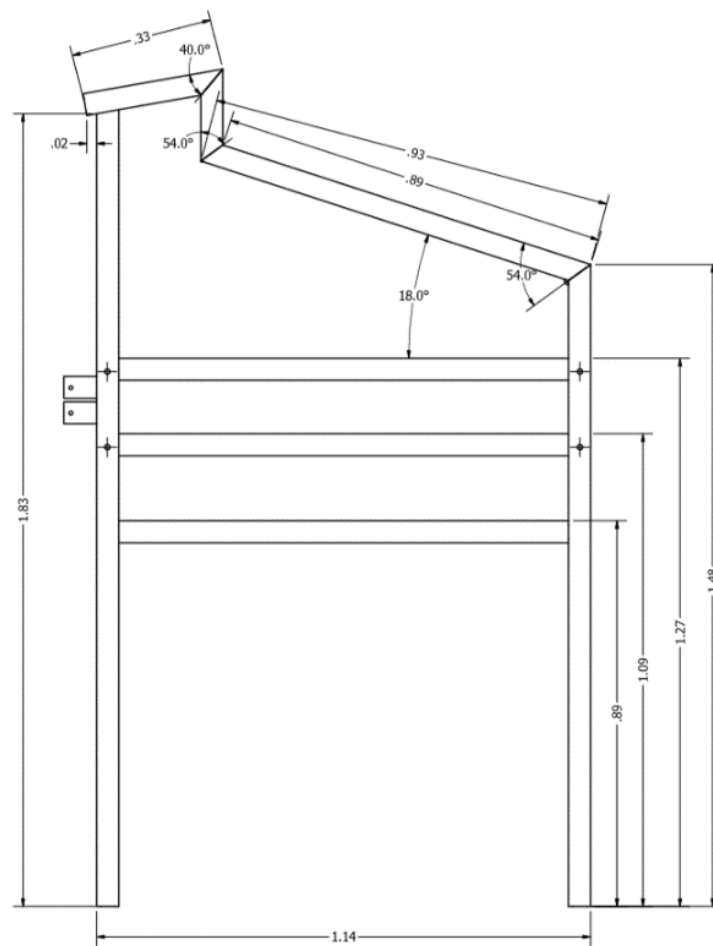
Tabla 7 Peso recomendado de las cargas en condiciones ideales de levantamiento

	Peso máximo	Factor de corrección	% población protegida
En general	25 kg	1	85%
Mayor protección (Población expuesta mujeres, trabajadores, jóvenes o adultos mayores)	15 kg	0.6	95%
Trabajadores entrenados	40 kg	1.6	datos no disponibles

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo

Según la guía técnica MMC del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la posición de carga más favorable es pegada al cuerpo, a una altura comprendida entre los codos y los nudillos. Utilizando una Tabla de dimensiones antropométricas se determinó que la altura del 95% de los hombres desde los pies hasta los codos es de 120 cm y para las mujeres de 110 cm. Tomando estos datos como referencia se determinó que las alturas de las bandejas se colocarían en dos niveles, donde el primer nivel contaría con 2 bandejas a 109 cm sobre el suelo, y el segundo nivel contaría con las otras dos bandejas a una altura de 127 cm.

Ilustración 11 Vista lateral cámara de secado



Fuente: Elaboración propia

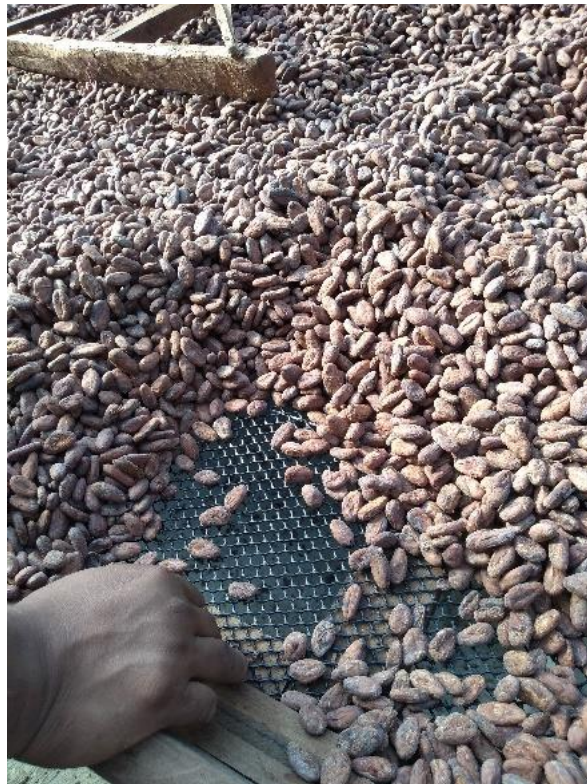
Para la construcción de las bandejas se tomó como referencia las experiencias con el secado actual de las asociaciones. Como se puede observar en la Ilustración 12, el cacao presenta un alto contenido de moho y la madera sobre la que se encuentra reposada también se puede observar que se encuentra en mal estado. Esto puede ser signo de una mala ventilación, lo que se traduce en un alto contenido de humedad y por lo tanto facilita la proliferación de microorganismos. Como se puede observar en la Ilustración 13, una de las asociaciones logró solucionar dicho problema implementando en la base de las bandejas una capa de malla diamante HDPE para mejorar la ventilación a través del espesor del producto a secar; para las bandejas del módulo del secador se decidió utilizar dicho mallado y así facilitar el flujo de aire a través del secador.

Ilustración 12 Muestras de cacao con moho de los procesos de secado actuales



Fuente: Centro es estudios agrícolas y alimentarios (CEAA)

Ilustración 13 Mallado plástico para bandejas de secado



Fuente: Centro es estudios agrícolas y alimentarios (CEAA)

## C. ANÁLISIS FINANCIERO

En diciembre del 2018 se realizó una visita a FUNDALACHUA, en donde se realizó una serie de entrevistas a los miembros del comité. Durante dicha visita se tomaron fotos como referencia para conocer el estado de los secadores actuales, precio de venta del producto y cantidad de producto cosechado. Según dichos datos se realizó el siguiente análisis.

En la Tabla 8 se realizó un cálculo sobre la cantidad de lotes a secar en un módulo de secador solar para recuperar la inversión. Utilizando la información proporcionada previamente en la Tabla 2, se conoce el precio que se le paga a los agricultores por quintal de cacao seco. Se sabe que el secador al final del proceso produce un total de 45 lb (20kg) de cacao seco, por lo que se podía conocer la ganancia bruta por cada lote secado.

Para saber cuántos lotes deberían de secar para poder recuperar la inversión se dividió la inversión inicial de Q2,600.00 dentro de la ganancia bruta, donde en promedio las asociaciones podrían recuperar la inversión después de la venta de 5 lotes de secado (Se aproxima hacia arriba). El proceso de secado en el módulo de secador solar tarda teóricamente un total de 4 días, por lo que en dimensionales temporales, la inversión se podría recuperar en un promedio de 20 días.

Tabla 8 Recuperación de inversión

<b>TABLA DE PRECIOS</b>			
<b>FUNDACIÓN</b>	<b>PRECIO</b>	<b>GANANCIA BRUTA POR LOTE SECADO</b>	<b>CANTIDAD DE LOTES A SECAR</b>
CACAO VERAPAZ	Q 1,300.00	Q 585.00	4.4
CHOCOLATE IMPERIAL	Q 1,100.00	Q 495.00	5.3
LACHUA	Q 1,500.00	Q 675.00	3.9
MALDONADO	Q 1,600.00	Q 720.00	3.6
		<b>PROMEDIO</b>	<b>4.3</b>

Fuente: Elaboración propia

En las entrevistas de campo se dio a conocer que en la época pico de cosecha, se pueden llegar a recolectar hasta 2.5 Ton (5,511 lb) de cacao en baba quincenalmente. Actualmente cuentan con secadores con dimensiones de 17x6 m y con una capacidad de secado de 22 quintales, con un tiempo de secado entre 9 a 31 días. Para poder comprar el desempeño del módulo de secador solar con el diseño de secador actual, primero se determinó la cantidad de secadores necesarios para poder suplir la demanda en las épocas pico de cosecha. Como se puede observar en la Tabla 9, la cantidad de módulos necesarios para cubrir la época pico serían 13.

Tabla 9 Cantidad de módulos necesarios para cubrir la época pico de cosecha

	Cantidad	
Demanda en época pico (lb)	5511	quincenalmente
Demanda en época pico (lb)	2756	semanalmente
Capacidad de secado módulo secador (lb)	210	semanalmente
Cantidad de módulo necesario para cubrir la demanda (lb)	13	módulos

Fuente: Elaboración propia

Al conocer la cantidad de módulos para cubrir la época pico, se comparó con el secador existente en la asociación, asumiendo que se instalarían los 13 módulos.

## VII. RESULTADOS

Se logró proyectar una disminución del contenido de humedad del grano de cacao en un periodo de 4 días de secado. Se utilizaron estimaciones de humedad relativa climáticas, temperatura, proyectando las horas activas de secado y la cantidad de grano a secar y así como las propiedades del grano.

El colector solar fue diseñado para poder trabajar en condiciones climáticas de alta nubosidad en donde la radiación es de  $535 \frac{W}{m^2}$  (Ver Tabla 11). Este valor se encuentra en un rango de radiación medio baja, esto implica que el colector solar esta sobredimensionado y por lo tanto puede operar en un rango amplio de condiciones climáticas.

Un total de 10 módulos de secador solar fueron distribuidos en tres áreas de Alta Verapaz: Lachuá, Santa María y Cahabón. Los materiales elegidos para la construcción del secador fueron elegidos para que fueran de fácil accesibilidad y no se necesitara maquinaria especializada para su construcción. El precio final del secador fue de Q2,600.00, donde los agricultores podrían recuperar la inversión en 20 días aproximadamente, como se mencionó en la sección de análisis financiero. Por lo tanto, es un modelo que se puede replicar en diferentes regiones de Guatemala.

Tabla 10 Comparación de dimensiones entre secadores

	MÓDULO DE SECADOR SOLAR	SECADOR ACTUAL
Largo (m)	21.4	17
Ancho (m)	2.7	6
Área (m)	56.7	102
Tiempo de secado (días)	8	9-31
Capacidad (Quintales)	27	22

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 10, el área requerida para la instalación sería de  $56.7 m^2$  a comparación del área utilizada con el secador con el que cuentan actualmente de  $102 m^2$ . Esto quiere decir que se requiere 1.8 veces más espacio en el secador actual que en la instalación de los módulos del secador. Con el diseño de módulo de secador solar, el tiempo de secado para 27 quintales de cacao en baba sería de aproximadamente 8 días, cubriendo la demanda semanal de la época pico de cosecha. Por el otro lado el secador actual tiene una capacidad de secado de 22 quintales, con un rango de tiempo entre 9-31 días; esto quiere decir que el secador no puede cumplir con la demanda semanal en la época pico de cosecha. Por lo tanto, el diseño de módulo secador solar es más eficiente en utilización de espacio, ya que en una menor área puede secar una mayor cantidad de producto y a su vez ofrece un tiempo de secado menor. Adicionalmente, el diseño modular permite la implementación de más módulos a medida que la producción de cacao incrementa. Esto implica que si en un

futuro la demanda incrementa puede implementar más secadores, ya sea de forma paralela o en serie. Para más información se puede observar las distintas posiciones de instalación en el anexo 2, que es un manual de instalación, operación y mantenimiento del módulo de secador solar.

Un factor que se tomó en cuenta al momento del diseño del secador fue la hermeticidad, para evitar la entrada de agentes contaminantes como agua, animales, polvo, insectos, entre otros. Debido a que esto reduce la calidad del producto final y por lo tanto su precio. El colector solar se posicionó a 37 cm sobre el suelo para evitar que el viento hiciera entrar tierra dentro del colector solar y que esta no lograra nunca llegar hacia la cámara de secado. Para evitar la entrada de agua pluvial hacia el secador se tomaron las siguientes medidas. En la unión entre el colector solar y la cámara de secado se colocó un sellador impermeable. Se colocó una inclinación en la chimenea para que el agua por medio de gravedad cayera fuera del secador. Otra medida que se tomó fue el uso de sello en el marco de las puertas para lograr un cerrado hermético y así mismo la aplicación de sellante en las uniones entre lámina galvanizada y tubería exterior para asegurar un cierre perfecto, alargar el tiempo de vida del secador y evitar la filtración de agentes externos.

Utilizando el programa de diseño 3D Autodesk Inventor, se realizó un juego de planos de construcción del secador. Este se conforma por 34 planos en donde se puede encontrar la lista de materiales necesarios para su construcción, recomendaciones para el ensamblaje y dimensiones de cada parte del secador tanto de estructurales como recubrimientos. Estos planos se pueden encontrar en el anexo 1.

Como parte del proceso de implementación del secador en las comunidades se realizó un manual de instalación, operación y mantenimiento del secador. El manual describe las configuraciones recomendadas en las que se puede instalar el secador, una guía para la elección del área de instalación y los procedimientos recomendados para el uso del secador para asegurar que se aproveche de una mejor manera su desempeño. Este fue impreso y entregado a cada una de las comunidades a las que se les construyó el secador; este manual se puede encontrar en el anexo 2.

El anexo 3 es una guía de medición de campo diseñada para poder asegurar una medición homogénea en los secadores construidos actualmente y futuras réplicas de medición de campo. En esta se encuentra una descripción de las partes del secador, los equipos necesarios y puntos críticos a medir.

Tabla 11 Incidencia de la radiación solar sobre colector solar

Horas del Día	LST	Angulo Horario (ω) [deg]:	Angulo de Altura Solar (αs) [deg]:	Ángulo del Zenit del Sol (θz) [deg]:	Ángulo del Acimut Solar (γs) [deg]:	Acimut Solar de la Superficie (γ) [deg]:	Angulo de Incidencia (θ) [°]:	Irradiación Normal Directa (Gnd) [W/m <sup>2</sup> ]	Radiación directa sobre superficie (G_D) [W/m <sup>2</sup> ]:	G_b,T/G_bn	Radiación Difusa Incidente (G_d) [W/m <sup>2</sup> ]:	Incidencia de radiación difusa sobre superficie (q/A_w) :	Radiación reflejada superficie (G_R) [W/m <sup>2</sup> ]:	Radiación total incidente superficie (Gt) [W/m <sup>2</sup> ]:
1:00:00	1:01:00	-164.75	-60.74	150.74	32.05	147.95	132.74	0	0	0.45	0	0	0	0
2:00:00	2:01:00	-149.75	-50.94	140.94	52.03	127.97	122.94	0	0	0.45	0	0	0	0
3:00:00	3:01:00	-134.75	-38.65	128.65	63.73	116.27	110.65	0	0	0.45	0	0	0	0
4:00:00	4:01:00	-119.75	-25.28	115.28	71.23	108.77	97.28	0	0	0.50	0	0	0	0
5:00:00	5:01:00	-104.75	-11.39	101.39	76.59	103.41	83.39	0	0	0.60	0	0	0	0
6:00:00	6:01:00	-89.75	2.79	87.21	80.82	99.18	69.21	8.94	3.17	0.74	0.03	0.00	2.33	5.53
7:00:00	7:01:00	-74.75	17.12	72.88	84.52	95.48	54.88	149.68	86.12	0.91	0.44	0.01	95.97	182.53
8:00:00	8:01:00	-59.75	31.55	58.45	88.13	91.87	40.45	190.97	145.31	1.06	0.56	0.01	190.04	335.91
9:00:00	9:01:00	-44.75	46.00	44.00	92.18	87.82	26.00	208.01	186.96	1.20	0.61	0.01	270.12	457.69
10:00:00	10:01:00	-29.75	60.40	29.60	97.91	82.09	11.60	216.37	211.95	1.28	0.64	0.02	331.24	543.82
11:00:00	11:01:00	-14.75	74.45	15.55	110.53	69.47	2.45	220.38	220.18	1.30	0.65	0.02	369.41	590.24
12:00:00	12:01:00	0.25	84.10	5.90	182.42	2.42	12.10	221.57	216.64	1.28	0.65	0.02	382.12	599.42
13:00:00	13:01:00	15.25	74.00	16.00	250.19	70.19	2.00	220.30	220.16	1.30	0.65	0.02	368.53	589.34
14:00:00	14:01:00	30.25	59.92	30.08	262.33	82.33	12.08	216.17	211.38	1.28	0.63	0.02	329.54	541.55
15:00:00	15:01:00	45.25	45.51	44.49	267.97	87.97	26.49	207.62	185.83	1.19	0.61	0.01	267.72	454.16
16:00:00	16:01:00	60.25	31.06	58.94	272.00	92.00	40.94	190.13	143.63	1.06	0.56	0.01	187.08	331.26
17:00:00	17:01:00	75.25	16.64	73.36	275.60	95.60	55.36	147.35	83.76	0.90	0.43	0.01	92.64	176.83
18:00:00	18:01:00	90.25	2.31	87.69	279.31	99.31	69.69	4.44	1.54	0.74	0.01	0.00	1.10	2.65
19:00:00	19:01:00	105.25	-11.86	101.86	283.57	103.57	83.86	0	0	0.60	0	0	0	0
20:00:00	20:01:00	120.25	-25.74	115.74	288.98	108.98	97.74	0	0	0.50	0	0	0	0
21:00:00	21:01:00	135.25	-39.09	129.09	296.58	116.58	111.09	0	0	0.45	0	0	0	0
22:00:00	22:01:00	150.25	-51.32	141.32	308.48	128.48	123.32	0	0	0.45	0	0	0	0
23:00:00	23:01:00	165.25	-60.99	150.99	328.82	148.82	132.99	0	0	0.45	0	0	0	0
24:00:00	24:01:00	180.25	-64.94	154.94	359.41	179.41	136.94	0	0	0.45	0	0	0	0
<b>TOTAL DIARIO</b>													<b>4,811</b>	
<b>RADIACIÓN HORAS ACTIVAS</b>													<b>535</b>	

Fuente: Elaboración propia

Una empresa constructora se encargó de la manufactura e instalación de 10 módulos de secador solar en tres comunidades de Alta Verapaz, siendo estas Cahabón, Santa María y Lachuá. La construcción se realizó en un tiempo estimado de un mes y medio. El resultado final se puede observar en las ilustraciones 11 y 12. El costo total de una unidad de secado fue cotizado el 25 de junio del 2019 por Q2,613.00; este costo únicamente incluye materiales.

Ilustración 14 Vista frontal secador armado



Fuente: Centro de estudios agrícolas y alimentarios (CEAA)

Ilustración 15 Vista trasera, secador armado



Fuente: Centro de estudios agrícolas y alimentarios (CEAA)

## VIII. CONCLUSIONES

Por medio de los planos realizados y el resultado de los cálculos se puede determinar que se es capaz de fabricar un secador que sea replicable en distintas regiones de Guatemala, el cual pueda reducir el porcentaje de humedad de los granos de cacao por medio de la energía solar.

El diseño del secador solar modular cuenta con las capacidades teóricas para lograr reducir el porcentaje de humedad de los granos de un 65% a un 7% en un periodo de tiempo de 4 días. Siendo capaz de funcionar aun en días nublados, y reducir el tiempo de secado en caso la radiación solar incrementa (día soleado sin nubes).

El secador pudo ser implementado en distintas áreas de Alta Verapaz en un periodo de tiempo de mes y medio, por lo que se considera que se cumplió con el objetivo de diseñar un secador que permita ser replicado en distintas regiones de Guatemala.

El diseño modular permite la instalación del secador según las necesidades específicas de las asociaciones que los desean implementar. En caso tengan proyectado aumentar su producción de cacao pueden agregar un módulo más, haciendo una inversión relativamente baja que se puede pagar aproximadamente en 20 días o 5 lotes de secado.

El tiempo de secado de los deshidratadores solares en teoría varían entre un rango de 30-36 horas cuando el secador tiene una carga de densidad entre  $5-18 \frac{kg}{m^2}$  y la radiación solar está en un rango de  $300-500 \frac{W}{m^2}$  (F.K Forson, 2006). En el caso del deshidratador solar se contaba con una carga de  $19 \frac{kg}{m^2}$  y una radiación estimada de  $535 \frac{W}{m^2}$ , por lo que se puede estimar que el tiempo de secado va a variar en el mismo rango de tiempo.

El diseño cumple con los procedimientos recomendados del Código Internacional de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de cacao (CAC/RCP 72-2013) ya que el cacao se encuentra sobre una superficie elevada, la capa de granos de cacao no excede los 6 cm de espesor. Debido a su diseño hermético, el producto está protegido de la lluvia se no permite el acceso de animales.

## **IX. RECOMEDACIONES**

- 1) Para la construcción de futuros secadores se sugiere que se utilice el modelo de secador solar desarrollado durante esta investigación como punto de partida. Se recomienda utilizar como guía para mediciones de campo el anexo 4, en el cual se tiene en detalle los puntos críticos de medición del secador y los procedimientos sugeridos.
- 2) Para futuras construcciones se sugiere que se evalúe la viabilidad económica de la implementación de ventiladores utilizando como fuente de energía paneles solares en la entrada de aire del colector solar para poder tener un proceso de secado más controlado.
- 3) Implementar un mecanismo de nivelación del secador para que se pueda instalar con facilidad en cualquier tipo de superficie (sin necesidad de aplanar el suelo o colocar objetos de nivelación).
- 4) Para facilitar el cambio de posición de las bandejas del segundo nivel al primero y viceversa, se podría considerar la construcción de un mecanismo tipo carrusel.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- A. Tinoco, H., & Yomali Ospina, D. (Junio de 2010). *Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado*. (E. d. Antioquia, Ed.) *EIA*(13), 11.
- Ac Pangán, W. O. (Noviembre de 2017). *Plan de negocios para el establecimiento de una exportadora de cacao fino de arona en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- AGEXPORT Guatemala. (2017). *Cacao fino de aroma guatemalteco reconocido como uno de los mejores en el mundo*. Export, pág. 4. Obtenido de [www.export.com.gt](http://www.export.com.gt)
- ANACAFE. (2004). *Cultivo de cacao*. Guatemala : Programa de diversificación de ingresos en la Empresa Cafetalera.
- Bela, L. (2013). *Evaluación de tres tipos de secado en la calidad del grano de cacao en la estación experimental de Sapecho-La Paz*. Bolivia : Universidad mayor pacensis dina andre ae.
- Bertorelli, O. d., Ligia, G. d., & Lucía, & R. (2009). *Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol*. *Agronomía Tropical*, 59(2), 119-127. Obtenido de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2009000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200001&lng=es&tlng=es).
- cedar lake ventures, inc. (2018). *Weather Spark* . Obtenido de <https://es.weatherspark.com/m/11722/5/Tiempo-promedio-en-mayo-en-Cob%C3%A1n-Guatemala#Sections-Humidity>
- Cegel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- CONABIO. (1753). *Theobroma cacao*. *Species Plantarum* 2, 6.
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). *Manual de beneficio del cacao* . Medellín: Secretaría de Agricultura de Antioquia, Corporación para Investigaciones Biológicas, Grupo GIEM.

- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). *Manual del baneficado del cacao*. Medellín, Colombia: Secretaría de agricultura de antioquía, Compañía Nacional de chocolates S.A, CIB, Grupo GIEM Universidad de Antioquía.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (cuarta ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- F.K Forson, M. N. (2006). *Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb*. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Department of mechanical engineering . doi:10.1016/j.renene.2006.12.003
- FAO. (2013). Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación del cacao por ocratozina A. doi:CAC/RCP 72-2013
- Guzman Silva, V. H. (2016). *Anexo 4: Diagnóstico de la cadena de Cacao*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala.
- INSIVUMEH.(2010).INSIVUMEH.Obtenido de [http://www.insivumeh.gob.gt/estaciones/ALTA%?\\_\\_\\_\\_20VERAPAZ/Coban/Humedad%20Relativa%20COBAN.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/estaciones/ALTA%?____20VERAPAZ/Coban/Humedad%20Relativa%20COBAN.htm)
- J. M. Teixeira, F. M. (2016). *Desarrollo de un modelo matemático para dimensionar un deshidratador solar directo de cacao*. Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
- Larios, R. (9 de Junio de 2014). Producción de cacao se incrementará en 50%. *Prensa Libre* , pág. 1.
- McQuiston, F., Parker, J., & Spitler, J. (2005). *Heating, Ventilating, and air conditioning: análisis and design*. JohnWiley & sons.
- Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago, Chile: Oficina regional para la FAO en america latina y el caribe.
- República de colombia . (s.f). Cultivo de cacao (Theobroma Cacao). *CONNECTA RURAL* , 34.
- Rigel, J. L. (2005). *Secado de cacao*. Aragua: Centro Nacional de investigaciones agrícolas.
- S.D. Dina, H. A. (2014). *Study on effectiveness of continuos solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans*. University of Sumateara Utara, Mechanical Engineering, Research and standarisation Bureau Medan, Mechanical Systems of Engineering, Indonesia . Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2014.11.003>

- Say, E., Villalobos, A., Yin, S., & Somarriba, E. (2013). *Uso actual y oferta de tecnologías sostenibles en las cadenas de valor del cacao en Guatemala para mejorar la seguridad alimentaria*. Guatemala : USAID; CAC; RUTA; UNOPS.
- Tapia, S. (2017). *Situación actual de la cadena de valor del cacao en Guatemala*. Guatemala : COSUDE, Cadena Cacao, VECO Mesoamérica.
- Teneda, W. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao* . Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Vasquez Tajtaj, E. G. (agosto de 2005). *Situación actual del cultivo del cacao (Theobroma Cacao L.)*, En el departamento de Izabal. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía, 75. Guatemala.

## **XI. ANEXOS**

Anexo 1: Planos módulo secador solar .....	Pág.42
Anexo 2: Manual de instalación, operación y mantenimiento.....	Pág.76
Anexo 3: Guía para mediciones en campo.....	Pág. 86

# **MÓDULO SECADOR SOLAR DE CACAO**

**MANUAL DE INSTALACIÓN,  
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
(2019)**

---

# MÓDULO SECADOR SOLAR DE CACAO

---

## Contenido

Prefacio	1
Instalación	2
Operación	6
Mantenimiento	8

## Prefacio

---

Este manual tiene como propósito asistir en el proceso de instalación y operación del secador modular de cacao, al igual que guiar a los usuarios para lograr el mayor provecho del secador.

El secador consiste esencialmente en dos estructuras principales: Colector solar y cámara de secado. Debido a que la fuente de calor del secador es la radiación solar, el colector solar es el encargado de elevar la temperatura del aire previo a su entrada a la cámara de secado. Esto se logra utilizando una lámina de hierro negro la cual tiene alta capacidad de absorber calor.

La cámara de secado contiene cuatro bandejas en las cuales se colocará el material a secar, una entrada de aire y una chimenea en donde se expulsa el aire humedecido. Las paredes laterales de la cámara de secado cuentan con un recubrimiento de lámina galvanizada y duroport, que funcionan como aislamiento

Para información sobre fabricación del módulo de secador solar de cacao, referirse a planos de construcción, donde podrá encontrar especificaciones de materiales, acabados, dimensiones, dibujos, etc.

## Instalación

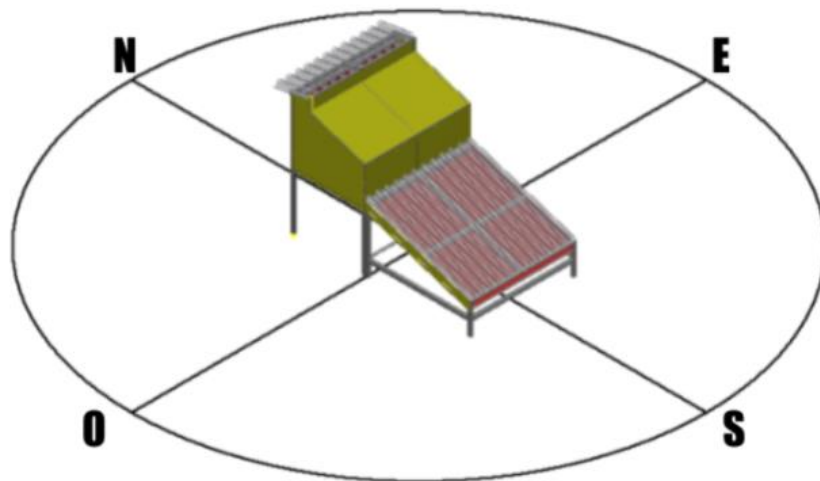
---

### 1. Notas generales sobre el área de instalación

- El terreno debe de estar nivelado, plano y compacto.
- No deben de existir objetos que generen sombra tales como construcciones o arboles a 5m del área en el que se instalará el secador, ya que este esta diseñado para funcionar con radiación solar.
- El dispositivo no se debe de instalar cerca de fuentes de humo.

### 2. Orientación del secador

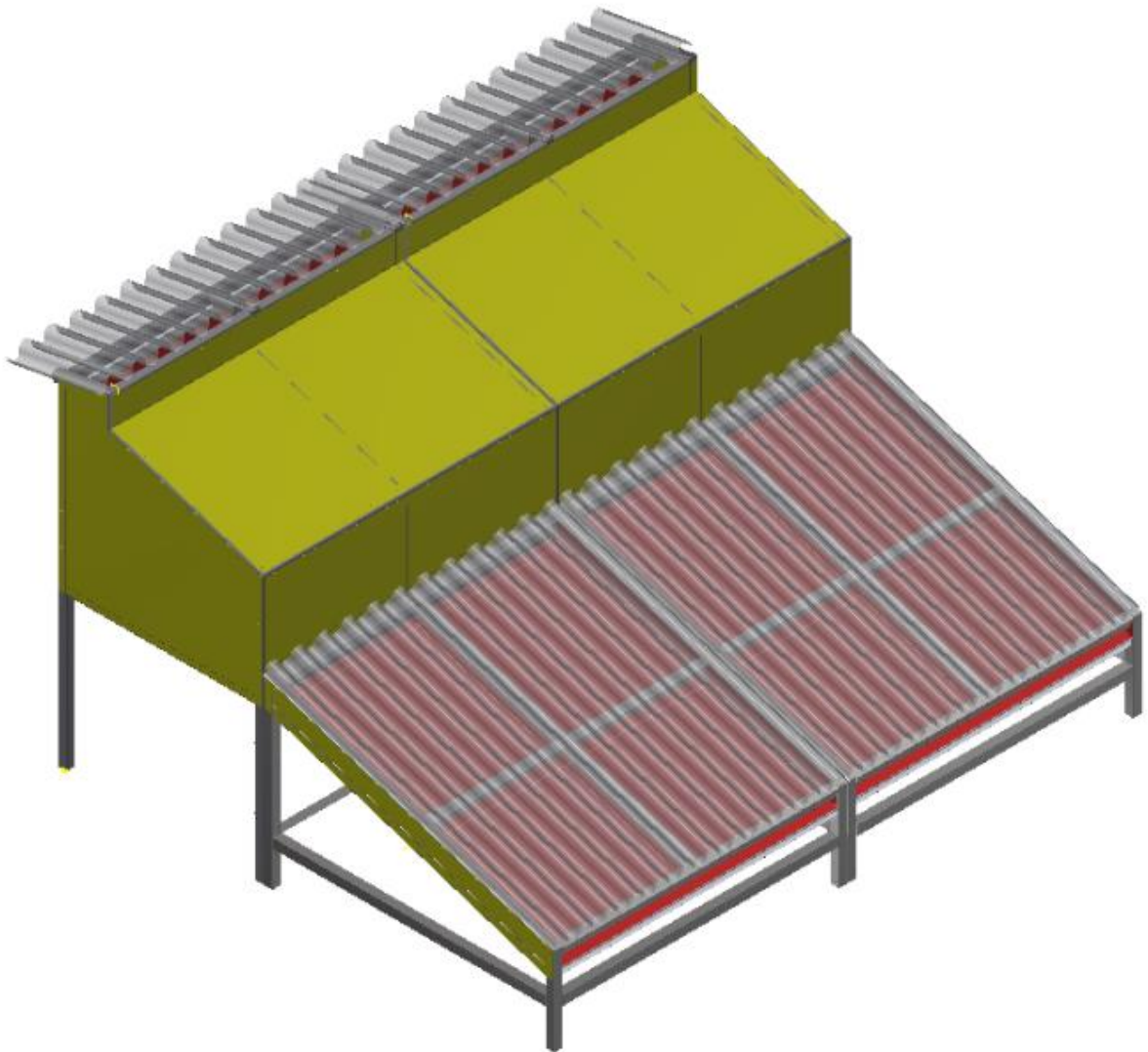
- El secador debe de estar posicionado hacia el sur como se puede observar en la Imagen 1.
- El secador fue diseñado para operar en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala cuya latitud es de 15.48°



*Imagen 1: Orientación secador solar*

- Si se desea instalar más de un secador existen dos configuraciones de instalación: en paralelo y en serie.

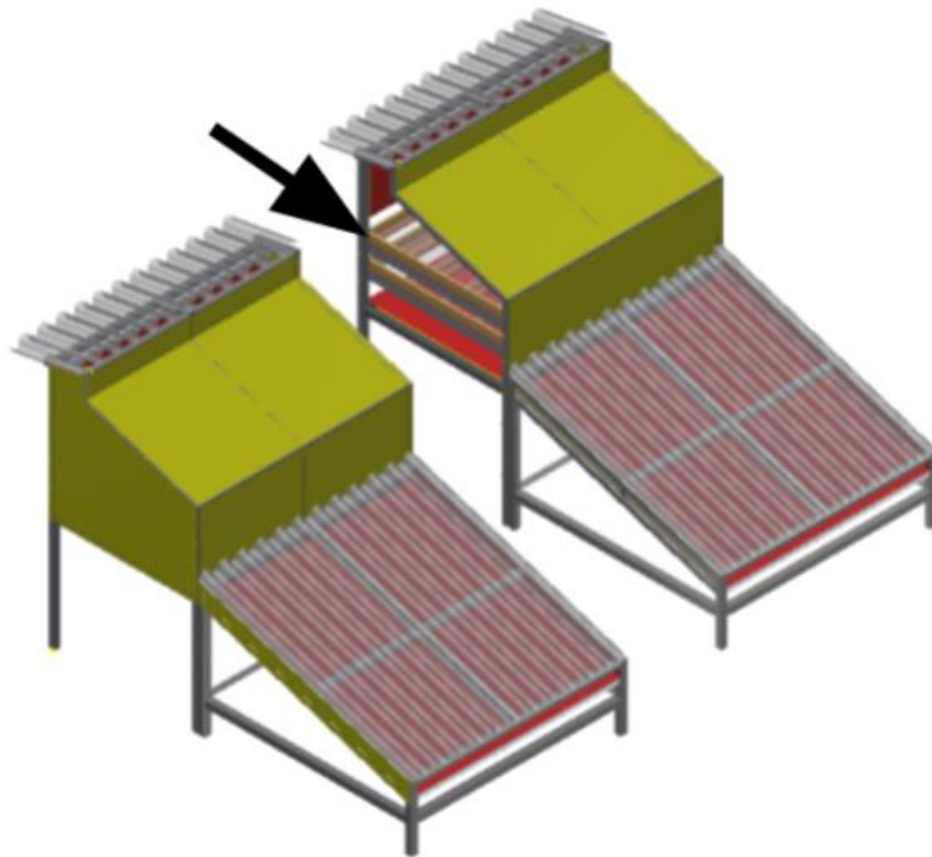
Instalación en paralelo: Es la configuración en la cual se tiene una conexión sucesiva de secadores (ver Imagen 2).



*Imagen 2: Configuración en paralelo*

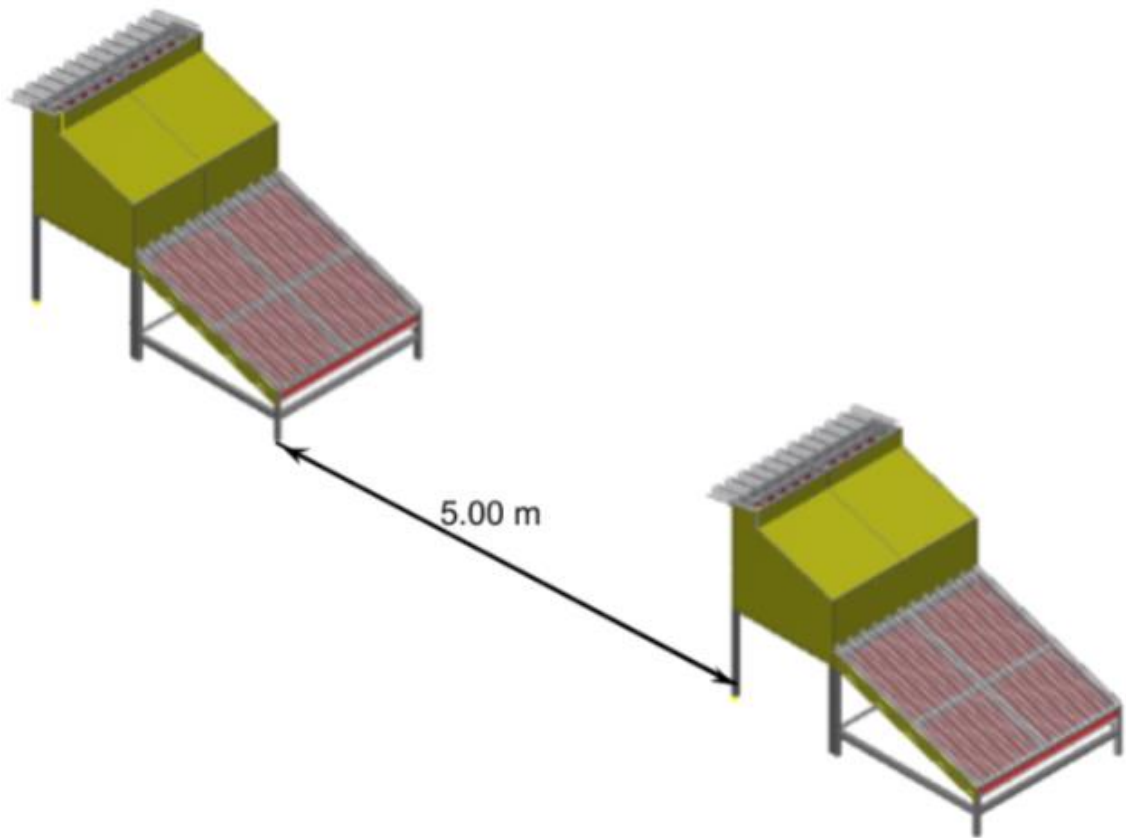
Para la instalación en paralelo tomar las siguientes consideraciones:

1. Los secadores deben de estar unidos por medio de tornillos para facilitar la instalación.
2. Se pueden omitir los recubrimientos de las paredes laterales que unen a ambos secadores ( ver Imagen 3).
3. Para asegurar unión hermética entre ambos secadores aplicar sellador entre tuberías que unen a ambos secadores.



*Imagen 3: Configuración en paralelo- sin recubrimientos laterales*

Instalación en serie: Es la configuración en la cual los secadores están dispuestos de forma lineal en la misma dirección uno del otro. Como se puede mostrar en la Imagen 4, los secadores deben de posicionarse al menos a 5 metros de distancia para evitar que se den sombra y también para evitar que afecte el flujo de viento.



*Imagen 4: Configuración en serie*



## Operación

---

1. Previo a la manipulación del grano, lavarse las manos con agua y jabón.
2. El cacao se introduce a la cámara de secado después del proceso de fermentación, con una humedad inicial entre 55%-60%. No se debe de mezclar el cacao con diferentes contenidos de humedad dentro del mismo lote.
3. Cada módulo tiene capacidad de secar 120 lb de cacao fermentado húmedo, incrementar esta cantidad puede provocar que el desempeño del secador no sea el correcto. Un módulo cuenta con cuatro bandejas, cada bandeja tiene una capacidad de secado de 30 lb, como un aproximado se puede estimar esta cantidad llenando cada bandeja hasta 4 cm máximos de altura.

Llenarlo más de esta altura causará que no pueda fluir de forma correcta el aire en el secador, además de que aumenta la probabilidad de proliferación de moho en el grano.

4. Se sugiere que el mezclado del cacao se acople a la etapa de secado en la que se encuentre el grano. En el primer día se sugiere que el grano se mezcle 3 veces y el resto de los días puede ser más espaciada. De preferencia realizarlas en las primeras horas de la mañana y en tarde. Este es un proceso importante para asegurar la homogeneidad del secado en los granos. El procedimiento para el secado de cacao al sol se divide principalmente en 2 partes: La fase 1
5. La herramienta utilizada para la mezcla de los granos debe de ser de madera.
6. No se deben de mantener las puertas del secador abiertas por un tiempo largo ya que se perderá el calor almacenado. Las puertas abiertas son la mayor fuente de pérdida de aire caliente, por lo que aconsejas tenerlas abiertas el menor tiempo posible.
7. No abrir ambas puertas del secador al mismo tiempo.

8. En las mañanas se sugiere el intercambio de bandejas. Las bandejas que se encontraban en la parte inferior del secador pasarlas a la parte superior y viceversa. Esto debido a que las bandejas que se encuentran en la parte inferior tendrán mayor tendencia a secarse primero, por lo que debe de intercambiarse para lograr homogeneidad en el secado. El tiempo estimado de secado es de 4 días, asumiendo que habrá 9 horas de sol diarias.
9. Se sugiere que el intercambio de bandejas se realice entre dos personas.
10. Retirar el cacao de la cámara de secado cuando el mismo alcance un porcentaje de humedad del 7%. La humedad del grano deberá ser medido mediante el equipo de medición de humedad del grano.

## Mantenimiento

---

1. Al finalizar cada secado se sugiere que se limpien las bandejas para remover partículas restantes de los granos de cacao antes de introducir un nuevo lote de secado. Esto dándole vuelta a las bandejas, para que la materia que queda dentro caiga al suelo. Si la superficie de las bandejas se encuentran húmedas, se deberán de secar previo a colocar el grano.
2. Debe de limpiarse con regularidad la lámina acanalada de policarbonato ya que esta es la encargada de recibir y transmitir la radiación solar, por lo que de encontrarse sucia se reduce su efectividad. Esto por medio de una escoba o trapo para remover tierra, hojas o cualquier agente conteniente.
3. Chequear con regularidad las uniones entre lámina galvanizada y tubería sean herméticas para evitar pérdidas de calor y entrada de agua u otros agentes contaminantes. En caso exista una falla en la unión aplicar nuevamente sellador Sikaflex 221.
4. Verificar mensualmente que los angulares que se encuentren dentro del secador solar cuenten con una capa de pintura negra mate anticorrosivo. De no contar con esta capa el hierro empezará un proceso de oxidación que puede ser dañino para el producto.  
  
Los angulares están unidos por medio de tornillos hexagonales, por lo que pueden desacoplarse con facilidad para ser pintados con pintura negra mate anticorrosivo de ser necesario.



# MÓDULO SECADOR DE CACAO

---

GUÍA PARA MEDICIÓN EN CAMPO

## Tabla de contenido

PREFACIO.....	3
CONCEPTOS PRELIMINARES .....	4
EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	5
EFICIENCIA COLECTOR SOLAR .....	6
EFICIENCIA DEL SECADOR.....	8
CAPACIDAD DE SECADO .....	10
REGISTRO DE MEDICIONES MANUALES.....	11

# PREFACIO

Este documento tiene como propósito asistir en el proceso de medición en campo de los parámetros para determinar la eficiencia del módulo de secador de cacao. Además, proporcionar una guía para poder estandarizar el proceso de medición para que los resultados puedan ser comparados con otros módulos instalados en distintas localidades.

El módulo de secador solar tiene como objetivo principal reducir la humedad del grano de cacao de un 55-60% a una humedad final de 7% en un periodo de 4 días. La importancia de realizar las mediciones de eficiencia del módulo de secador es poder evaluar el diseño actual; al igual que proponer puntos de mejora en futuros diseños. Debido a que es un modelo que depende en su totalidad de las condiciones ambientales para funcionar, dependiendo de la localidad en la que se instale el desempeño del secador podría variar y necesitar ajustes para lograr mejorar su funcionamiento.

Para información sobre fabricación del módulo de secador solar de cacao, referirse a planos de construcción, donde podrá encontrar especificaciones de materiales, acabados, dimensiones, dibujos, etc.

Para información sobre instalación, operación y mantenimiento referirse a manual de instalación, operación y mantenimiento del módulo secador de cacao.

# CONCEPTOS PRELIMINARES

La eficiencia en términos generales es la capacidad para realizar o cumplir una función. Para un secador, es la capacidad de reducir el contenido de humedad de un producto, que en este caso es el cacao. Esto se realiza por medio de la evaporación de la masa de agua que se encuentra dentro del grano. A la medida de la cantidad de agua que se encuentra dentro del grano de cacao se le conoce como humedad. Este es el factor más importante para medir, ya que es el que determina si el secado fue efectivo o no. La efectividad del proceso de secado radica directamente en el resultado del mismo, la humedad del grano del cacao debe reducirse hasta un 7% para ser considerado un proceso exitoso.

El clima de la ubicación tiene un impacto directo en la funcionalidad del secador, de modo que este dicho funcionamiento no será el mismo en dos localidades distintas. Este consta de dos partes principales: el colector solar y la cámara de secado. El colector solar tiene la función de calentar el aire previo a entrar a la cámara de secado. Esto lo realiza por medio de un material que almacena el calor, que en este caso es una lámina de hierro negro, que para mejorar sus propiedades y protegerlo de las inclemencias climáticas fue pintado de pintura negra mate anticorrosiva. El aire caliente luego pasa a la cámara de secado, en donde se encuentran 4 bandejas que contienen el cacao. El proceso de extracción de humedad de los granos da lugar en la cámara de secado, para luego dar lugar a una evacuación del aire húmedo mediante una chimenea ubicada en esta misma cámara. Para evitar la pérdida de calor la cámara de secado contiene aislamiento en sus paredes laterales y frontales.

Para medir el desempeño del equipo se utilizarán dos parámetros: eficiencia térmica y capacidad de secado. La eficiencia térmica indica el aprovechamiento de energía provista al secador de tal modo que, a mayor eficiencia térmica, mayor rapidez de secado.

La razón entre la cantidad de grano que se produce y el tiempo que se tarda es definido como la capacidad de secado. Este es uno de los parámetros más utilizados para medir el desempeño de un secador y depende de factores tales como la humedad inicial del grano, la temperatura de secado, entre otros.

# EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para la medición de campo es necesario contar con los siguientes equipos:

Equipo	Modelo	Cantidad
Termómetro digital	Ecowitt DS-102	3
Psicómetro digital	Ecowitt DS-102	2
Anemómetro		1
Medidor de humedad de granos		1
Balanza		1
Laptop		1

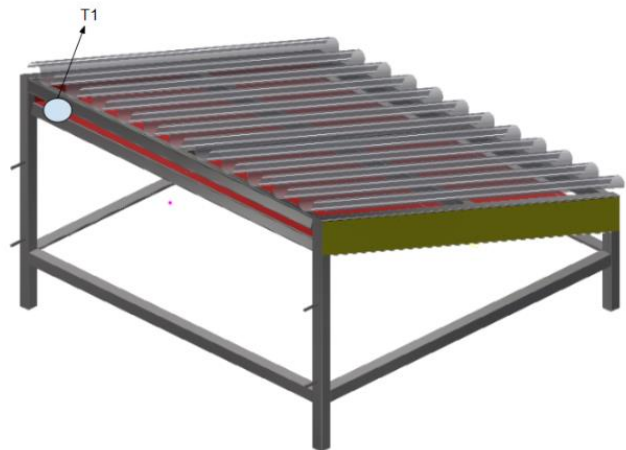
# EFICIENCIA COLECTOR SOLAR

## A. Material y equipo necesario

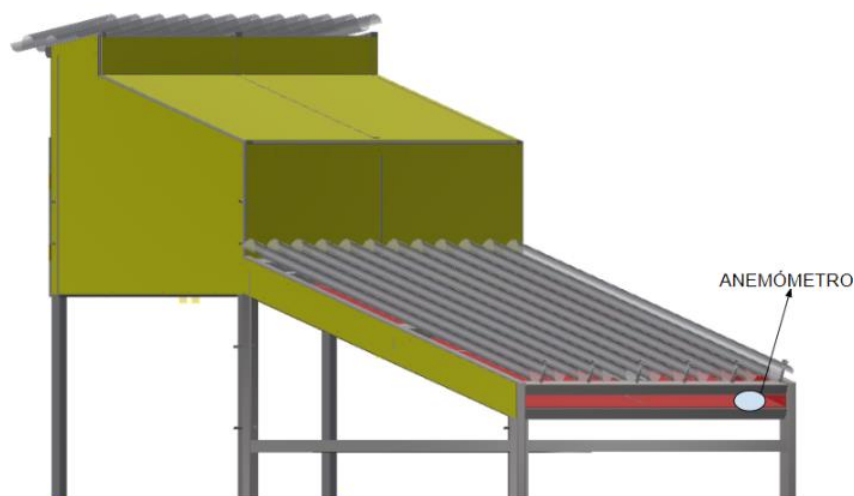
Equipo	Cantidad
Termómetro digital	2
Anemómetro	1
Psicómetro digital	1
Libreta con lapicero	1

## B. Posición de equipo de medición

Termómetro digital/ Psicómetro digital	
<b>Temperatura ambiente (<math>T_{amb}</math>)</b>	<b>Temperatura a la salida del colector solar (<math>T_1</math>)</b>
La temperatura y humedad relativa se deben de tomar en cualquier punto mientras se encuentre alejado al menos 30 cm del secador.	Se debe de colocar el termómetro digital en la salida de aire del colector solar. En esta misma posición se deben de tomar las mediciones con el psicómetro digital.



### Anemómetro ( $\dot{m}$ )



Debe de colocarse en la entrada de aire del colector solar

### C. Metodología

1. Colocar el equipo de medición en las posiciones mencionadas en el inciso B.
2. Realizar medidas con el anemómetro cada 5 horas, desde las 7:00 hasta las 18:00. Este procedimiento se debe repetir diariamente desde el primer día de secado hasta que la carga de cacao sea removida del secador. Estas medidas deben de ser apuntadas en un cuaderno, apuntando el día y la hora en las que fueron tomadas. Esto servirá para poder tener un promedio del flujo de aire entrante en el sistema.
3. Medir la humedad del ambiente y dentro del secador como se puede ver en el inciso B. Estas medidas se deben de tomar con una periodicidad de 2 horas, desde las 7:00 hasta las 18:00.

Nota: en caso de que se quiera realizar la medición de la evidencia del colector solar con el módulo del secado sin cacao, entonces se deberán realizar estas mediciones un solo día.

### D. Cálculos

La eficiencia térmica del colector solar se puede describir mediante la siguiente ecuación:

$$n_c = \frac{\dot{m} * C * (T_1 - T_{amb})}{A_c * I} * 100$$

Donde:

$n_c$ : *Eficiencia del colector solar (%)*

$\dot{m}$ : *flujo másico de aire* ( $\frac{kg_{aire}}{s}$ )

$C$ : *Calor específico del aire* =  $1007 \frac{J}{kg} * K$

$T_1$ : *Temperatura a la salida del colector solar* ( $^{\circ}C$ )

$T_{amb}$ : *Temperatura ambiente* ( $^{\circ}C$ )

$A_c$ : *Área del colector solar* =  $2.6m^2$

$I$ : *Irradiación solar incidente* =  $400 \frac{W}{m^2}$

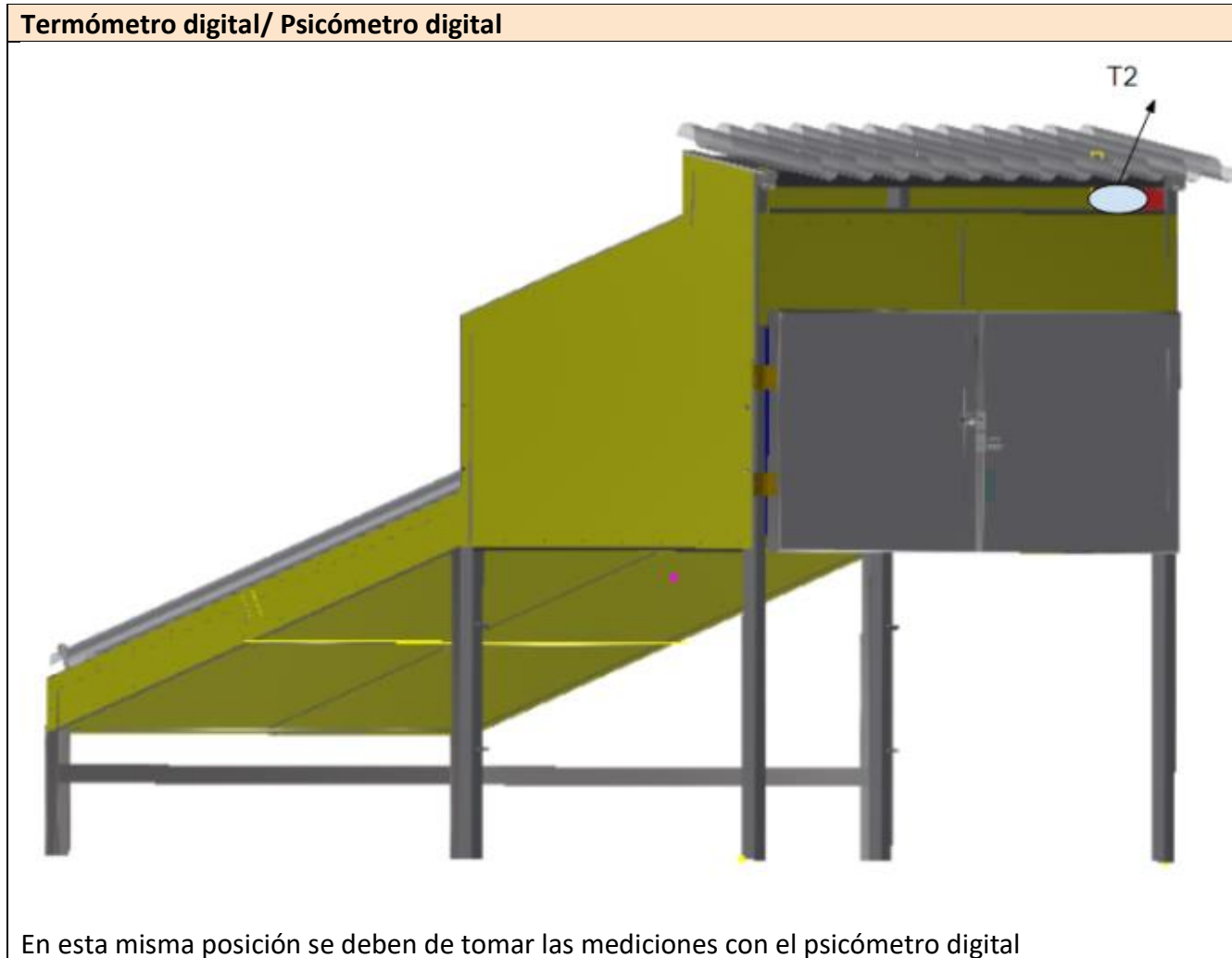
Se espera que la eficiencia térmica varíe a lo largo del día ya que esta depende de las condiciones climáticas. La eficiencia térmica teórica del colector solar es del 50%.

# EFICIENCIA DEL SECADOR

## A. Material y equipo necesario

Equipo	Cantidad
Termómetro digital	1
Psicómetro digital	1

## B. Posición de equipo de medición



## C. Metodología

1. Colocar el termómetro digital en la posición que se observa en el inciso B. Registrar medidas hasta que el producto finalice el proceso de secado.

## D. Cálculos

$$n_T = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{amb}} \times 100$$

Donde:

$n_c$ : *Eficiencia del colector solar*

$T_1$ : *Temperatura a la salida del colector solar*(°C)

$T_2$ : *Aire que sale de la cámara de secado*(°C)

$T_{amb}$ : *Temperatura ambiente*(°C)

Los valores típicos para un secador solar con convección natural varían entre un 10% hasta un 15%.

# CAPACIDAD DE SECADO

## A. Material y equipo necesario

Equipo	Cantidad
Balanza	1
Medidor de humedad del grano	1
Libreta con lapicero	1

## B. Metodología

1. Medir el peso de la carga de cacao antes de introducirlo al secador y después de finalizar el proceso
2. El primer criterio que se evaluará es el tiempo de secado, este es el tiempo requerido para que el grano pueda llegar a una humedad deseada de 7%. Previo a introducir los granos en el secador se debe medir su porcentaje de humedad. Esto se puede realizar por medio de humedad de granos (*Grain moisture tester*). Cuando se haya introducido la carga de cacao en el secador se debe tomar nota del día, fecha y hora en el que el grano fue introducido al secador.
3. En el momento en el que se introduce la carga al secador se anotará el día y hora en el cual se colocó la carga en el secador.
4. Medir a las 7:00 y a las 18:00 la humedad del grano con el *Grain moisture tester*. Esta medición se debe de realizar todos los días hasta que el proceso de secado termine. Esto servirá para determinar la tasa de secado del secador y también para poder observar si durante la noche el grano absorbió humedad.

# REGISTRO DE MEDICIONES MANUALES

## A. Registro de medición de velocidad de viento(m/s)

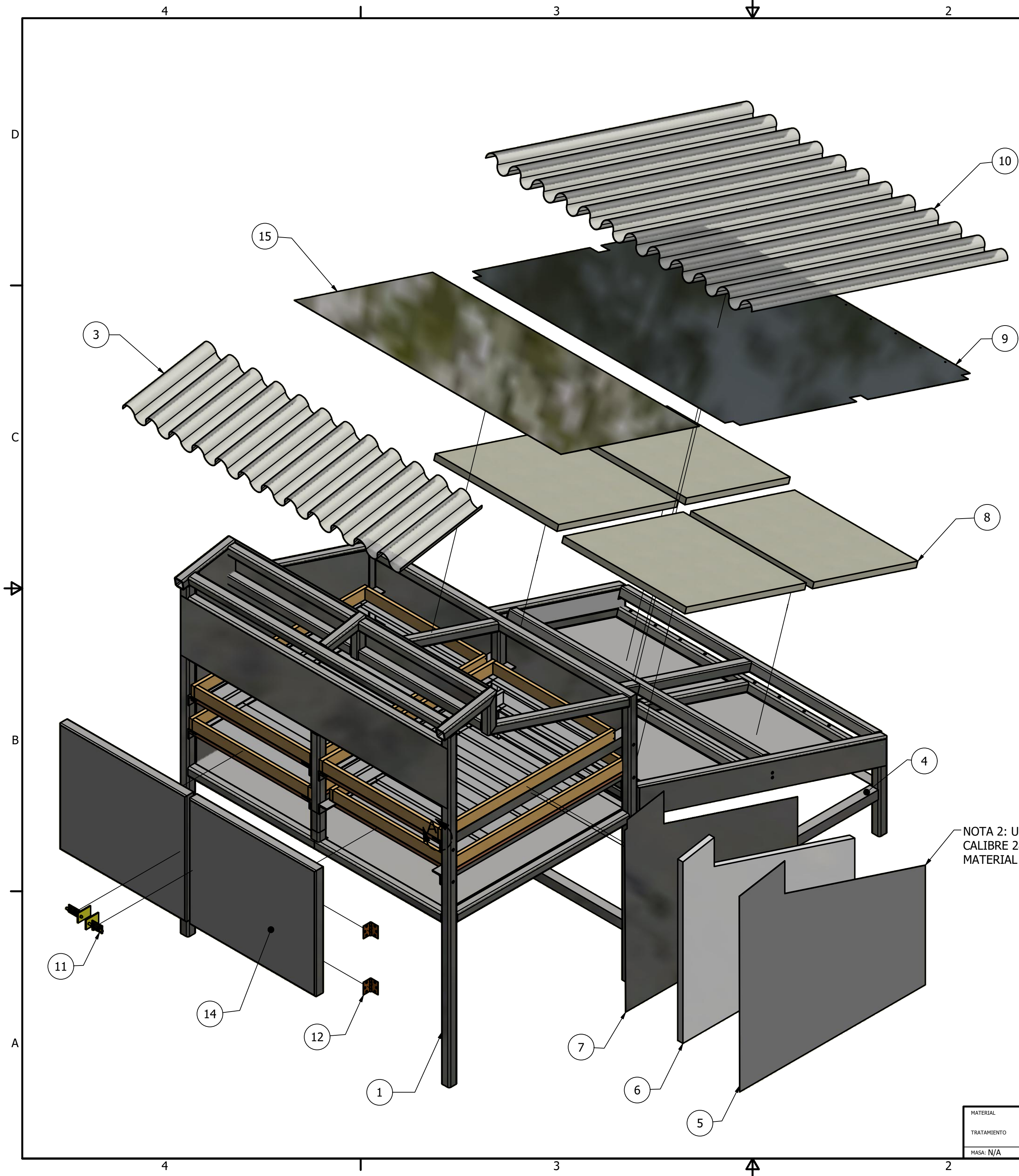
Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
7:00 am							
12:00pm							
16:00 pm							

## B. Registro de medición de humedad del grano de cacao (%)

Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
7:00 am							
16:00 pm							

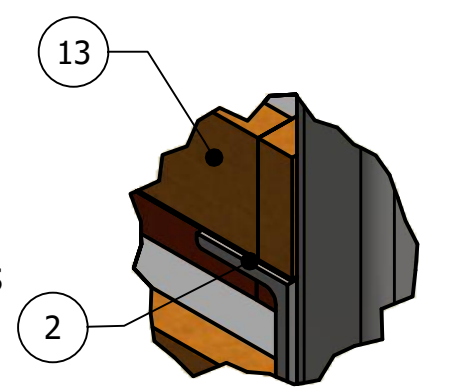
## C. Registro de peso (kg) inicial y final de lote de cacao

	Fecha de inicio:	Fecha de finalización:
Bandeja 1		
Bandeja 2		
Bandeja 3		
Bandeja 4		



LISTA DE PARTES		
ITEM	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	Estructura de tubería cuadrada 2"x2"x1/8"	Los componentes de la tubería deben de ir soldados entre si
2	Angular de hierro negro 2"x2"x3/16"	Aplicar una capa de pintura negro mate anticorrosiva. La unión entre la angular y la tubería debe de ser por medio de tornillos de 3/16"
3	Lámina de policarbonato transparente acanalada	Se une a la tubería con tornillos 1/4"x 5" autoperforantes para estructuras metálicas con sello
4	Angular de hierro negro 2"x2"x3/16"	Soldado a la estructura
5	Lámina galvanizada calibre 28	
6	Lámina de duroport 4 cm	
7	Lámina galvanizada calibre 28	
8	Lámina de duroport 4 cm	
9	Lámina de hierro negro 1/8"	Aplicar una capa de pintura negro mate anticorrosivo
10	Lámina de policarbonato transparente acanalada	Se une a la tubería con tornillos 1/4"x 1- 1/2" autoperforantes para estructuras metálicas con sello. Colocar cinta tapa goteras entre cubierta (Lámina galvanizada) y lámina de policarbonato para evitar entrada de agua
11	Pasador 2"	Acero inoxidable
12	Bisagra 2"	Acero inoxidable
13	Bandeja de madera	La madera de 3/4" no tratada, preferiblemente de Laurel , Malla diamante con orificios de 9mm x 9mm
14	Puerta de secador	Estructura de tubo cuadrado 2X2X1/8" y un forro tipo panel ( ver nota 2)
15	Lámina galvanizada calibre 28	

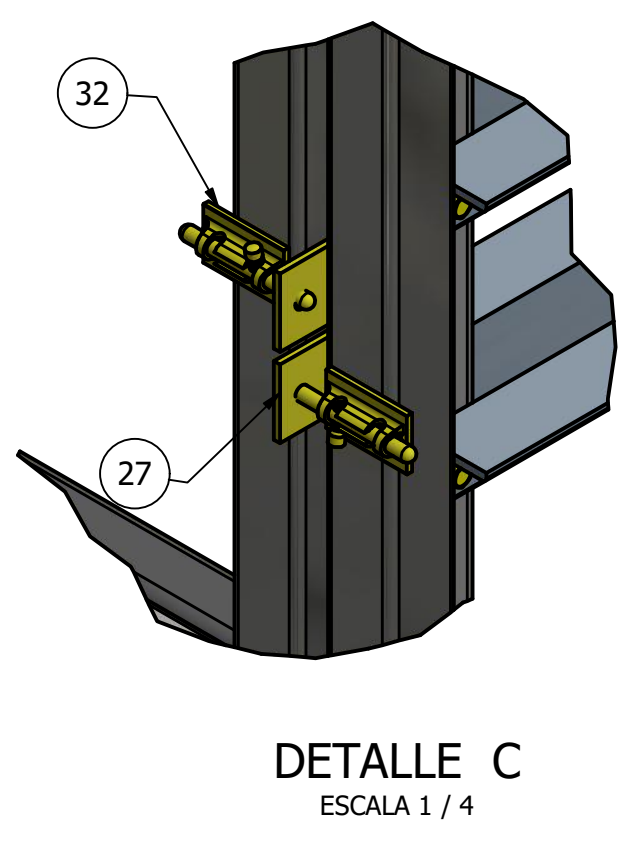
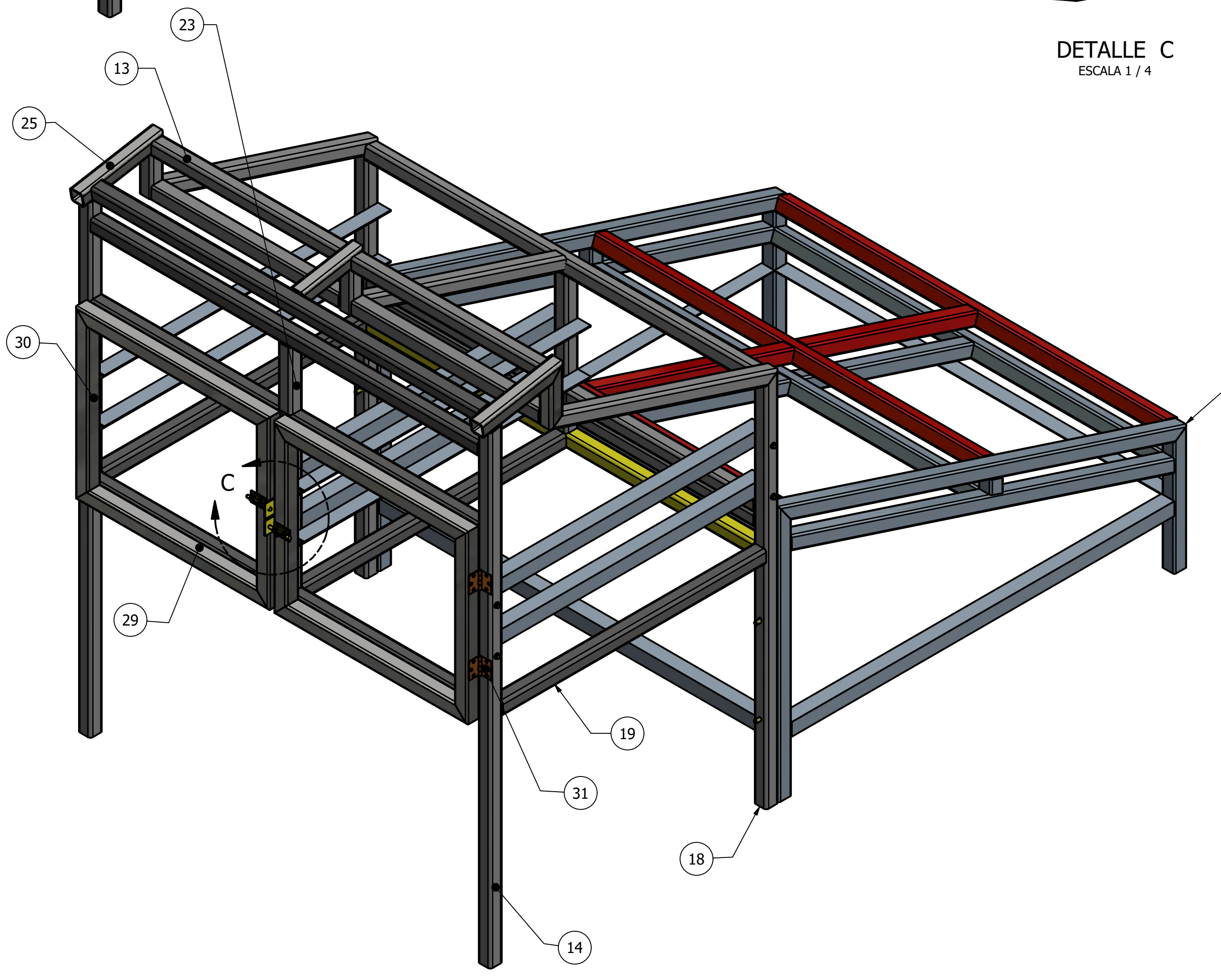
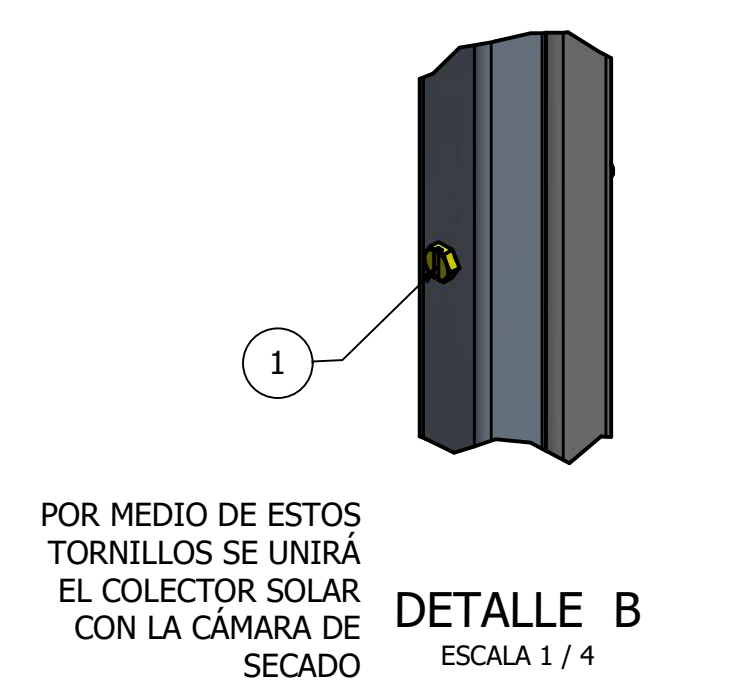
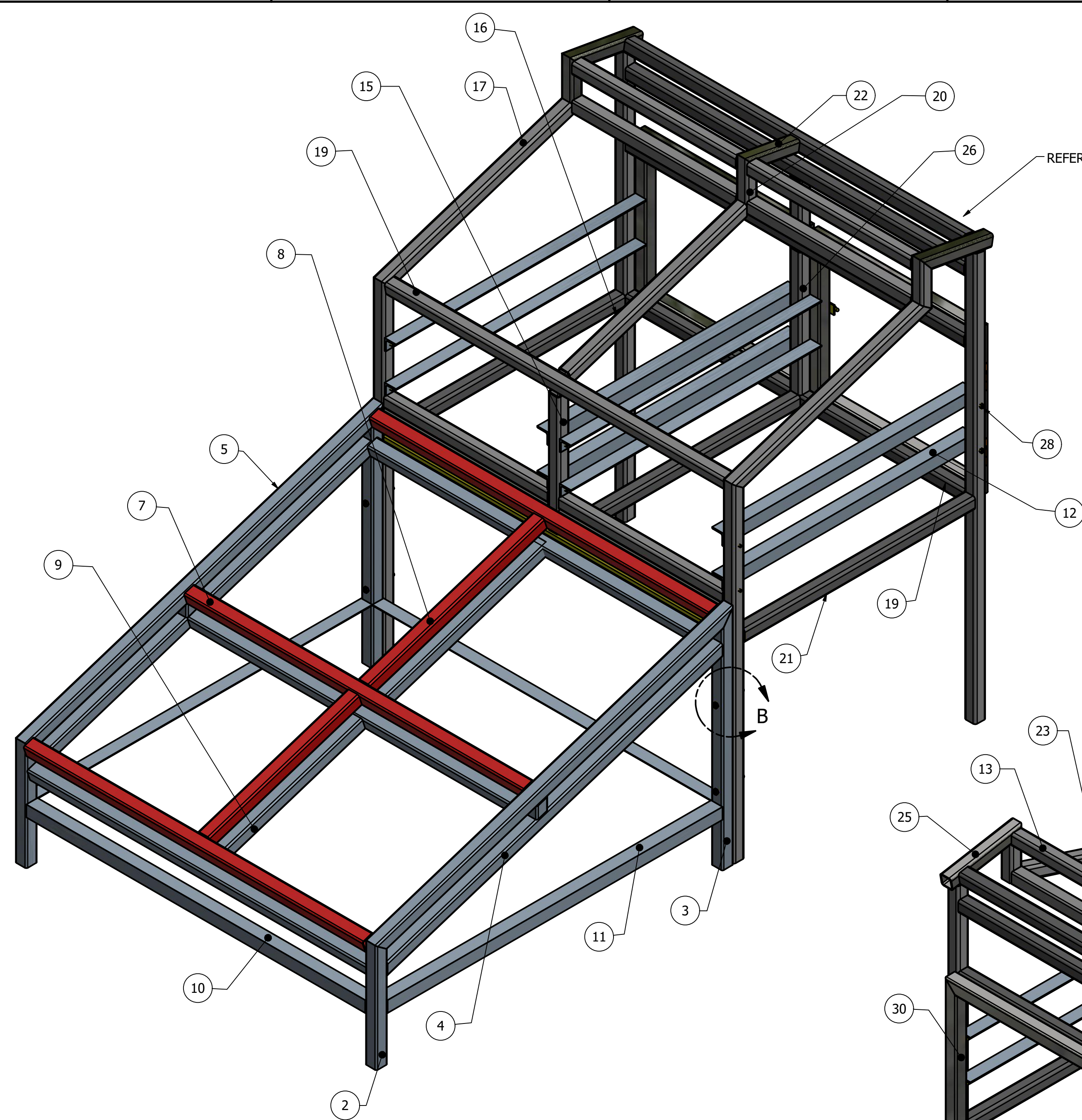
NOTA 2: UN PANEL CONSTA DE DOS LÁMINAS GALVANIZADAS CALIBRE 28 Y UNA LÁMINA DE DUROPORT EN MEDIO COMO MATERIAL AISLANTE.



DETALLE A  
ESCALA 1/3

NOTA 1: LA UNIÓN ENTE LAS LÁMINAS DE CUBIERTA (LÁMINAS GALVANIZADAS) Y LA TUBERÍA CUADRARA SERÁ POR MEDIO DE REMACHES DE 3/16"X1/2"

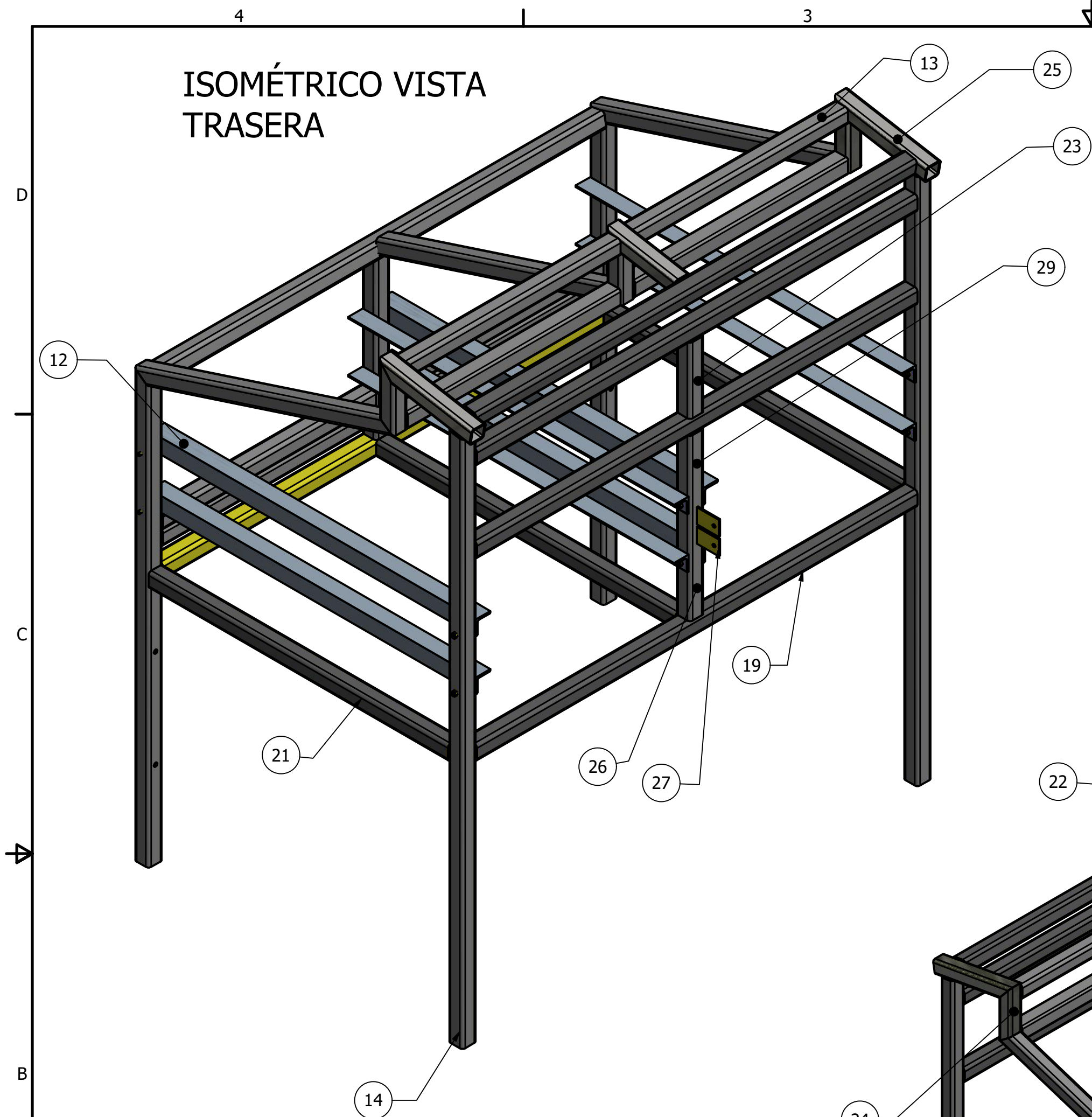
<small>TODAS LAS MEDIDAS EN METROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.</small>		DIBUJADO POR <b>DULCE GONZALEZ</b>	FECHA <b>21/05/2019</b>		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvvg.edu.gt
<small>TOLERANCIAS GENERALES</small> LINEAL .X ± 0.1 .XX ± 0.05 .XXX ± 0.001 ANGULAR ± 1 FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		DISEÑADO POR <b>DULCE GONZALEZ</b>	FECHA		
MATERIAL TRATAMIENTO MASA: N/A		REVISADO POR <b>RONY HERRARTE</b>	FECHA	NÚMERO DE DIBUJO: <b>1</b>	
		APROBADO POR <b>JAVIER FERNÁNDEZ</b>	FECHA	FORMATO <b>C</b>	ESCALA: 1/15 UNIDADES: M
<small>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.</small>		NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>SECADOR SOLAR</b>		PÁGINA 1 DE 3	REV 0



LISTA DE PARTES				
ITEM	CANTIDAD	PERFIL	DESCRIPCIÓN	LARGO
1	4		TORNILLO HEXAGONAL M12X120 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE	.0010 m
2	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.4869 m
3	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.0113 m
4	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.6065 m
5	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.6968 m
6	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.0691 m
7	6	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.5300 m
8	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.8286 m
9	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.7106 m
10	2	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO	1.5300 m
11	2	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO	1.5122 m
12	8	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO CON UNA CAPA DE PINTURA NEGRA ANTICORROSIVA	1.1321 m
13	8	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.7396 m
14	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.8411 m
15	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.5579 m
16	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.8568 m
17	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.9307 m
18	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.4835 m
19	7	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.5300 m
20	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2148 m
21	3	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.0400 m
22	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2445 m
23	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2292 m
24	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2124 m
25	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.3281 m
26	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.5449 m
27	2		PLATINA	.0254 m
28	16		TORNILLO HEXAGONAL M6X70 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE	.0010 m
29	4	2 X 2 X 1/8	TUBO CUADRADO	.7650 m
30	4	2 X 2 X 1/8	TUBO CUADRADO	.6592 m
31	4	BISAGRA 2"		.0010 m
32	2	PASADOR 2"		.0010 m

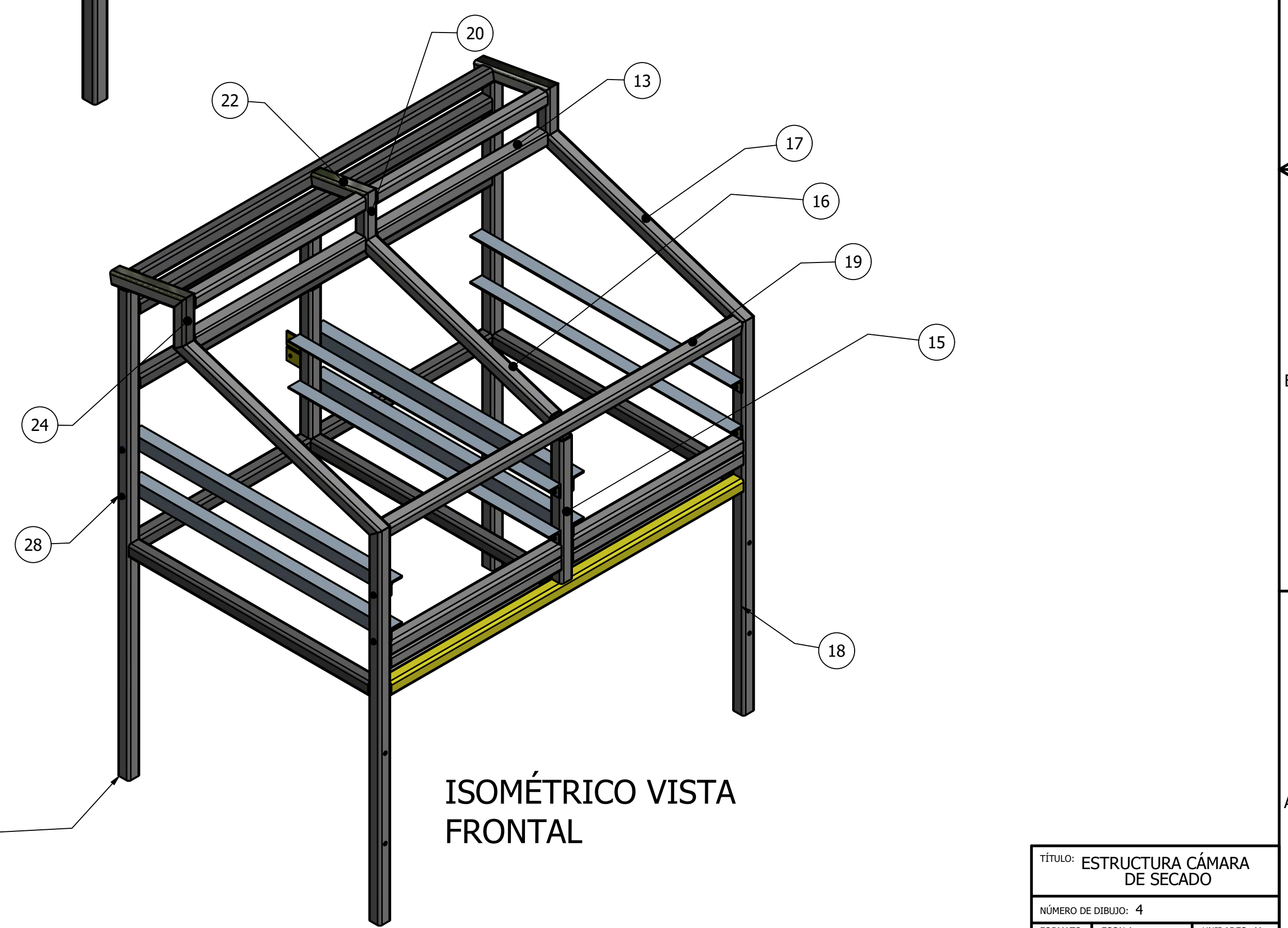


# ISOMÉTRICO VISTA TRASERA



LISTA DE PARTES				
ITEM	CANTIDAD	PERFIL	DESCRIPCIÓN	LARGO
12	8	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO CON UNA CAPA DE PINTURA NEGRO MATE ANTICORROSIVO	1.1321 m
13	8	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.7396 m
14	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.8411 m
15	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.5579 m
16	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.8568 m
17	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.9307 m
18	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.4835 m
19	7	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.5300 m
20	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2148 m
21	3	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.0400 m
22	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2445 m
23	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2292 m
24	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.2124 m
25	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.3281 m
26	1	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.5449 m
27	2	PLATINA		.0254 m
28	16	TORNILLO HEXAGONAL M6X70 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE		

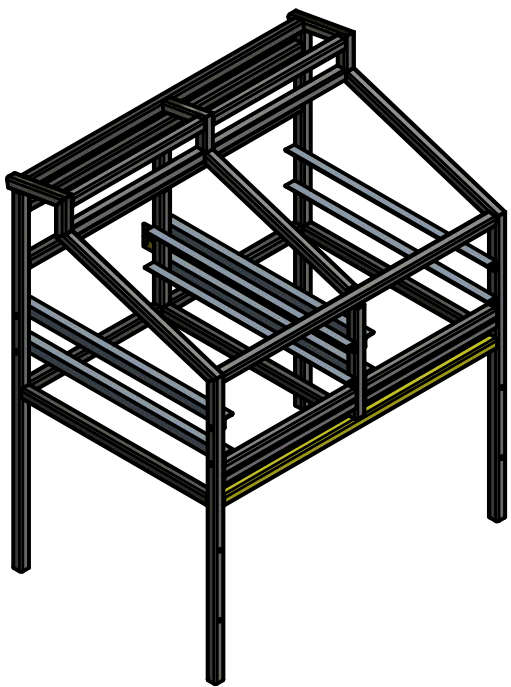
# ISOMÉTRICO VISTA FRONTAL



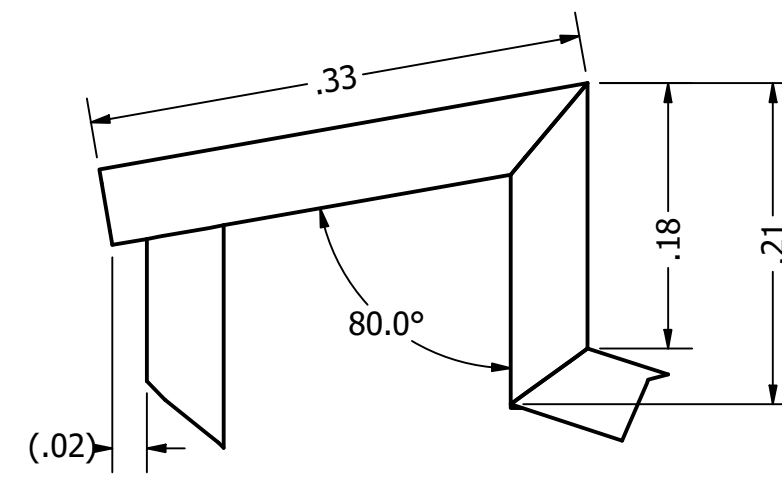
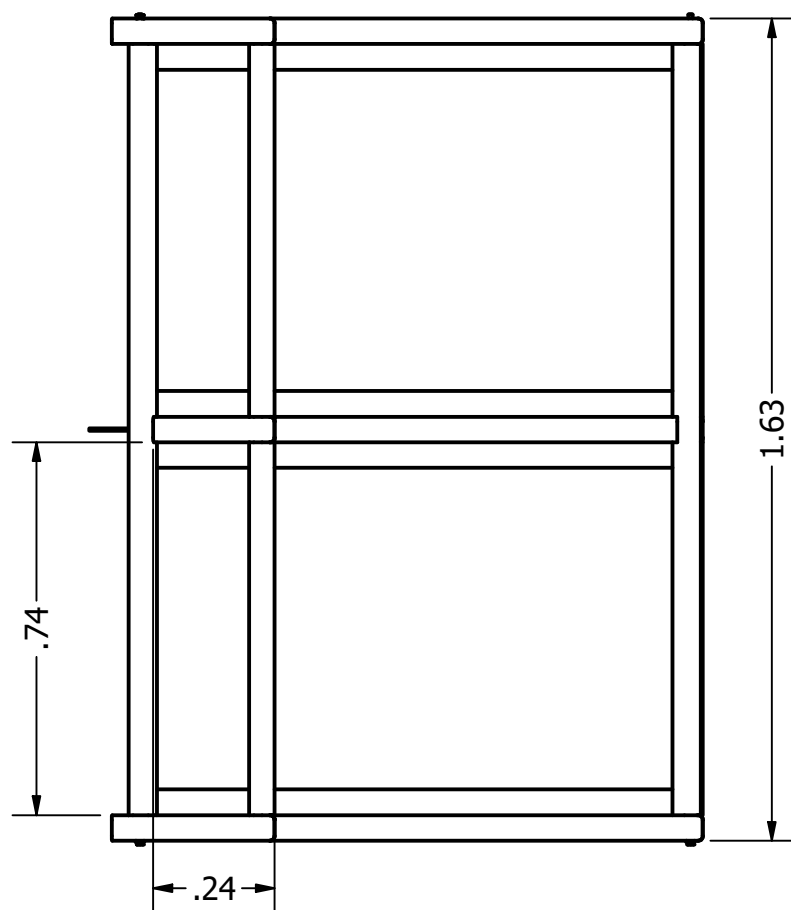
ESTE CONJUNTO DE TUBERÍAS FORMA LA CÁMARA DE SECADO

TÍTULO: ESTRUCTURA CÁMARA DE SECADO		
NÚMERO DE DIBUJO: 4		
FORMATO: C	ESCALA: PÁGINA 1 DE 4	UNIDADES: M REV 0

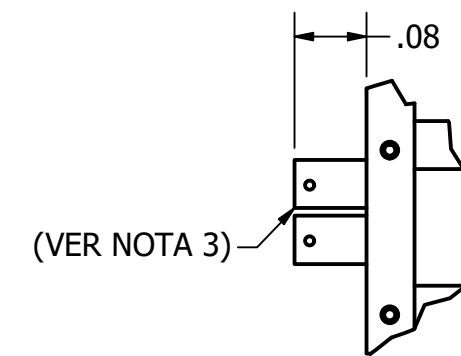
ISOMÉTRICO VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO VISTA TRASERA

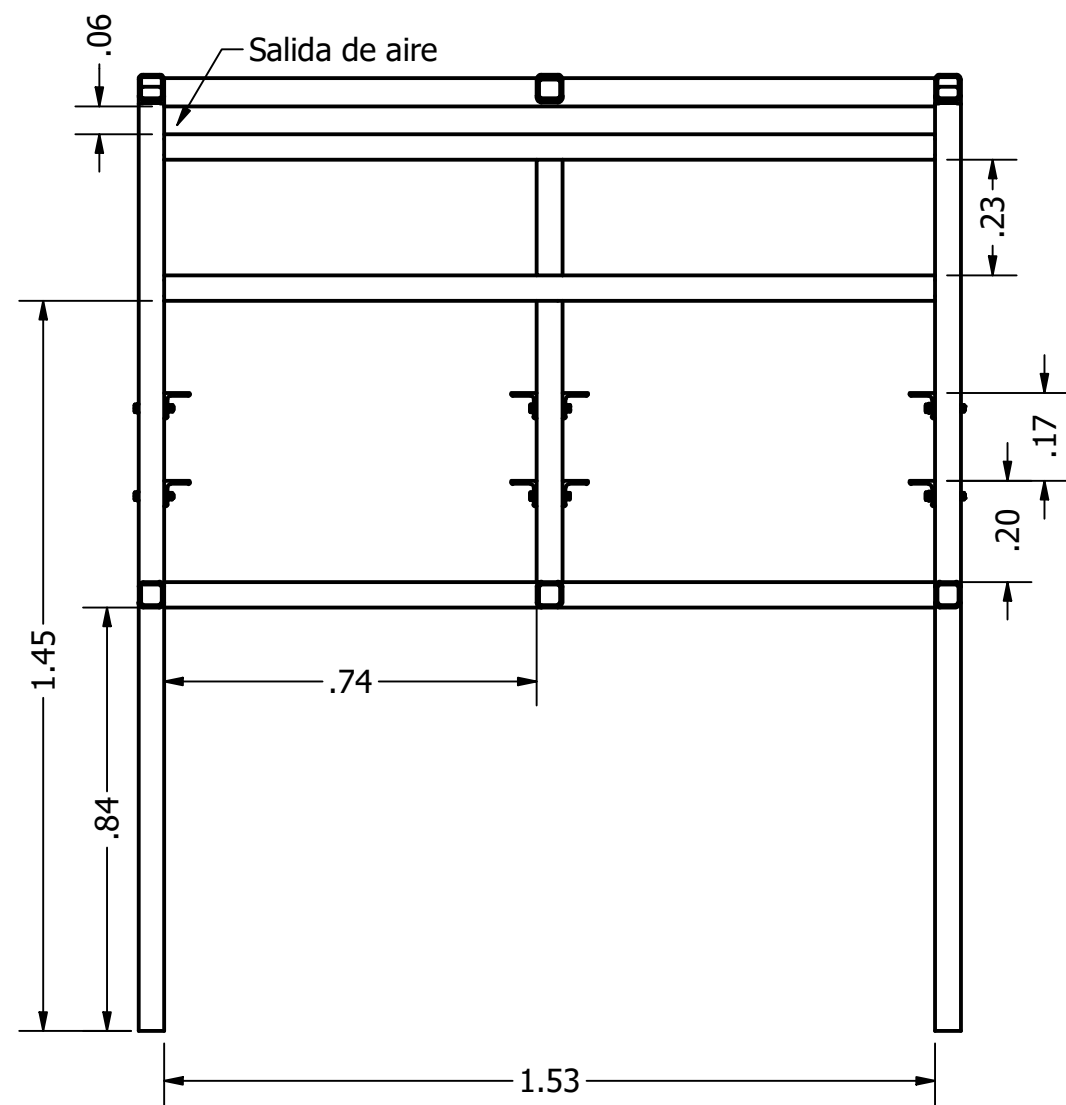


DETALLE H  
ESCALA 1 / 5



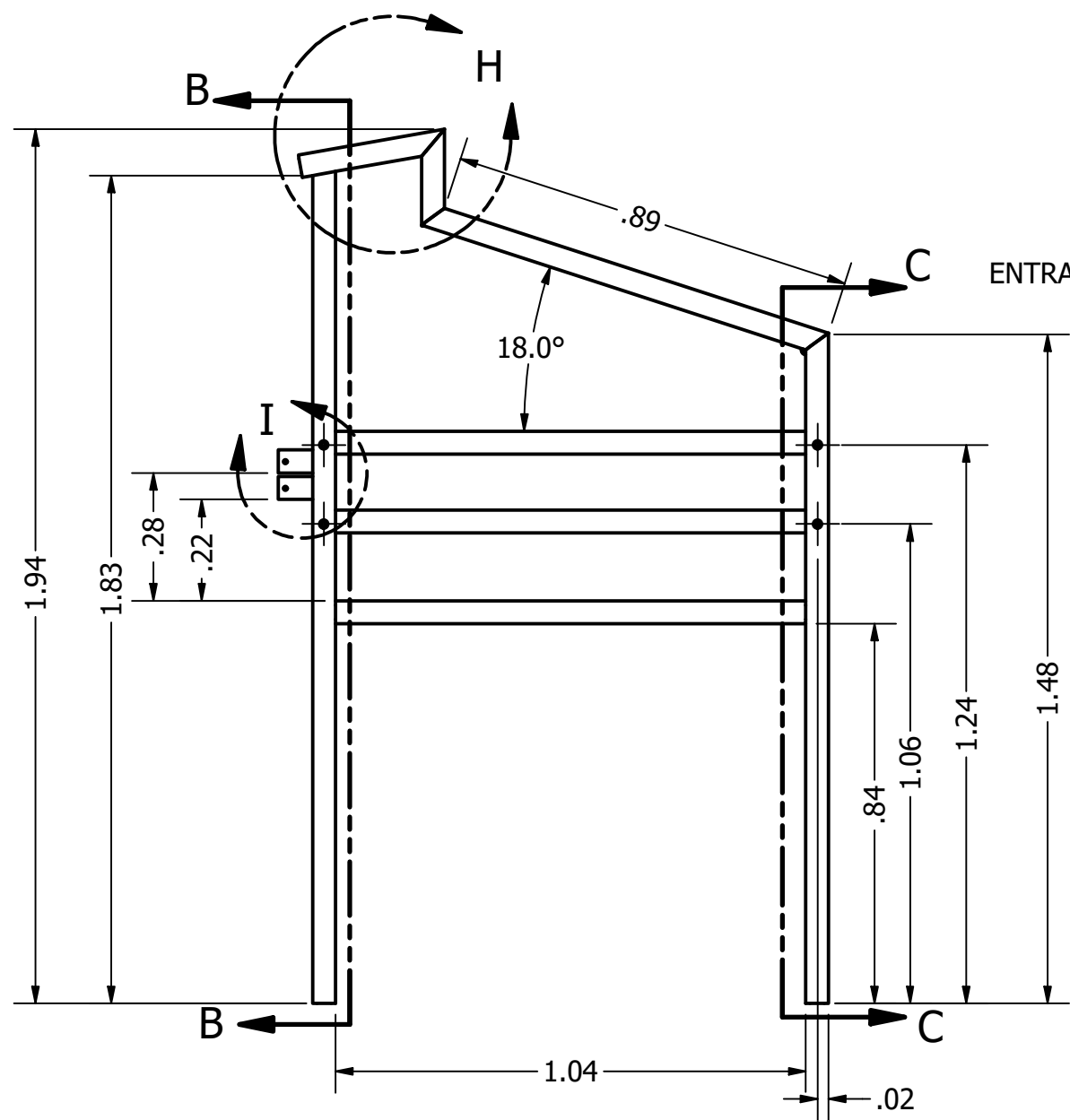
DETALLE I  
ESCALA 1 / 8

VISTA TRASERA

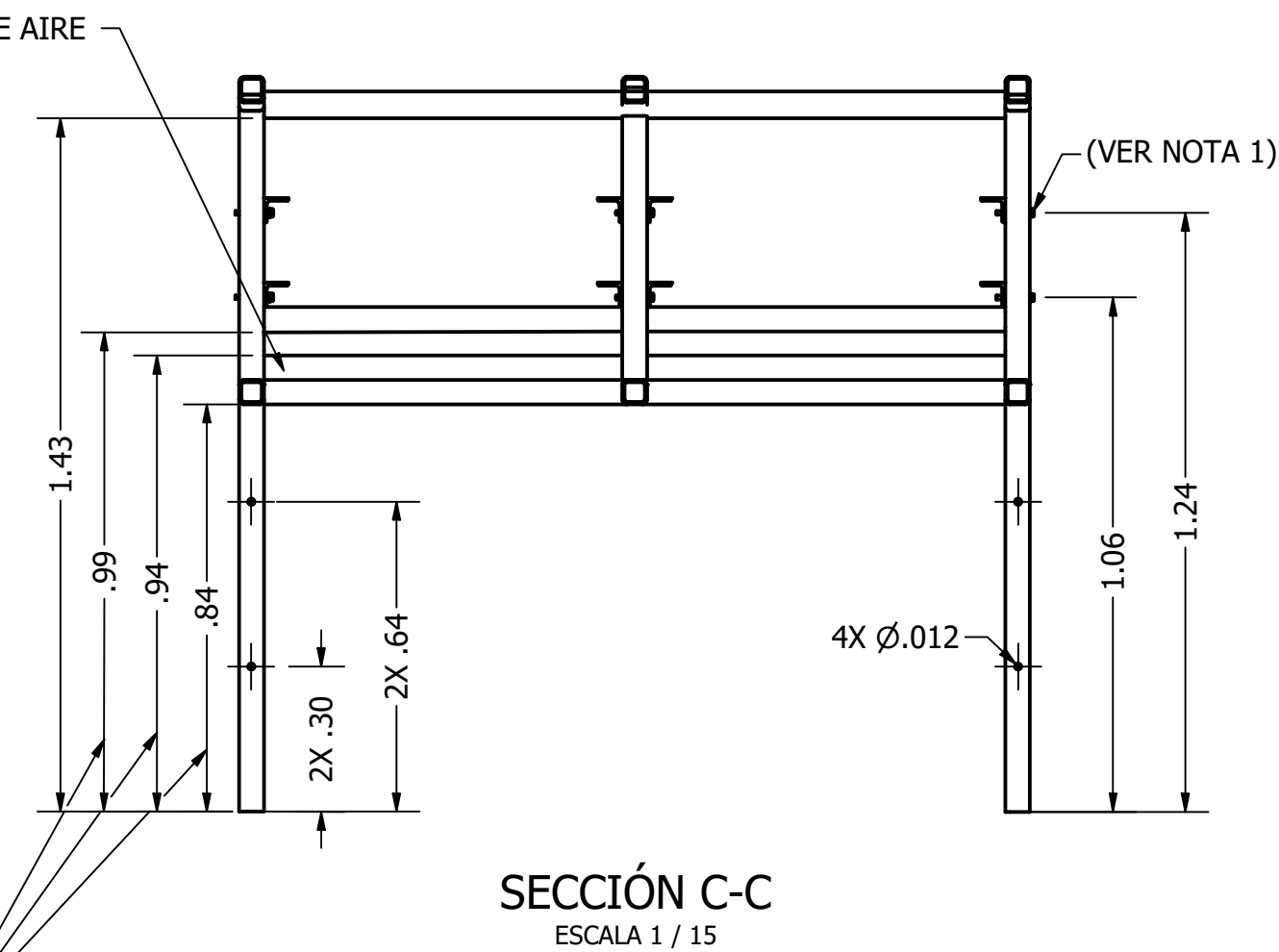


SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 / 15

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



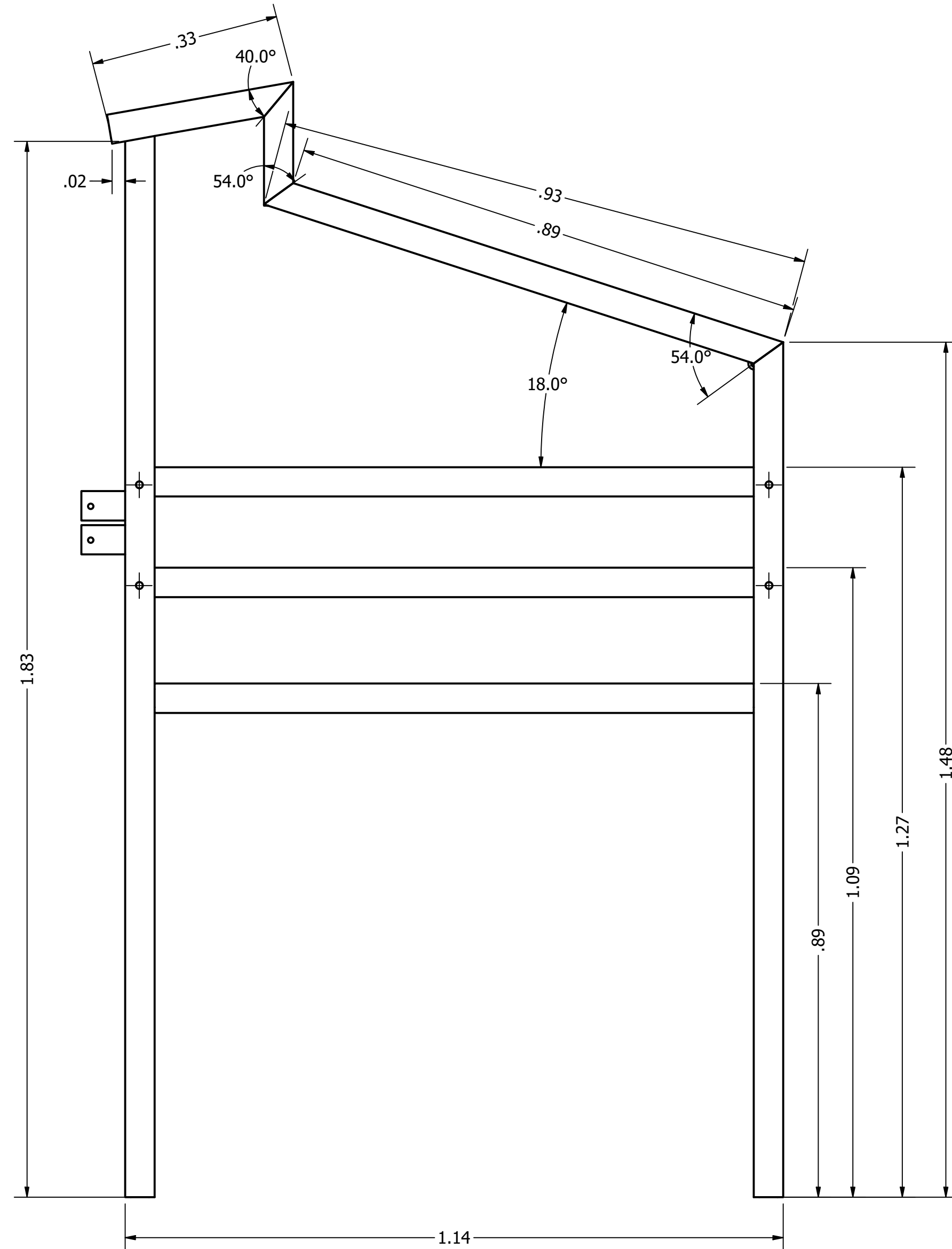
SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 / 15

MEDIDAS DESDE INFERIOR DE ESTRUCTURA HASTA CARA INFERIOR DEL TUBO

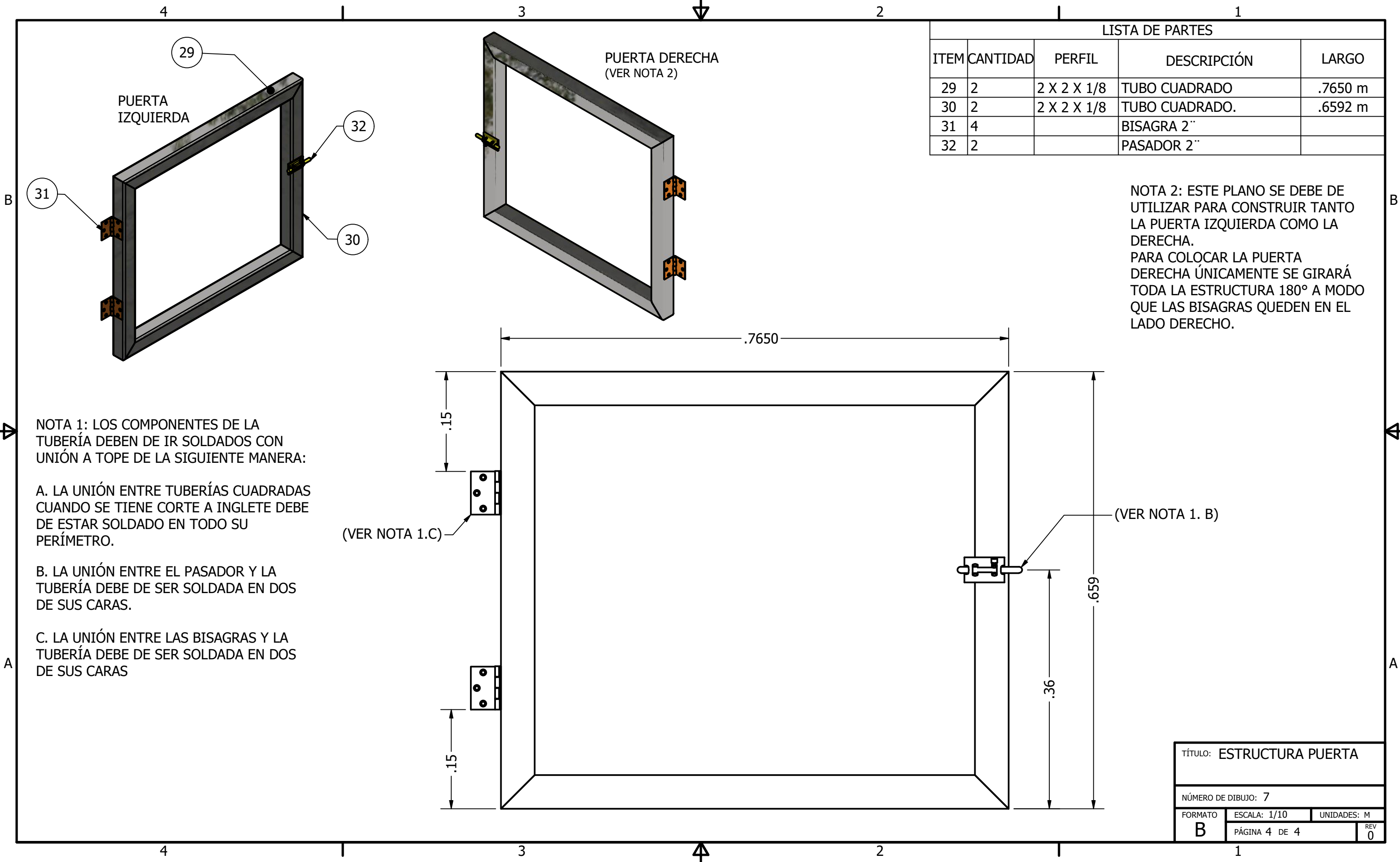
- NOTA 1: TORNILLO HEXAGONAL PASADO M6X70 SAE GRADO 1 CON TUERCA CORRESPONDIENTE  
 NOTA 2: LOS ANGULARES DEBEN DE TENER UNA CAPA DE PINTURA NEGRA ANTICORROSIVA.  
 NOTA 3: LA PLATINA PARA COLOCAR EL PASADOR SE FABRICA A PARTIR DE CORTAR A LA MITAD UN PEDAZO DE ANGULAR DE HIERRO DE 3/16". EL AGUJERO SE DEBE ABRIR AL MOMENTO DE CONTAR CON EL PASADOR PARA QUE ESTE QUEDE JUSTO EN EL CENTRO. LA PLATINA DEBE DE SOLDARSE A LA TUBERÍA EN DOS DE SUS CARAS.

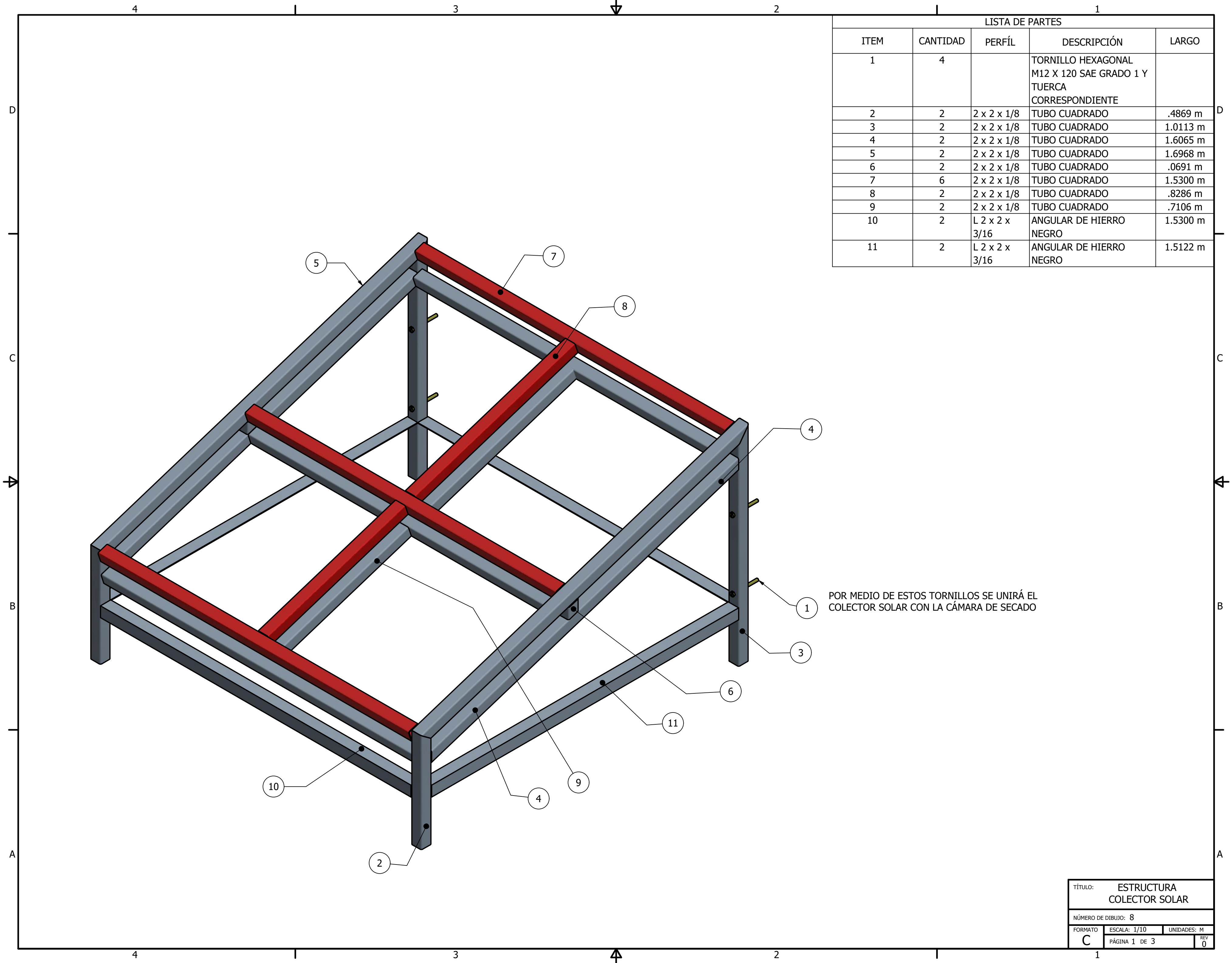
TÍTULO: ESTRUCTURA CÁMARA DE SECADO		
NÚMERO DE DIBUJO: 5		
FORMATO: C	ESCALA: 1/20	UNIDADES: M
PÁGINA 2 DE 4		REV 0

SE SUGIERE QUE SE CONSTRUYA LA VISTA LATERAL DE LA CÁMARA DE SECADO PRIMERO, PARA FACILITAR QUE AMBOS LADOS DE LA ESTRUCTURA QUEDEN IGUALES.



TÍTULO: VISTA LATERAL CÁMARA DE SECADO		
NÚMERO DE DIBUJO: 6		
FORMATO: C	ESCALA:	UNIDADES: M
PÁGINA 3 DE 4		REV 0



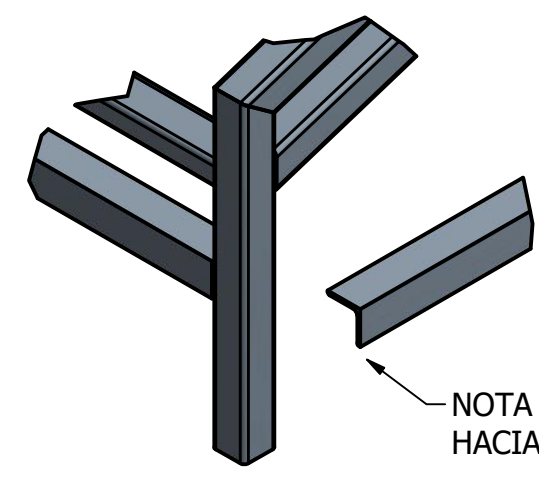
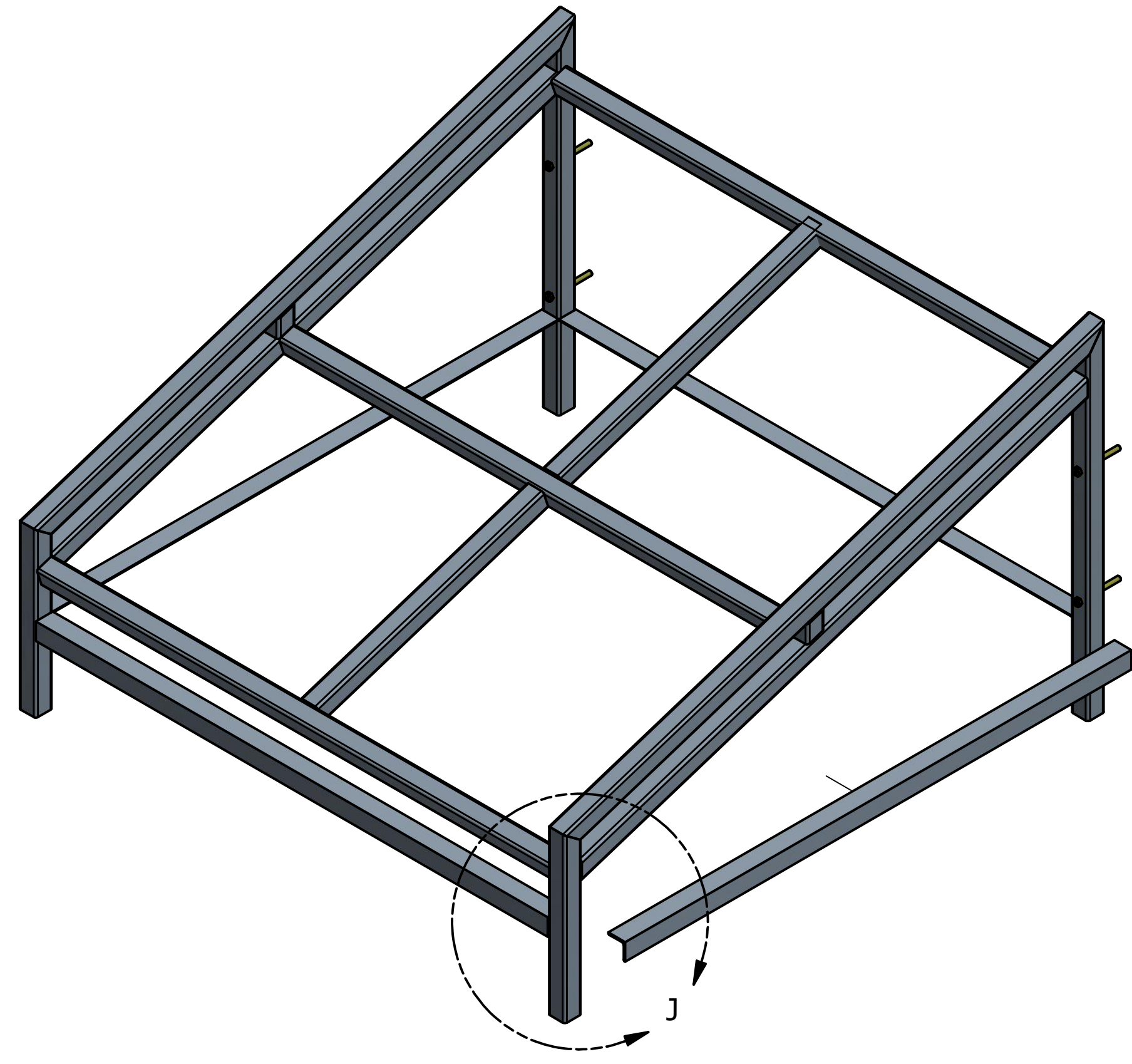


LISTA DE PARTES				
ITEM	CANTIDAD	PERFÍL	DESCRIPCIÓN	LARGO
1	4		TORNILLO HEXAGONAL M12 X 120 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE	
2	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.4869 m
3	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.0113 m
4	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.6065 m
5	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.6968 m
6	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.0691 m
7	6	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	1.5300 m
8	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.8286 m
9	2	2 x 2 x 1/8	TUBO CUADRADO	.7106 m
10	2	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO	1.5300 m
11	2	L 2 x 2 x 3/16	ANGULAR DE HIERRO NEGRO	1.5122 m

POR MEDIO DE ESTOS TORNILLOS SE UNIRÁ EL COLECTOR SOLAR CON LA CÁMARA DE SECADO

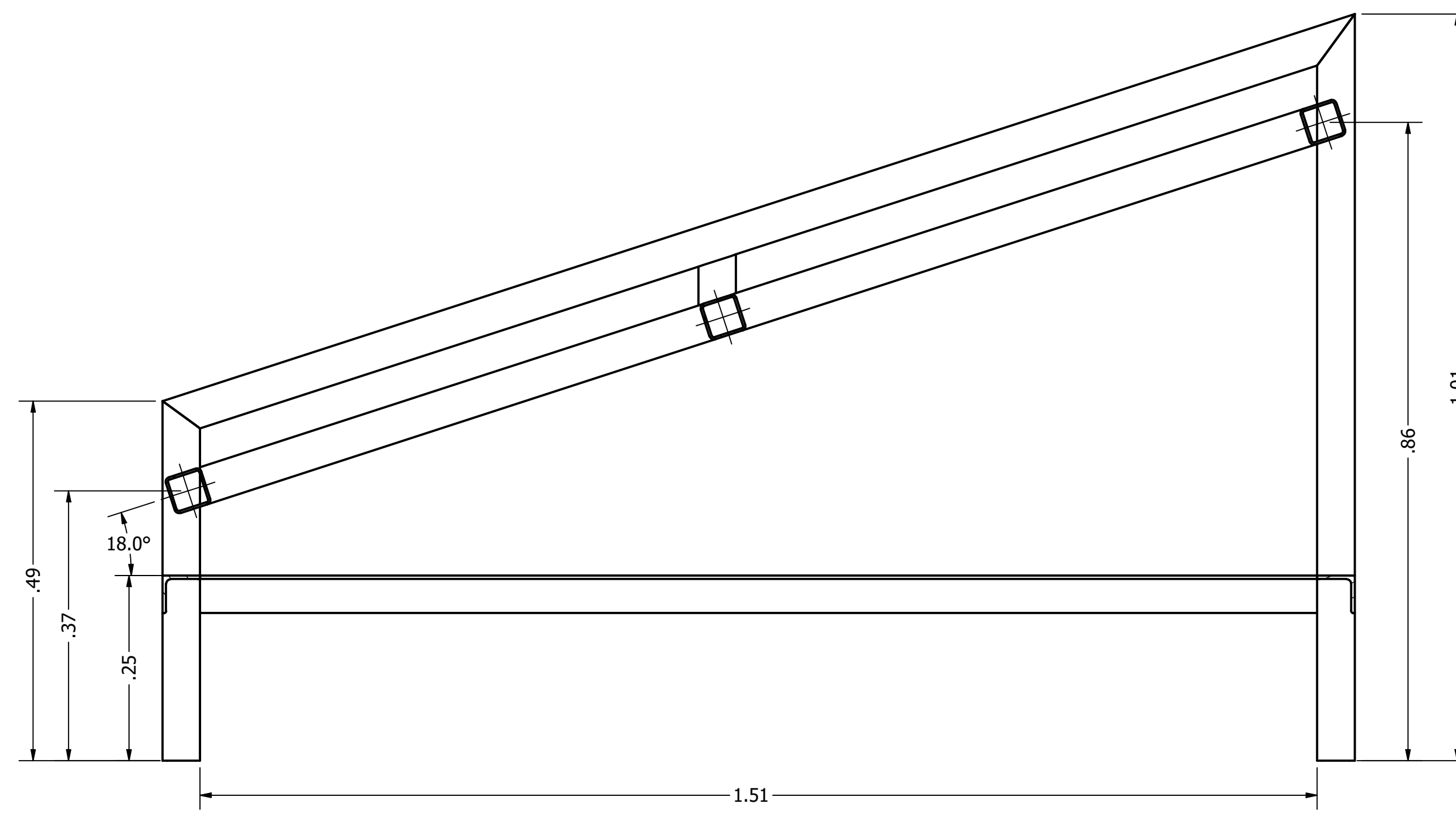
TÍTULO: ESTRUCTURA COLECTOR SOLAR		
NÚMERO DE DIBUJO: 8		
FORMATO: C	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M
PÁGINA 1 DE 3		REV 0

ISOMETRICA COLECTOR SOLAR  
PARTE 1

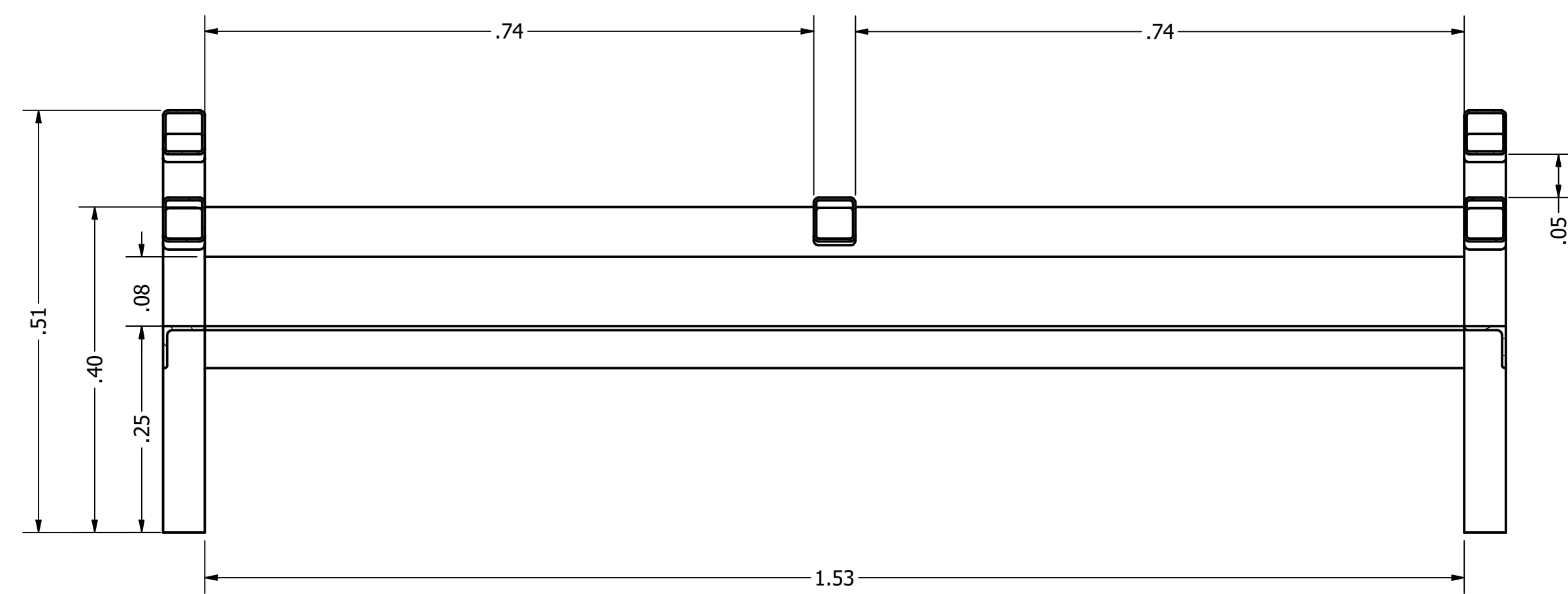
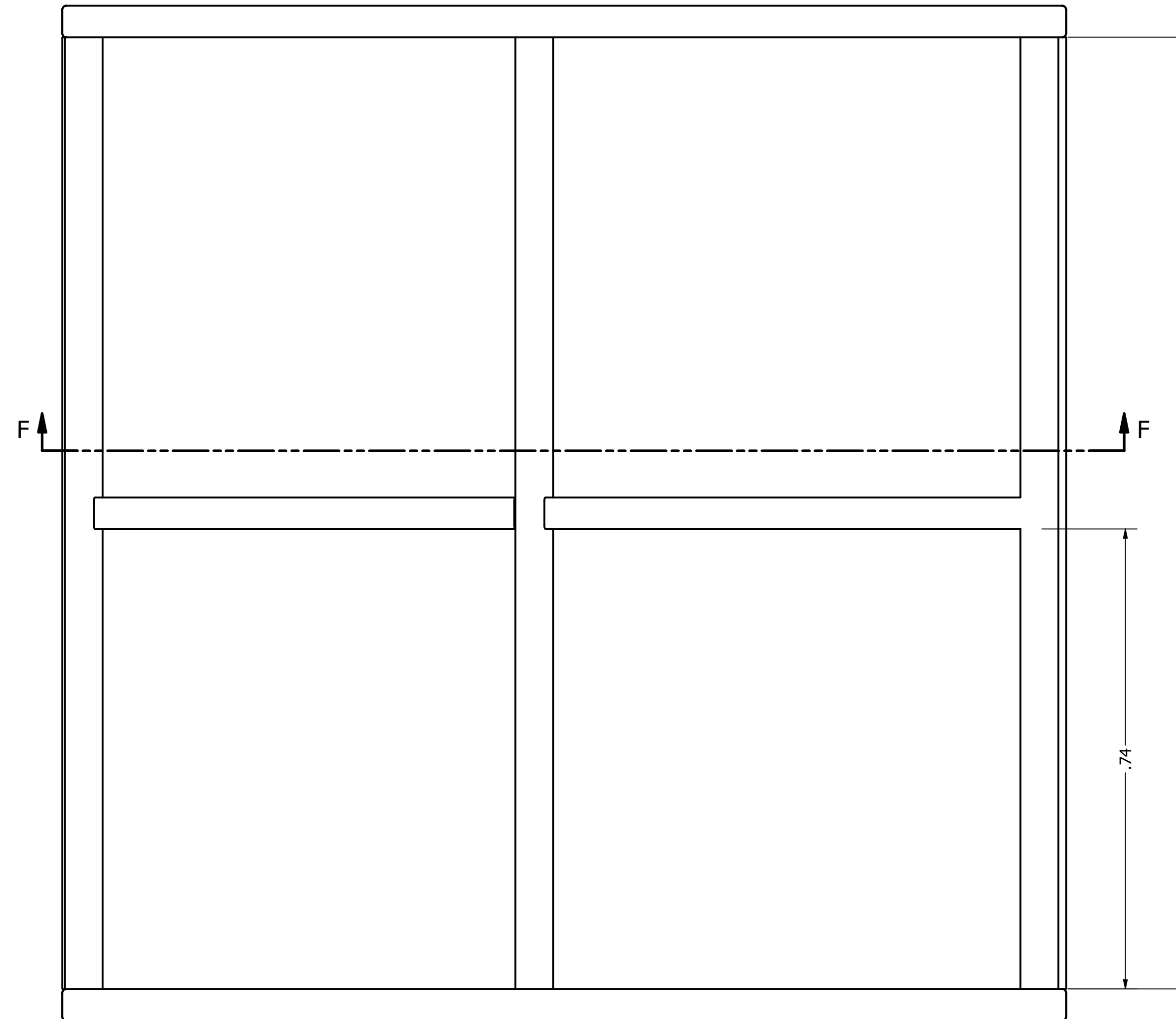


DETALLE J  
ESCALA 0.12 : 1

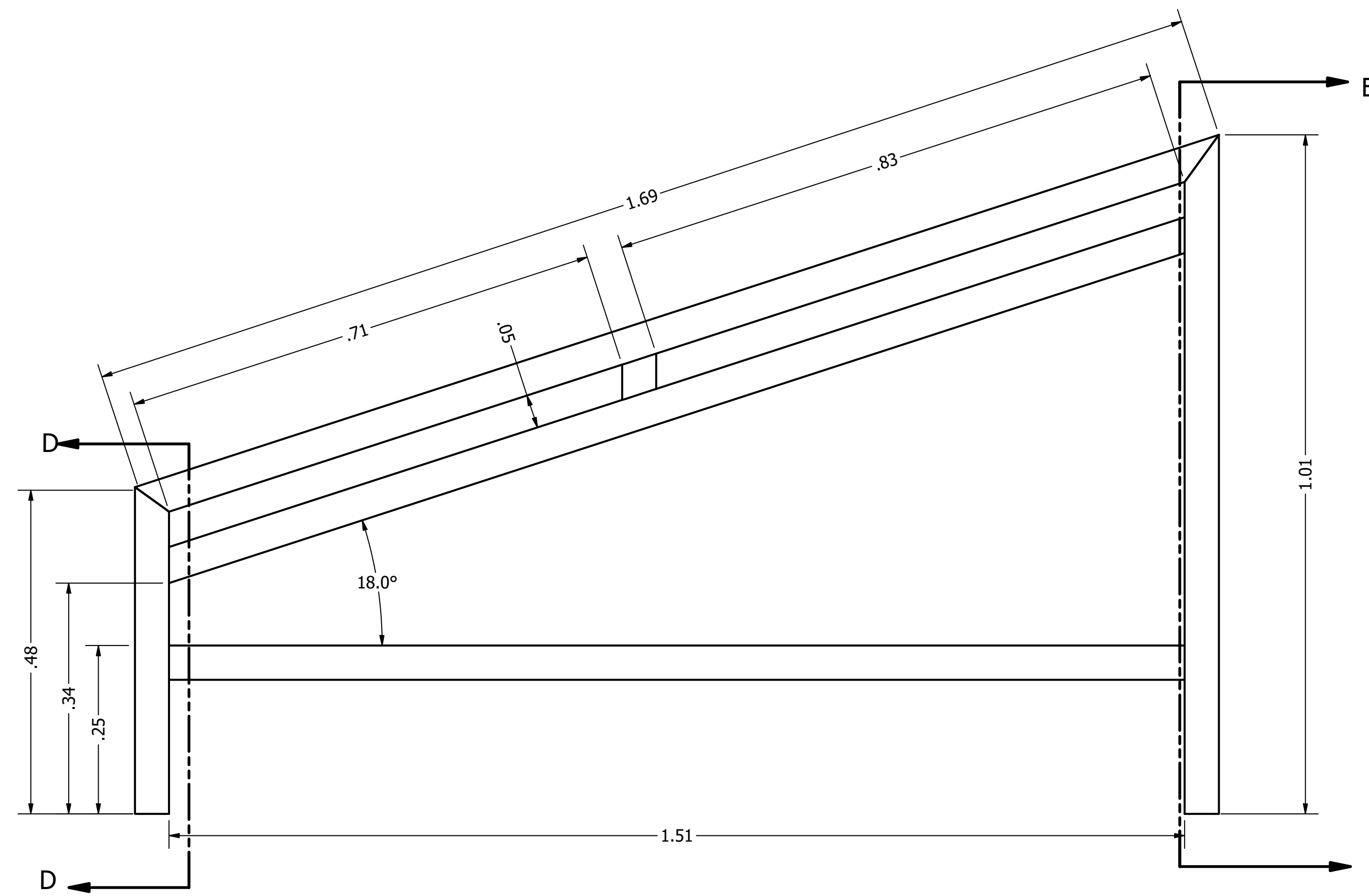
NOTA 4: LOS ANGULARES DEBEN DE COLOCARSE CON UNA CARA VIENDO HACIA ARRIBA Y LA OTRA VIENDO HACIA EL ROSTRO DEL PERFIL



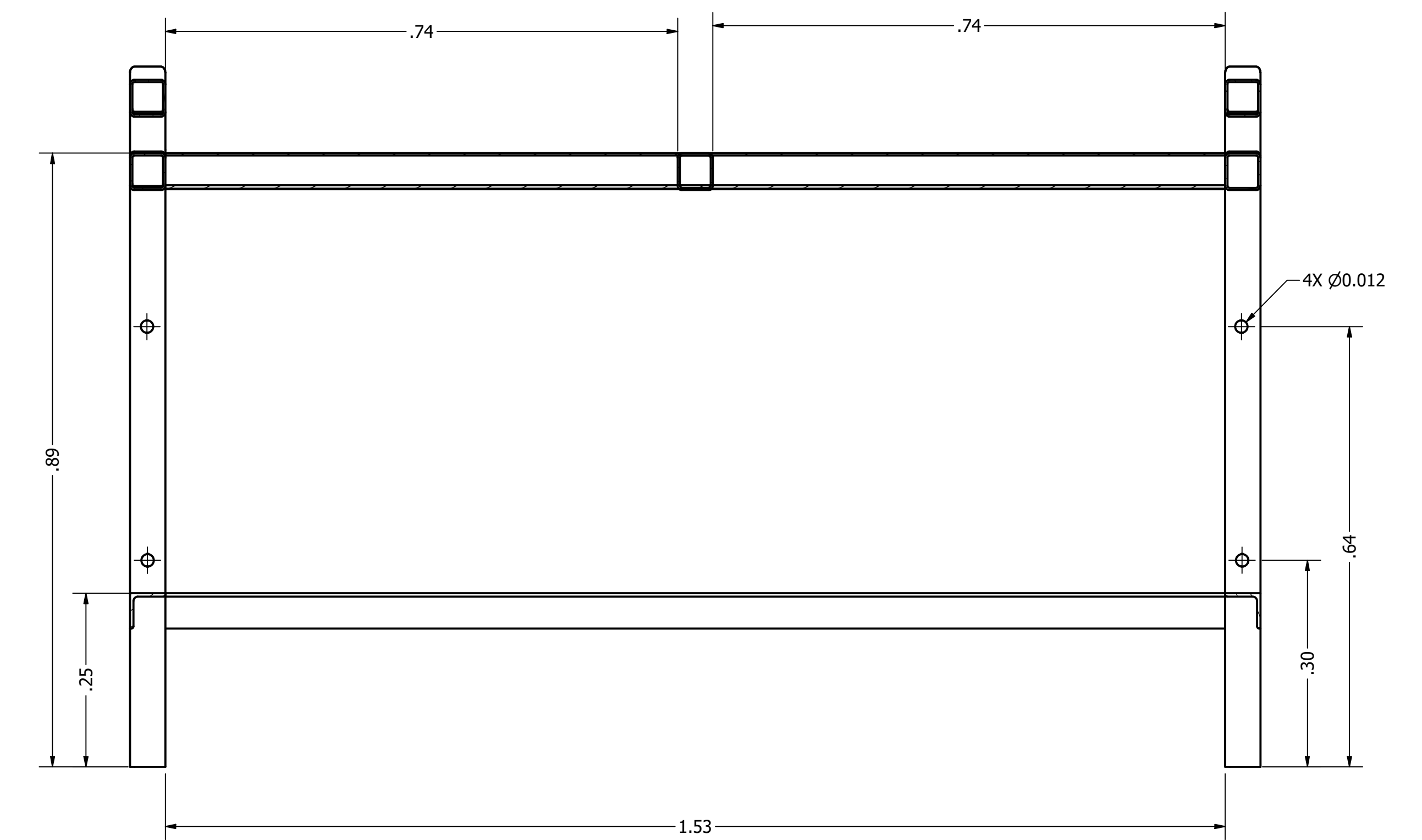
SECCIÓN F-F  
ESCALA 1/6



SECCIÓN D-D  
ESCALA 1/6



SECCIÓN E-E  
ESCALA 1/6



NOTA 1: LOS COMPONENTES DE LA TUBERÍA DEBEN IR SOLDADOS CON UNIÓN A TOPE DE LA SIGUIENTE MANERA:

A. UNIÓN ENTRE TUBERÍAS CUADRADAS SERÁ SOLAMENTE EN DOS CARAS, EL RESTO DEL PERÍMETRO DEBE SELLARSE CON MASILLA PLÁSTICA PARA METAL.

B. LA UNIÓN ENTRE TUBERÍA CUADRADA Y ANGULAR SE REALIZA EN DOS CARAS DE EL ANGULAR.

C. LA UNIÓN ENTRE TUBERÍAS CUADRADAS CUANDO SE TIENE CORTE A INGLETE DEBE DE ESTAR SOLDADO EN TODO SU PERÍMETRO.

NOTA 2: LA SOLDADURA SE DEBE REALIZAR CON ELECTRODO 3/32 E6013, CON UN TAMAÑO DE SOLDADURA DE 5 MM.

NOTA 3: CUATRO TORNILLOS HEXAGONALES PASADOS M12X120 SAE GRADO 1 CON TUERCA CORRESPONDIENTE. POR MEDIO DE ESTOS TORNILLOS SE UNIRÁ EL COLECTOR SOLAR CON LA CÁMARA DE SECADO

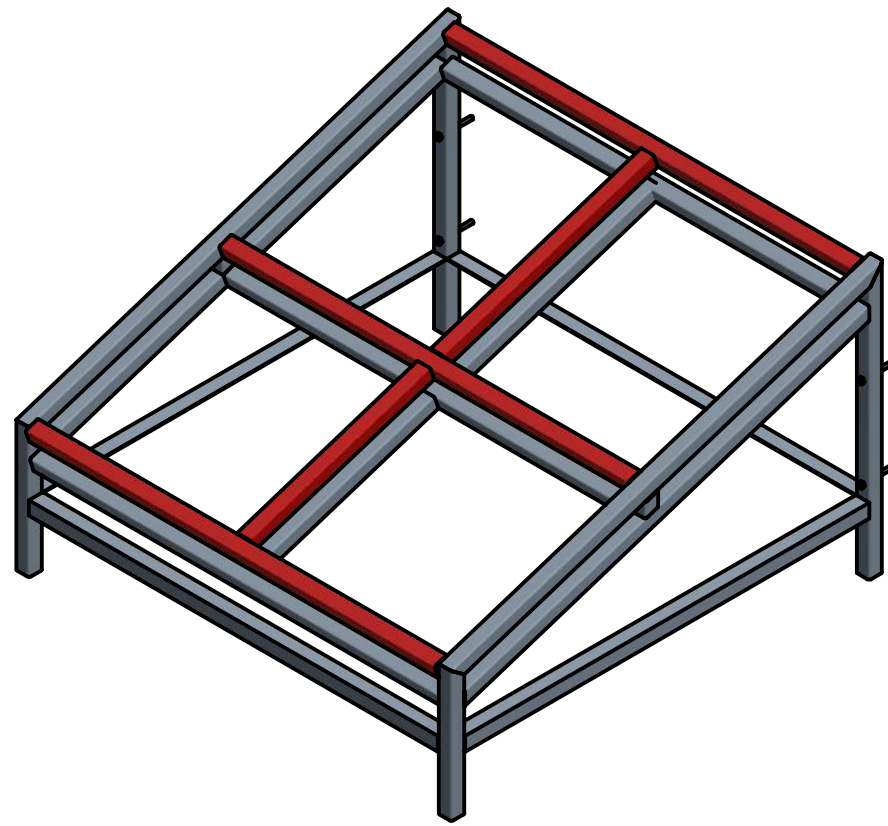
4

3

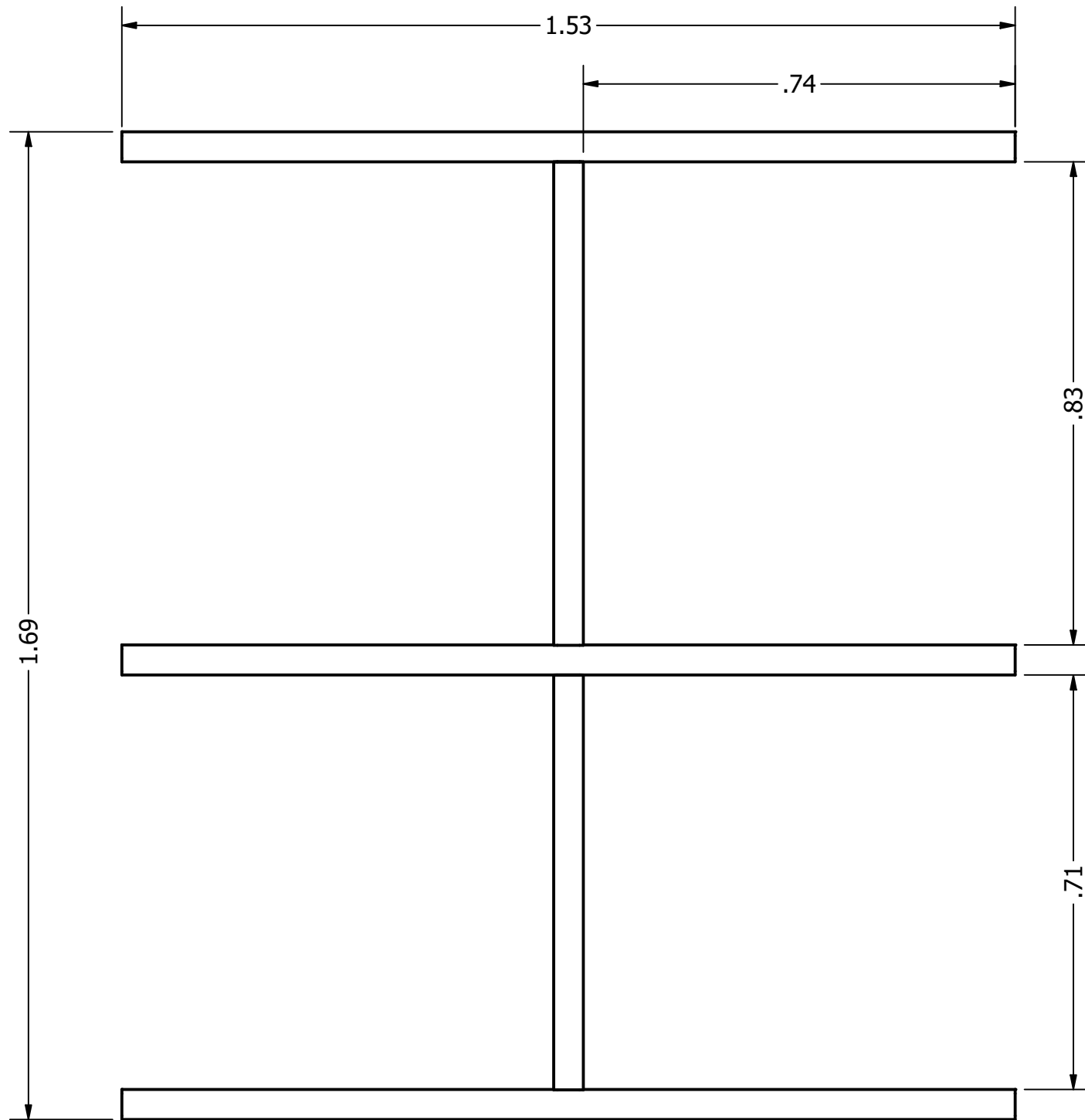
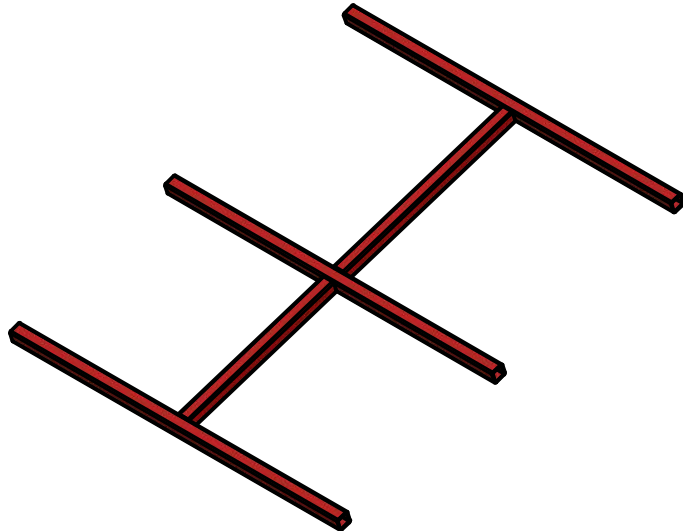
2

1

VISTA EXPLOSIONADA



ISOMÉTRICA COLECTOR SOLAR PARTE 2



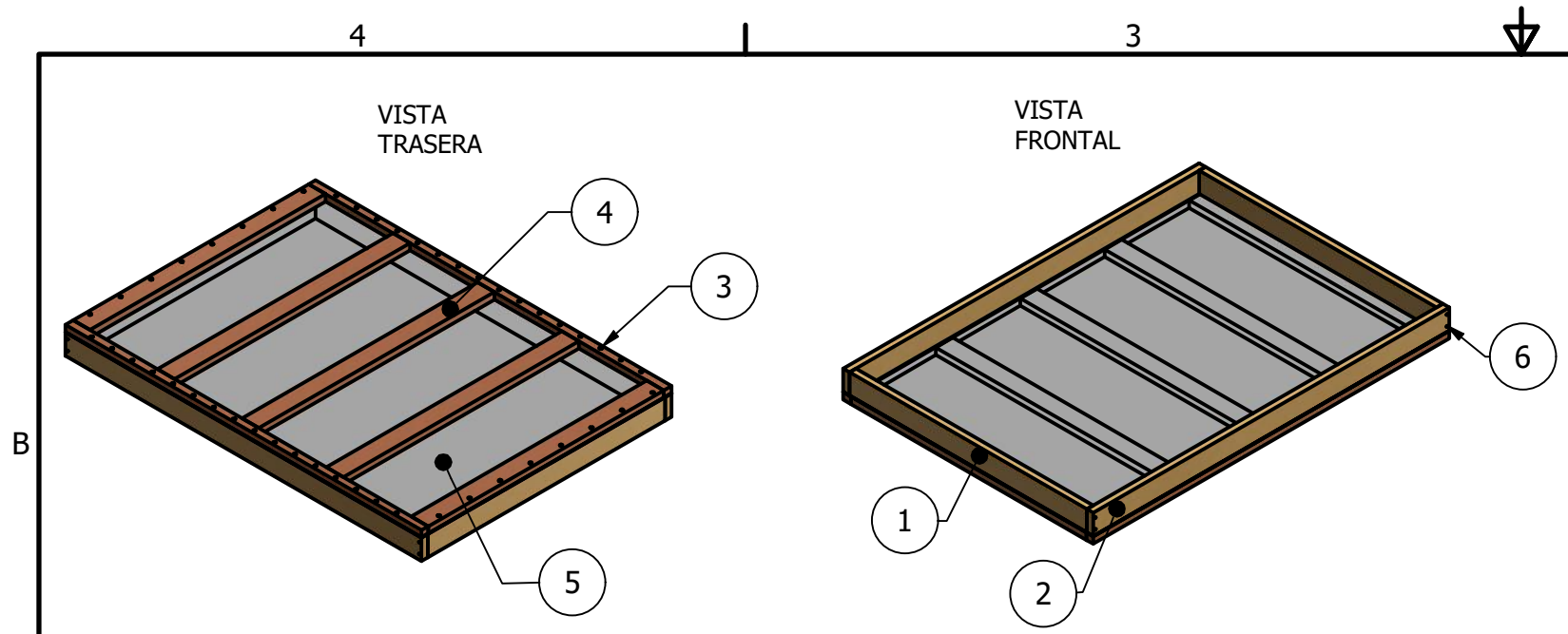
TÍTULO		
ESTRUCTURA COLECTOR SOLAR PARTE 2		
NÚMERO DE DIBUJO: 10		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 3 DE 3	REV 0

4

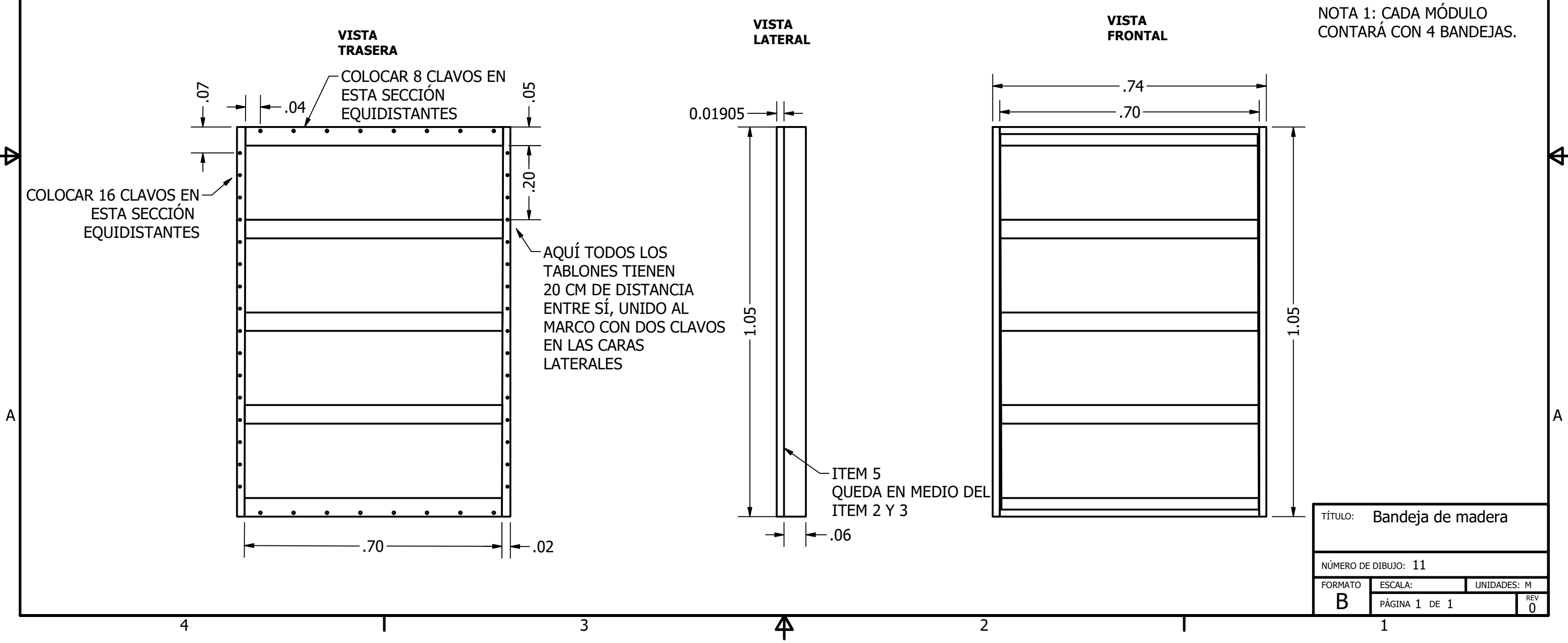
3

2

1

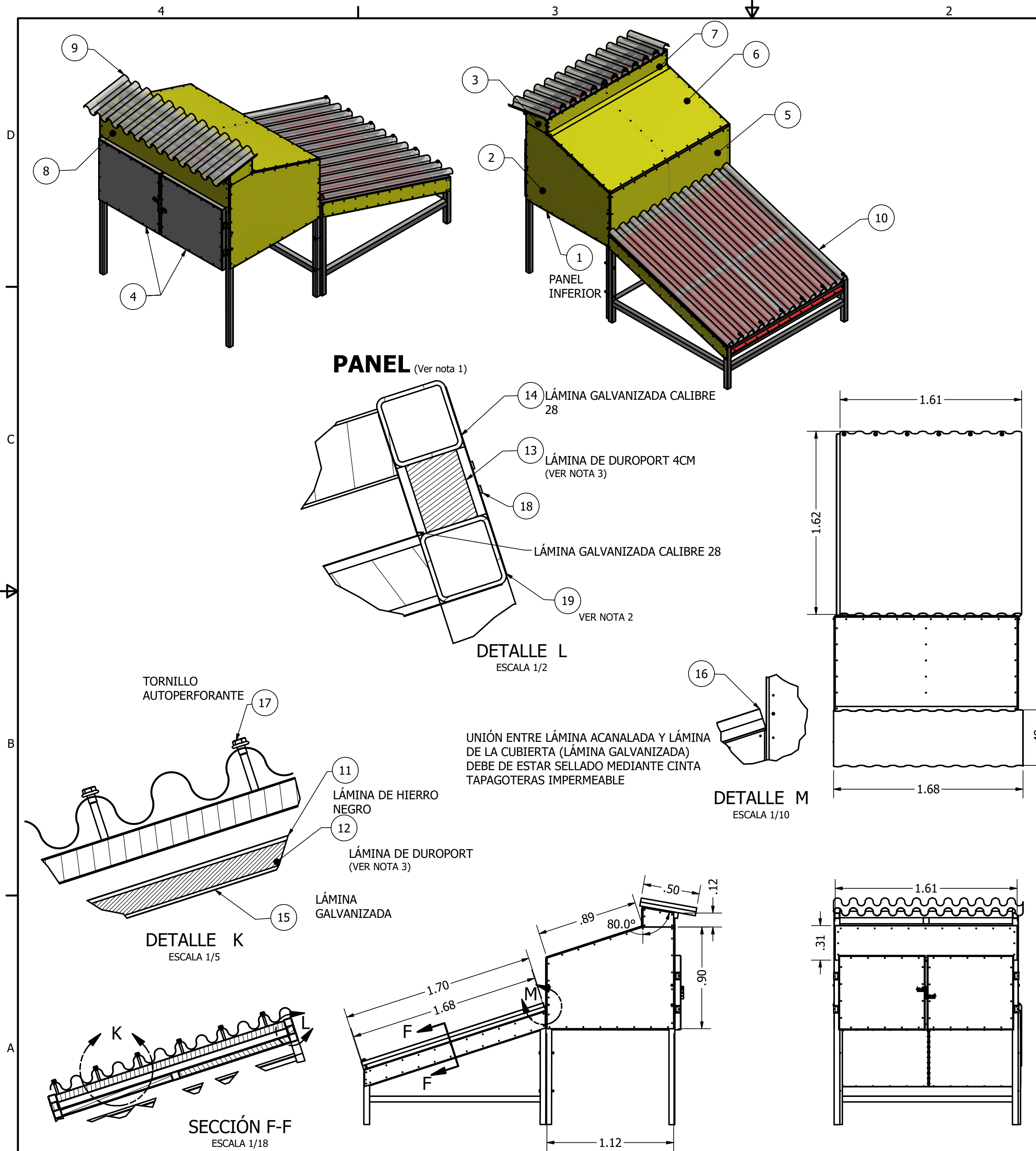


LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ÁREA
1	2	Tablón de madera de Laurel de un 3/4" de espesor, sin tratamiento	0.70 X 0.06 m
2	2	Tablón de madera de Laurel de un 3/4" de espesor, sin tratamiento	1.05 X 0.06 m
3	2	Tablón de madera de Laurel de un 3/4" de espesor, sin tratamiento	1.05 X 0.02 m
4	5	Tablón de madera de Laurel de un 3/4" de espesor, sin tratamiento	0.7 X 0.05 m
5	2	Malla diamante HDPE con orificios 9x9 mm	1.05 X 0.73 m
6	56	Clavos 2d para madera	



NOTA 1: CADA MÓDULO CONTARÁ CON 4 BANDEJAS.

TÍTULO: Bandeja de madera		
NÚMERO DE DIBUJO: 11		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 1 DE 1	REV 0



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	2	PANEL INFERIOR	DIRIGIRSE A PLANOS NO.14,1516
2	2	PANEL LATERAL PARTE 1	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 17, 18, 19
3	2	PANEL LATERAL PARTE 2	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 17,20,21
4	2	PANEL PUERTA	DIRIGIRSE A PLANO NO.22
5	1	LÁMINA FRONTAL	DIRIGIRSE A PLANO NO.23
6	1	LÁMINA SUPERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO.24
7	1	LÁMINA CHIMENEA FRONTAL	DIRIGIRSE A PLANO NO.25
8	1	PANEL CHIMENEA	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 26,27,28
9	1	LÁMINA ACANALADA DE POLICARBONATO TRANSPARENTE	1.68X0.5M
10	1	LÁMINA DE POLICARBONATO ACANALADA TRANSPARENTE	1.7X1.61M
11	1	LÁMINA DE HIERRO NEGRO	DIRIGIRSE A PLANO NO.30
12	4	LÁMINA DE DUROPORT	DIRIGIRSE A PLANO NO.29
13	4	LÁMINA DE DUROPORT	DIRIGIRSE A PLANO NO.29
14	2	LÁMINA GALVANIZADA LATERAL	DIRIGIRSE A PLANO NO. 31
15	2	LÁMINA GALVANIZADA INFERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO.32
16	1	CINTA BITUMINOSA AUTOADHESIVA PARA SELLOS IMPERMEABLES	
17	50	TORNILLOS AUTOOPERFORANTES 1/4"X2" PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS CON SELLO	
18	500	REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16"X1/2"	UNIÓN DE LÁMINA Y TUBERÍA
19	1	SELLADOR SIKAFLEX 221	VER NOTA 2
20	1	JUNTA DE PUERTA DE ESPUMA DE 1"X1/2"	

NOTA 1: UN PANEL ES UN RECUBRIMIENTO QUE CONSTA DE 2 LÁMINAS GALVANIZADAS CALIBRE 28 Y UNA CAPA DE DUROPORT DE 4 CM DE POR MEDIO COMO MATERIAL ASILANTE. LA UNIÓN ENTRE LÁMINA GALVANIZADA TUBERÍA ES MEDIANTE REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X1/2".

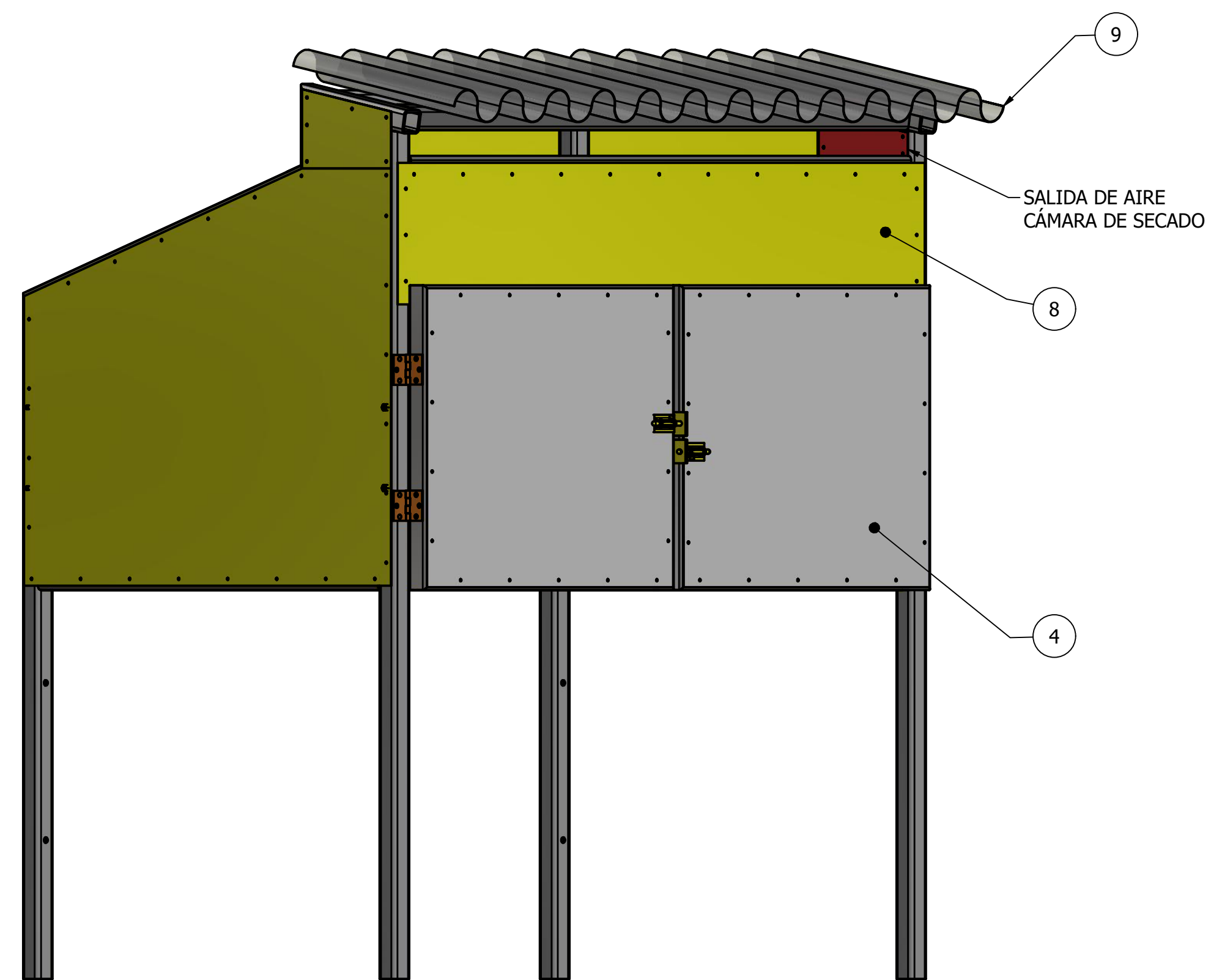
NOTA 2: DEBE DE EXITIR UNIÓN HERMÉTICA ENTRE LÁMINA GALVANIZADA Y TUBERÍA APLICANDO SELLADOR SIKAFLEX 221. ESTO SOLO SE DEBE APLICAR A LAS LÁMINAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A LA INTEMPERIE.

NOTA 3: EN LOS PANELES, LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRENTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.

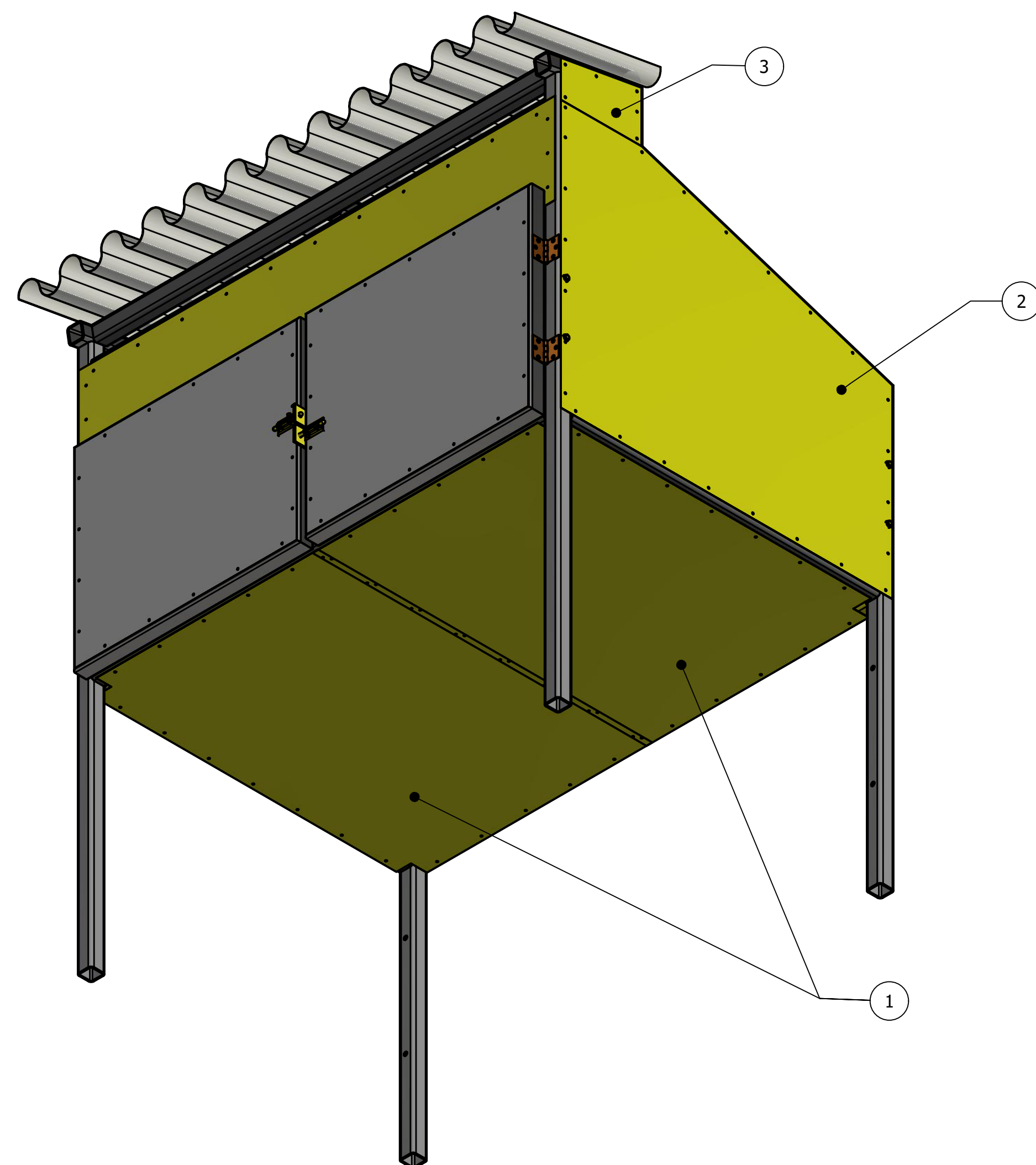
NOTA 4: PARA INFORMACIÓN A DETALLE SOBRE RECUBRIMIENTOS REVISAR PLANOS:  
 • NO.13 REV 0. "RECUBRIMIENTOS CÁMARA DE SECADO"  
 • NO.29 REV 0. "RECUBRIMIENTOS COLECTOR SOLAR"

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	2	PANEL INFERIOR	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 14, 15, 16
2	2	PANEL LATERAL PARTE 1	DIRIGIRSE A PLANOS NO.17, 18,19
3	2	PANEL LATERAL PARTE 2	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 17, 20, 21
4	2	PANEL PUERTA	DIRIGIRSE A PLANO NO.22
5	1	LÁMINA FRONTAL	DIRIGIRSE A PLANO NO. 23
6	1	LÁMINA SUPERIOR	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 24
7	1	LÁMINA CHIMENEAS FRONTAL	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 25
8	1	PANEL CHIMENA	DIRIGIRSE A PLANOS NO. 26,27,28
9	1	LÁMINA ACANALADA DE POLICARBONATO TRANSPARENTE	1.68 X 0.5M VER NOTA 2

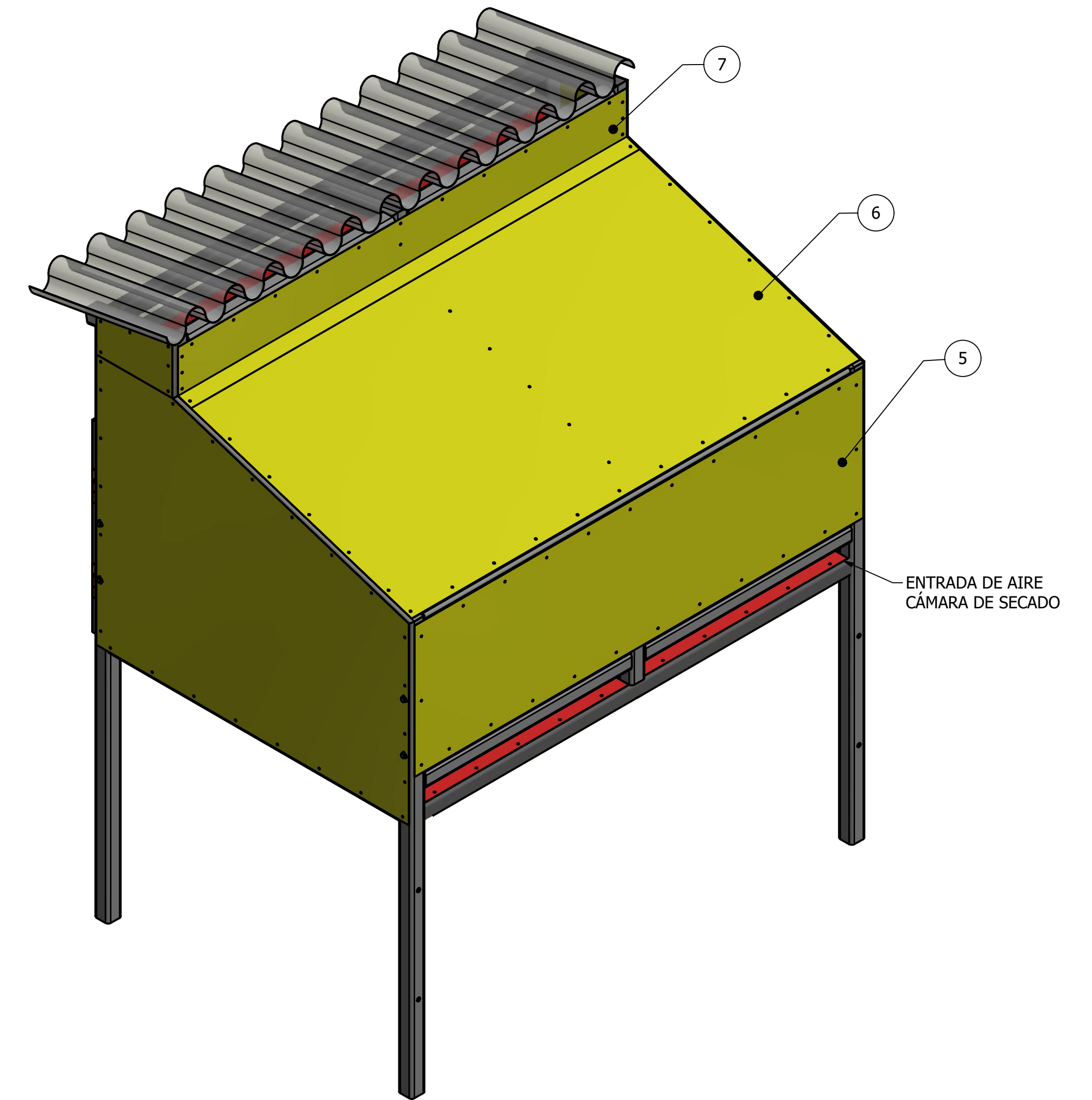
### VISTA TRASERA



### VISTA INFERIOR



### VISTA FRONTAL



NOTA 1: PARA ANALIZAR ESTE PLANO PRIMERO VER PLANOS:

- NO.4 REV 0. "ESTRUCTURA CÁMARA DE SECADO"
- NO. 12 REV 0. "MÓDULO SECADOR SOLAR RECUBRIMIENTOS"

NOTA 2: LA LÁMINA DE POLICARBONATO ACANALADA TRANSPARENTE SE UNE A LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE TORNILLOS AUTOPERFORANTES PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS DE 1/4" X2". DEBE DE EXISTIR UNA DISTANCIA DE 0.2M ENTRE TORNILLOS EN CADA APOYO TRANSVERSAL.

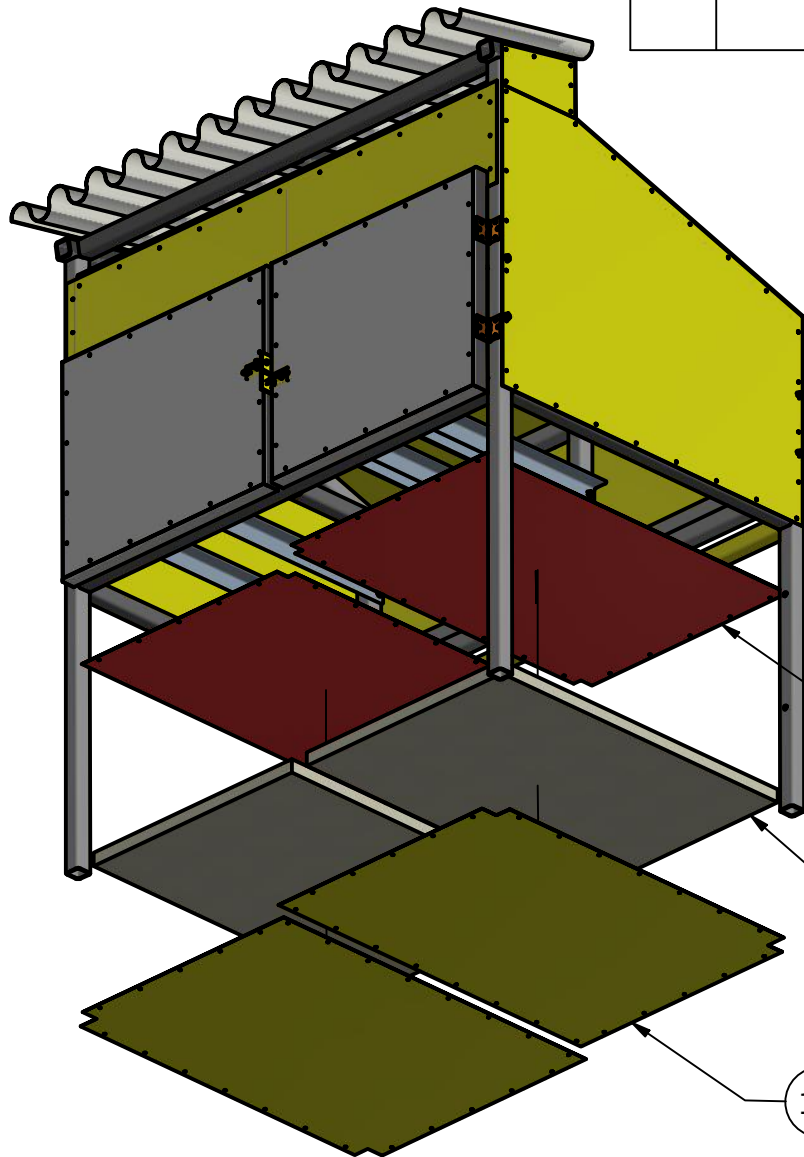
2



1

## LISTA DE PARTES

ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1.1	2	PANEL INFERIOR- LÁMINA EXTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 15
1.2	2	PANEL INFERIOR - DUROPORT	VER NOTA 1
1.3	2	PANEL INFERIOR - LÁMINA INTERIOR	DIGIRIRSE A PLANO NO. 16



NOTA 1: EN LOS PANELES, LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRANTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.

TÍTULO: PANEL INFERIOR

NÚMERO DE DIBUJO: 14

FORMATO ESCALA: 1/20 UNIDADES: M

A

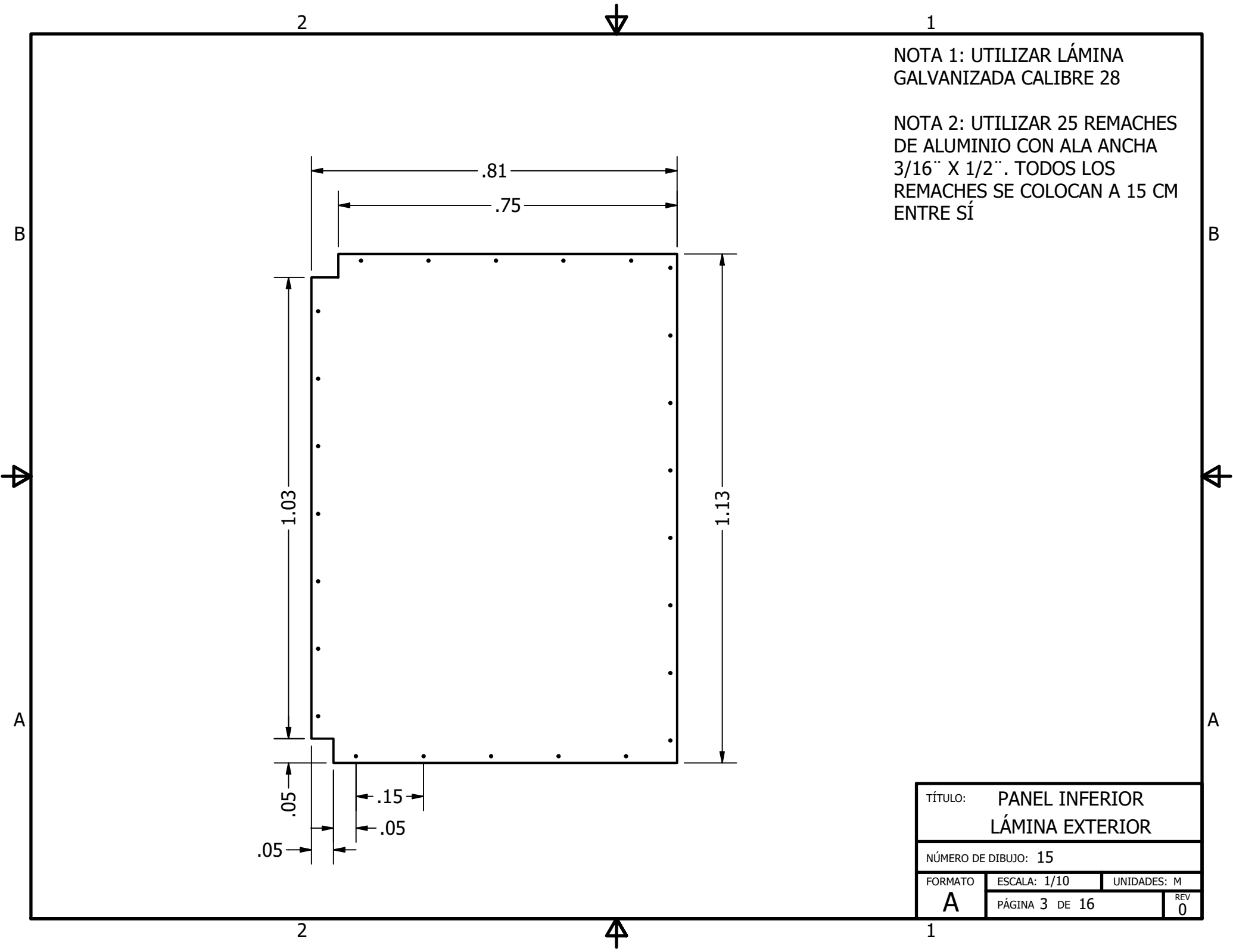
PÁGINA 2 DE 16

REV  
0

2



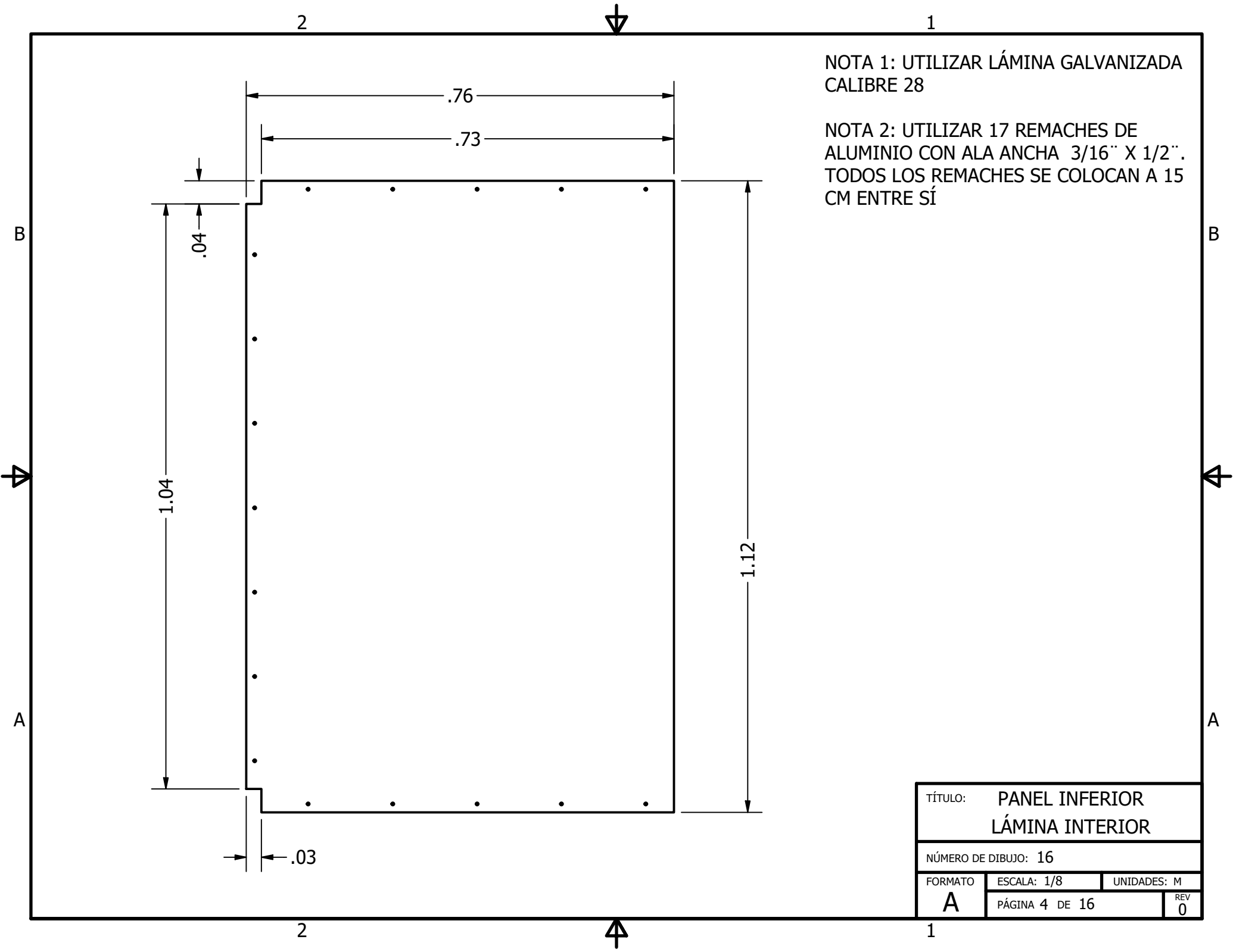
1



NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 25 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

TÍTULO: <b>PANEL INFERIOR</b>		
LÁMINA EXTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 15		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M
<b>A</b>	PÁGINA 3 DE 16	REV 0



NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 17 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

TÍTULO: <b>PANEL INFERIOR</b>			
LÁMINA INTERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: 16			
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: M	
<b>A</b>	PÁGINA 4 DE 16	REV 0	

4

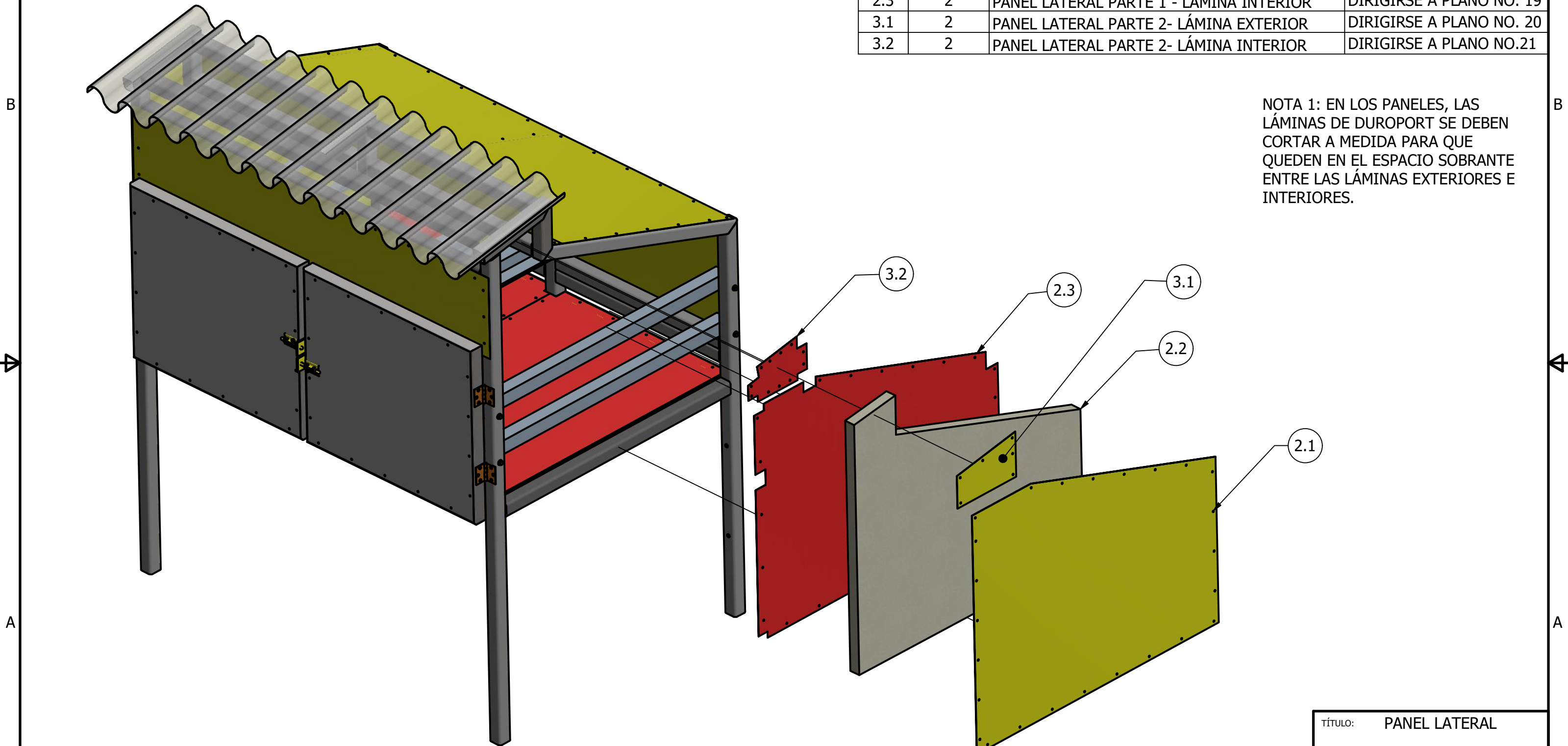
3

2

1

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
2.1	2	PANEL LATERAL PARTE 1-LÁMINA EXTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO.18
2.2	2	PANEL LATERAL PARTE 1- DUROPORT	VER NOTA 1
2.3	2	PANEL LATERAL PARTE 1 - LÁMINA INTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 19
3.1	2	PANEL LATERAL PARTE 2- LÁMINA EXTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 20
3.2	2	PANEL LATERAL PARTE 2- LÁMINA INTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO.21

NOTA 1: EN LOS PANELES, LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRANTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.



TÍTULO: PANEL LATERAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 17		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 5 DE 16	REV 0

4

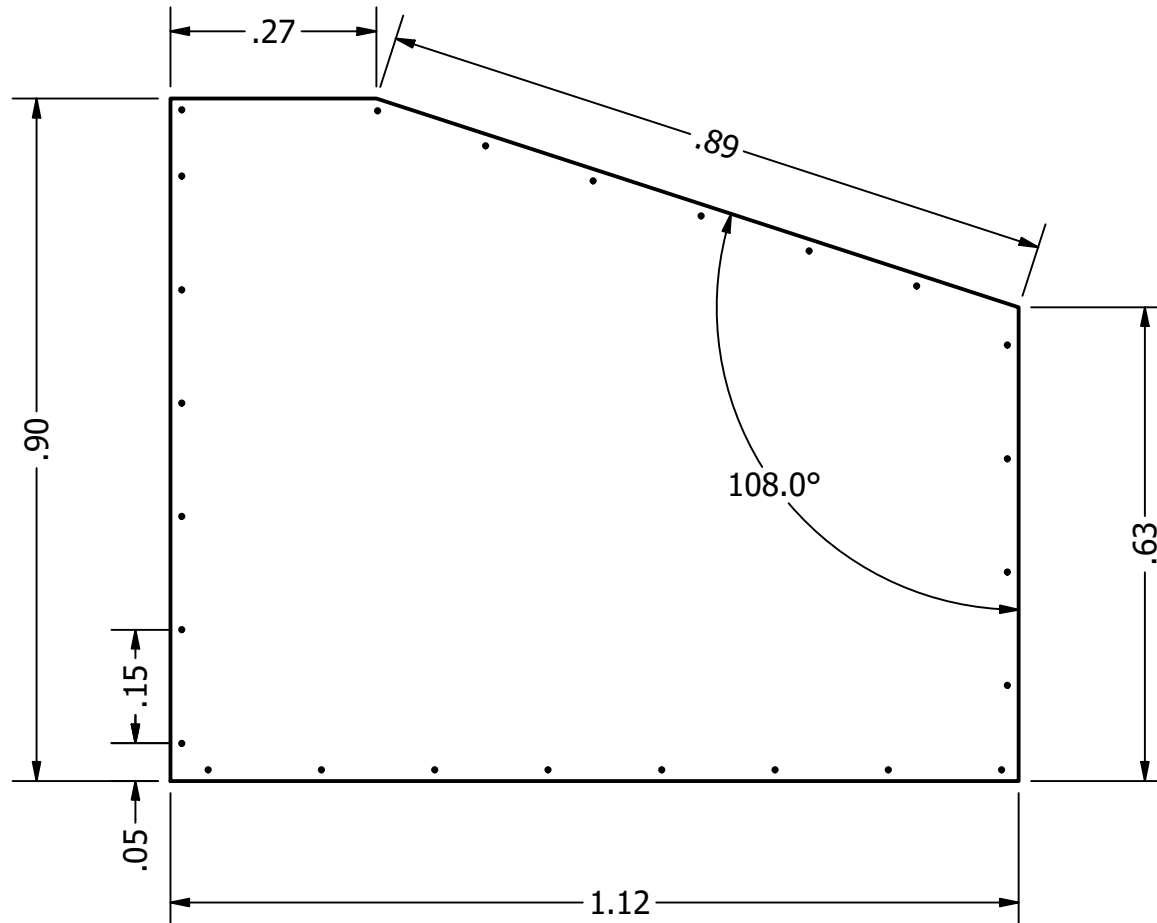
3

2

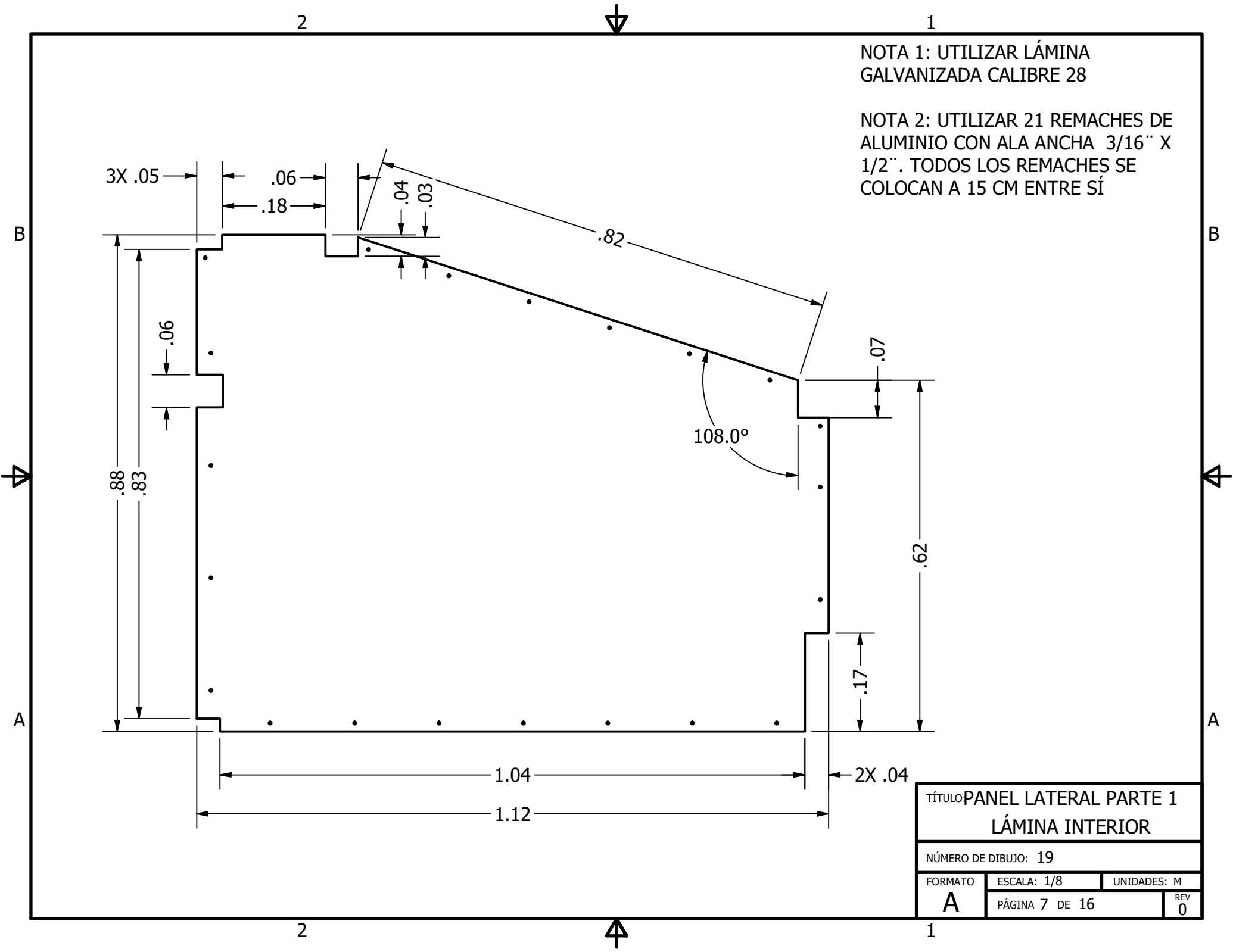
1

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 25 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ



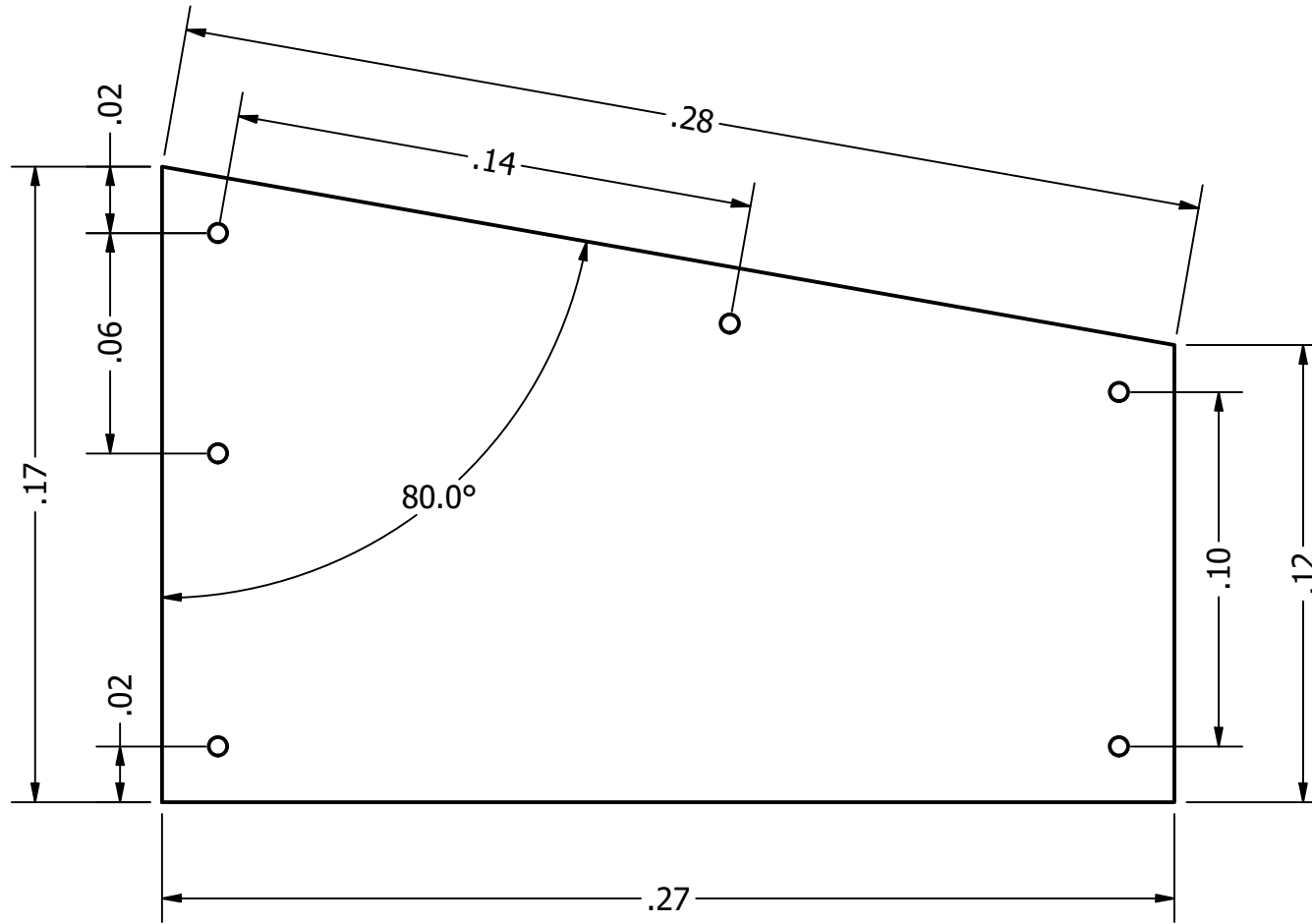
TÍTULO			
PANEL LATERAL PARTE 1			
LÁMINA EXTERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: 18			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M	
A	PÁGINA 6 DE 16	REV	0



TÍTULO		
PANEL LATERAL PARTE 1		
LÁMINA INTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 19		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: M
<b>A</b>	PÁGINA 7 DE 16	REV 0

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

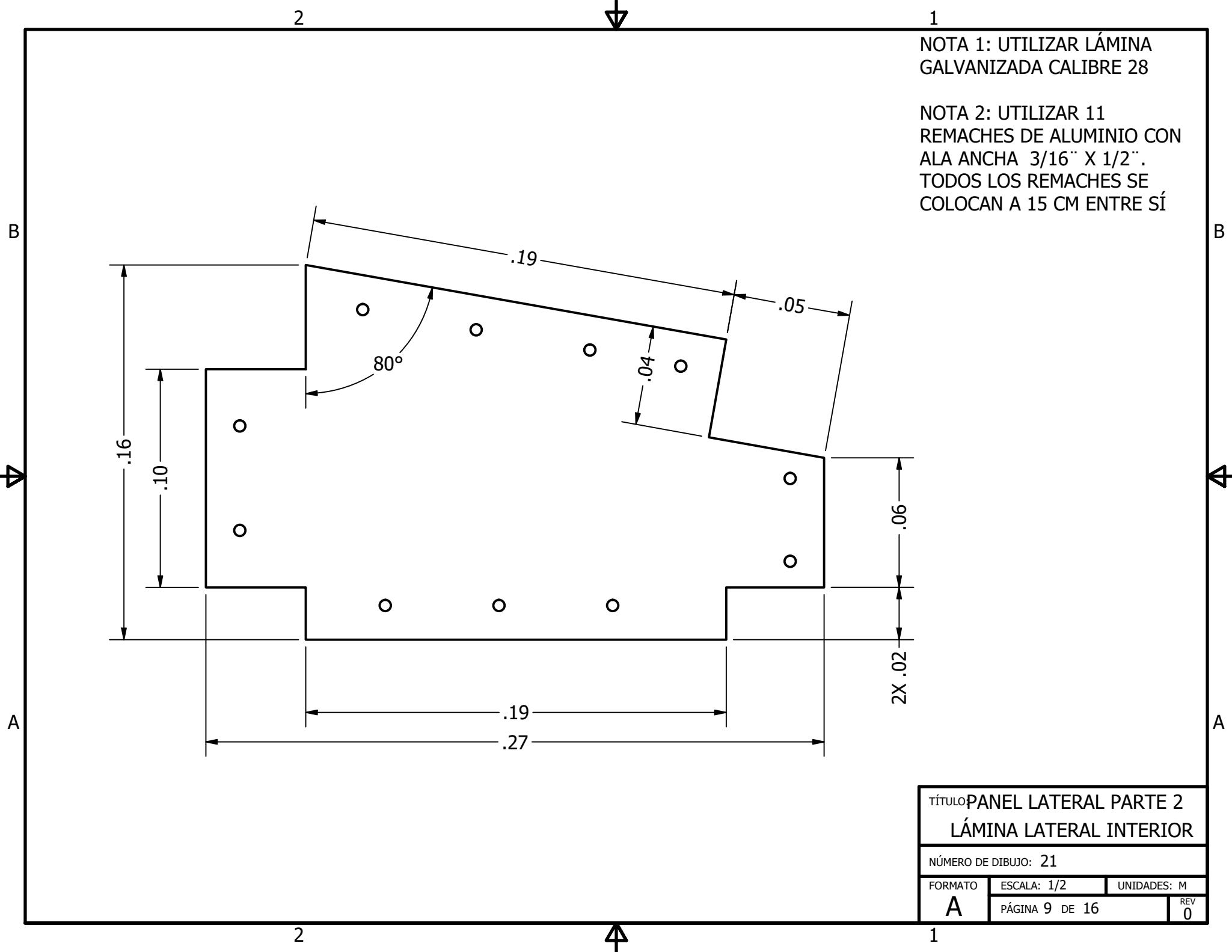
NOTA 2: UTILIZAR 6 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ



TÍTULO			
PANEL LATERAL PARTE 2			
LÁMINA EXTERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: 20			
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: M	
A	PÁGINA 8 DE 16		REV 0

1  
NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 11 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ



TÍTULO PANEL LATERAL PARTE 2  
LÁMINA LATERAL INTERIOR

NÚMERO DE DIBUJO: 21

FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: M
A	PÁGINA 9 DE 16	REV 0

2

1

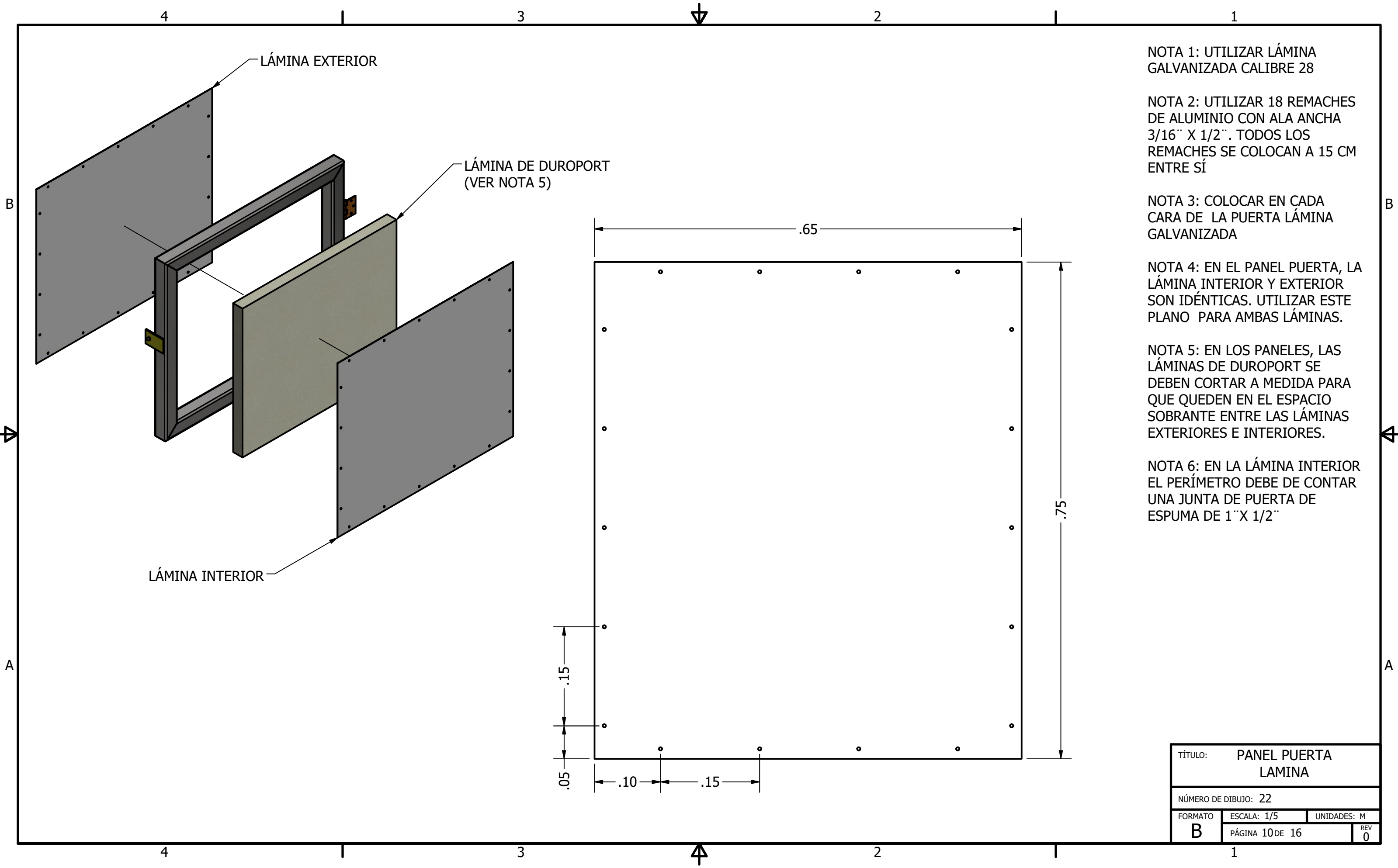


LÁMINA EXTERIOR

LÁMINA DE DUROPORT  
(VER NOTA 5)

LÁMINA INTERIOR

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 18 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

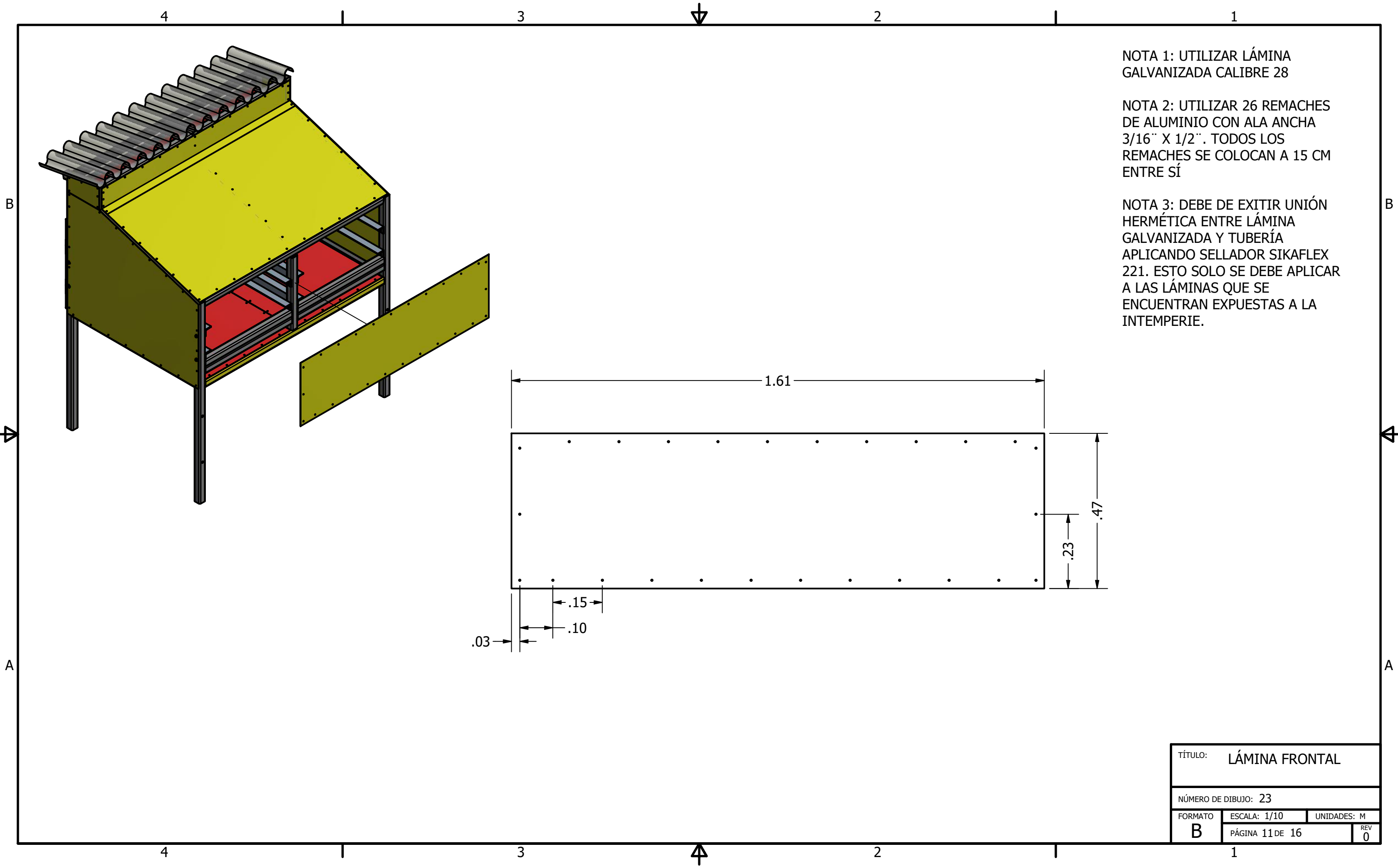
NOTA 3: COLOCAR EN CADA CARA DE LA PUERTA LÁMINA GALVANIZADA

NOTA 4: EN EL PANEL PUERTA, LA LÁMINA INTERIOR Y EXTERIOR SON IDÉNTICAS. UTILIZAR ESTE PLANO PARA AMBAS LÁMINAS.

NOTA 5: EN LOS PANELES, LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRANTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.

NOTA 6: EN LA LÁMINA INTERIOR EL PERÍMETRO DEBE DE CONTAR UNA JUNTA DE PUERTA DE ESPUMA DE 1" X 1/2"

TÍTULO: PANEL PUERTA LAMINA		
NÚMERO DE DIBUJO: 22		
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 10 DE 16	REV 0

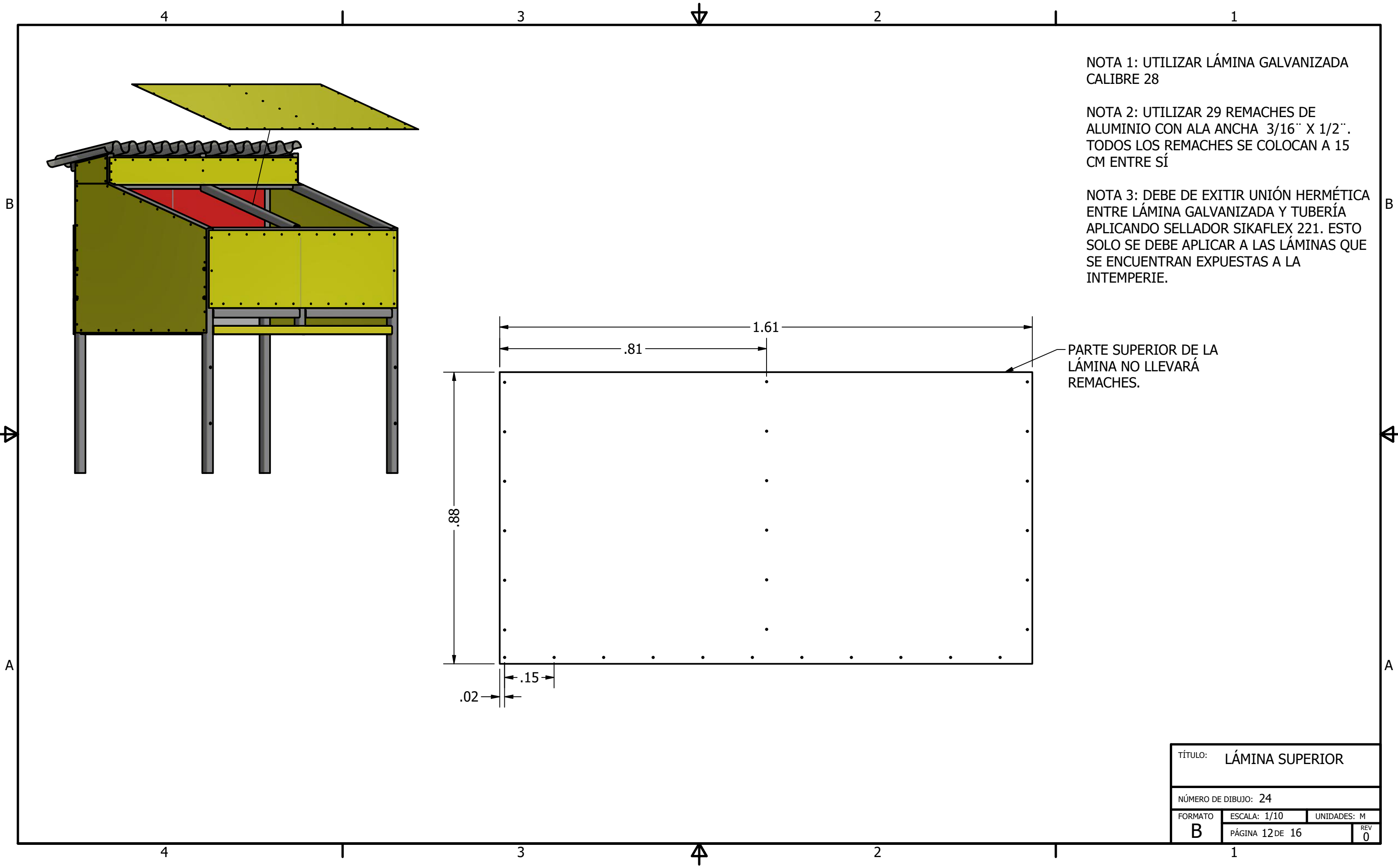


NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 26 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

NOTA 3: DEBE DE EXITIR UNIÓN HERMÉTICA ENTRE LÁMINA GALVANIZADA Y TUBERÍA APLICANDO SELLADOR SIKAFLEX 221. ESTO SOLO SE DEBE APLICAR A LAS LÁMINAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A LA INTEMPERIE.

TÍTULO: LÁMINA FRONTAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 23		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 11 DE 16	REV 0



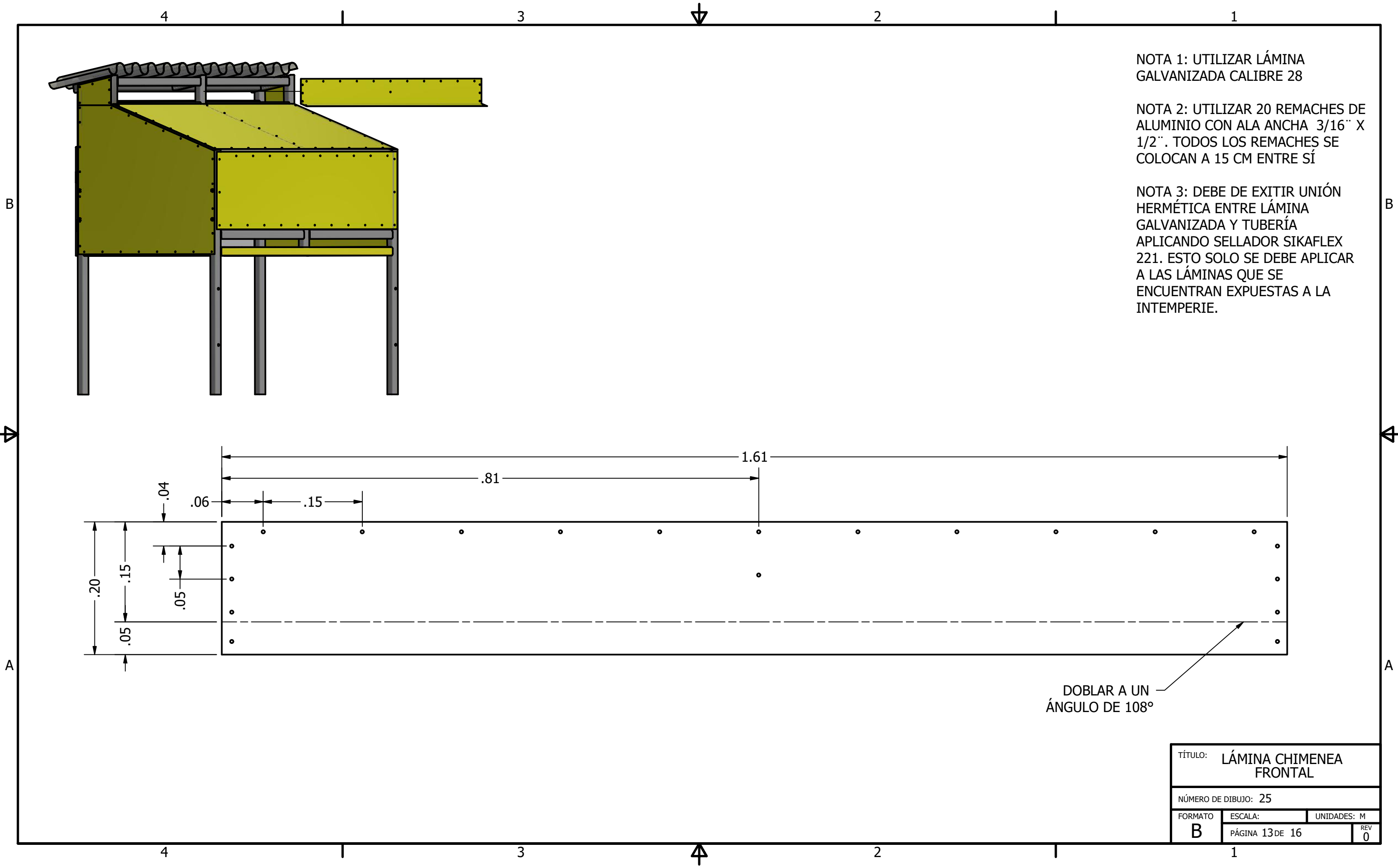
NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 29 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

NOTA 3: DEBE DE EXITIR UNIÓN HERMÉTICA ENTRE LÁMINA GALVANIZADA Y TUBERÍA APLICANDO SELLADOR SIKAFLEX 221. ESTO SOLO SE DEBE APLICAR A LAS LÁMINAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A LA INTEMPERIE.

PARTE SUPERIOR DE LA LÁMINA NO LLEVARÁ REMACHES.

TÍTULO: LÁMINA SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 24		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 12 DE 16	REV 0



NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 20 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

NOTA 3: DEBE DE EXITIR UNIÓN HERMÉTICA ENTRE LÁMINA GALVANIZADA Y TUBERÍA APLICANDO SELLADOR SIKAFLEX 221. ESTO SOLO SE DEBE APLICAR A LAS LÁMINAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A LA INTEMPERIE.

DOBLAR A UN ÁNGULO DE 108°

TÍTULO: LÁMINA CHIMENEA FRONTAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 25		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 13 DE 16	REV 0

4

3

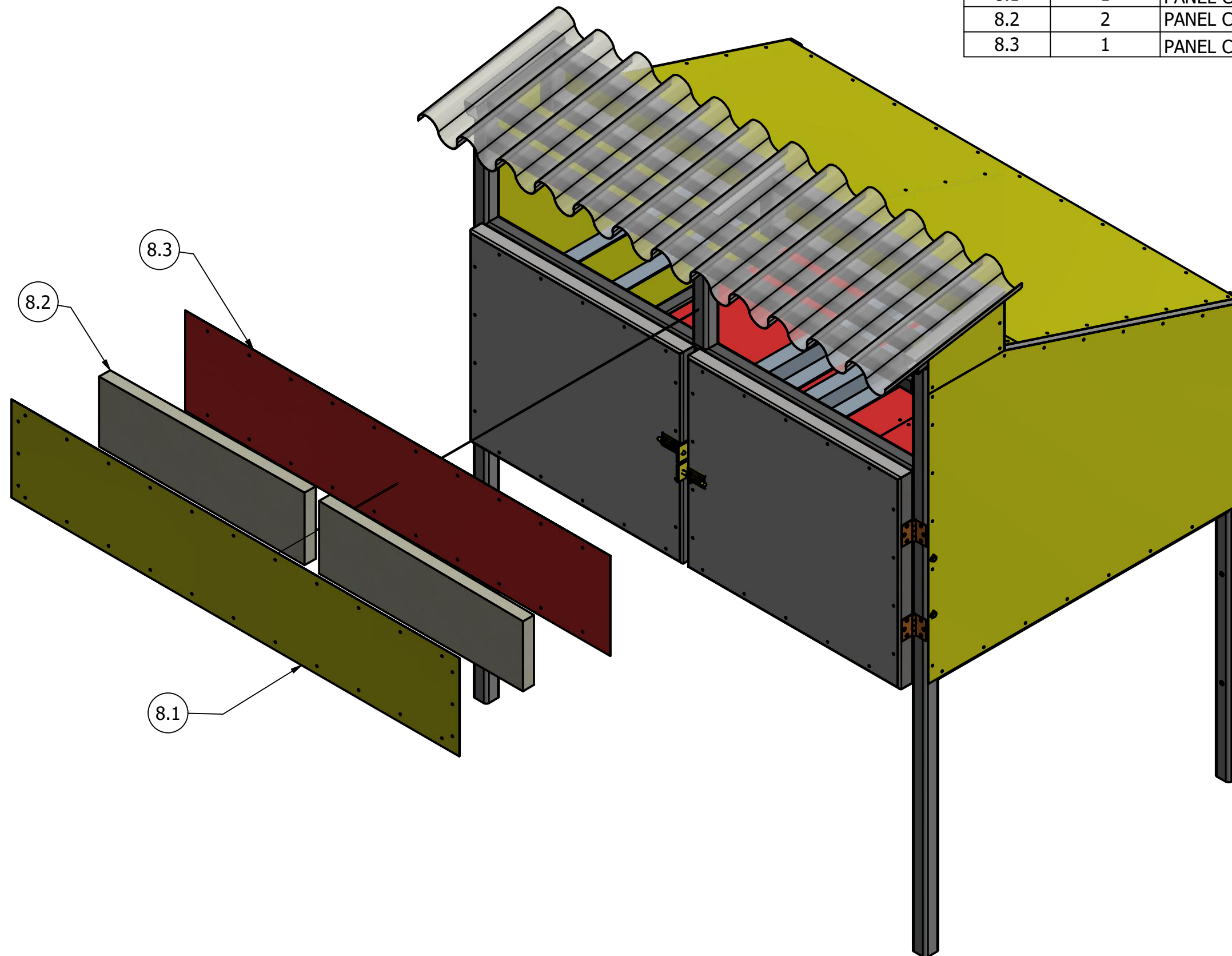
2

1

LISTA DE PARTES

ITEM	CANTIDAD	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
8.1	1	PANEL CHIMENEA-LÁMINA EXTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 27
8.2	2	PANEL CHIMENEA- DUROPORT	VER NOTA 1
8.3	1	PANEL CHIMENEA- LÁMINA INTERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 28

NOTA 1: EN LOS PANELES, LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRANTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.



TÍTULO: PANEL CHIMENEA		
NÚMERO DE DIBUJO: 26		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: M
<b>B</b>	PÁGINA 14 DE 16	REV 0

4

3

4

2

1

4

3

2

1

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 28 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

B

B

1.61

.31

.10

.05

.15

.05

TÍTULO: PANEL CHIMENEA LÁMINA EXTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 27		
FORMATO <b>B</b>	ESCALA: 1/5	UNIDADES: M
	PÁGINA 15 DE 16	REV 0

4

3

2

1

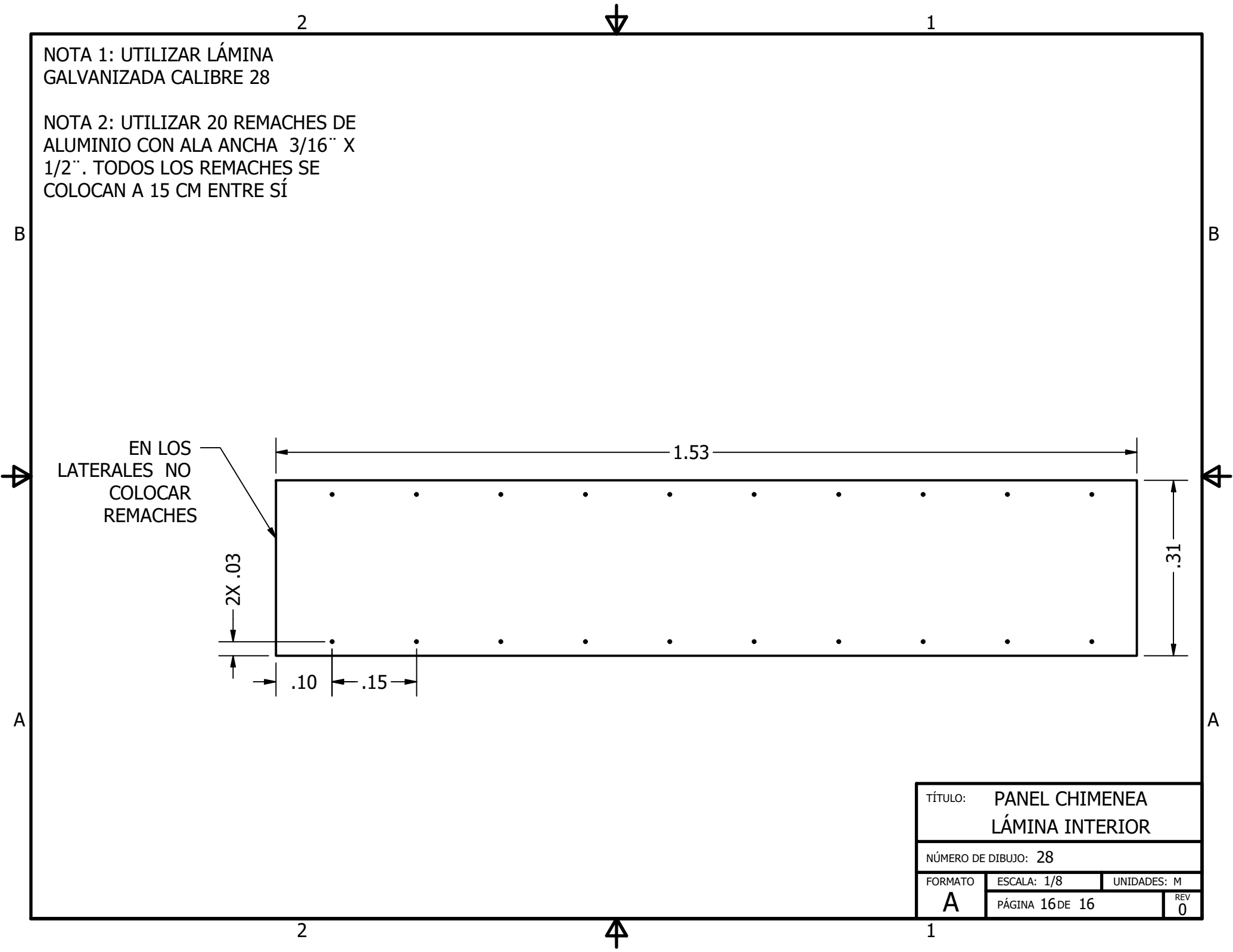
A

A

4

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 20 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ



TÍTULO: PANEL CHIMENEA LÁMINA INTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 28		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: M
<b>A</b>	PÁGINA 16 DE 16	REV 0

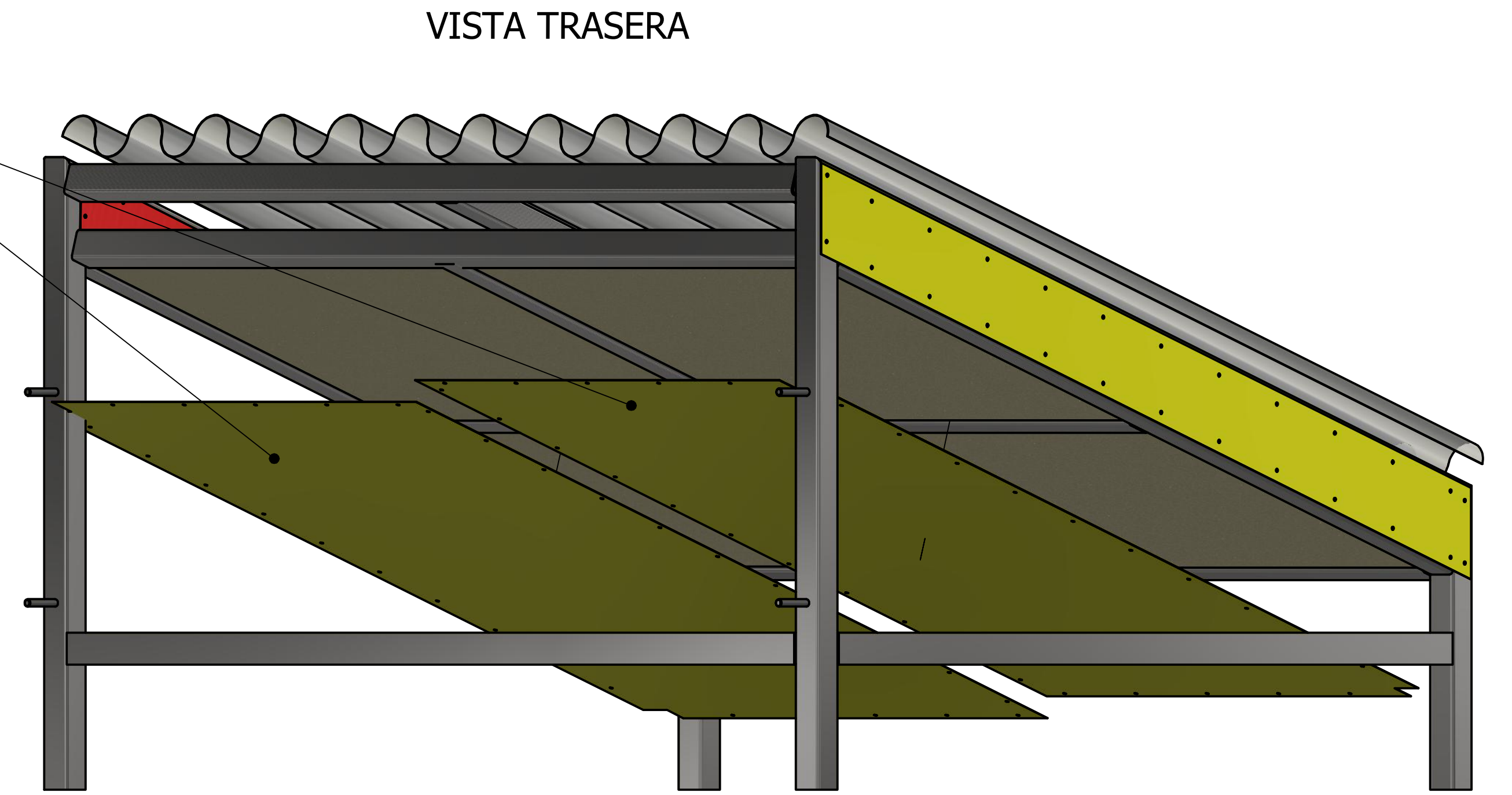
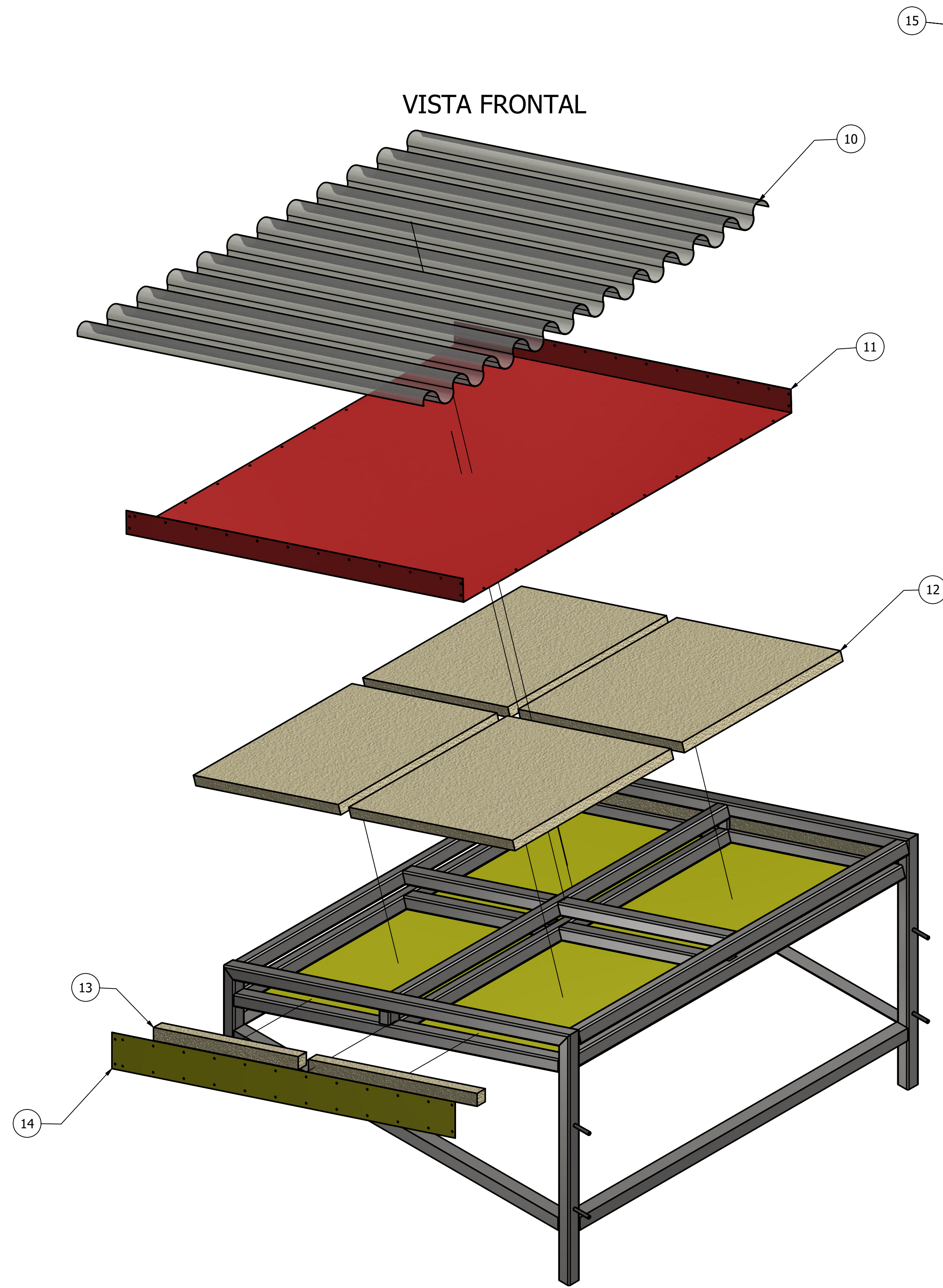
NOTA 1: PARA ANALIZAR ESTE PLANO PRIMERO VER PLANOS:

- NO.8 REV 0. "ESTRUCTURA COLECTOR SOLAR"
- NO.12 REV 0. "MÓDULO SECADOR SOLAR RECUBRIMIENTOS"

NOTA 2: LA LÁMINA DE POLICARBONATO ACANALADA TRANSPARENTE SE UNE A LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE TORNILLOS AUTOPERFORANTES PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS DE 1/4" X2". DEBE DE EXISTIR UNA DISTANCIA DE 0.2M ENTRE TORNILLOS EN CADA APOYO TRANSVERSAL.

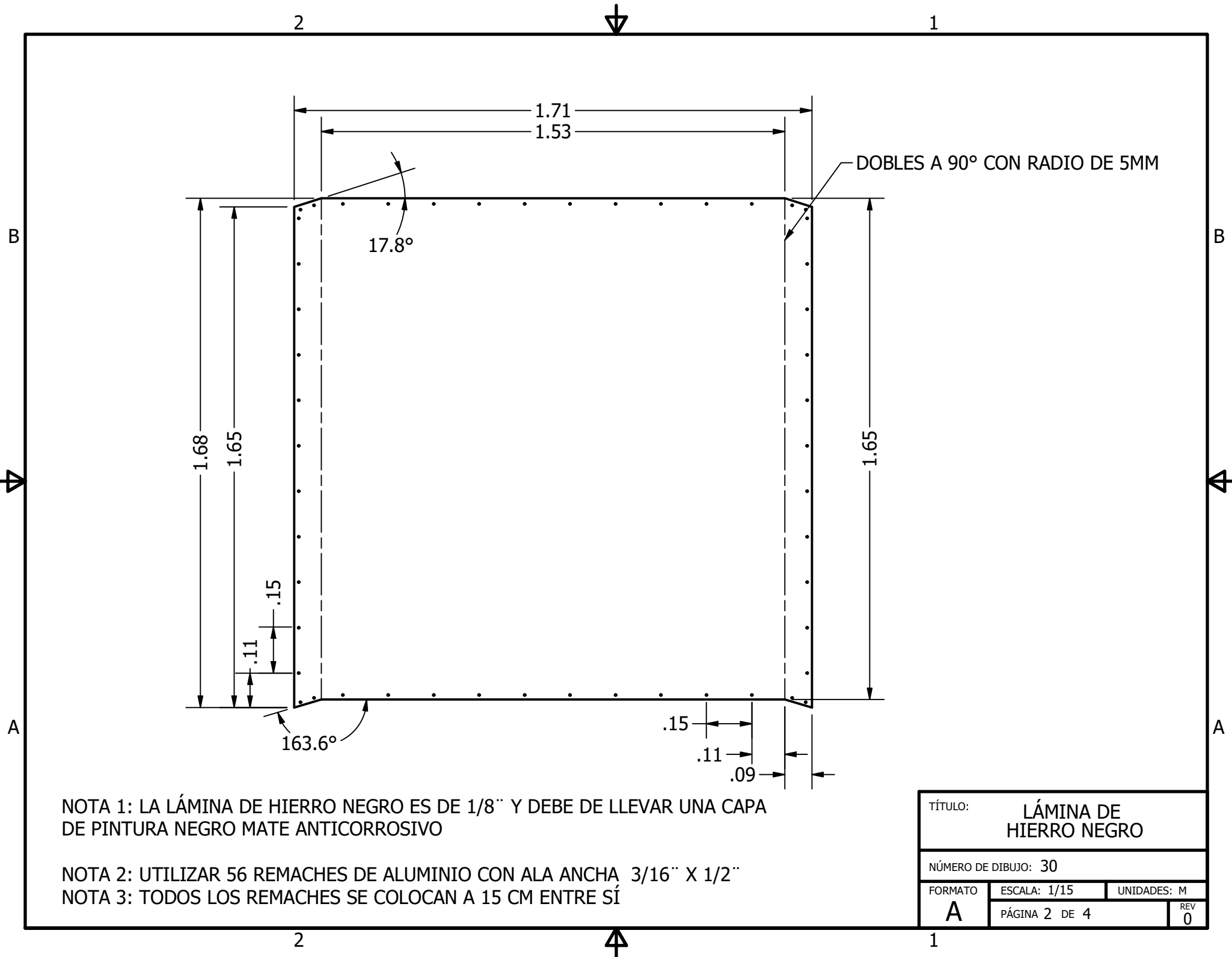
NOTA 3: LA LÁMINA ACANALADA SE COLOCA ENCIMA DEL COLECTOR SOLAR PARTE 2 (REFERIRSE A PLANO: "ESTRUCTURA COLECTOR SOLAR PARTE 2" NO. 10 REV 0.)

NOTA 4: LAS LÁMINAS DE DUROPORT SE DEBEN CORTAR A MEDIDA PARA QUE QUEDEN EN EL ESPACIO SOBRIANTE ENTRE LAS LÁMINAS EXTERIORES E INTERIORES.



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
10	1	LÁMINA ACANALADA DE POLICARBONATO TRANSPARENTE	1.7X1.61M VER NOTA 2
11	1	LÁMINA DE HIERRO NEGRO	DIRIGIRSE A PLANO NO. 30
12	4	LÁMINA DE DUROPORT	VER NOTA 4
13	4	LÁMINA DE DUROPORT	VER NOTA 4
14	2	LÁMINA GALVANIZADA LATERAL	DIRIGIRSE A PLANO NO. 31
15	2	LÁMINA GALVANIZADA INFERIOR	DIRIGIRSE A PLANO NO. 32

TÍTULO: RECUBRIMIENTOS COLECTOR SOLAR		
NÚMERO DE DIBUJO: 29		
FORMATO: D	ESCALA:	UNIDADES: M
PÁGINA 1 DE 4		REV 0



NOTA 1: LA LÁMINA DE HIERRO NEGRO ES DE 1/8" Y DEBE DE LLEVAR UNA CAPA DE PINTURA NEGRO MATE ANTICORROSIVO

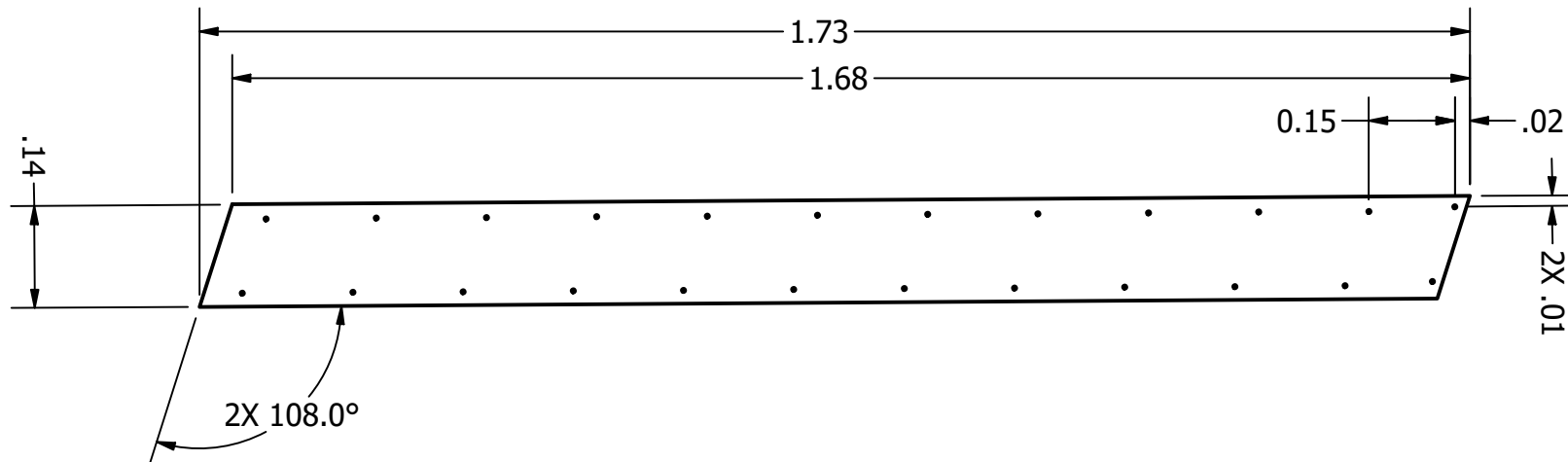
NOTA 2: UTILIZAR 56 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2"

NOTA 3: TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

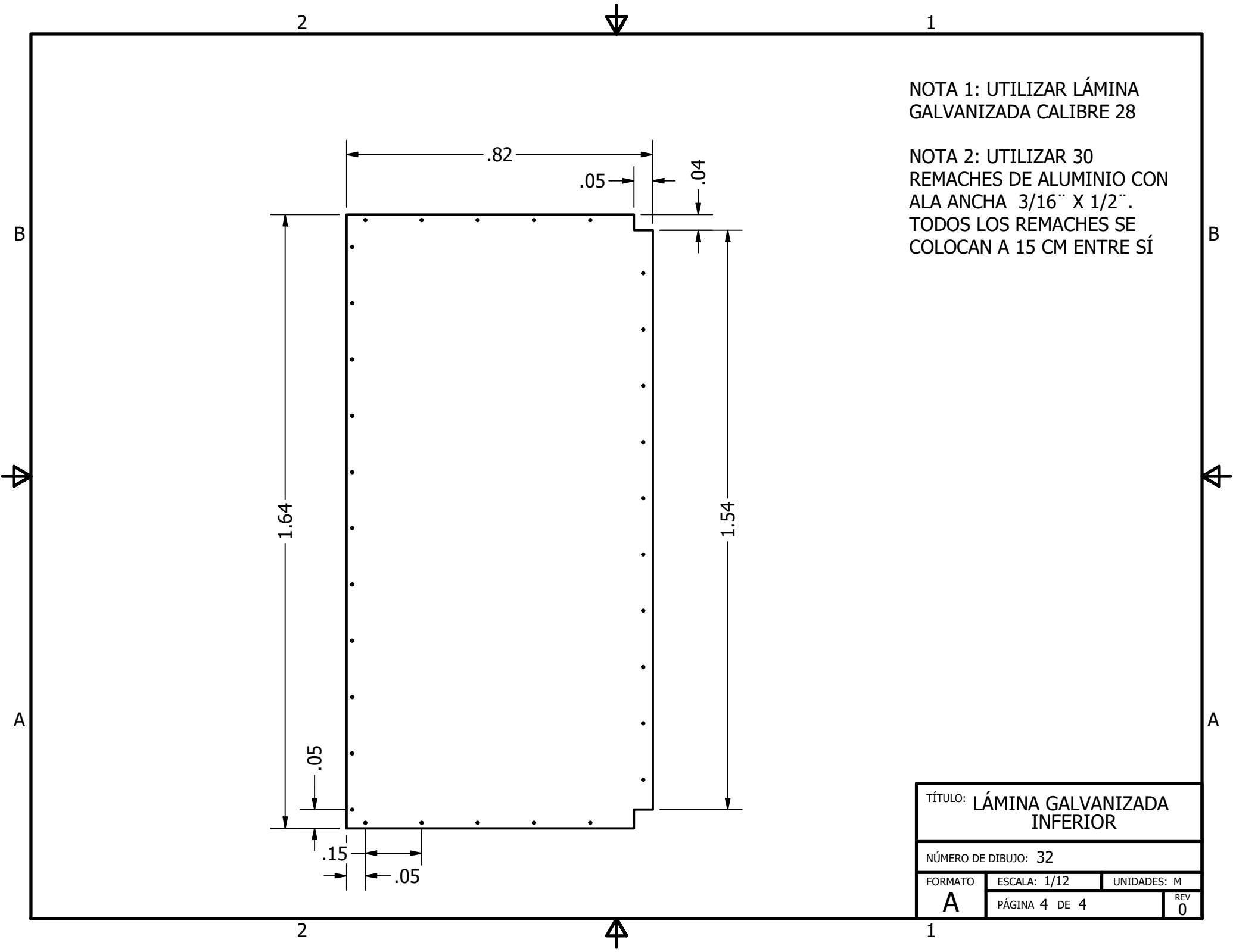
TÍTULO:			LÁMINA DE HIERRO NEGRO		
NÚMERO DE DIBUJO: 30					
FORMATO	ESCALA: 1/15	UNIDADES: M			
A	PÁGINA 2 DE 4			REV 0	

NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 24 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ



TÍTULO: LÁMINA GALVANIZADA LATERAL			
NÚMERO DE DIBUJO: 31			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: M	
A	PÁGINA 3 DE 4		REV 0

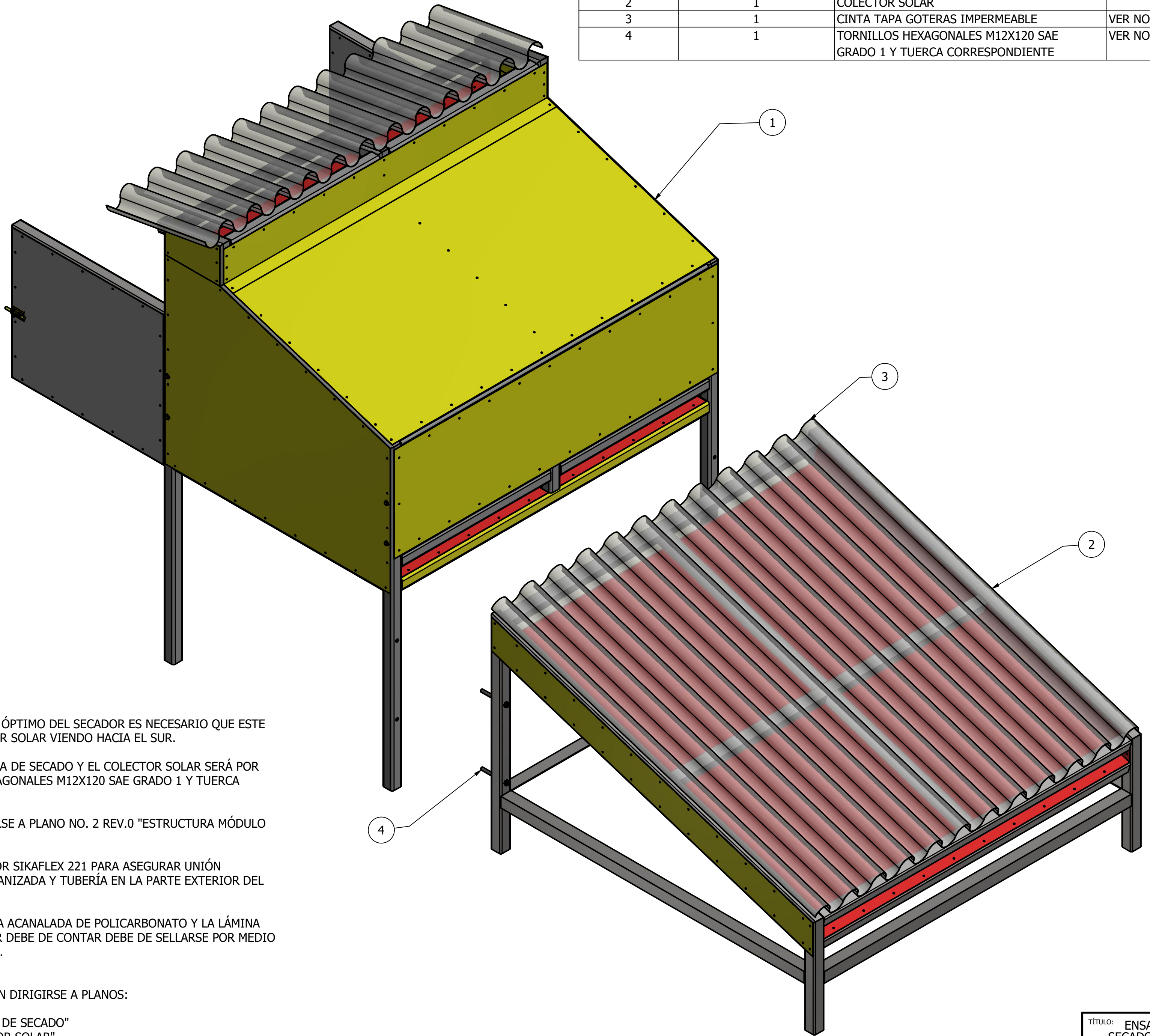


NOTA 1: UTILIZAR LÁMINA GALVANIZADA CALIBRE 28

NOTA 2: UTILIZAR 30 REMACHES DE ALUMINIO CON ALA ANCHA 3/16" X 1/2". TODOS LOS REMACHES SE COLOCAN A 15 CM ENTRE SÍ

TÍTULO: LÁMINA GALVANIZADA INFERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: 32			
FORMATO	ESCALA: 1/12	UNIDADES: M	
<b>A</b>	PÁGINA 4 DE 4	REV 0	

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	CÁMARA DE SECADO	
2	1	COLECTOR SOLAR	
3	1	CINTA TAPA GOTERAS IMPERMEABLE	VER NOTA 4
4	1	TORNILLOS HEXAGONALES M12X120 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE	VER NOTA 2



NOTA 1: PARA EL FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DEL SECADOR ES NECESARIO QUE ESTE SEA POSICIONADO CON EL COLECTOR SOLAR VIENDO HACIA EL SUR.

NOTA 2: LA UNIÓN ENTRE LA CÁMARA DE SECADO Y EL COLECTOR SOLAR SERÁ POR MEDIO DE CUATRO TORNILLOS HEXAGONALES M12X120 SAE GRADO 1 Y TUERCA CORRESPONDIENTE.

PARA MAYOR INFORMACIÓN DIRIGIRSE A PLANO NO. 2 REV.0 "ESTRUCTURA MÓDULO CON LISTA DE MATERIALES"

NOTA 3: SE DEBE COLOCAR SELLADOR SIKAFLEX 221 PARA ASEGURAR UNIÓN HERMÉTICA ENTRE LA LÁMINA GALVANIZADA Y TUBERÍA EN LA PARTE EXTERIOR DEL SECADOR.

NOTA 4: LA UNIÓN ENTRE LA LÁMINA ACANALADA DE POLICARBONATO Y LA LÁMINA GALVANIZADA DEL COLECTOR SOLAR DEBE DE CONTAR DEBE DE SELLARSE POR MEDIO DE CINTA TAPAGOTERAS IMPERABLE.

NOTA 5: PARA MAYOR INFORMACIÓN DIRIGIRSE A PLANOS:

- NO. 4. REV.0 "ESTRUCTURA CÁMARA DE SECADO"
- NO. 8 REV.0 "ESTRUCTURA COLECTOR SOLAR"
- NO.13 REV.0 "RECUBRIMIENTOS CÁMARA SE SECADO"
- NO.29 REV. 0 "RECUBRIMIENTOS COLECTOR SOLAR"

TÍTULO: ENSAMBLE MÓDULO SECADOR VISTA FRONTAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 33		
FORMATO: C	ESCALA: 1/8	UNIDADES: M
PÁGINA 1 DE 2		REV 0

NOTA 1: CÁDA SECADOR CONTARÁ CON 4 BANDEJAS, QUE SERÁN COLOCADAS SOBRE LOS ANGULARES DENTRO DE LA CÁRAMA DE SECADO.

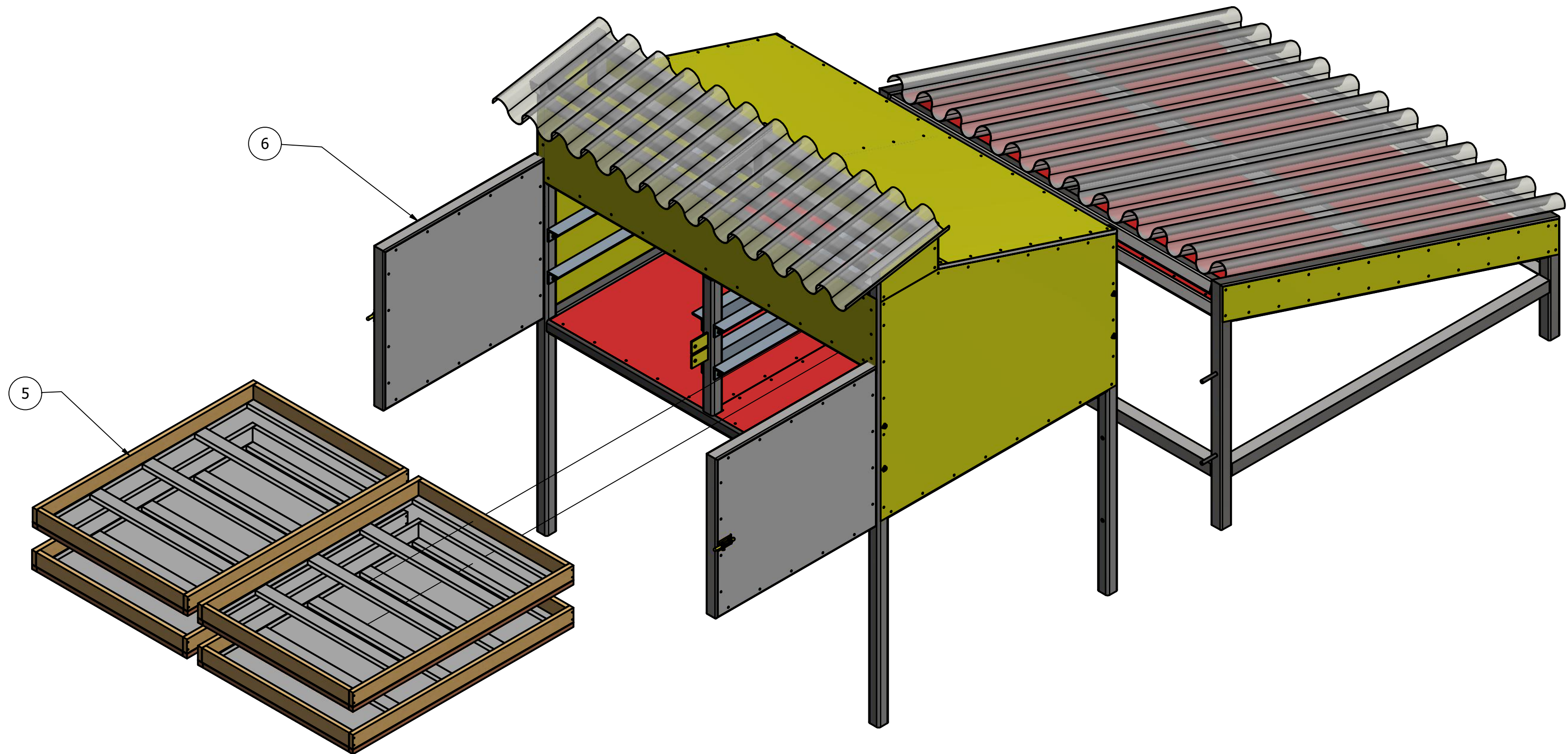
LAS BANDEJAS DEBEN DE ENTRAR FACILMENTE SIN NECESIDAD DE SER FORZADAS.

PARA MAYOR INFORMACIÓN SOBRE LAS BANDEJAS REFERIRSE A PLANO NO.11 REV.0 "BANDEJA DE MADERA".

NOTA 2: LAS PUERTAS DEBEN DE CONTAR EN SU PERÍMETRO INTERNO UNA CAPA DE JUNTA DE PUERTA DE ESPUMA DE VINILO DE 1" DE ANCHO Y 1/2" DE ESPESOR.

PATA MAYOR INFORMACIÓN SOBRE LAS PUERTAS REFERIRSE A PLANOS:  
NO.7 REV.0 "ESTRUCTURA PUERTA"  
NO. 22 REV.0 "PANEL PUERTA"

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
5	4	BANDEJA	VER NOTA 1
6	2	PUERTA	VER NOTA 2



TÍTULO: ENSAMBLE MODULO SECADOR VISTA TRASERA		
NÚMERO DE DIBUJO: 34		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: M
C	PÁGINA 2 DE 2	REV 0