

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño y manufactura de la carcasa y estructura para una
compactadora de plástico para el Centro Educativo Técnico
Chixot**

Trabajo de graduación presentado por Ricardo Javier Herrera Contreras
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala.
2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño y manufactura de la carcasa y estructura para una
compactadora de plástico para el Centro Educativo Técnico
Chixot**

Trabajo de graduación presentado por Ricardo Javier Herrera Contreras
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala.
2022

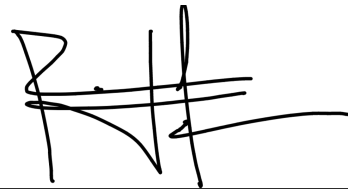
Vo.Bo.:



(f)

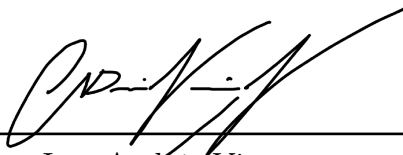
Ing. Rony Herrarte

Tribunal Examinador:



(f)

Ing. Rony Herrarte



(f)

Ing. Andrés Viau



(f)

Ing. Laura Roldán

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2022.

Lista de figuras	VIII
Lista de cuadros	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Hornos de resistencias	7
4.1.1. Modelado y ensamble	8
4.2. Compactadoras de plástico	8
4.2.1. Armazón y componentes	8
4.2.2. Ensamble y compatibilidad	9
4.2.3. Estructura	9
4.3. Materiales para la estructura	10
4.3.1. Presentación del acero en el mercado	10
4.4. Aislamiento para la estructura	12
4.4.1. Materiales refractarios	12
4.4.2. Ladrillos refractarios	14
4.4.3. Lana de fibra de vidrio	15
4.4.4. Fibra cerámica	16

5. Metodología	17
5.1. Descripción de metodología	17
5.2. Identificación de necesidades	18
5.3. Definición de requisitos	19
5.3.1. Requerimientos funcionales	19
5.3.2. Requerimientos operacionales	19
5.3.3. Limitantes	20
5.4. Diseños preliminares	20
5.5. Diseño	22
5.5.1. Cálculos analíticos	24
5.5.2. Simulación por el método de elementos finitos	29
5.6. Proceso de manufactura	39
5.6.1. Plan de manufactura	40
5.7. Proceso de ensamble	46
5.8. Pruebas	49
6. Resultados	51
6.1. Resultados preliminares	51
6.2. Resultados del método de Elementos Finitos	51
6.3. Resultados del cálculo de la unión crítica	53
6.4. Manufactura de la estructura	54
6.5. Pruebas de funcionamiento	57
6.6. Requerimientos completados	57
6.6.1. Requerimientos funcionales	57
6.6.2. Requerimientos operacionales	58
6.6.3. Limitantes	58
7. Análisis de resultados	59
8. Conclusiones	63
9. Recomendaciones	65
10. Bibliografía	67
11. Anexos	69
11.1. Planos de construcción	69

Lista de figuras

1. Esquema de un horno	7
2. Estructura metálica de un horno	8
3. Estructura de una compactadora de plástico	9
4. Estructura	20
5. Aislamiento de ladrillos refractarios	21
6. Ladrillos refractarios	21
7. Aislamiento con lana de fibra de vidrio	22
8. Primer diseño en <i>Autodesk Inventor</i>	22
9. Diseño final en <i>Autodesk Inventor</i>	23
10. Perfil en <i>Autodesk Inventor</i>	23
11. Explicación de perfiles	25
12. Diagrama de cuerpo libre para perfil secundario	25
13. Diagrama de corte y momento	27
14. Modelo para el cálculo de la soldadura	28
15. Sección con tamaño de elemento de 5mm para el mallado	30
16. Sección con tamaño de elemento de 2.5mm para el mallado	31
17. Soportes	31
18. Carga generada por los moldes	31
19. Carga reacción generada por los moldes	32
20. Esfuerzo máximo de Von Mises: 644.81 MPa	32
21. Deformación máxima 1.60 mm	32
22. Factor de seguridad mínimo: 0.57	33
23. Soportes antes de la modificación	33
24. Soportes después de la modificación	33
25. Perfiles verticales extra	34
26. Perfiles verticales extra	34
27. Perfiles duplicados	35
28. Esfuerzo máximo de Von Mises: 943.86 MPa	35
29. Deformación máxima 0.5 mm	36
30. Factor de seguridad mínimo: 0.39	36
31. Unión con factor de seguridad menor a 1	36
32. Estructura con placas	39

33. Corte y lima de los perfiles	41
34. Soldadura de estructura	43
35. Esqueleto de la estructura	44
36. Lámina marcada	44
37. Agujeros en la estructura	45
38. Esqueleto de la estructura	45
39. Ensamble de puerta	46
40. Máquina ensamblada	47
41. Formas de apagar la máquina	48
42. Forma de abrir la puerta	48
43. Termómetro láser	49
44. Esfuerzo máximo de Von Mises: 943.86 MPa	52
45. Deformación máxima 0.5 mm	52
46. Factor de seguridad mínimo: 0.39	52
47. Temperatura máxima: 180 °C	53
48. Interior de la estructura	53
49. Exterior de estructura en <i>Autodesk Inventor</i>	54
50. Interior de estructura en <i>Autodesk Inventor</i>	54
51. Vista frontal de la estructura	55
52. Interior de la estructura	55
53. Vista lateral de la estructura	56
54. Vista posterior de la estructura	56
55. Pruebas de ladrillos	57
56. Funcionamiento del sistema de compresión	60
57. Moldes dentro de las carcasa	61
58. Funcionamiento de los moldes	61

Lista de cuadros

1. Tipos de tubería distribuidas por AG	10
2. Aceros grado maquinaria distribuidos por Tecniaceros	11
3. Aceros grado herramienta distribuidos por Tecniaceros	11
4. Láminas distribuidas por Grupo AP	12
5. Propiedades típicas de los ladrillos refractarios aislantes	15
6. Requerimientos funcionales	19
7. Requerimientos operacionales	19
8. Limitantes	20
9. Limitantes	30
10. Presupuesto	40
11. Requerimientos funcionales	57
12. Requerimientos operacionales	58
13. Limitantes	58

Se identificó la necesidad de encontrar un uso para los residuos que el Centro Educativo Técnico Chixot produce durante la fabricación de techos con botellas PET. El Centro educativo utiliza la parte central de las botellas para la construcción de techos, dejando como remanente las partes superior e inferior de las botellas. Existe un potencial para darle un valor agregado a estos desechos a través de su compactación, obteniendo un bloque para construcción. Por lo que, se diseñó y fabricó un prototipo de una compactadora de plástico, la cual esta conformada por cuatro módulos: carcasa y estructura, sistema de calentamiento y molde, sistema de compresión, y sistema eléctrico e ingeniería de sistemas.

A través del módulo de carcasa y estructura se buscó asegurar el ensamble de todos los módulos y garantizar la seguridad del usuario. El diseño se realizó a través de software por computadora y el análisis de esfuerzos se realizó utilizando el método de elementos finitos. Además, para asegurar que el aislamiento y los materiales seleccionados sean adecuados, se realizó un análisis térmico de la unidad como tal. Se manufacturó una estructura con una carcasa que permitía ensamblar todos los módulos y garantiza la seguridad del usuario. Los análisis tanto de esfuerzos como de elementos finitos permitieron reflejar que la estructura si era la adecuada para la operación deseada.

The need to use the waste produced by the Chixot Technical Education Center during the manufacture of roofs with PET bottles was identified. The Educational Center uses the central part of the bottles for the construction of roofs, leaving the upper and lower part of the bottles as a remnant. There is the potential to add value to these wastes through compaction, obtaining a building block. To do this, a plastic compactor prototype was designed and manufactured, consisting of four modules: casing and structure, heating system and mold, compression system, and electrical systems and systems engineering.

Through the casing and structure module, it was sought to ensure the assembly of all the modules and guarantee the user's safety. The design was carried out using computer software and the stress analysis was carried out using the finite element method. In addition, to ensure that the insulation and the selected materials are adequate, a thermal analysis of the unit as such was carried out. It is expected that this module will allow the correct operation of the entire unit complying with the characteristics that each module needs to function and that a single user uses the entire unit without compromising its safety.

A continuación se presenta el diseño y la manufactura de la estructura para una compactadora de plástico para el Centro Educativo Técnico Chixot. Actualmente el Centro Educativo Chixot cuenta con iniciativas y proyectos de reciclaje, en los cuales se ha buscado promover el uso de materiales tales como el plástico y el vidrio como materiales para la construcción y fabricación de viviendas sostenibles. Sin embargo, todos los procesos de construcción se realizan de forma manual, así como la manufactura de ecoladrillos utilizando botellas de plástico y material reciclable en su interior. Un aspecto importante a mencionar es la disposición final de las puntas de las botellas de plástico, ya que el centro educativo utiliza la superficie lisa de la mitad de estas para recubrir techos y deja las puntas sin utilizar. Por lo que a través de esta máquina compactadora se busca aprovechar estos restos a través de una alternativa segura industrialmente para el usuario bajo las condiciones de operación.

Con el módulo de diseño y manufactura de la carcasa y estructura se buscó realizar el diseño en software de esta en *Autodesk Inventor*. Además se analizó su compartamiento en la operación de la compactadora a través de simulaciones en *ANSYS Workbench*. A través de este módulo se buscaba cumplir con los requerimientos funcionales de la máquina, las limitaciones, como por ejemplo un factor de seguridad mínimo de 1.2 y un peso máximo de 150 lb y los requerimientos funcionales, por ejemplo el material de la carcasa debe soportar una temperatura de hasta 180 °C, que presentaba dicha estructura. Entre los aspectos más importantes se encuentra asegurar que la máquina permitiera la operación de los demás módulos sin comprometer la seguridad del usuario.

Se inició el proyecto con un acercamiento a las máquinas compactadoras de plástico, investigando acerca de proyectos desarrollados, enfocándose en la estructura de estas. Por lo que se analizó que dominaba en varios proyectos el uso de aceros para la estructura junto con algún tipo de carcasa que permitiera el aislamiento del sistema. Entre los aislamientos disponibles se encuentra la lana de fibra de vidrio, los ladrillos refractarios o solamente aire. En este proyecto se siguió esa misma línea y se desarrolló una estructura que permitiera acoplar tres diferentes sistemas, el sistema de calentamiento, de compresión y eléctrico. El

ensamble de estos módulos requirió condiciones específicas, así como para el sistema de compresión, el cual exigía, en el peor de los casos, una presión de 2 toneladas; el sistema de calentamiento, que se calentaba hasta llegar los 180 °C y el sistema eléctrico, que necesitaba el espacio suficiente para realizar todas las conexiones. Se realizaron tanto cálculos analíticos como en software para llegar a un diseño final que asegurara el funcionamiento de la máquina como tal.

El Centro Educativo Técnico Chixot se caracteriza por realizar proyectos sostenibles a partir de desechos reciclados. El proyecto principal consta de ecoladrillos para construir muros utilizando botellas PET completas, rellenándolas con otros residuos sólidos para fortalecer su estructura. En otro proyecto, utilizan la parte central de botellas de plástico PET para fabricar techos para sus salones. Debido a que no se utilizan las botellas completas, este proceso produce desechos de las partes superiores e inferiores de las botellas PET. Las personas encargadas del centro educativo piensan que dichos residuos podrían ser utilizados para llevar a cabo más proyectos sostenibles. El proceso de fabricación de estos ecoladrillos es de forma manual, por lo que producir una gran cantidad de ecoladrillos consume mucho tiempo del personal.

Por lo tanto, el diseño y manufactura de una unidad de reciclaje para producir ladrillos de plástico compactado, representa una oportunidad para el aprovechamiento de los desperdicios de las botellas PET y reduce el tiempo de fabricación de estos en comparación al proceso actual. De esta manera se puede brindar un segundo uso a los residuos de botellas PET que generen un valor para la construcción de infraestructura local. Este segundo uso se concreta en la manufactura de un ladrillo fabricado en base a compresión y calor.

Para el correcto ensamble y funcionamiento de la compactadora es necesario contar con un buen diseño de la carcasa y estructura. A través del diseño y manufactura de este se busca la seguridad del usuario, tomando en consideración los requerimientos estructurales que amerite. La importancia del módulo carcasa y estructura recae en la necesidad de diseñar una estructura que permita distribuir las cargas de todos los módulos correctamente. Se verificará el correcto diseño por medio de un análisis de elementos finitos en el que se simulará el comportamiento estructural y térmico de la máquina durante su funcionamiento. También, es de igual importancia la selección de los materiales adecuados tomando en consideración tanto los materiales estructurales como los aislantes. Por medio de este módulo se garantizará la unión y funcionamiento de todos los sistemas.

3.1. Objetivo general

Diseñar, analizar y manufacturar la carcasa y estructura que permitan el ensamble adecuado de todos los módulos de la compactadora de plástico.

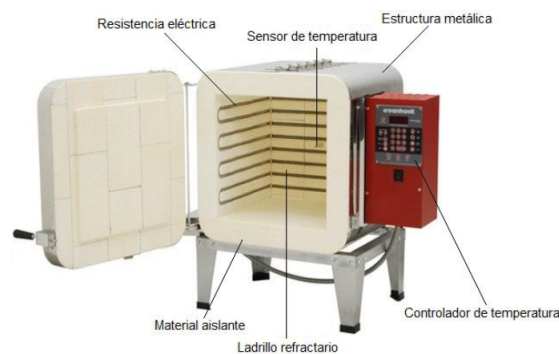
3.2. Objetivos específicos

- Establecer los requisitos de diseño para garantizar la seguridad del usuario.
- Diseñar una estructura tomando en consideración los requerimientos de diseño de los módulos que integran a la máquina compactadora.
- Realizar un análisis de esfuerzos y expansión térmica para validar el correcto funcionamiento de la máquina.
- Manufacturar la estructura y carcasa asegurando el acoplamiento de los módulos.

4.1. Hornos de resistencias

Estos dispositivos eléctricos se encuentran con diferentes variaciones en sus diseños. Sin embargo, en la mayoría se distinguen los siguientes componentes: una estructura de hierro o acero, un aislamiento, un compartimiento interno formado por ladrillos refractarios, un sistema de calentamiento y un sistema de control (González, 2016). Estos hornos presentan distintas geometrías según la aplicación que se les dará. En la mayoría de ocasiones se observan hornos cuadrados en los cuales el sistema de control se instala a un lado de la puerta de la cámara y las resistencias se encuentran insertadas dentro del material refractario con una parte expuesta al interior de la cámara. Esto permite que la cámara sea calentada y que las resistencias no dañen el exterior del horno. La cámara es recubierta por un material aislante así como fibras, ya sea cerámica o de vidrio. Por último, a este material aislante lo cubren placas de metal, ya sea de hierro o acero.

Figura 1: Esquema de un horno

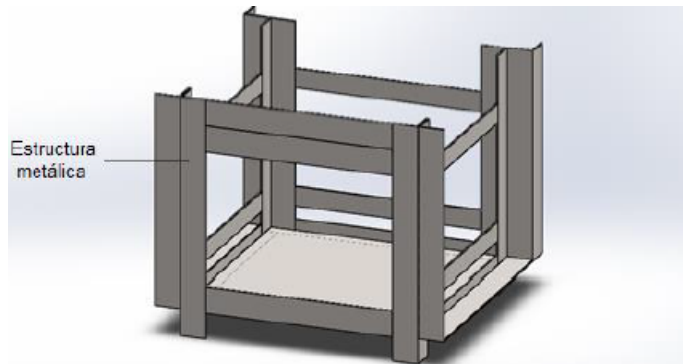


Fuente: (Apraiz, 2003)

4.1.1. Modelado y ensamble

Se debe tomar en cuenta el orden de ensamblado al momento de construir un horno ya que esto asegura que todos los componentes sean colocados correctamente. Primero, se realizan los cortes y soldaduras respectivas para la estructura conformada de acero, dejando espacio para colocar los ladrillos refractarios y una cámara interna. Luego, se colocan los ladrillos refractarios recubriendo la cámara utilizando mortero refractario. Este último ayuda a pegar y asegurar el ensamble de ladrillos. En la parte superior se coloca concreto refractario, dándole estabilidad a la armazón. Después se coloca la fibra cerámica o de vidrio, recubriendo todo el exterior. Se repite el procedimiento para fabricar la puerta. Por último se coloca una chapa de acero para cubrir todo el sistema y se ensambla la puerta (González, 2016). Cumpliendo este orden se permite ensamblar toda la estructura buscando cumplir con la seguridad del operario y el buen funcionamiento del sistema. A continuación se presenta la estructura de un horno tomando en consideración el espacio para colocar ladrillos refractarios, el concreto y fibra cerámica.

Figura 2: Estructura metálica de un horno



Fuente: (González, 2016)

4.2. Compactadoras de plástico

4.2.1. Armazón y componentes

Las compactadoras de plástico reciclado utilizan presión y calor para obtener un producto final. Básicamente, están conformadas por los siguientes componentes: un controlador de temperatura, un calentador (por ejemplo unas resistencias), una estructura, un sistema de presión (por ejemplo un gato hidráulico) y un molde. Es importante considerar la técnica que se utiliza para calentar y la duración de esta, la presión aplicada en el molde y la técnica que se utiliza para el enfriamiento del molde (Amaresh y col., 2017). Las compactadoras necesitan de varios módulos para funcionar correctamente y entregar un producto final, pero más importante, necesitan de una estructura que afiance todos sus elementos.

Algunas de las formas en la que se puede construir la estructura de una compactadora de plástico es utilizando dos estructuras en H, levantando todos los demás módulos a la altura que se desee. Además, en la estructura se encuentra una viga metálica que une ambas

estructuras en H. En esta viga se coloca el sistema de compresión. En la carcasa donde se encuentra el sistema de calentamiento se realiza un agujero en la superficie inferior para que el sistema de compresión pueda ingresar a esta para ejercer presión sobre el molde. En la carcasa se coloca el sistema de calentamiento y se sueldan planchas metálicas alrededor de la carcasa (Amaresh y col., 2017). Finalmente se coloca un aislamiento para mejorar la transferencia de calor entre el sistema de calentamiento y el molde y reducir las pérdidas, minimizando el calentamiento de la superficie exterior de la estructura.

Figura 3: Estructura de una compactadora de plástico



Fuente: (Amaresh y col., 2017)

4.2.2. Ensamble y compatibilidad

Se deben considerar las condiciones de compatibilidad acerca de las deformaciones y movimientos que la estructura debe soportar en su proceso de deformación por las cargas consideradas. Por ello, surgen los siguientes requisitos: condiciones de apoyo, afirmando que la deformación debe optar un valor de tal forma que se satisfagan las limitaciones de movimiento que se presentan en los apoyos; continuidad en los nodos, explicando que la deformación en la estructura debe permitir que los extremos de las barras en un nodo satisfagan las limitaciones de movimiento en el enlace y finalmente, la continuidad en las barras, estableciendo que la deformación debe asegurar la continuidad de los elementos estructurales (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2014).

4.2.3. Estructura

Las estructuras para las compactadoras son las encargadas de mantener, guiar y soportar con una alineación precisa todos los componentes de la máquina (Ugoamadi & Ihesiulor, 2011). Esta estructura es fabricada normalmente de metal. En el artículo *Optimization of the Development of a Plastic Recycling Machine*, los autores afirman haber utilizado acero al

carbono ya que es un material que es soldado con otros materiales con facilidad y es altamente disponible en el mercado. Además, es utilizado por la estabilidad que brinda al sistema (Amaresh y col., 2017). Al momento de diseñar la estructura es importante considerar que el material sea el adecuado no solamente para soportar las cargas sino que también la posible transferencia de calor del sistema de calentamiento.

4.3. Materiales para la estructura

4.3.1. Presentación del acero en el mercado

En el mercado se encuentran distintos distribuidores de acero. Entre estos se encuentran Aceros de Guatemala (AG), Tecniaceros y Grupo AP. AG proporciona tubería tanto negra como galvanizada. Se encuentran tres tipos de cañería, ligera, mediana y cédula 40. Las tuberías mediana y ligera son fabricadas utilizando la norma BS1387-1985 y la tubería cédula 40 se encuentra bajo la norma ASTM A53-07 (AG, 2020). A continuación se presentan las diferentes tuberías que nos ofrece AG.

Cuadro 1: Tipos de tubería distribuidas por AG

Tipo	Descripción
Tubería industrial	Posee tres presentaciones, tubería cuadrada, redonda o rectangular y una longitud de seis metros. Fabricada utilizando lámina rolada en frío. Utilizada en el campo de herrería, muebles y elementos para el hogar.
Tubería mecánica	Se encuentra como tubería negra o galvanizada y con una longitud de seis metros. Aplicaciones en los exteriores tales como portones y rejas.
Tubería estructural	Se encuentra en forma rectangular y cuadrada con una longitud de seis metros. Utilizado en armaduras de techos y entre pisos.
Tubería bananero industrial	Su presentación es única, con un diámetro de $1 \frac{1}{4}$ " pero con diferentes longitudes, 6.70 metros y 6.10 metros. Su aplicación es principalmente como transportadores de las fincas bananeras.
Tubería abierta	Su principal característica es una ranura al medio que permite la introducción de una lámina negra y no se suelda. Utilizado para escritorios.
Costanera negra y galvanizada	Se presenta como un perfil C con una longitud de seis metros laminado en frío.

Fuente: (AG, 2020)

Por otro lado, Tecniaceros ofrece aceros grado maquinaria y aceros grado herramienta. En los aceros grado maquinaria se encuentran tanto aceros al carbono como aceros aleados. Este tipo de aceros se utilizan para la manufactura o reparación de maquinaria. Son de baja aleación y muy versátiles. Los aceros grado herramienta son de mediana a alta aleación,

utilizados para manufacturar piezas sometidas a un desgaste elevado o impacto. Entre sus aplicaciones se encuentran moldes, cuchillas, insertos, camisas, entre otros (TecniAceros, 2020). A continuación se detalla las presentaciones tanto de grado herramienta como de grado maquinaria que nos ofrece Tecniaceros.

Cuadro 2: Aceros grado maquinaria distribuidos por Tecniaceros

Aleación	Descripción
AISI 1018 Cold Rolled	Bajo contenido de carbono, fácil de soldar, versátil y precio accesible.
AISI 8620 e-230	Utilizado para cementación, con una superficie de alta dureza y capaz de soportar esfuerzos de torsión elevados, luego de ser tratado térmicamente.
AISI 1045 CK45	Mediano contenido de carbono, tratable térmicamente y mayor tenacidad que el AISI 1018.
AISI 4140 QT 709/VCN-320	Aleado al cromo-molibdeno, laminado en caliente, alta tenacidad y versatilidad.
AISI 4340 QT 705 VCN-150	Aleado al cromo-níquel-molibdeno, mayor dureza y mayor límite elástico al anterior.
AISI TIM 6V	Consiste de una barra perforada con gran estabilidad geométrica y mejores propiedades mecánicas que los aceros al carbono comunes.

Fuente: (TecniAceros, 2020)

Cuadro 3: Aceros grado herramienta distribuidos por Tecniaceros

Aleación	Descripción
AISI O1 DF-2/AMUTIT	Templado en aceite con resistencia al desgaste y de fácil maquinado.
AISI D2 K-110/XW-41	Posee cromo, alta resistencia al desgaste y a la corrosión. Trabajo en frío y alta dureza.
AISI D3 K-100/SPECIAL K	Utilizado en aplicaciones de alta abrasión y compresión. Posee alta dureza y es para trabajo en frío.
AISI H13 W-302/8407	Para trabajo en caliente donde se necesite alta tenacidad y choques térmicos continuos. Mantiene sus propiedades mecánicas y estabilidad dimensional a pesar de los choques térmicos.
AISI P20 ESR 718/IMPAX	Trabajo en frío e impacto moderado. Permite ser utilizado sin un tratamiento térmico adicional y fácil de maquinar. Al nitrurarlo se aumenta la dureza y presenta mejor resistencia al desgaste.
2*Acero Plata AISI L2	Alto contenido de carbono, al endurecerlo térmicamente aumenta su dureza y resistencia al desgaste. Posee cromo y vanadio.

Fuente: (TecniAceros, 2020)

Por último, Grupo AP nos brinda diferentes presentaciones para el acero. Sin embargo, las presentaciones que interesan para esta máquina son las láminas y la tubería. AP maneja diferentes tipos de láminas y tuberías con diferentes dimensiones y pesos. En el ámbito de tubería se encuentra cuadrada, redonda, rectangular, galvanizado, negro, proceso, estructural y negro mecánico. Para las láminas se encuentra una gran variedad. Por lo cual en la siguiente tabla se observa los diferentes tipos de láminas y sus dimensiones máximas y mínimas. (AP, 2020)

Cuadro 4: Láminas distribuidas por Grupo AP

Tipo de lámina	Espesores	Dimensiones
Negra rolada en frío	Mín.0.60mm y Máx.1/16pulg.	Mín.3x6m y Máx.4x10m
Negra rolada en caliente	Mín.1/16pulg y Máx.3pulg.	Mín.3x6m y Máx.8x20m
Acero inoxidable	Mín.1/16pulg y Máx.1pulg.	Mín.4x8m y Máx.6x20m
Labrada	Mín.3/32pulg y Máx.1/4pulg.	4x8m
RC G-50 (ASTM A572 G50)	Mín.3/1 pulg y Máx.1pulg.	Mín.4x8m y Máx.8x20m

Fuente: (AP, 2020)

4.4. Aislamiento para la estructura

Debido a que básicamente una compactadora de plástico actúa como un pequeño horno, se necesita considerar un aislamiento para las superficies externas que encapsulen el sistema de calentamiento y el molde. Para poder aislar térmicamente estos módulos es necesario encapsular las paredes externas del sistema utilizando un aislante para reducir la radiación térmica. De esta forma las pérdidas térmicas son reducidas y también se protegen los objetos que se encuentran en el alrededor del sistema. (Hofmann & Reinhard-Herrscher, 2014)

4.4.1. Materiales refractarios

Los materiales refractarios son utilizados para construir estructuras o componentes expuestos a más de 500 °C. Pueden ser naturales o fabricados y están compuestos por minerales tales como alúmina, bauxita, cromita, circonio, entre otros. Estos materiales brindan el revestimiento para hornos y reactores de alta temperatura por su alta resistencia a esfuerzos térmicos (Jadeja & Saradava, 2014). Este tipo de materiales pueden ser utilizados en la cámara de una compactadora para proteger la estructura del calor generado por el sistema de calentamiento.

Propiedades físicas y termodinámicas

Muchos de los materiales cerámicos poseen altas resistencias debido a sus enlaces químicos primarios. Esto provoca que posean un alto punto de fusión e inercia química. Esta última propiedad mencionada permite que estos materiales sean utilizados en la metalurgia y fabricación de vidrio, ya que poseen una alta resistencia a la corrosión y temperaturas elevadas. Además, los materiales refractarios poseen una alta resistencia al desgaste físico

y a la abrasión. Por ende, deben de resistir choques térmicos, donde los materiales son expuestos a un enfriamiento rápido estando a altas temperaturas. En este proceso, las capas en el exterior se contraen contra las capas internas, causando que se provoque un esfuerzo de tensión y formando posibles rajaduras (Mason, 2016).

Por otro lado, la microestructura posee una influencia en las propiedades de los materiales refractarios. Al modificar la microestructura durante su procesamiento, los materiales pueden presentar una mejor resistencia a los choques térmicos. Otros materiales tales como los ladrillos convencionales poseen una microestructura menos gruesa, presentando granos en micrómetros y los materiales refractarios en milímetros. Gran parte de este tipo de materiales son muy porosos que, en conjunto de los granos, pueden reducir la resistencia de carga pero también el impacto del choque térmico en la estructura del material. Es importante mencionar que una estructura porosa no es recomendable al momento que un material refractario se expone a una sustancia corrosiva. Por lo cual, el diseño y modificación de la microestructura de un material refractario debe ser en base a la aplicación que se le quiera dar (Mason, 2016).

Composición

Los materiales refractarios pueden ser clasificados según su composición química, su proceso de manufactura, de implementación o incluso, porosidad. Un aspecto importante a mencionar es la relación entre la abundancia de minerales tales como mullita, espinela y alúmina. Además, se pueden manufacturar diferentes tipos de materiales según su materia prima y los procesos utilizados (Sadik y col., 2014). Por ello, se pueden encontrar numerosas clasificaciones y variaciones de los materiales refractarios. Sin embargo, el mineral que define en la mayoría de casos la clasificación es la alúmina, ya que el porcentaje de su contenido es definitivo para la aplicación del material.

Este último mineral mencionado define en parte la clasificación de los materiales refractarios hechos a base de arcilla. Se encuentra primero la arcilla refractaria, donde se encuentran comúnmente los ladrillos. Aproximadamente un 25 % al 45 % de su contenido es alúmina. Utilizados normalmente para revestir hornos y estufas de altas temperaturas. Segundo, se encuentran los refractarios con alto contenido de alúmina, entre 50 % al 87.5 %. Poseen mejor estabilidad estructural y abrasiva. Utilizados de igual forma en hornos y estufas pero también en el manejo de acero líquido. Por último se encuentra la mullita, la cual contiene un 70 % de alúmina. Posee un punto de fusión de 1850 °C. Es el material refractario más estable y posee una alta resistencia a temperaturas elevadas. Se utiliza en hornos de alta temperatura y en la fundición de vidrio (Mason, 2016).

Refractarios óxidos y no óxidos

Los refractarios óxidos se componen principalmente de sílice, alúmina, arcilla refractaria, cromita, magnesita, dolomita, óxidos especiales, entre otros. Algunas de sus propiedades que definen su resistencia al choque térmico es su coeficiente de expansión térmica, su módulo de elasticidad y su resistencia mecánica. Un aspecto importante a mencionar es la escoria, ya que las relaciones de equilibrio son las que definen la resistencia hacia las escorias de este

tipo de material. La temperatura del crisol determina si la escoria daña o no la pared del material. Si el crisol se encuentra a una temperatura más elevada que la escoria, existirán daños en el material. La viscosidad es otro factor a considerar ya que si es un refractario ácido, este es más resistente al ser dañado por una escoria viscosa. Por otro lado, si es un refractario básico, es dañado con mayores repercusiones ya que la viscosidad de la escoria se disminuye. La porosidad es otro factor a considerar ya que al ser más poroso, la escoria daña con mayor facilidad (Marinas, 2015).

Entre los refractarios no óxidos se encuentran el carbono, grafito, carburo de silicio, sialones, entre otros. El más utilizado es el carbono debido a que posee una alta resistencia al choque térmico, su punto de fusión es aproximadamente 3000 °C y posee un bajo coeficiente de expansión térmica. A temperaturas de 1700 °C, la escorias del alto horno no lo dañan. Sin embargo, la escorias ferrosas sí lo hacen con facilidad. Esto induce a su aplicación, donde el carbono es utilizado para recubrir el crisol del alto horno. El carburo de silicio es utilizado dónde se necesite una resistencia a la corrosión a un temperatura menor a los 1500 °C. Este resiste escorias ácidas pero las básicas lo dañan con facilidad. (Marinas, 2015).

4.4.2. Ladrillos refractarios

Entre las opciones de aislamiento normalmente utilizadas para hornos se encuentran los ladrillos refractarios. A diferencia de los ladrillos convencionales, estos ladrillos poseen una composición química diferente y por ende, también su color y conductividad térmica. Se componen principalmente de alúmina y sílice. La alúmina presenta características reflectantes y entre mayor sea su proporción en el ladrillo, mayor será la temperatura a la que pueda ser expuesto este. El sílice actúa como aislante (Souza, 2020). Existe una gran variedad en la composición de estos ladrillos, ya que "*... van desde el 36 % hasta el 99 % de contenido de alúmina para soportar diferentes temperaturas y usos distintos.*" (Ushiña Peralta, 2014, pág.12, párr.1).

En cuanto a su operación, resisten altas temperaturas, oscilando los 700 a 1200 °C. Es utilizado en hornos de uso industrial, donde se funden materiales tales como el hierro, exigiendo diferentes proporciones de sílice. En este tipo de operaciones, el ladrillo soporta hasta los 1650 °C. (La Verdad, 2020). Estos ladrillos no presentan cambios luego de que son expuestos al fuego o al calor. Por ello, son utilizados al momento de diseñar componentes o máquinas dónde se busquen materiales que soporten altas temperaturas.

Ladrillos refractarios aislantes

Es un tipo de ladrillo que consiste de arcilla refractaria o de caolín. Entre sus características más relevantes se encuentran su baja conductividad térmica, resistencia a altas temperaturas y peso ligero. Por ello, este material permite la construcción de paredes delgadas de baja conductividad térmica y por ende, baja transferencia de calor. Esta última característica permite que el material sufra cambios drásticos de temperatura, así como un rápido enfriamiento (Folorunso y col., 2015). Se componen químicamente por alúmina, sílice y óxido férrico A continuación se presentan los valores de ciertas propiedades de este material:

Cuadro 5: Propiedades típicas de los ladrillos refractarios aislantes

Propiedad	Valor
Densidad	604 kg/m ³
Módulo de ruptura	1.52 MPa
Cambio lineal al recalentar 24h a 1280 °C	1.95 %
Resistencia a compresión en frío	2.01 MPa
Conductividad térmica a 300 °C	0.2 W/mK
Conductividad térmica a 750 °C	0.28 W/mK
Conductividad térmica a 1000 °C	0.32 W/mK

Fuente: (Nemachinroyal, 2020)

A medida que disminuye la porosidad, la conductividad térmica aumenta. Esto se afirma analizando la estructura física de un material poroso. Al poseer muchos poros, un material es más propenso a atrapar aire en su interior. El aire actúa como un material no conductor de calor. Por lo que al aumentar la porosidad, se aumenta la cantidad de aire dentro del material y por ende, la conductividad térmica disminuye. Es por ello que la porosidad juega un papel muy importante ya que si se desea una alta conducción de calor, el material debe de ser lo menos poroso posible y viceversa (Ugheoke y col., 2006).

Se debe distinguir entre los ladrillos refractarios aislantes de peso ligero con los ladrillos refractarios pesados y densos. Esto es debido a que a los aislantes no absorben para nada el calor, por ello son utilizados como aislamientos. Por lo cual, al momento de colocarlo en lugares donde se busca almacenar el calor, así como dentro de un horno, el calor no se almacenará. Es más recomendable utilizarlo en los exteriores, ya que pueden prevenir superficies calientes y posibles accidentes debido a esto (Nemachinroyal, 2020).

4.4.3. Lana de fibra de vidrio

Es un material compuesto por largas fibras inorgánicas de vidrio que se distribuyen en forma de capas con una textura parecida a la lana. Usualmente los diámetros nominales de esta fibra es de 4 a 15 micrones. Es de peso ligero y con una alta resistencia a la tracción (Alaa Jaber, 2016). Este tipo de fibra es económicamente más accesible que otros tipos de fibras como la fibra de carbono. Es utilizada como aislamiento térmico, eléctrico y acústico. Además de su capacidad aislante, la fibra de vidrio como tal puede ser utilizada para reforzar materiales compuestos debido a su peso ligero y resistencia a la corrosión (Batabyal y col., 2018).

Mercado

Intérmica es una de las empresas en el mercado que distribuyen fibra de vidrio para el aislamiento térmico. Sus presentaciones son de tablero y manta con una temperatura máxima de operación de 250 °C (Intérmica, 2016). Además, Intérmica también distribuye ladrillos refractarios. Otro distribuidor de aislamientos es Praisá, con diferentes presentaciones. Entre

estas se encuentra cañuelas, tablas, rollos, lazo y tablas. También distribuyen lana mineral, en forma de rollo, tabla y cañuela y materiales refractarios, así como el concreto, morteros y ladrillos (Praisá, [2019](#)).

4.4.4. Fibra cerámica

Es un material no metálico inorgánico utilizado en aplicaciones donde se necesite una alta resistencia térmica y química. Se debe distinguir entre la fibra cerámica y la fibra de vidrio que al día de hoy, llegan a ser bastante similares ya que ambas pueden poseer una estructura amorfa y en su proceso se encuentra una fase de fusión. Entre sus componentes de la presentación como fibras de filamento de cerámico óxido está el óxido de alúmina, monóxido de silicio y el óxido de boro. En su presentación sin óxido se encuentran elementos tales como el silicio, el carbono, el boro y el nitrógeno (Clauss & Schawaller, [2006](#)).

Mercado

Praisá es uno de los proveedores de fibra cerámica, con presentaciones de rollos, tabla, granel, módulos y papel. Intérmica también distribuye rollos de fibra cerámica. La temperatura de operación de estos es de 538 °C hasta los 1480 °C ya que son utilizados como aislamiento térmico y en refractarios. También cuentan con papel cerámico, siendo un material ligero con una mezcla de fibra de sílice aluminosas de alta flexibilidad. Su temperatura de operación es de 1260 °C. Posee baja conductividad térmica y es utilizado para aislamientos de fondos. Por último se encuentra la presentación en tablas. Este es utilizado para resistir gases con baja conductividad térmica y con alta velocidad, densidades desde 256 kg/m³. Su temperatura de operación es de 1650 °C y es utilizado para hornos y calderas debido a que sus mantenimientos son más económicos en comparación a otro tipo de fibras (Intérmica, [2016](#)).

5.1. Descripción de metodología

Se inició el proceso con la definición de las condiciones mínimas de seguridad, con las cuales se busca garantizar la seguridad del usuario. Entre estas condiciones se encuentran la señalización de posibles peligros en el funcionamiento de la máquina debido al calentamiento y colocar un aislamiento alrededor de la carcasa, en la cual se genera el calor necesario para moldear el plástico. Además, se definieron los requerimientos para cumplir con las necesidades del consumidor final, así como el peso máximo, 170 lb y el tamaño máximo, 1.25 m x 1.25 m x 1.75 m.

Se prosiguió con la elección preliminar de los materiales. El fin de esto fue determinar los materiales que se encuentran disponibles tanto en la universidad como en el mercado nacional. Sin embargo, para complementar esta elección se realizó una investigación de los materiales óptimos para la estructura. Todo esto con el fin de diseñar tomando en cuenta los materiales disponibles y los materiales que mejorarían el rendimiento de la estructura a las condiciones de operación. Luego, se diseñó la estructura a través de Autodesk Inventor tras definir las dimensiones a utilizar. Debido a que el diseño de la estructura se realizaba en paralelo al diseño de los demás módulos, se realizaron iteraciones del diseño conforme al avance de los demás módulos. Para terminar la fase de diseño, se diseñó la carcasa para el sistema de calentamiento y el molde junto con el aislamiento respectivo.

Para analizar el comportamiento de la máquina conforme las condiciones de operación, se realizó un análisis de esfuerzos y expansión térmica utilizando el método de elementos finitos. Este se llevó a cabo utilizando el *software ANSYS Workbench*. Primero se simuló las cargas que presentaba cada módulo para el análisis estructural. Después, para el análisis térmico se utilizó la temperatura de operación del sistema de calentamiento. Se realizaron modificaciones al diseño para las partes que lo ameritaban para mejorar el desempeño en la

simulación.

Después de completar el diseño y las simulaciones, se realizó el plan de manufactura para llevar a cabo la planeación y ejecución de la construcción de la máquina. Además, se realizó la compra de los materiales luego de determinar a través del método de elementos finitos los materiales óptimos. Tras finalizar la compra se incluyó una tabla de presupuesto y finalmente se imprimieron los planos de la estructura y carcasa para pasar a la fase de manufactura.

Se continuó el proceso con la manufactura de la carcasa y estructura. Se cortó el material utilizando una cortadora plasma o segueta según el diseño. Las uniones se realizaron a través de soldaduras y pernos según lo ameritaba. Esta fase se realizó en gran parte, en el taller de metal mecánica de la universidad Del Valle de Guatemala. En paralelo a la manufactura de este módulo se realizó la fabricación de los demás módulos, por lo que luego se realizó el ensamble de todos los módulos.

Finalmente se realizaron las pruebas de la máquina en funcionamiento. Esto con el fin de verificar que todo el sistema se comporte según lo simulado y permita obtener un bloque de plástico reciclado. Se verificó que el aislamiento sea el adecuado, midiendo la temperatura externa de la estructura y que esta no represente algún posible daño al operario. También se realizó un análisis de seguridad ocupacional y se chequeó que las partes de la máquina donde se ejercía una mayor presión no hayan sufrido alguna deformación o pandeo. Se modificaron las secciones de ensamble y se actualizaron los planos que lo ameritaban.

5.2. Identificación de necesidades

Se obtuvo un contacto con el centro educativo Chixot por medio de la persona encargada de la realización de los proyectos sostenibles que se llevan a cabo dentro de este. Se realizaron dos entrevistas virtuales con esta persona. En la primera, se tocaron puntos como el tipo de proyectos que se llevan a cabo en el centro y los desafíos que estos representan para el personal. Se entendió que los proyectos llevados a cabo se realizan, en su mayoría, utilizando plástico reutilizado. Pero concretamente, se enfocó en el proyecto de realización de techos y paredes por medio de partes de botellas PET y en las dificultades que conlleva. Se identificó una necesidad a raíz de estos procedimientos, ya que, para la construcción de los techos, se crean tejas de plástico provenientes de las botellas, pero utilizando únicamente la parte central de esta. Dejando así, como residuos, la parte superior e inferior. Actualmente no se utilizan estos residuos.

Por otro lado, también se mencionó que fabrican ecoladrillos para la creación de muros. Estos se crean a base de botellas PET completas rellenas de otros desechos sólidos como bolsas de supermercados, bolsas de comida, tapas de botellas, etc. Estos ladrillos son apilados con una configuración que permite armar muros resistentes y que pueden ser utilizados para crear salones de clases o bodegas para el centro.

En la segunda entrevista realizada con el contacto del centro, se tocó el tema relacionado a la solución al problema de sus residuos de PET por la fabricación de tejas para techos. Se dio a entender que sería de gran ayuda contar con una forma de poder utilizar dichos

residuos para la creación de los ecoladrillos que ya se fabrican. De esta forma, se podría sacar provecho de los residuos PET y se podría volver más eficiente el proceso de fabricación de ladrillos. Se discutió la posibilidad de diseñar una máquina capaz de cumplir con estas dos funciones, por lo que se preguntó por datos relacionados a dimensiones de los ladrillos necesitados, concretamente hablando de tamaño y peso. Por lo tanto, se decidió comenzar el proceso de diseño y manufactura de la unidad de reciclaje que cumpla con los propósitos discutidos.

5.3. Definición de requisitos

5.3.1. Requerimientos funcionales

Cuadro 6: Requerimientos funcionales

Código	Requerimiento	Módulo
FCE-001	El material de la carcasa junto con el aislamiento debe soportar una temperatura de hasta 180 °C.	Carcasa y estructura
FCE-002	Las soldaduras deben soportar los esfuerzos resultantes por la compresión del plástico.	Carcasa y estructura

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Requerimientos operacionales

Cuadro 7: Requerimientos operacionales

Código	Requerimiento	Módulo
OCE-001	La carcasa debe permitir el mantenimiento preventivo y correctivo de las resistencias.	Carcasa y estructura
OCE-002	La estructura debe permitir el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de compresión	Carcasa y estructura
OCE-003	Colocar un aislamiento que protege al operario de las superficies calientes.	Carcasa y estructura
OCE-004	La carcasa debe contar con un acceso que permita observar y colocar el molde correctamente	Carcasa y estructura
OCE-005	La carcasa y estructura debe de ser pintada para evitar la oxidación por el ambiente.	Carcasa y estructura
OCE-006	El acceso hacia el interior de la carcasa debe contar con un sello que aisle el interior del ambiente	Carcasa y estructura

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Limitantes

Cuadro 8: Limitantes

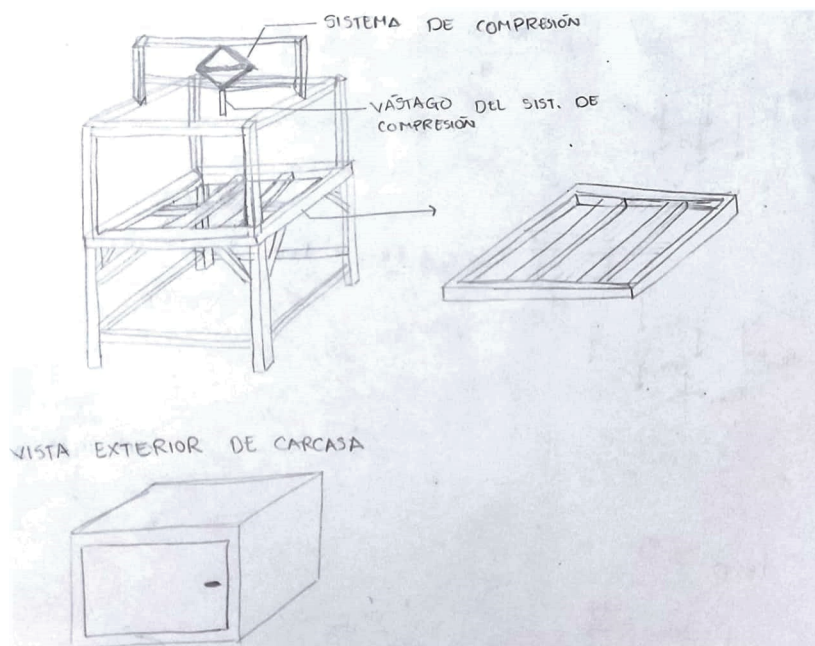
Código	Requerimiento	Módulo
LCE-001	La carcasa y estructura debe tener un peso máximo de 150 lb.	Carcasa y estructura
LCE-002	El tamaño máximo de la unidad de reciclaje debe ser de 1.25m x 1.25m x 1.75m	Carcasa y estructura
LCE-003	La estructura debe poseer un factor de seguridad mayor que lo calculado a través del método del tipo del material y la regla del dedo	Carcasa y estructura

Fuente: Elaboración propia

5.4. Diseños preliminares

La estructura como tal se mantuvo desde un principio con la forma de un horno con cuatro patas y el espacio adecuado para colocar el sistema de compresión en la superficie superior. Esto se representa en la Fig. 4. En cambio, para el aislamiento, se consideraron diferentes diseños. Entre los primeros bocetos se utilizaron dos tipos de aislamientos principales, uno con ladrillos refractarios y otro con lana de fibra de vidrio. La estructura se diseñó utilizando perfiles cuadrados. Para el exterior, se consideraron placas de metal que encapsularan el aislamiento junto con el molde y el émbolo del sistema de compresión.

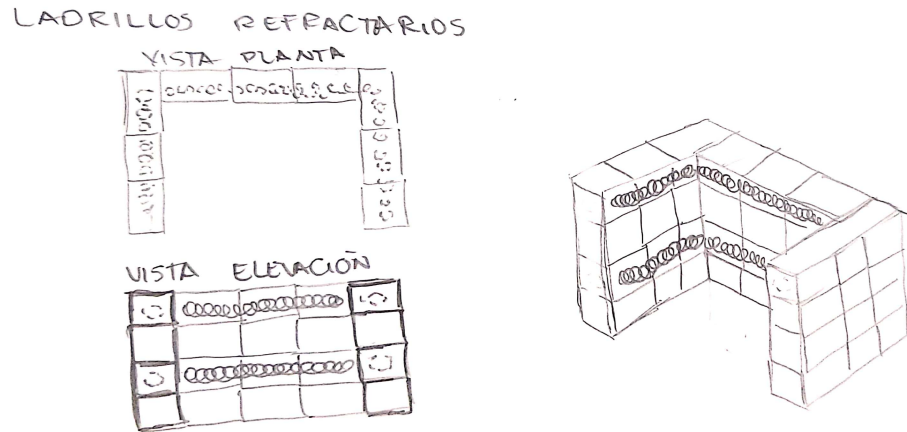
Figura 4: Estructura



Fuente: Elaboración propia

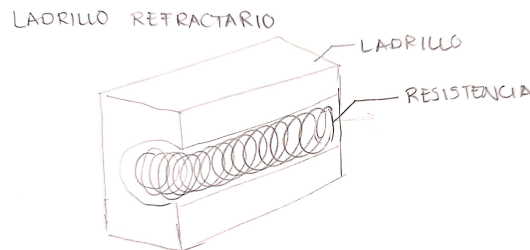
El aislamiento de ladrillos refractarios se presenta en la Fig. 5. Los ladrillos se colocarían formando las paredes para la carcasa del molde y el émbolo del sistema de compresión. Además, las resistencias se colocarían en los ladrillos luego que estos fueran perforados para formar un canal, presentado en la Fig. 6. Estos ladrillos serían cubiertos por una placa metálica para que no fueran expuestos al ambiente.

Figura 5: Aislamiento de ladrillos refractarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Ladrillos refractarios

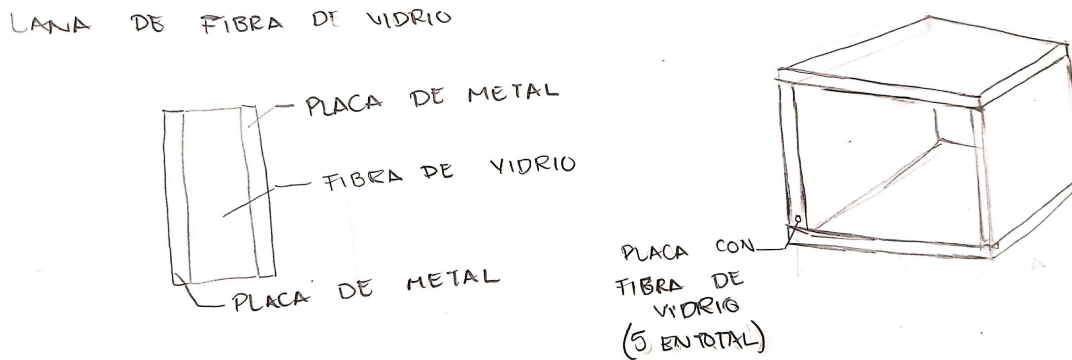


Fuente: Elaboración propia

Continuando con el segundo tipo de aislamiento mencionado, se diseñó la carcasa con lana de fibra de vidrio, presentado en la Fig. 7. Las paredes de la carcasa se formarían a través de placas constituidas tanto por lana de fibra de vidrio como de placas metálicas. Estas placas serían soldadas a las cuatro patas principales de la estructura. Se decidió utilizar este diseño debido al costo que representaban los ladrillos refractarios en comparación a la lana de fibra de vidrio. Estas placas se colocarían sobre cinco superficies de la estructura, en las superficies laterales e inferior y superior de la estructura.

Estos diseños permiten contemplar qué variantes podían considerarse para el aislamiento del diseño final ya que ambos pueden ser expuestos a las temperaturas de operación del sistema de calentamiento. Esto también permite observar los puntos donde se deben soldar componentes a la estructura. Además, brinda un aproximado de la cantidad de aislante, en este caso fibra de vidrio, que se necesitaría para la estructura.

Figura 7: Aislamiento con lana de fibra de vidrio

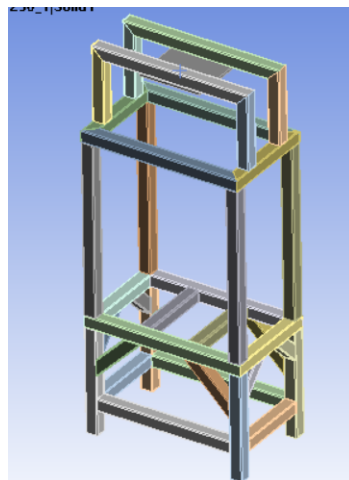


Fuente: Elaboración propia

5.5. Diseño

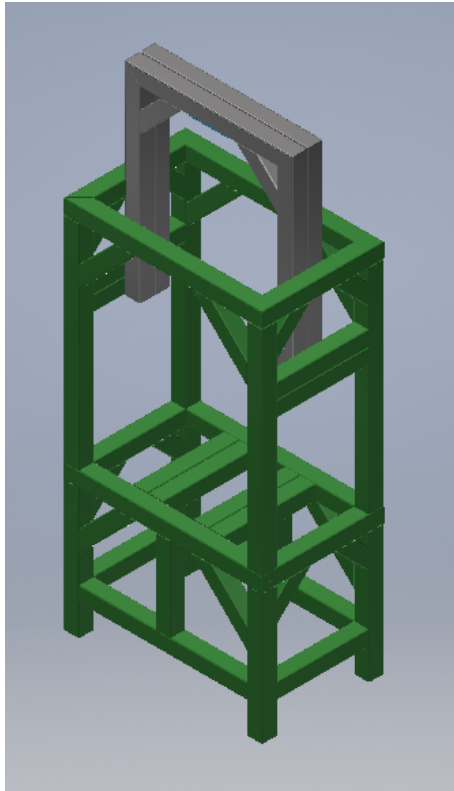
Se modeló el diseño presentado en la Fig. 8 en el *software Autodesk Inventor*. Esta figura representa de donde partió el diseño de la estructura. Finalmente luego de todos los cálculos y análisis que se realizaron, se definió el diseño final de la estructura. Este se presenta en la Fig. 9. La estructura se encuentra conformada por perfiles cuadrados de 2 pulg x 2 pulg Chapa 14 y Chapa 18, presentado en la Fig. 10. Alrededor de esta estructura se colocan láminas para mejorar la eficiencia del sistema de calentamiento ya que se encontraría parcialmente aislado.

Figura 8: Primer diseño en *Autodesk Inventor*



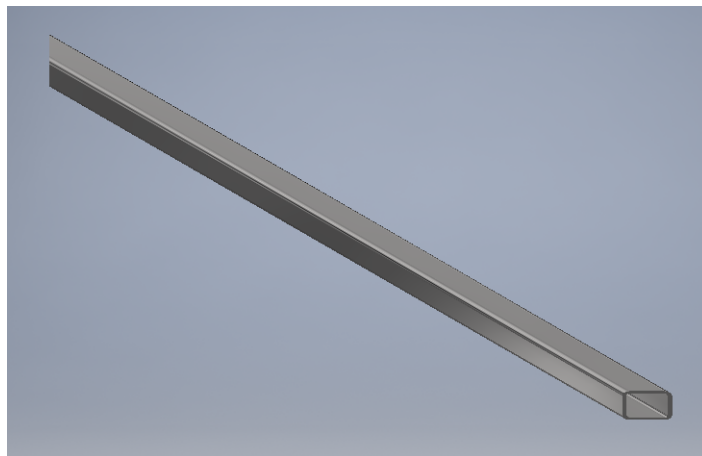
Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Diseño final en *Autodesk Inventor*



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Perfil en *Autodesk Inventor*



Fuente: Elaboración propia

Con el diseño mencionado se buscó garantizar la seguridad del usuario al dejar aislado el sistema de calentamiento y el molde. De esta forma al momento que opera la máquina, el usuario no corre el riesgo de sufrir alguna quemadura por el calentamiento. Con esto se cumplió el requerimiento FCE-001 y OCE-003. Además, al colocar una puerta que selle

la carcasa de la máquina, se evita que tanto el usuario como alguna persona ajena toque por error el sistema de calentamiento o el molde mientras está operando. Esto asegura el cumplimiento del requerimiento OCE-006. Por lo que la máquina si cumple el objetivo de garantizar la seguridad del usuario.

Se partió pensando en una estructura que permitiera colocar dos moldes sobre estas y que tuviera la altura y espacio suficiente para que se pudiera colocar tanto el molde como el sistema de compresión en estas. La armazón superior surge por la necesidad de colocar el sistema de compresión sobre el molde. Sin embargo, conforme se realizaron las simulaciones por el método de elementos finitos en el *software ANSYS Workbench*, se obtuvieron resultados deficientes respecto a la resistencia que presentaba la estructura respecto a la presión que ejerce el sistema de compresión y el molde, sobre esta. Por lo que se realizaron ajustes al diseño de tal manera que al momento de simularlo, se obtuvieran mejores resultados. Entre estos ajustes se encuentra la adición de dos perfiles a la parte de la estructura encargada de sostener los moldes. Todo esto se realizó para cumplir con los requerimientos FCE-002 Además, al momento de manufacturarla, fueron surgiendo nuevos ajustes, tales como los perfiles laterales que actúan como base para la parte de la estructura especializada para el sistema de compresión. Además, se realizaron modificaciones que surgían debido a los cambios de diseño que presentaban los demás módulos.

Por lo cual, el diseño asegura la funcionalidad de los demás sistemas ya que primero, cada molde posee dos perfiles que aseguran su estabilidad al momento de operar, mostrado en la sección de 5.5 por medio de *software* en la Fig. 27 y físicamente se aprecia en la sección 5.6, específicamente en la Fig. 38. Con esto se cumple el requerimiento OCE-004. Las figuras mencionadas a continuación se encuentran en la sección 5.6. Continuando, la placa superior cuenta con el espacio necesario para colocar el gato del sistema de compresión, mostrado en las Figs. 32 y 38, con el fin de cumplir el requerimiento OCE-002.

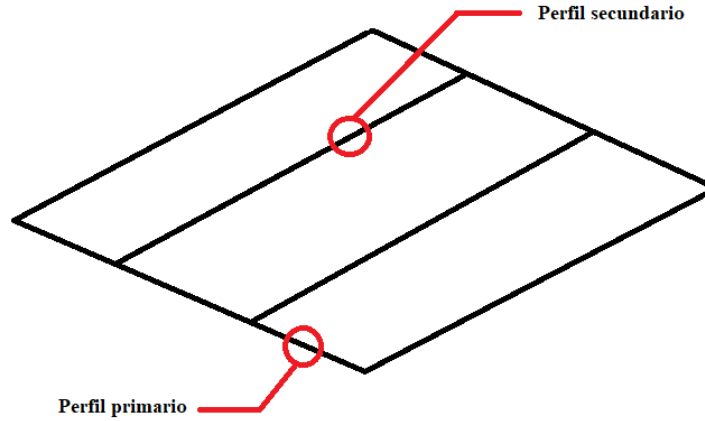
Tercero, el sistema de calentamiento junto con el molde se encuentran aislados debido a las placas que forman un espacio de aire entre estas, las cuales se aprecian en la sección de anexos, en el plano No. 22. Además, este sistema cuenta con el espacio necesario tanto para su operación como su mantenimiento, buscando cumplir con los requerimientos OCE-001 y OCE-003. Cuarto, la carcasa y estructura cuenta con la altura necesaria para permitir el mantenimiento y colocar el molde. También, para que el vástago se estire y comprima el material dentro del molde, mostrado en la Fig. 52. Este diseño asegura el cumplimiento del requerimiento OCE-002. Por último, la armazón de la estructura posee espacio restante suficiente para colocar la carcasa destinada a los componentes del sistema eléctrico y la armazón del sistema de compresión, lo cual se observa en la Fig. 53.

5.5.1. Cálculos analíticos

Se iniciaron los cálculos con la determinación del esfuerzo, deformación y el factor de seguridad en los perfiles destinados para soportar los moldes. Por lo cual se prosiguió con el cálculo de la posible falla en esta pieza. Los cálculos se realizaron de forma bidimensional ya que tanto la fuerza como los perfiles se encuentran de forma simétrica en la estructura. Se analizó como una viga empotrada en ambos lados en la que se ejerce una fuerza a la mitad. Vale la pena mencionar que los perfiles donde se colocan los moldes se nombran como perfiles

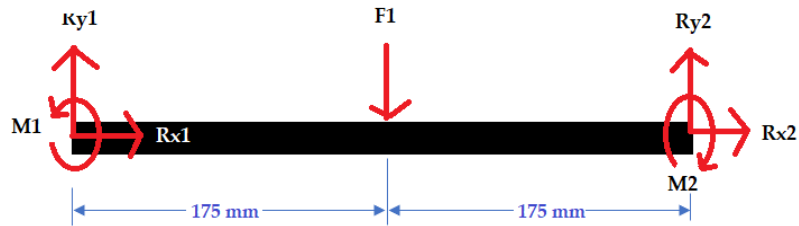
secundarios y los perfiles a los que se sueldan se nombran como perfiles primarios. En la Fig. 11 se ejemplifica. A continuación se presenta el diagrama de cuerpo libre de esta viga.

Figura 11: Explicación de perfiles



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Diagrama de cuerpo libre para perfil secundario



Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó un factor de seguridad mínimo a través de dos métodos, el tipo de material y la regla del dedo. Con el primer método, se determinó que el factor de seguridad debía ser por lo menos 1.25 ya que es un material dúctil con carga estática con alto grado de confianza en cálculos de diseño. Por ello, el factor de seguridad seleccionado con el segundo método se esperaba que fuera como mínimo, 1.25. Con el segundo método, se planteron los siguientes valores según la contribución por la naturaleza de la pieza: Debido a que se conocen las propiedades del material por un catálogo de un proveedor, se obtuvo para el material:

$$n_{material} = 1.1$$

La carga a la que se sometió la pieza crítica es una carga definida y estática, por lo que según el esfuerzo:

$$n_{esfuerzo} = 1.0$$

La tolerancia de la manufactura es promedio por lo cual según la geometría:

$$n_{geometria} = 1.0$$

Debido a que es un esfuerzo uniaxial, para el análisis de fallas se consideró:

$$n_{\text{análisis de fallas}} = 1.1$$

Se consideró una confiabilidad del 98 % ya que la máquina no presenta un riesgo directo al usuario en caso de falla, por lo cual:

$$n_{\text{confiabilidad}} = 1.2$$

Finalmente se obtuvo el factor de seguridad de la siguiente forma:

$$n = n_{\text{material}} * n_{\text{esfuerzo}} * n_{\text{geometría}} * n_{\text{análisis de fallas}} * n_{\text{confiabilidad}}$$

$$n = 1.452$$

En el perfil recae la presión que se ejerce en el molde, la cual sería de 9810 N, lo cual es F1 en la Fig. 12 y en toda la sección de diseño. Se calcularon las reacciones en el eje y y los momentos respectivos utilizando como referencia el diagrama presentado en la figura 14 de la Tabla A-9 del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley novena edición. La longitud del perfil es de 350 mm. Se despreció el peso del perfil debido a la magnitud de la presión que se ejerce sobre este en comparación al peso. Además, debido a que la presión recae sobre dos perfiles soldados, se dividió la fuerza equitativamente entre los dos perfiles.

$$R_{y1} = R_{y2} = \frac{F1}{2}$$

$$R_{y1} = R_{y2} = 4,905.00 \text{ N}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{Fl}{8}$$

Donde F es la fuerza ejercida a la mitad del perfil y l es la longitud del perfil.

$$M_1 = M_2 = 429,187.50 \text{ Nmm}$$

Con estos datos se realizó el diagrama de corte y momento, presentados en la Fig. 13. Se prosiguió a calcular el esfuerzo normal por flexión con la siguiente ecuación, donde M es el momento de flexión en esa sección, c es la distancia del eje neutro a la fibra más alejada en la sección transversal e I es el momento de inercia del área transversal respecto a su eje neutro.

Figura 13: Diagrama de corte y momento



Fuente: Elaboración propia

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Para el cálculo de este momento se considera la geometría del perfil, por lo que se sabe que es un perfil cuadrado de 2 pulg Chapa 18 con una área transversal de $A = 199.20 \text{ mm}^2$. El área se calcula restando el producto de la base por la altura y el área interna, considerando el espesor del perfil según la chapa. El momento de inercia es $I = 82,370.53 \text{ mm}^4$, el cual se calcula restando el momento de inercia considerando la base y la altura del exterior con el momento de inercia considerando la base y altura del interior.

$$\sigma = \frac{429,187.50 \text{ N/mm} * 25.4 \text{ mm}}{82370.53 \text{ mm}^4} = 132.35 \text{ MPa}$$

En cuanto al material, se busca que este permita obtener un factor de seguridad mayor al calculado anteriormente. En el mercado se encuentran numerosas opciones, por lo que a continuación se presenta un punto de partida utilizando el acero AISI 1018 rolando en frío por Multigroup con una resistencia a la fluencia de $S_y = 370 \text{ MPa}$.

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

Donde S_y es la resistencia a la fluencia y n es el factor de seguridad.

De esta forma se obtuvo un factor de seguridad de 2.80. Anteriormente se determinó que el factor de seguridad mínimo es de 1.25. Por lo cual, comparando el factor de seguridad obtenido de forma analítica con el factor de seguridad mínimo seleccionado, se afirma que sí cumple. Por lo que este material utilizado si cumple con las consideraciones de esfuerzo en

el diseño. Existen numerosos tipos de acero, partiendo desde un AISI 1006 rolado en frío, con una resistencia a la fluencia de $S_y = 280 \text{ MPa}$, se obtiene un factor de seguridad de 2.12. También podría utilizarse un acero AISI 1095, con una resistencia a la fluencia mayor. Con este último se obtiene un factor de seguridad mayor. Por lo que aquí dependerá del presupuesto ya que un acero con resistencias a la fluencia más alta pueden brindar un mayor factor de seguridad pero también tendrán un mayor costo.

Luego de esto se calculó la deflexión máxima del material. Se utilizó nuevamente la figura 14 de la tabla A-9 del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley novena edición. La deflexión máxima es:

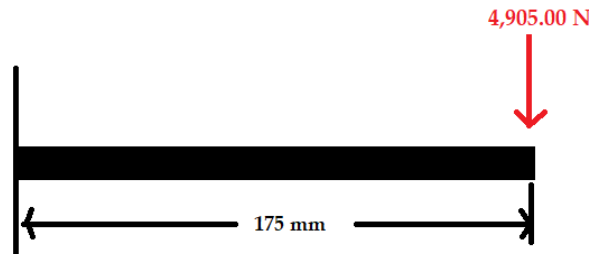
$$y_{max} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$

Donde F es la fuerza que se está aplicando en la viga, l es la longitud de la viga, E es el módulo de elasticidad e I es el momento de inercia.

Para el material utilizado, se consultaron los datos del fabricante del material, el cual en este caso fue MultiGroup de Guatemala. Por ello, el módulo de elasticidad para el material seleccionado es $E = 207,000 \text{ MPa}$. Se obtuvo una deflexión máxima de -0.128 mm. Por lo cual se concluye que si se cumplen los requerimientos para la zona crítica de la máquina. Para el perfil que sostiene el otro molde, se repite el mismo procedimiento, obteniendo los mismos resultados.

Luego se prosiguió con el cálculo de la soldadura entre el perfil secundario y el perfil primario. Para esto, se dividió el perfil a la mitad y se modeló como una viga en voladizo a la cual se le ejerce la mitad de la fuerza planteada anteriormente. El modelo se presenta en la Fig.14.

Figura 14: Modelo para el cálculo de la soldadura



Fuente: Elaboración propia

La barra cuadrada se encuentra soldada de los cuatro lados con una soldadura de filete de 0.375 pulg, de 2 pulg de longitud en cada lado con un electrodo 6013. Se utilizó el método del código de soldadura para determinar si es satisfactoria la resistencia del material de aporte y de la unión. En la tabla 9-6 del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, se obtuvo que la fuerza permisible por longitud unitaria de una electrodo de metal E60 de 0.375 pulg es 4.77 kip/pulg, por ende:

$$F = 4.77l = 4.77(8) = 38.16 \text{ kip}$$

Comparando este valor con la fuerza ejercida, luego de convertirla a kips (1.10 kips), se concluye que debido a que la fuerza permisible por longitud unitaria es mayor a la fuerza ejercida, la resistencia del metal de aporte es satisfactoria.

Además, se verificó el cortante en la unión adyacente a las soldaduras. De las propiedades del material (Acero AISI 1018 rolado en frío), se obtuvo una resistencia a la fluencia de 54 kpsi. Sabiendo que el tipo de carga hace un efecto cortante sobre la soldadura, se calculó el esfuerzo permisible y el esfuerzo cortante en el metal adyacente a la soldadura:

$$\tau_{perm} = 0.4S_y = 0.4(54 \text{ kpsi}) = 21.6 \text{ kpsi}$$

$$\tau = \frac{F}{2hl} = \frac{1.10 \text{ kips}}{2 * 0.375 \text{ pulg} * 8 \text{ pulg}} = 0.18 \text{ kpsi}$$

Debido a que el esfuerzo cortante permisible es mayor al esfuerzo cortante, la unión es satisfactoria cerca de los cordones de soldadura. Por último se determinó si el esfuerzo de tensión en el cuerpo es satisfactorio.

$$\sigma_{perm} = 0.6S_y = 0.6(54 \text{ kpsi}) = 32.4 \text{ kpsi}$$

$$\sigma = \frac{F}{tl} = \frac{1.10 \text{ kips}}{0.0787 \text{ pulg} * 8 \text{ pulg}} = 1.75 \text{ kpsi}$$

Finalmente, debido a que el esfuerzo de tensión permisible es mayor que el esfuerzo de tensión obtenido, se afirma que el esfuerzo de tensión en el cuerpo es satisfactorio.

5.5.2. Simulación por el método de elementos finitos

Con el fin de analizar el comportamiento de toda la estructura como tal, se utilizó el método de elementos finitos. Con los datos analíticos se planetó un punto de partida para el diseño de la máquina. Sin embargo, se busca validar y mejorar el diseño a través de este tipo de análisis. Este se realizó utilizando el software *ANSYS Workbench*. Se empezó realizando un análisis estructural en el cual se definió el material utilizado para los cálculos analíticos, Acero A36 Las propiedades de este fueron las siguientes:

Cuadro 9: Limitantes

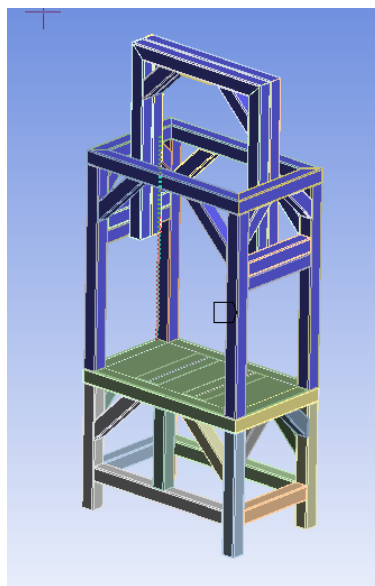
Propiedad	Valor
Resistencia a la fluencia	370 MPa
Resistencia a la tensión	440 MPa
Módulo de elasticidad	207 GPa
Relación de Poisson	0.292

Fuente: Multigroup

Vale la pena mencionar que al importar la geometría de la estructura, se modificaron los perfiles sobre los cuales se ejerce la presión ya que se tuvo que colocar una figura sobre estos para poder simular una carga puntual en ese punto. Esta figura se encuentra justo a la mitad. Además, ya para realizar la parte de la simulación, se realizó un mallado evaluado a través de la métrica *Skewness*. Debido a que la estructura se conforma por solamente perfiles cuadrados, se utilizó el método *Sizing*, con un tamaño de elemento de 5 mm y 2.5 mm. Se utilizaron dos tamaños de elementos ya que de por sí con el tamaño de elemento de 5 mm se obtenía un valor promedio de *Skewness* aceptable pero al momento de simularla, la parte inferior de la estructura presentaba ciertos puntos en los cuales el factor de seguridad era menor 1. Por lo que buscando que se obtengan resultados más precisos, se modificó el tamaño de elemento para esta parte a 2.5 mm.

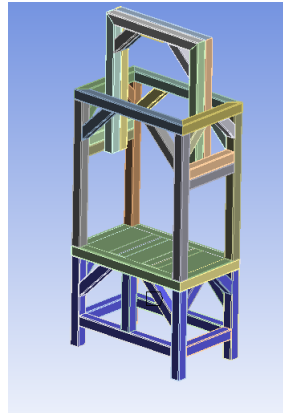
En las Figs. 15 y 16 se muestra marcada de color azul cada caso. Este mallado permitió obtener un valor promedio de *Skewness* de 0.2831, por lo cual se concluye que es un mallado bueno (SAS IP, 2010). En el tema de los contactos, se definieron todos los contactos posibles como *Bonded* debido a que todas las partes de la estructura se encuentran soldadas. Por último, se simuló la fuerza de reacción que genera el sistema de compresión sobre la parte superior de la estructura en una placa.

Figura 15: Sección con tamaño de elemento de 5mm para el mallado



Fuente: ANSYS Workbench

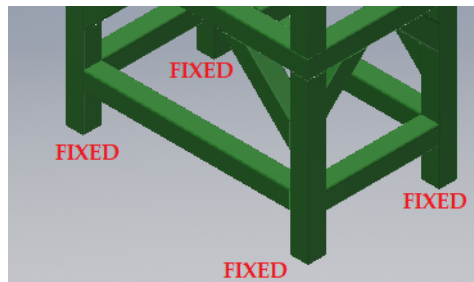
Figura 16: Sección con tamaño de elemento de 2.5mm para el mallado



Fuente: ANSYS Workbench

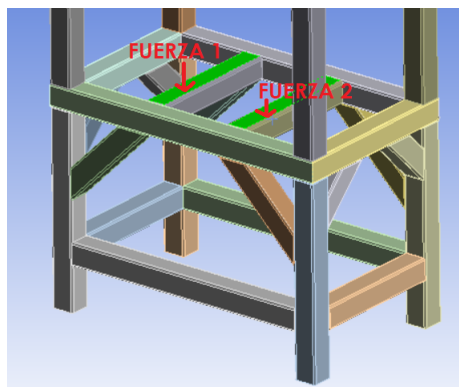
Continuando con la simulación, se colocaron cuatros soportes fijos en cada una de las caras de las patas de la estructura. Esto se simuló de esa manera ya que la estructura no se encontrará en una superficie lisa o resbalosa. Además, se colocaron las cargas que generan los moldes y la reacción de estas. Se muestra a continuación esta configuración.

Figura 17: Soportes



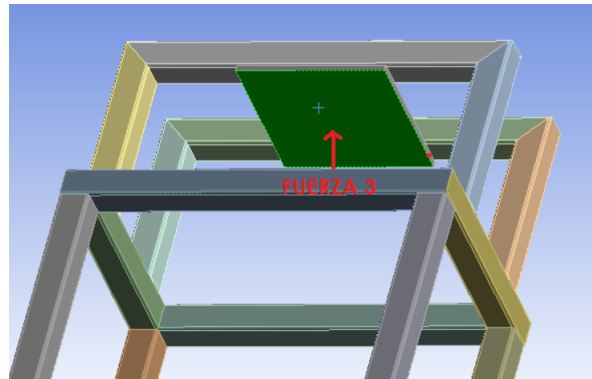
Fuente: ANSYS Workbench

Figura 18: Carga generada por los moldes



Fuente: ANSYS Workbench

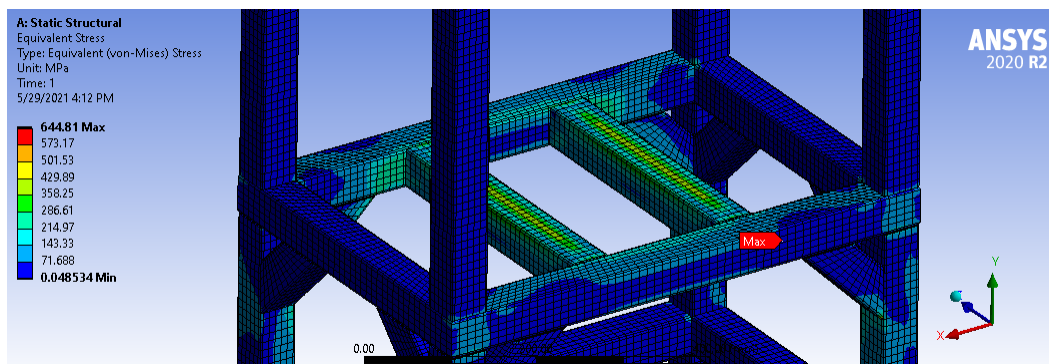
Figura 19: Carga reacción generada por los moldes



Fuente: ANSYS Workbench

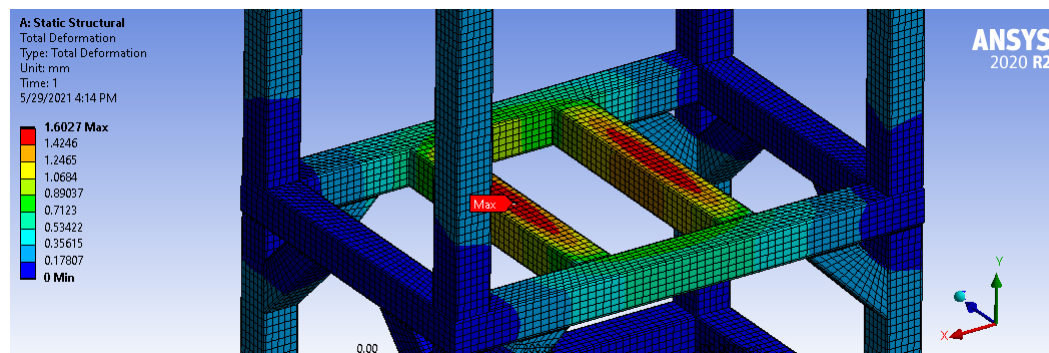
Se analizaron los resultados para tres variables, esfuerzo de Von Mises, factor de seguridad y deformación. Los resultados fueron los siguientes:

Figura 20: Esfuerzo máximo de Von Mises: 644.81 MPa



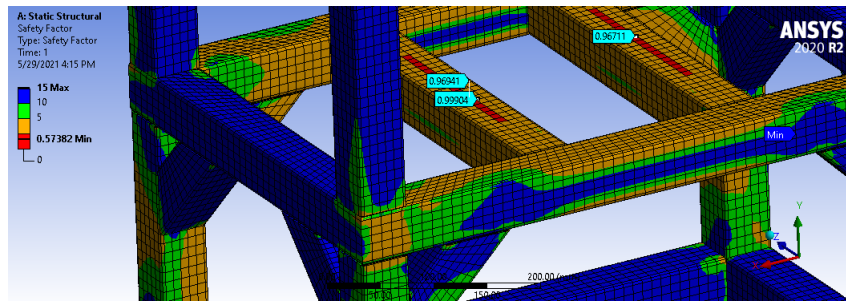
Fuente: ANSYS Workbench

Figura 21: Deformación máxima 1.60 mm



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 22: Factor de seguridad mínimo: 0.57

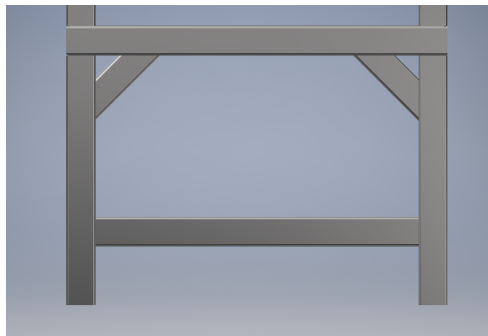


Fuente: ANSYS Workbench

Se observa que se obtiene un factor de seguridad mínimo de 0.57. Además, se obtuvo un esfuerzo máximo de 644.81 MPa y una deformación máxima de 1.60 mm en la parte crítica. El factor de seguridad mínima se encuentra en la zona que se había determinado anteriormente como la parte crítica. Por lo que a través de la simulación realizada en *ANSYS Workbench* se concluye que el diseño amerita modificaciones. Se prosiguió a realizar las siguientes:

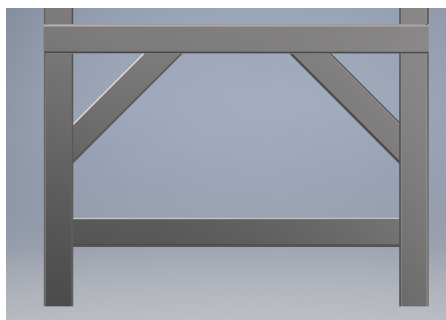
- Hacer más largos los soportes en diagonal, 75 mm más largos, que posee el marco que sostiene las partes críticas. A continuación se presentan los soportes sin la modificación y con la modificación.

Figura 23: Soportes antes de la modificación



Fuente: *Elaboración propia*

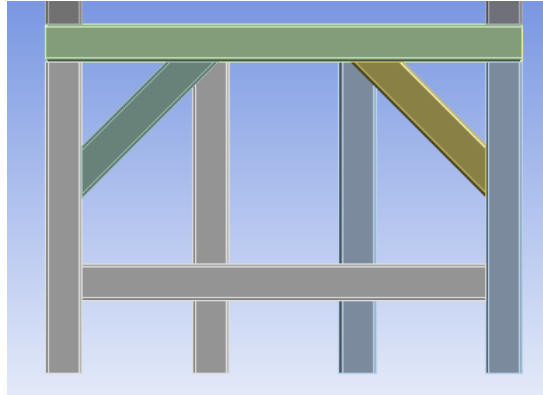
Figura 24: Soportes después de la modificación



Fuente: *Elaboración propia*

- Utilizar un perfil en la partes críticas con un grosor de 3 mm.
- Colocar dos perfiles verticales ubicados a la mitad de las partes críticas, justamente donde se aplica la fuerza del molde. Estos perfiles actuarían como dos patas extra ya que llegarían hasta la superficie en la que está colocada la máquina.

Figura 25: Perfiles verticales extra



Fuente: *Elaboración propia*

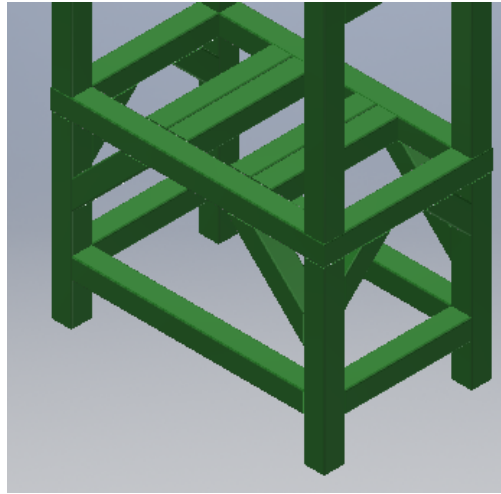
- Colocar una plancha metálica sobre los perfiles que sostienen los moldes.
- Colocar dos perfiles de forma vertical que actuarán como soportes y duplicar la cantidad de perfiles que sostienen los moldes.

Figura 26: Perfiles verticales extra



Fuente: *Elaboración propia*

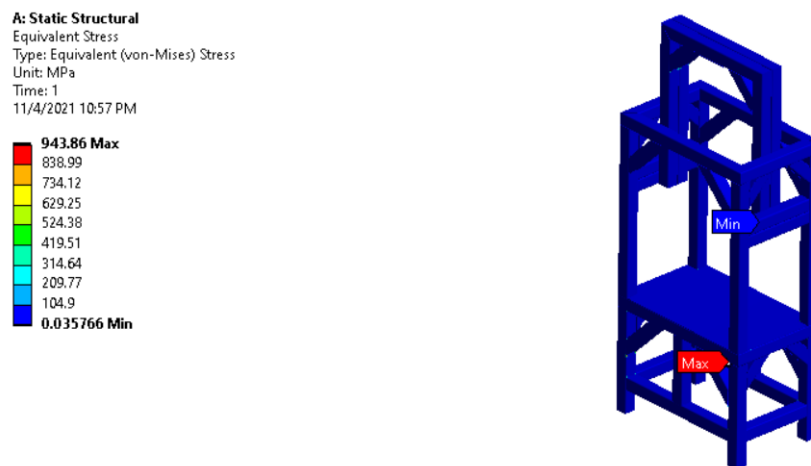
Figura 27: Perfiles duplicados



Fuente: *Elaboración propia*

A través de estas iteraciones se buscaba que los escenarios fueran satisfactorios, obteniendo un factor de seguridad mayor a 1 como mínimo. Se optó por utilizar las últimas dos modificaciones planteadas anteriormente ya que al momento de simularlo, el factor de seguridad en las áreas críticas era mayor a 1. Sin embargo, al realizar esta modificación, otra sección de la estructura reflejaba un factor de seguridad menor a 1. Por lo que se prosiguió con reforzar las áreas críticas con perfiles de mayor espesor. Por lo que todos los perfiles que se encuentran por encima de la mesa, se colocaron de Chapa 14. Esto disminuyó los puntos donde la simulación nos desplegaba un factor de seguridad menor a 1. A continuación se presentan los resultados de esta última iteración y los puntos donde se encuentra este factor de seguridad mencionado. Esfuerzo máximo de Von Mises: 644.81 MPa

Figura 28: Esfuerzo máximo de Von Mises: 943.86 MPa



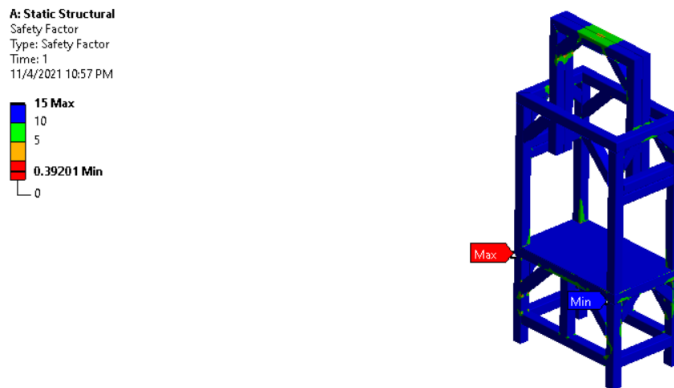
Fuente: *ANSYS Workbench*

Figura 29: Deformación máxima 0.5 mm



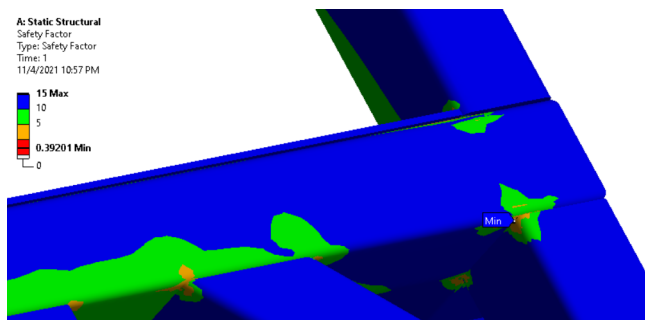
Fuente: ANSYS Workbench

Figura 30: Factor de seguridad mínimo: 0.39



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 31: Unión con factor de seguridad menor a 1



Fuente: ANSYS Workbench

Se detectó que estos puntos generados donde se encuentra un factor de seguridad menor a 1 fue solamente en las uniones, las cuales no podían simularse idealmente ya que los perfiles poseen una parte redondeada en las esquinas. Anteriormente, se programaron los contactos en la simulación colocando solamente las superficies que tenían contacto. Sin embargo, debido

a este borde redondeado en las esquinas, siempre queda una parte al aire. En esta parte es donde se coloca una soldadura como material de aporte para unir ambos perfiles. Por lo que se realizaron los cálculos de soldadura para determinar si son las adecuadas.

Se asumió el peor de los casos para estas uniones, en las cuales la fuerza total que ejerce el sistema de compresión de la estructura sobre los perfiles principales es la misma que se ejerce en la unión. Esto equivale a $F = 4.41 \text{ kips}$. Sabiendo que se colocarían dos cordones de un total de 4 pulg entre los dos con un electrodo 6013, se calculó la fuerza permisible:

$$F = 4.77l = 4.77(4) = 19.08 \text{ kip}$$

Calculando el factor de seguridad, 4.32 se afirma que la resistencia del metal de aporte es satisfactoria. También se calculó el cortante en la unión adyacente a las soldaduras. Anteriormente se obtuvo que $\tau_{perm} = 21.6 \text{ kips}$ y se conoce que el tipo de carga hace un efecto cortante sobre la soldadura, se calculó el esfuerzo cortante en el metal adyacente a la soldadura:

$$\tau = \frac{F}{2hl} = \frac{4.41 \text{ kips}}{2 * 0.375 \text{ pulg} * 4 \text{ pulg}} = 1.47 \text{ kpsi}$$

El esfuerzo cortante permisible es mayor al esfuerzo cortante por lo que la unión si es satisfactoria cerca de los cordones de soldadura. Además, el factor de seguridad de esto es 14.69. Se calculó también el esfuerzo de tensión:

$$\sigma_{perm} = 0.6S_y = 0.6(54 \text{ kpsi}) = 32.4 \text{ kpsi}$$

$$\sigma = \frac{F}{tl} = \frac{3.97 \text{ kips}}{0.0787 \text{ pulg} * 4 \text{ pulg}} = 14 \text{ kpsi}$$

El esfuerzo de tensión permisible es mayor al esfuerzo de tensión calculado, por lo que sí es satisfactorio el resultado. Además, el factor de seguridad es de 2.31.

Ahora continuando con la simulación en *ANSYS Workbench* sobre el compartamiento térmico de la estructura respecto al sistema de calentamiento, se simuló un análisis *Steady-State Thermal*. Con este se buscaba obtener los resultados de convección y flujo de calor sobre la estructura cuando la resistencia se encuentra operando. Por lo que se calcularon los coeficiente de película para las placas que se desean analizar. Para esto se definieron las siguiente propiedades (se hace la aclaración que las resistencias del sistema de calentamiento se encuentra a 180 °C):

$$T_{ambiente} = 22^\circ C$$

$$T_{superficie} = 180^\circ C$$

$$v_{cinematica} = 0.000023168 \text{ m}^2/s$$

$$Prandtl = 0.711$$

$$\beta = 0.0027$$

Para obtener estos últimos valores se calculó la temperatura promedio entre la temperatura ambiente y la temperatura de la superficie. Este valor se buscó en la Tabla A-15 del libro Transferencia de Calor y Masa cuarta edición. Debido a que el valor exacto no se encontraba en la tabla se realizó una interpolación y se obtuvo el valor de Prandtl y viscosidad cinemática. El valor de betha se obtuvo con el inverso de la temperatura promedio en grados Kelvin. Se calculó el número de Grashof con la siguiente fórmula y conociendo el largo para cada una de las placas deseadas.

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{v^2}$$

Donde:

g = aceleración gravitacional, m/s^2

β = coeficiente de expansión volumétrica, $1/K$

v = viscosidad cinemática, m^2/s

T_s = temperatura de la superficie, $^{\circ}C$

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^{\circ}C$

L_c = longitud de la configuración geométrica, m

Luego de eso se calculó el número de Rayleigh con el producto entre el número de Grashof y Prandtl. También se calculó el número de Nusselt para placas verticales utilizando todo el intervalo de los números de Rayleigh. Por último se calculó el coeficiente de película con la siguiente fórmula:

$$h = \frac{Nu * k}{L_c}$$

Donde:

Nu = número de Nusselt

k = conductividad térmica del aire, $\frac{W}{m * K}$

L_c = longitud de la configuración geométrica, m

De esta forma se calcularon los siguiente coeficiente de película para cada placa.

$$h_{\text{placa interna posterior}} = 6.63 * 10^{-6} \frac{W}{m * K}$$

$$h_{\text{placa superior interna}} = 7.16 * 10^{-6} \frac{W}{m * K}$$

$$h_{\text{placa inferior interna}} = 6.89 * 10^{-6} \frac{W}{m * K}$$

$$h_{\text{puerta}} = 6.57 * 10^{-6} \frac{W}{m * K}$$

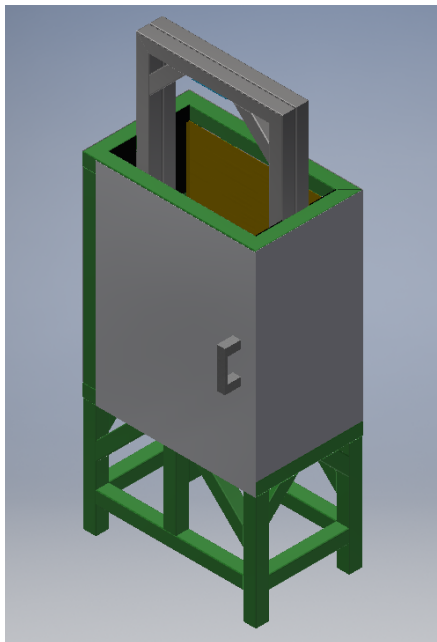
Se hace la observación que se calculó para todas las superficies una convección natural, tanto para las placas internas y externas. Esto es debido a que, para las placas externas, se deseaba calcular el peor de los casos, en el cual el aire no posee una velocidad considerable como para hacer que las láminas pierdan calor.

Por lo que se realizó la simulación en *ANSYS Workbench* en la cual se definieron diferentes convecciones, una para cada tipo de placa. Además, sabiendo que las resistencias operan con 300 W, se simuló un flujo de calor en estas sobre la estructura y carcasa. Se desplegó el resultado de temperatura. Se simularon 1000 segundos ya que es el tiempo en el cual las resistencias alcanzan los 180 °C.

5.6. Proceso de manufactura

Luego de finalizar la etapa de diseño, se realizaron los planos de la estructura, en los cuales ya se incluyen las placas que aseguran la seguridad del usuario al aislar el sistema de calentamiento del exterior. A continuación se presenta la estructura con las placas:

Figura 32: Estructura con placas



Fuente: *Autodesk Inventor*

Se realizó una tabla de presupuesto, en el cual se incluyen los precios de los perfiles cuadrados, cotizados en Multigroup, electrodos 6013, láminas de aluminio y acero y los accesorios para la puerta.

Cuadro 10: Presupuesto

Nombre	Cantidad	Precio Unitario	Total
Perfil de acero Chapa 14	12 metros	Q.233.54	Q2,802.48
Perfiles de acero Chapa 18	9 metros	Q.156.29	Q1,406.61
Lámina de aluminio Calibre 16	1	Q.650.00	Q650.00
Lámina de acero Calibre 11	1	Q.1,150.50	Q1,150.00
Electrodos 6013	25	Q.13.00	Q325.00
Remaches	2 bolsas	Q9.99	Q19.98

Fuente: Elaboración propia

El total del presupuesto para los materiales de la carcasa y estructura es de Q6,354.00.

Se realizó un plan de manufactura, en el cual se incluyeron los pasos lógicos a seguir para completar la manufactura de la estructura

5.6.1. Plan de manufactura

Objetivos

- Aprovechar los materiales disponibles en el centro de trabajo, adecuando los ajustes del diseño conforme a la disponibilidad.
- Manufacturar la estructura de la máquina guiándose de las dimensiones presentadas en los planos.
- Cortar y soldar todos los perfiles de la máquina aprovechando en la mayoría de lo posible el tamaño de estos.

Materiales

- Tubería cuadrada estructural de acero AISI 1018 Chapa 14 y 18
- Lámina de aluminio de 3 mm de espesor
- Lámina de aluminio 1.5 mm de espesor
- Electrodo E6013

Herramientas

- Cortadora de disco
- Segueta
- Lima

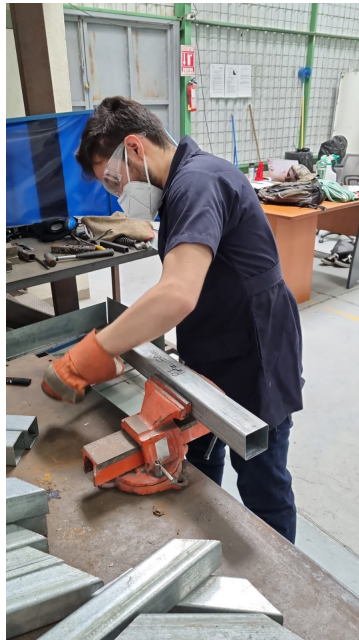
- Vernier
- Cinta métrica
- Escuadra
- Marcador
- Escala
- Marcador de metal
- Regla T
- Soldadura de arco eléctrica
- Soldadura MIG
- Barreno

Pasos a realizar para manufacturar

1. Corte de perfiles cuadrados para la parte inferior de la estructura

Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 18 a 90° para ambos bordes según los planos 3 y 4 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

Figura 33: Corte y lima de los perfiles



Fuente: Elaboración propia

2. Corte de perfiles cuadrados para la parte inferior de la estructura

Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 18 a 90° para ambos bordes según el plano 5 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

3. Corte de perfiles cuadrados utilizados como soportes para la parte inferior de la estructura

Cortar 8 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 18 a 45° para ambos bordes según los planos 7 y 8 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

4. Corte de perfiles cuadrados utilizados para la mesa de los moldes

Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 18 a 45° para ambos bordes según los planos 10 y 11 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

5. Corte de perfiles cuadrados para sostener los moldes

Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 14 a 90° para ambos bordes según el plano 9 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

6. Corte de perfiles cuadrados utilizados como soportes para la parte superior de la estructura

Cortar 8 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 18 a 45° para ambos bordes según el plano 7 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

7. Corte de perfiles cuadrados utilizados para sostener la estructura para el sistema de compresión

Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 14 a 45° para ambos bordes según el plano 16 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

8. Corte de perfiles para ensamblar el sistema de compresión

Cortar 2 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 14 a 45° para ambos bordes según el plano 12 con una segueta. Cortar 4 perfiles cuadrados de acero estructural de Chapa a 45° para un borde y el otro a 90° según el plano 14. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En

esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

9. Corte de perfiles cuadrados utilizados para sostener la estructura para el sistema de compresión

Cortar 2 perfiles cuadrados de acero estructural AISI 1018 de Chapa 14 a 90° para ambos bordes según el plano 9 con una segueta. Luego de cortar se deben limar los bordes de los perfiles para eliminar restos de los cortes y facilitar la soldadura. En esta fase se utilizan marcador, escuadra, segueta, prensa de mesa, escala, cinta métrica y lima de media caña.

10. Soldaduras para vista preliminar de la estructura

Soldar los perfiles cortados según los planos utilizando una soldadura por arco eléctrico. Se soldarán los bordes utilizando puntos. Para este paso se utilizan 25 electrodos 6013, martillo, cepillo metálico y todo el equipo de protección para soldar. En esta fase se revisa toda la armazón de la estructura para realizar cualquier modificación.

Figura 34: Soldadura de estructura



Fuente: Elaboración propia

11. Soldaduras MIG

Soldar todas las uniones realizadas con soldadura de arco eléctrico con soldaduras MIG. Para este paso se utilizan cepillo metálico y todo el equipo de protección para soldar.

Figura 35: Esqueleto de la estructura

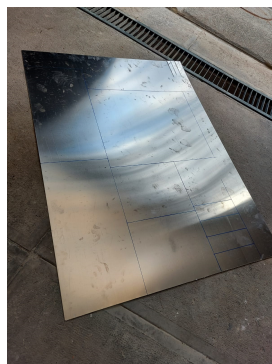


Fuente: Elaboración propia

12. Corte de láminas de aluminio

Cortar con segueta una lámina de aluminio de 1.5 mm de espesor según los planos No. 19, 20, 21, 25 y 26. Limar los bordes para eliminar filos vivos. En esta fase se utilizan vice, escala, regla T, segueta y marcador.

Figura 36: Lámina marcada



Fuente: Elaboración propia

13. Corte de lámina de acero

Cortar con segueta una lámina de acero de 3 mm de espesor según el plano No. 19, 20, 21, 24, 25 y 26. Limar los bordes para eliminar filos vivos. En esta fase se utilizan vice, escala, regla T, segueta y marcador.

14. Agujeros para el remachado de las láminas

Con un barreno realizar los agujeros en los perfiles según los planos de las láminas. Para estos agujeros se debe medir previamente con una escala y marcar con un marcador los puntos deseados. Luego barrenar los agujeros.

Figura 37: Agujeros en la estructura

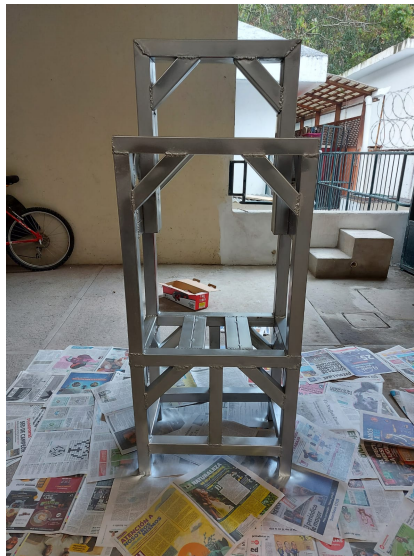


Fuente: Elaboración propia

15. Pintura de la estructura

Pintar la estructura luego de pulir las soldaduras.

Figura 38: Esqueleto de la estructura



Fuente: Elaboración propia

16. Remache de lámina de acero

Remachar la lámina de acero en los puntos donde se realizaron los agujeros previamente. Utilizar remachadora y remaches.

17. Ensamble de bisagras

Barrenar los agujeros para las bisagras y luego ensamblar las bisagras al perfil indicado según el plano No. 22.

18. Ensamble de magnéticos

Barrenar los agujeros para los magnéticos y luego ensamblarlos en el perfil indicado en el plano No.

19. Remache de láminas de aluminio

Remachar las láminas de aluminio en los puntos donde se realizaron los agujeros previamente. Utilizar remachadora y remaches.

20. Ensamble de puerta

Ensamblar a la puerta el magnético y el agarradero para poder abrirla y cerrarla. Luego de eso ensamblar la puerta a la bisagra.

Figura 39: Ensamble de puerta



Fuente: Elaboración propia

5.7. Proceso de ensamble

Se ensamblaron todos los módulos utilizando uniones no permanente, de tal manera que se pudiera realizar el mantenimiento predictivo y correctivo, si fuera necesario de cada uno. Para ensamblar la base del molde se asegura con tornillos la base a la lámina de la carcasa sobre la cual se encontraría el molde. Para ensamblar el gato hidráulico se realizaron

agujeros en la estructura superior de la estructura para enroscar las armellas del sistema de compresión y colocar los resortes del sistema de compresión sobre estas. A continuación se presenta la carcasa y estructura con todos los módulos ensamblados.

Figura 40: Máquina ensamblada



Fuente: Elaboración propia

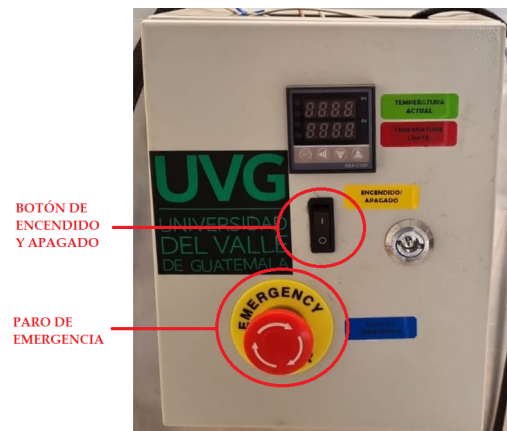
Análisis de seguridad ocupacional

Se detectó que existe una actividad que necesita de un análisis de seguridad ocupacional, la cual es el manejo de la estructura al momento de querer retirar el molde con el plástico compactado. Por lo que a continuación se presenta el procedimiento a seguir para llevar a cabo esta actividad. En todo momento llevar el equipo de protección personal, guantes, lentes y botas con punta de acero.

- Pasos a realizar

1. Apagar el sistema de calentamiento. En este paso se debe apagar el sistema de calentamiento ya sea con el paro de emergencia o con el sistema On/Off del sistema. No se debe desenchufar la máquina directamente.

Figura 41: Formas de apagar la máquina



Fuente: Elaboración propia

2. Abrir la puerta para que se libere el calor restante generado.

No se debe tocar las láminas interiores de la carcasa, solamente abrir la puerta con el agarradero y tocando las láminas externas.

Figura 42: Forma de abrir la puerta



Fuente: Elaboración propia

3. Esperar a que se enfríen los moldes y las resistencias.

Para saber si ya se encuentran a una temperatura manejable, solamente encender brevemente la máquina y observar que temperatura marca el panel de control presentado en la Fig. 41. No tocar el molde para mientras por ningún motivo ni alguna parte de la estructura que se encuentre en la parte interna de la carcasa.

4. Extraer bloque de plástico luego de abrir las resistencias.

Dejar la puerta abierta mientras se extrae el bloque. En este paso ya se pueden tocar las láminas interiores de la carcasa.

- Posible peligros existentes

Al momento de extraer el molde para sacar el bloque de plástico se debe esperar que este se enfríe. A pesar que la lámina exterior no se caliente de forma considerable, se debe esperar a que el molde se enfríe completamente para realizar la extracción. Verificar la temperatura de los moldes con el panel de control. Se debe evitar tocar tanto el molde y la base de este y las láminas internas de la estructura ya que puede provocar una quemadura severa y necesite atención médica. Además, mientras se realiza la operación de compactación, no se debe estar abriendo la puerta de la carcasa. La puerta debe estar cerrada en todo momento durante la compactación.

5.8. Pruebas

Se midió la temperatura de las placas exteriores de la carcasa incluyendo la puerta utilizando un termómetro láser mostrado en la siguiente figura. Esta toma se realizó al momento que el sistema de calentamiento alcanzaba su temperatura máxima de funcionamiento, 180°C. Se obtuvo una temperatura de 22°C para todas las placas exteriores, manteniéndose a temperatura ambiente.

Figura 43: Termómetro láser



6.1. Resultados preliminares

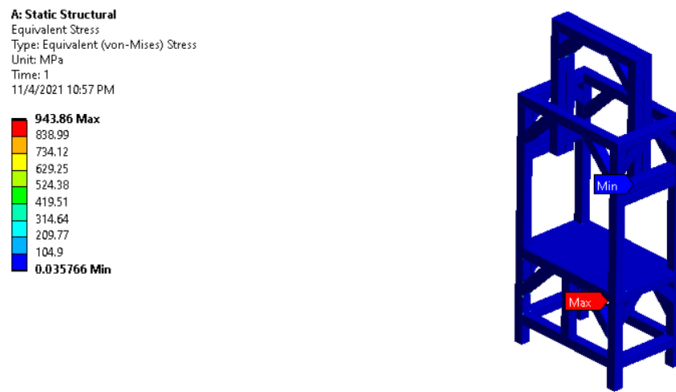
A primera instancia se obtuvieron los siguientes resultados analíticos. El fin de estos era tener un punto de partida para el diseño de la máquina tanto para las características del material como para la soldadura en las áreas críticas.

- Deformación total máxima: 0.128 mm
- Factor de seguridad: 2.8
- Fuerza permisible por longitud unitaria: 38.16 kip
- Esfuerzo permisible: 21.6 kpsi
- Esfuerzo cortante en el metal adyacente: 0.18 kpsi
- Esfuerzo de tensión permisible: 32.4 kpsi
- Esfuerzo de tensión: 1.75 kpsi

6.2. Resultados del método de Elementos Finitos

Para analizar el comportamiento de la estructura a las condiciones dadas en el funcionamiento, se realizó una simulación con el método de Elementos Finitos a través del software *ANSYS Workbench*. Vale la pena mencionar que se realizaron varias iteraciones y modificaciones utilizando este método, por lo que a continuación se presentan los últimos resultados con los cuales se prosiguió a la fase de manufactura.

Figura 44: Esfuerzo máximo de Von Mises: 943.86 MPa



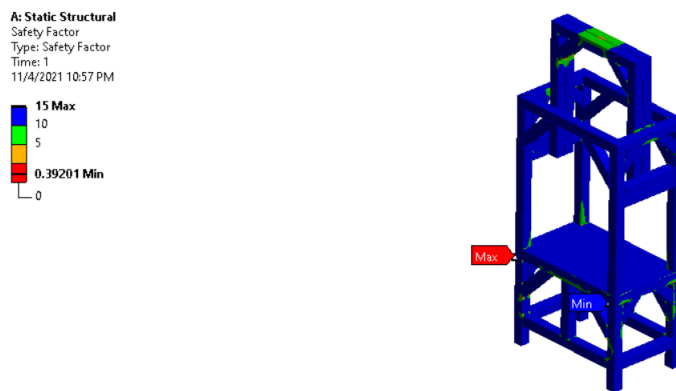
Fuente: ANSYS Workbench

Figura 45: Deformación máxima 0.5 mm



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 46: Factor de seguridad mínimo: 0.39



Fuente: ANSYS Workbench

Además se presentan los resultados del análisis térmico realizado también en el software.

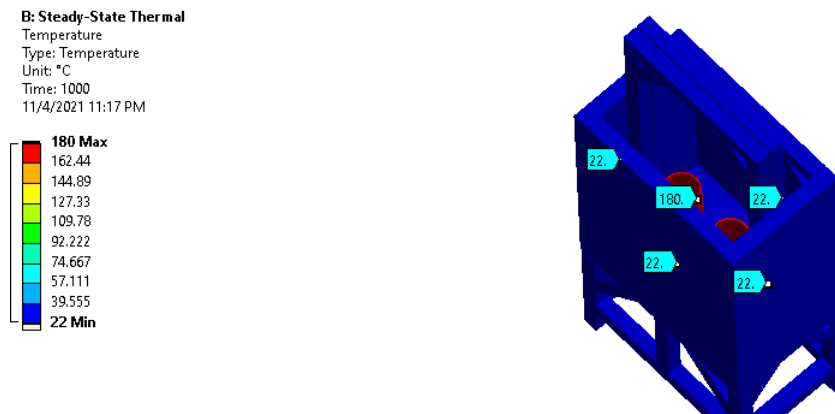
En la imagen se muestran cuatro puntos, los cuales se encuentran en cada una de las superficies exteriores de la carcasa. Con esto se buscaba representar la temperatura de cada una de las placas a las cuales se encuentra expuesto el usuario.

Figura 47: Temperatura máxima: 180 °C



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 48: Interior de la estructura



Fuente: ANSYS Workbench

6.3. Resultados del cálculo de la unión crítica

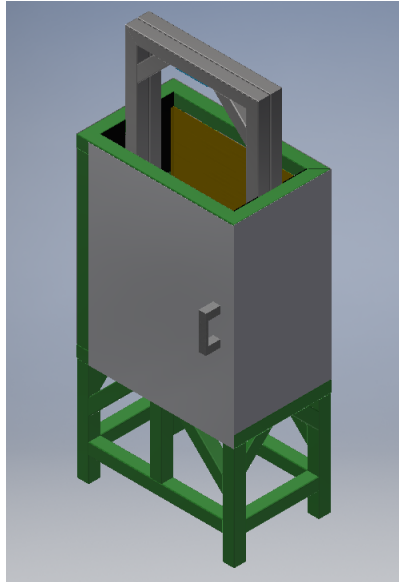
Como se comentó en la sección de metodología, se realizaron cálculos para la unión en la que la simulación por el método de Elementos Finitos presentaba que existía una posible falla ya que había un factor de seguridad menor a 1. Esta unión se encuentra en la Fig. 31, en la sección 5.5.2. Por lo que a continuación se presentan los resultados de estos cálculos.

- Factor de seguridad de la fuerza permisible por longitud unitaria: 4.32
- Factor de seguridad por el esfuerzo cortante en la unión adyacente: 14.69
- Factor de seguridad por el esfuerzo de tensión: 2.31

6.4. Manufactura de la estructura

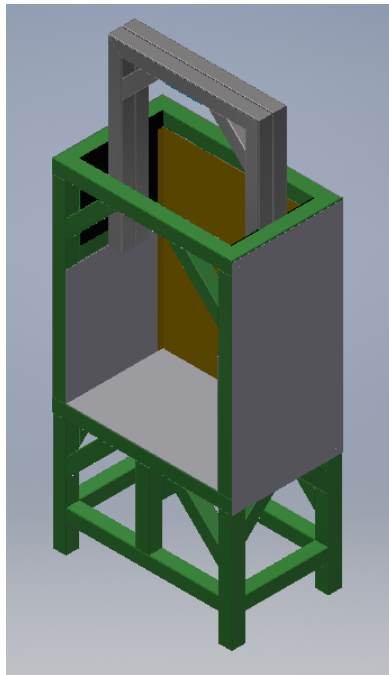
Finalmente se presentan tanto el diseño final de la estructura en el *software Autodesk Inventor* y manufacturada.

Figura 49: Exterior de estructura en *Autodesk Inventor*



Fuente: *Autodesk Inventor*

Figura 50: Interior de estructura en *Autodesk Inventor*



Fuente: *Autodesk Inventor*

Figura 51: Vista frontal de la estructura



Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Interior de la estructura



Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Vista lateral de la estructura



Fuente: Elaboración propia

Figura 54: Vista posterior de la estructura



Fuente: Elaboración propia

6.5. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron pruebas de funcionamiento según el protocolo de pruebas contenidas en la tesis titulada "Diseño de sistema eléctrico e ingeniería de sistemas para un prototipo de compactadora de plástico del Centro Educativo Técnico Chixotz escrita por Arturo José González Ruiz. Con estas se buscaba obtener los primeros ladrillos de plástico.

Figura 55: Pruebas de ladrillos



Fuente: Elaboración propia

6.6. Requerimientos completados

Por último, se muestran los requerimientos completados y en qué sección se encuentran.

6.6.1. Requerimientos funcionales

Cuadro 11: Requerimientos funcionales

Código	Completado (Sí/No)	Sección
FCE-001	Sí	5.8
FCE-002	Sí	5.5

Fuente: Elaboración propia

6.6.2. Requerimientos operacionales

Cuadro 12: Requerimientos operacionales

Código	Completado (Sí/No)	Sección
OCE-001	Sí	5.7
OCE-002	Sí	5.7
OCE-003	Sí	6.2
OCE-004	Sí	5.6
OCE-005	Sí	5.6
OCE-006	Sí	5.6

Fuente: Elaboración propia

6.6.3. Limitantes

Cuadro 13: Limitantes

Código	Completado (Sí/No)	Sección
LCE-001	Sí	11.1
LCE-002	Sí	11.1
LC3-002	Sí	5.5

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Empezando por los requisitos definidos para la estructura, se afirma que la carcasa y estructura sí cumplió con los requisitos establecidos. Vale la pena mencionar que se había mencionado que se colocaría un aislamiento como tal para la estructura. Sin embargo, como se puede observar en los resultados de la simulación del comportamiento térmico de la estructura, el aire que queda entre la capa de láminas y el aire entre las láminas y el molde es suficiente para que la estructura garantice la seguridad del usuario respecto al posible peligro a sufrir una quemadura por una superficie caliente. Esto se aprecia en la sección 6.2 y cumple con los requisitos OCE-003 y OCE-006.

Además, los materiales utilizados para la estructura y las soldaduras son los adecuados para los requerimientos funcionales ya que sí es posible operar según las condiciones de operación tanto en el aspecto térmico como de deformación, lo cual se muestra en las figuras 56 a 58 y cumple con el requisito OCE-004. Respecto a las limitantes, sí se respetaron tanto las dimensiones como el peso máximo que debe poseer la estructura para facilitar su transporte y su uso ya que la altura máxima de la estructura es 1.6 m y 51.979 kg según los planos presentados en la sección de anexos. Por lo que la estructura sí cumplió respecto a los requisitos LCE-001 y LCE-002.

Ampliando un poco más sobre la decisión del material es satisfactoria ya que permite obtener un factor de seguridad de 2.80, indicando que la estructura puede soportar casi más de 3 veces el esfuerzo máximo producido en la zona crítica calculada. Además, en la simulación por el método de Elementos Finitos indicó que todos los perfiles mostraban un factor de seguridad mayor al mínimo aceptado, siendo 1.25 según la regla del dedo. Esto se demuestra en la sección 6.1 y cumple con la limitante LCE-003. Por lo que el diseño y material son los ideales para las condiciones de operación.

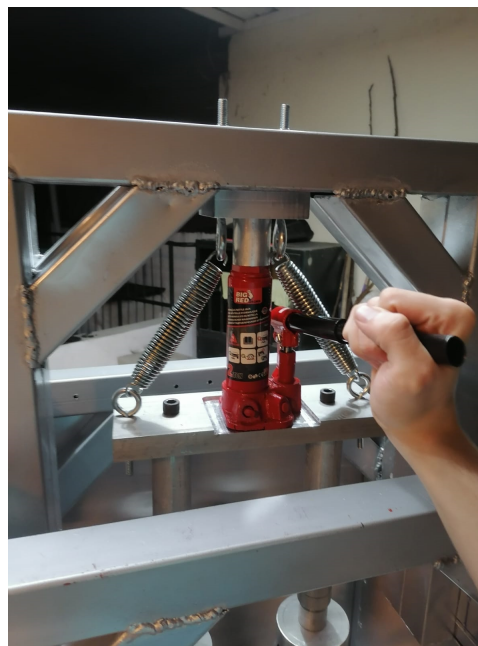
Continuando ahora con el material del electrodo y la geometría para las soldaduras, se afirma que el electrodo utilizado es el correcto e incluso brinda la impresión que queda

sobredimensionado ya que comparando los esfuerzos permisibles con los esfuerzos ejercidos, es mayor en todas las ocasiones el esfuerzo permisible. Sucede lo mismo con la unión que se calculó por aparte debido a los resultados por el método de Elementos Finitos. En las secciones 6.1 y 6.3 se muestra lo explicado y esto asegura el cumplimiento del requisito FCE-002. Por lo que se afirma que el material elegido tanto para la estructura como para las soldaduras es el correcto.

Se afirma que la estructura cumple con el objetivo principal del trabajo, permitir el ensamble de todos los módulos. Como se puede observar en la sección 5.7 y 6.4, la armazón superior de la estructura diseñada especialmente para el sistema de compresión permite que no solo se pueda ensamblar el gato hidráulico y la armazón del sistema de compresión sino que también pueda expandirse y contraerse para la compactación. Además, permite desensamblarlo para realizar el mantenimiento tanto preventivo como correctivo de este, garantizando el cumplimiento del requisito OCE-001.

Por último, la estructura permite que se puedan colocar los moldes con sus respectivas resistencias y todo esto permitiendo también que las resistencias puedan ser removidas con facilidad al igual que la extracción del molde con el plástico. Esto se visualiza en la sección 6.4. Por lo que se cumple el requerimiento OCE-002. La estructura sí permite la operación de los demás módulos y que se realice el mantenimiento de estos. A continuación se presentan imágenes para validarlo.

Figura 56: Funcionamiento del sistema de compresión



Fuente: Elaboración propia

Figura 57: Moldes dentro de las carcasa



Fuente: Elaboración propia

Figura 58: Funcionamiento de los moldes



Fuente: Elaboración propia

- La estructura sí permite ensamblar correctamente todos los módulos pertenecientes a la compactadora de plástico, por lo que asegura que operen adecuadamente para obtener un bloque de plástico.
- Se plantearon y se cumplieron los requisitos establecidos para garantizar la seguridad del usuario. Esto se logró a través de un aislamiento de aire y una carcasa metálica para evitar el contacto directo del usuario con la fuente de calor de la estructura.
- Se diseñó la estructura considerando las necesidades de cada módulo, así como la expansión y armazón necesaria para la operación del sistema de compresión, el espacio necesario para colocar los moldes junto con las resistencias y que pueda ser llenado de plástico, asegurando el funcionamiento del sistema de calentamiento. Por último, se cuenta con el espacio necesario para realizar el cableado eléctrico.
- La estructura sí cumple con las condiciones de operación ya que se aseguró a través de cálculos analíticos y el método de elementos finitos, que los materiales utilizados para manufacturar la máquina no fallan ni sufren algún cambio significativo por la exposición por una fuente de calor.
- Se manufacturó la estructura y la carcasa tomando en cuenta que se asegurara el acoplamiento de todos los módulos y permitiendo que se realice el mantenimiento preventivo y correctivo de estos.

Recomendaciones

- Evaluar la posibilidad y los requerimientos de colocar cuatro moldes al mismo tiempo en la estructura. Esto podría significar en la necesidad de utilizar un perfil de mayor espesor pero podría justificarse al duplicar la cantidad de moldes que produce la máquina.
- Investigar el impacto en el aislamiento con el uso de resistencias convencionales de hornos eléctricos ya que esto podría influir en la necesidad de buscar aislar los cuatro lados de la máquina. Existe la posibilidad que el aislamiento sea necesario solamente en una cara al utilizar este tipo de resistencias.
- Analizar el comportamiento del aislamiento al reducir el tamaño de la carcasa ya que no se calienta en el exterior y podría ahorrarse material al momento de diseñar y manufacturar.
- Evaluar la adición de llantas temporales a las patas de la estructura ya que al momento de querer trasladarla, estas podrían facilitar el movimiento de toda la máquina.

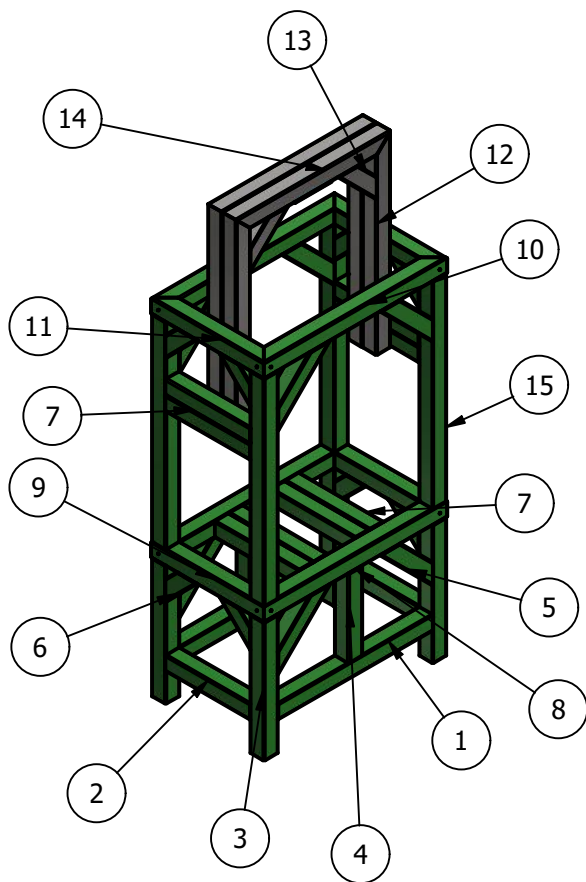
- AG. (2020). *Productos* [publisher: Aceros de Guatemala]. <https://www.corporacionag.com/es/categoria-producto/perfiles-ag>
- Alaa Jaber, H. (2016). *Effect of Glass Wool Addition on Some Properties of Cement Mortar. Engineering and Technology Journal*, 34(14), 2688-2691.
- Amareesh, K., Rajath, H., J., P. K. & Rohith, J. (2017). *Fabrication of plastic compression molding machine. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 4(7), 9-13.
- AP. (2020). *Productos* [publisher: Grupo AP]. <https://www.grupoap.com.gt/productos/>
- Apraiz, J. (2003). *Tratamientos térmicos de los aceros* (10.^a ed.). CIE Dossat 2000.
- Batabyal, A., Kumar Nayak, R. & Tripathy, S. (2018). *Evaluation of Mechanical Properties of Glass Fibre and Carbon Fibre Reinforced Polymer Composite. Journal of Communication Engineering Systems*, 8(2), 66-74.
- Cervera Ruiz, M. & Blanco Díaz, E. (2014). *Mecánica de Estructuras* (1.^a ed.). Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Clauss, B. & Schawaller, D. (2006). *Modern Aspects of Ceramic Fiber Development. Advances in Science and Technology*, 50, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/250360836_Modern_Aspects_of_Ceramic_Fiber_Development
- Folorunso, D., Aribo, S. & Olaniran, O. (2015). *Performance evaluation of insulating fire-bricks produced from Hydrometallurgically purified termite hill clay reinforced with alumina. American Journal of Engineering Research*, 4(5), 1-7.
- González, D. (2016). *Diseño y construcción de un horno de tratamientos térmicos de rango entre 0 y 700 °C para el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica Equinoccial*. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Hofmann, A. & Reinhard-Herrscher, F. (2014). *Insulation for baking ovens and baking oven with such insulation* (WO 2015/063276 A1). Stockholm. <https://patents.google.com/patent/WO2015063276A1/en>
- Intérmica. (2016). *Productos* [publisher: Ingeniería Térmica, S.A.]. <http://www.intermica.net/productos/>
- Jadeja, K. & Saradava, K. (2014). *Property analysis of alumina refractory bricks - a review. International Journal of Futuristic Trends in Engineering and Technology*, 1(2), 1-3.

- La Verdad, G. (2020). *La gran ventaja de los ladrillos refractarios* [publisher: La verdad]. <https://laverdadonline.com/la-gran-ventaja-de-los-ladrillos-refractarios/>
- Marinas, É. (2015). *Desarrollo de un modelo simulado para la predicción del desgaste de revestimientos industriales en servicio* (Tesis Doctoral). UNIVERSIDAD DE OVIEDO. España. https://www.unioviado.es/sid-met-mat/TESIS/Erika_Marinas_Tesis_Doctoral.pdf
- Mason, T. (2016). *Refractory* [publisher: Encyclopedia Britannica]. <https://www.britannica.com/technology/refractory>
- Nemachinroyal. (2020). *Insulating fire bricks* [NemachinRoyal: Brick Manufacturer Group]. <http://nemachinroyal.com/article/en-16/Insulating-fire-bricks>
- Praisa. (2019). *Aislamientos y recubrimientos* [publisher: Asesores Industriales, S.A.]. <http://praisa.com/aislamientos-y-recubrimientos/>
- Sadik, C., El Amrani, I. & Albizane, A. (2014). *Recent advances in silica-alumina refractory: A review. Journal of Asian Ceramic Societies*, 2(2), 83-96.
- SAS IP, I. (2010). *ANSYS Meshing User's Guide* [publisher: ANSYS, Inc]. file:///C:/Users/Ricardo2/Downloads/Meshing_Tutorial_Ans.sys.pdf
- Souza, E. (2020). *¿Qué son los ladrillos refractarios y para qué sirven?* <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/949969/que-son-los-ladrillos-refractarios-y-para-que-sirven>
- TecniAceros. (2020). *Productos* [publisher: Tecniaceros]. <http://tecniaceros.com/productos/>
- Ugheoke, B., Onche, E., Namessan, O. & Asikpo, G. (2006). *Property Optimization of Kaolin - Rice Husk Insulating Fire - Bricks. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 1(9), 167-178.
- Ugoamadi, C. & Ihesiulor, O. (2011). *Optimization of the development of a plastic recycling machine. Nigerian Journal of Technology*, 3(3), 67-81.
- Ushiña Peralta, L. V. (2014). *Diseño, rehabilitación y puesta en marcha del sistema de calentamiento del horno para tratamientos térmicos hasta 1000°C marca Sybron modelo Termolyne 1500 perteneciente al laboratorio de ciencia de materiales del decem. Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador.*

11.1. Planos de construcción

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	VIGA DE SOPORTE INFERIOR	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
2	2	VIGA DE SOPORTE INFERIOR LATERAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
3	4	COLUMNA DE SOPORTE PRINCIPAL INFERIOR	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
4	2	COLUMNA DE SOPORTE SECUNDARIO INFERIOR	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
5	8	SOPORTE EN DIAGONAL PARA VISTA FRONTAL Y TRASERA	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
6	8	SOPORTE EN DIAGONAL PARA VISTA LATERAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
7	8	VIGA PRINCIPAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
8	2	VIGA SECUNDARIA FRONTAL Y POSTERIOR	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
9	2	VIGA SECUNDARIA LATERAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18 ACERO AISI 1018
10	2	VIGA SUPERIOR FRONTAL Y POSTERIOR	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
11	2	VIGA SUPERIOR LATERAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
12	4	COLUMNA PARA SIST. DE COMPRESIÓN	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
13	4	SOPORTE EN DIAGONAL PARA SIST. DE COMPRESIÓN	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
14	2	VIGA PARA SIST. DE COMPRESIÓN	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018
15	4	COLUMNA PRINCIPAL	2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14 ACERO AISI 1018



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

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL
 .X ± 0.5
 .XX ± 0.05
 .XXX ± 0.005
 ANGULAR ± 0.5
 FRACCIONES ± 0.025
 RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR
RICARDO HERRERA FECHA
15-06-2021

DISEÑADO POR
RICARDO HERRERA FECHA
1-09-2021

REVISADO POR
RONY HERRARTE FECHA
7-11-2021

APROBADO POR
RONY HERRARTE FECHA
7-11-2021

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
ESTRUCTURA

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



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

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

TÍTULO:
**LISTA DE PIEZAS
 ESQUELETO DE ESTRUCTURA**

NÚMERO DE DIBUJO: **EST-001**

FORMATO

A

ESCALA: **1 : 19**

UNIDADES: mm

PÁGINA 1 DE 26

REV
A

MATERIAL
VER LP
 TRATAMIENTO
N/A
 MASA: **51.979 kg**

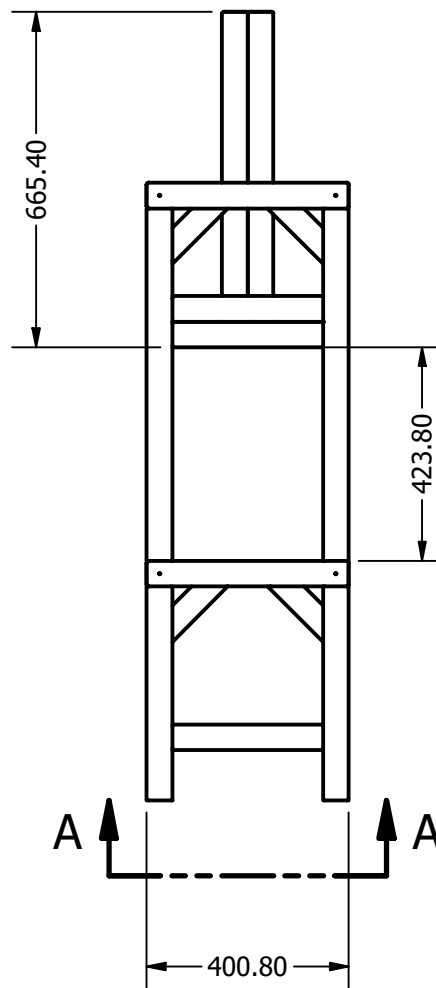
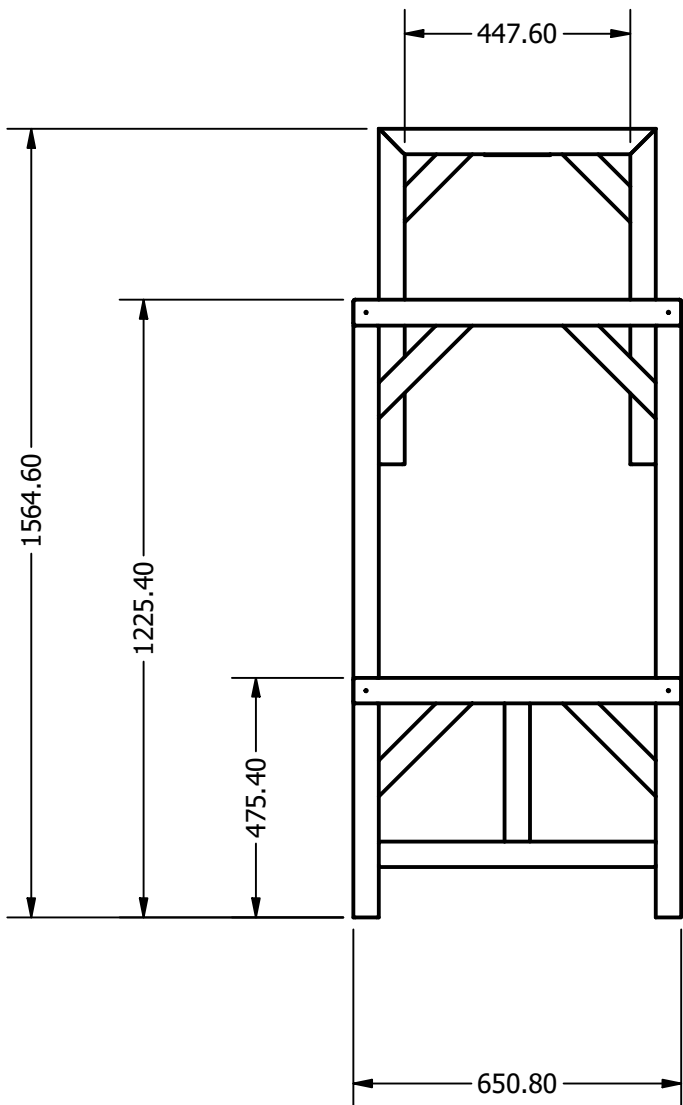


2

1

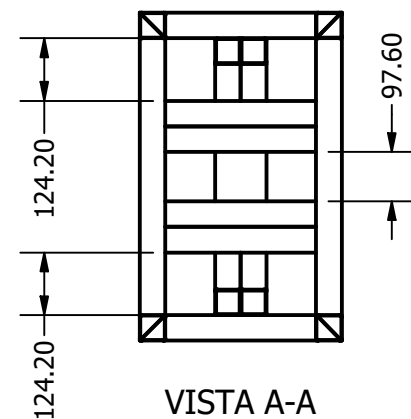
NOTA: LAS SOLDADURAS SE REALIZAN CON UN ELECTRODO 6013 Y UN GROSOR DE 2 MM. REALIZARLAS EN CADA UNIÓN ENTRE LOS PERFILES.

VISTA FRONTAL



VISTA DE PERFIL

VISTA DE VIGAS PRINCIPALES

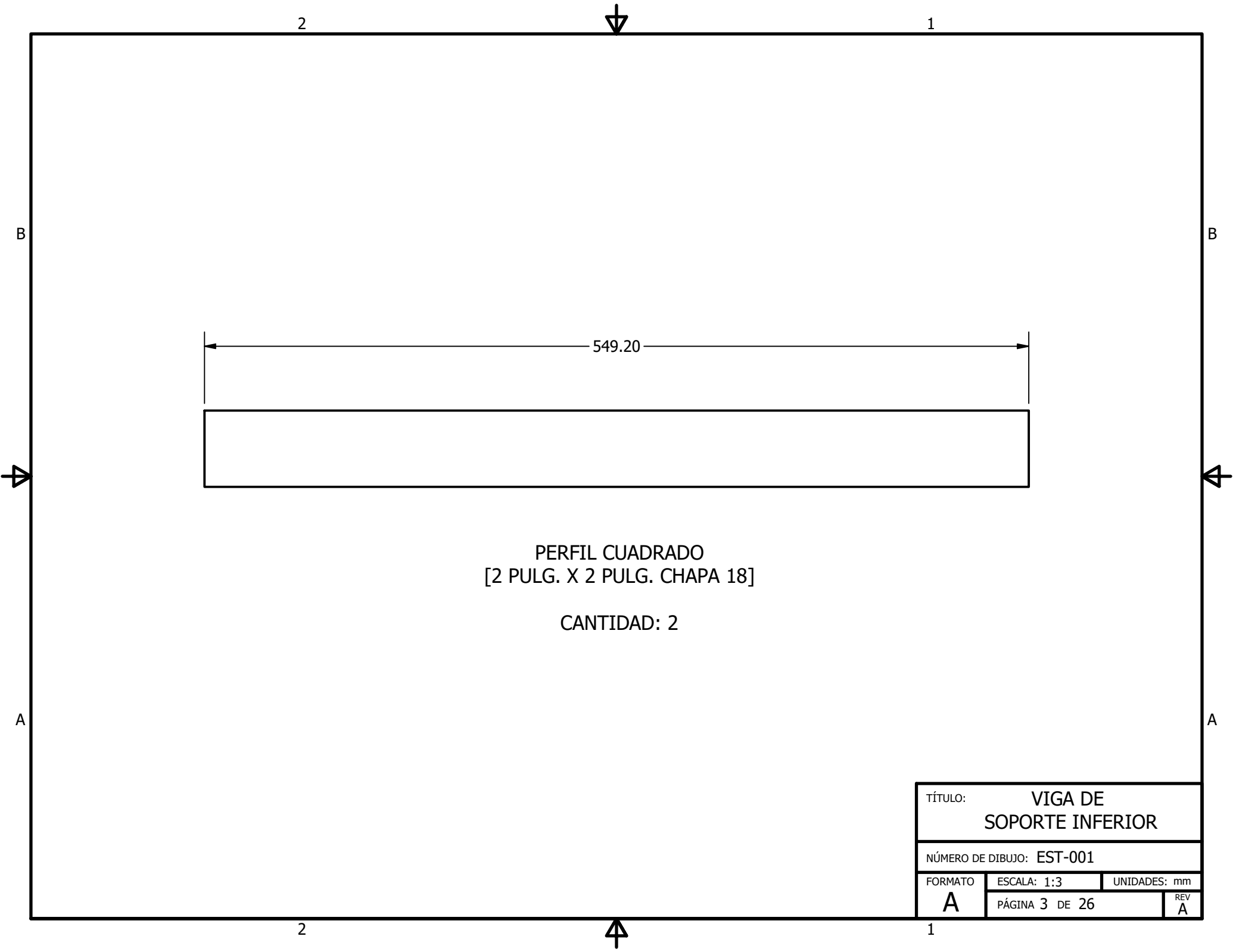


VISTA A-A ESCALA 1:15

TÍTULO: DIMENSIONES GENERALES		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 2 DE 26	REV A

2

1



PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 2

TÍTULO: VIGA DE SOPORTE INFERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	REV
A	PÁGINA 3 DE 26		A

2

1

B

B

299.20



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 2

A

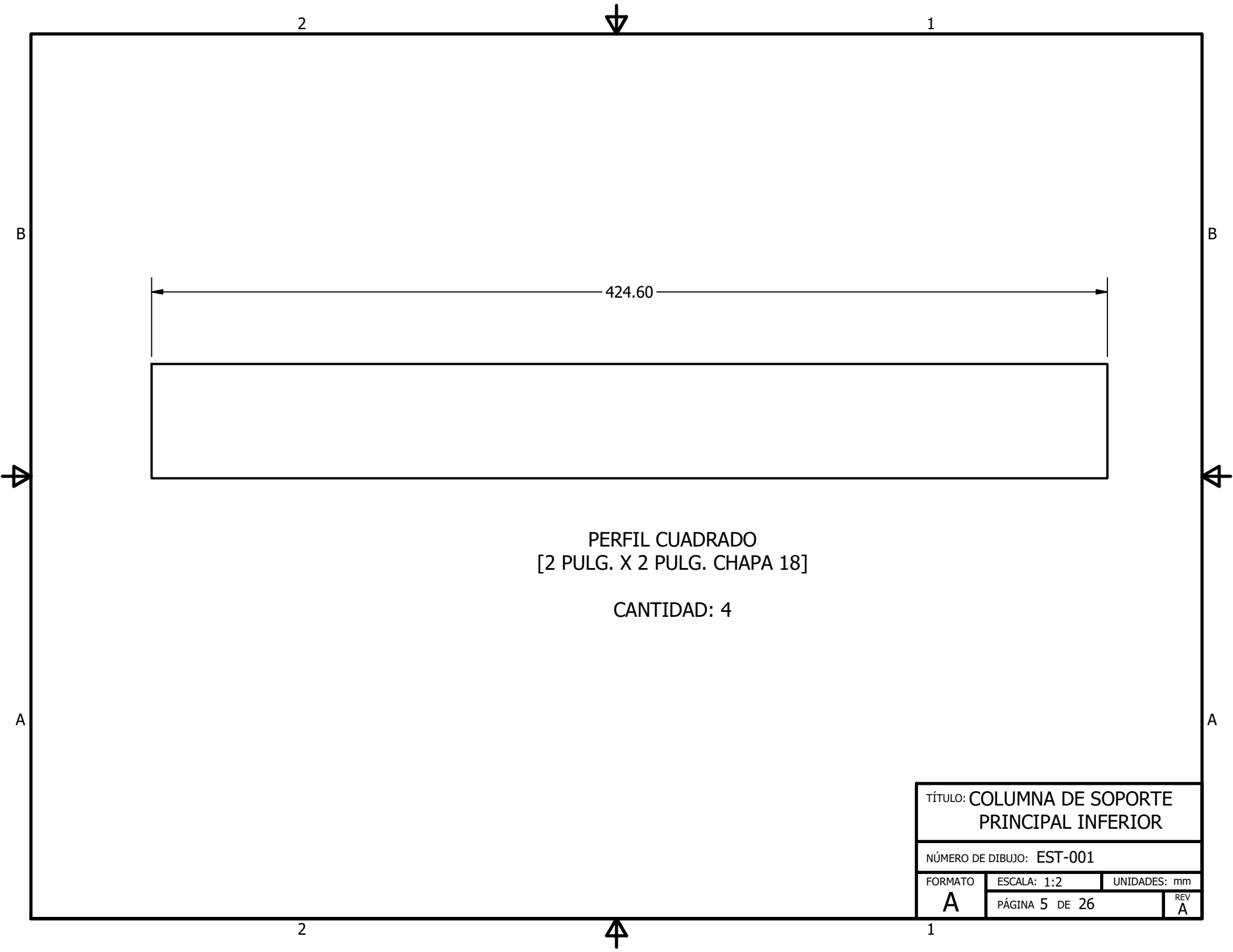
A

TÍTULO: VIGA DE SOPORTE INFERIOR LATERAL		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 4 DE 26	REV A

2

1





PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 4

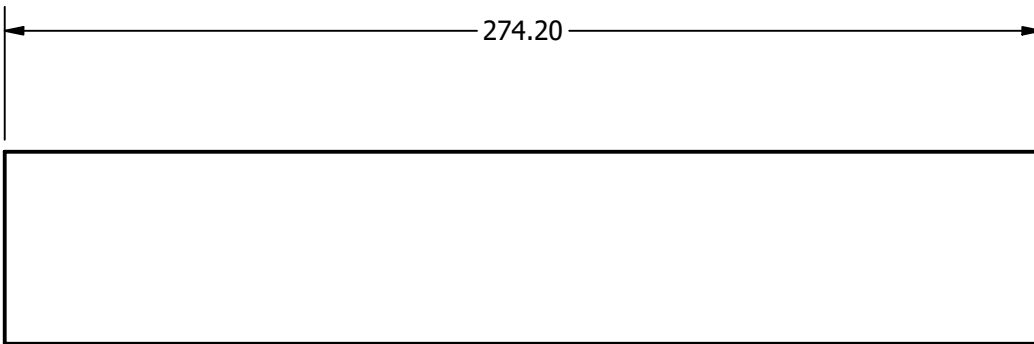
TÍTULO: COLUMNA DE SOPORTE PRINCIPAL INFERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 5 DE 26	REV A

2

1

B

B



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 2

A

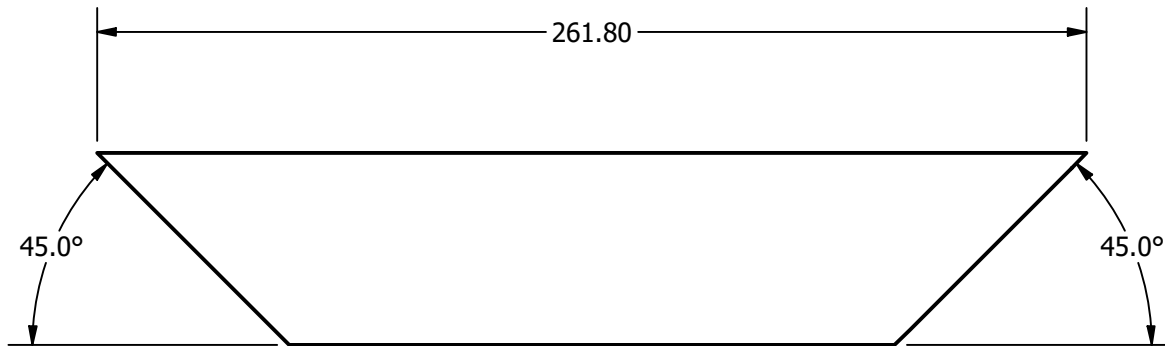
A

2

1

TÍTULO: COLUMNA DE SOPORTE SECUNDARIO INFERIOR			
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 6 DE 26		REV A





PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 8

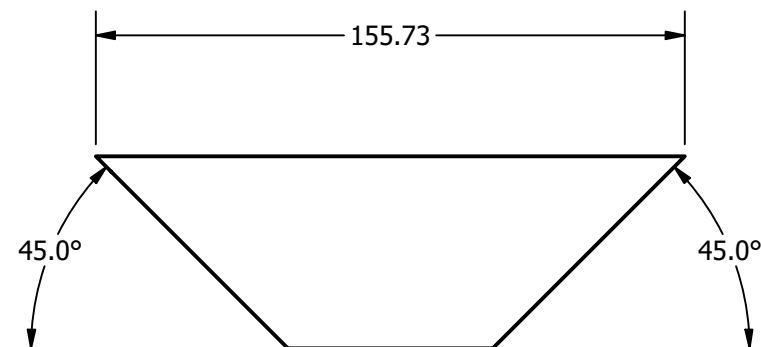
TÍTULO			SOPORTE EN DIAGONAL PARA VISTA FRONT. Y POST.		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001					
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm			
A	PÁGINA 7 DE 26			REV	A

2

1

B

B



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 8

A

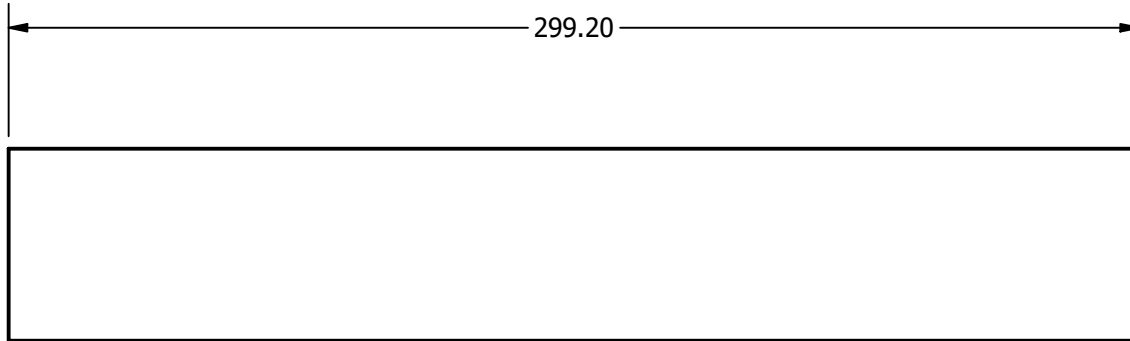
A

2

1

TÍTULO			SOPORTE EN DIAGONAL PARA VISTA LATERAL		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001					
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm			
A	PÁGINA 8 DE 26			REV	A

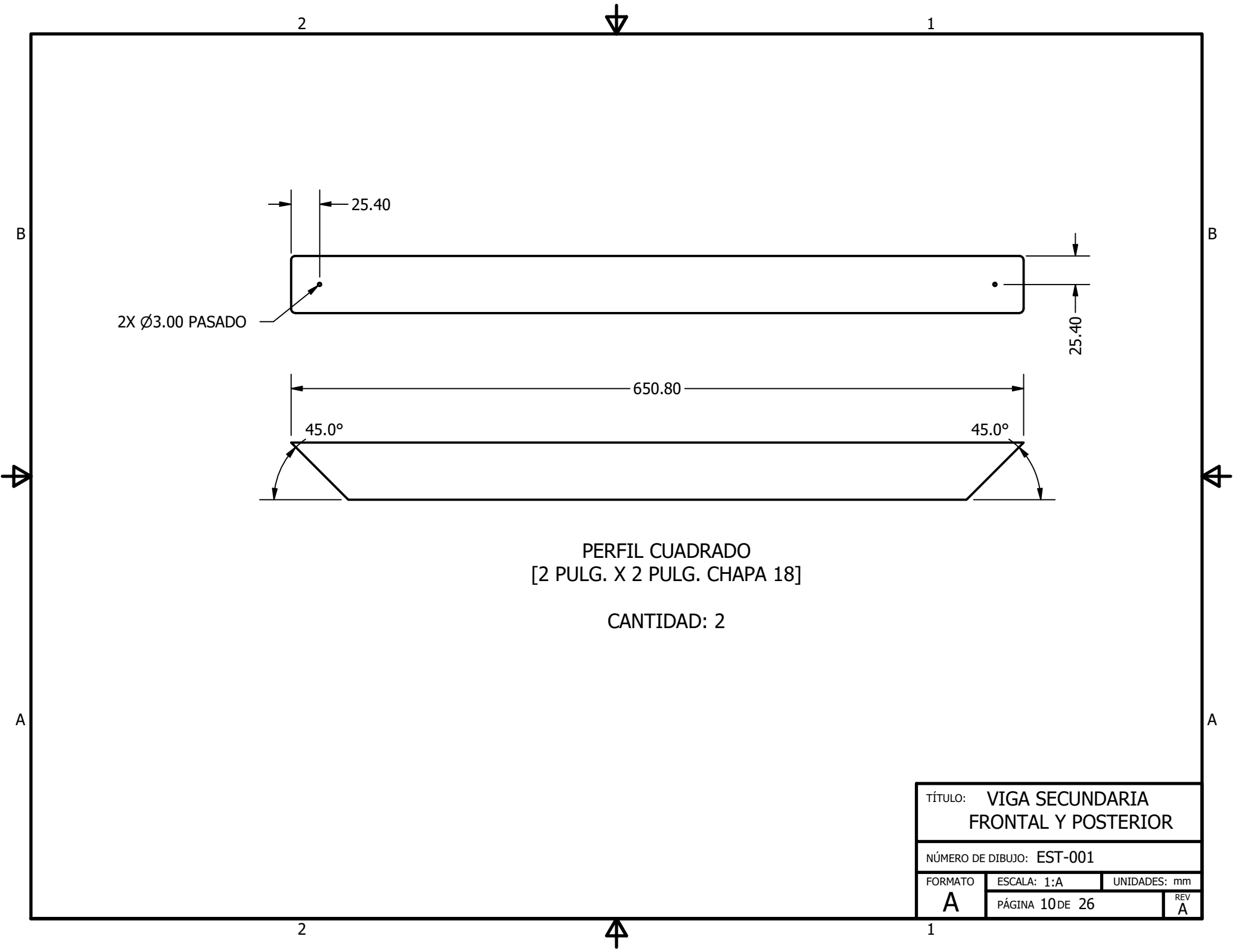
NOTA: ESTOS PERFILES SON
LOS MISMOS QUE SE
ENCUENTRAN EN LA BASE DE
LA ESTRUCTURA PARA EL
SISTEMA DE COMPRESIÓN.



PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 8

TÍTULO: VIGA PRINCIPAL	
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001	
FORMATO: A	ESCALA: 1:2
UNIDADES: mm	
PÁGINA 9 DE 26	
REV A	



2X Ø3.00 PASADO

25.40

25.40

650.80

45.0°

45.0°

PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 2

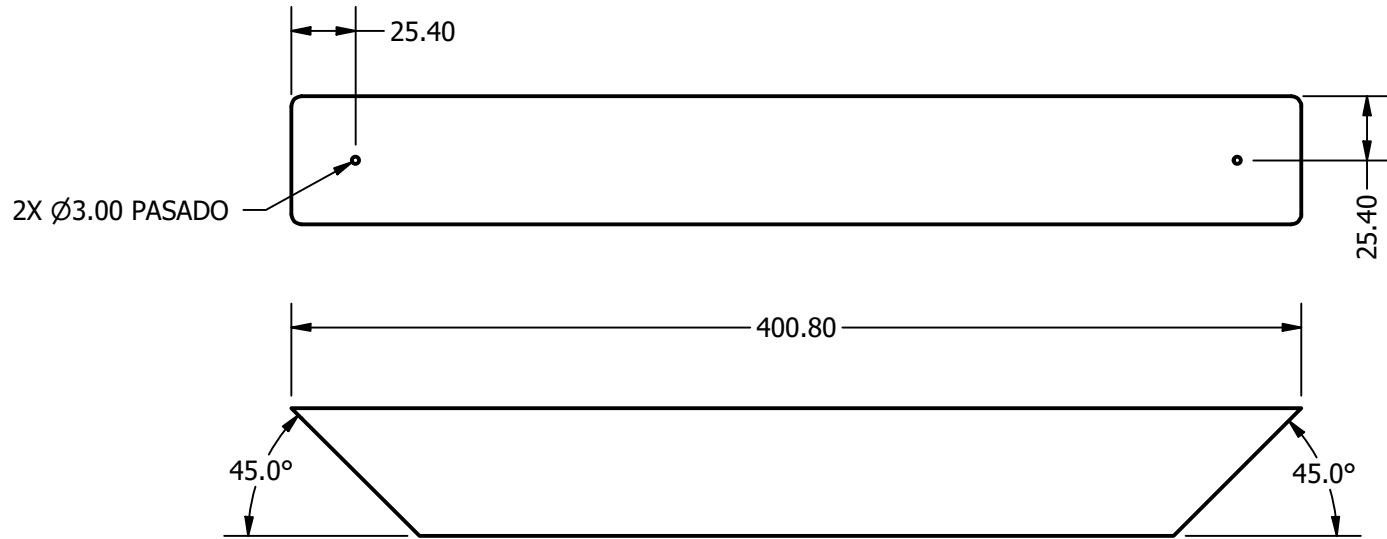
TÍTULO: VIGA SECUNDARIA FRONTAL Y POSTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:A	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 10 DE 26	REV A

2

1

B

B



PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 18]

CANTIDAD: 2

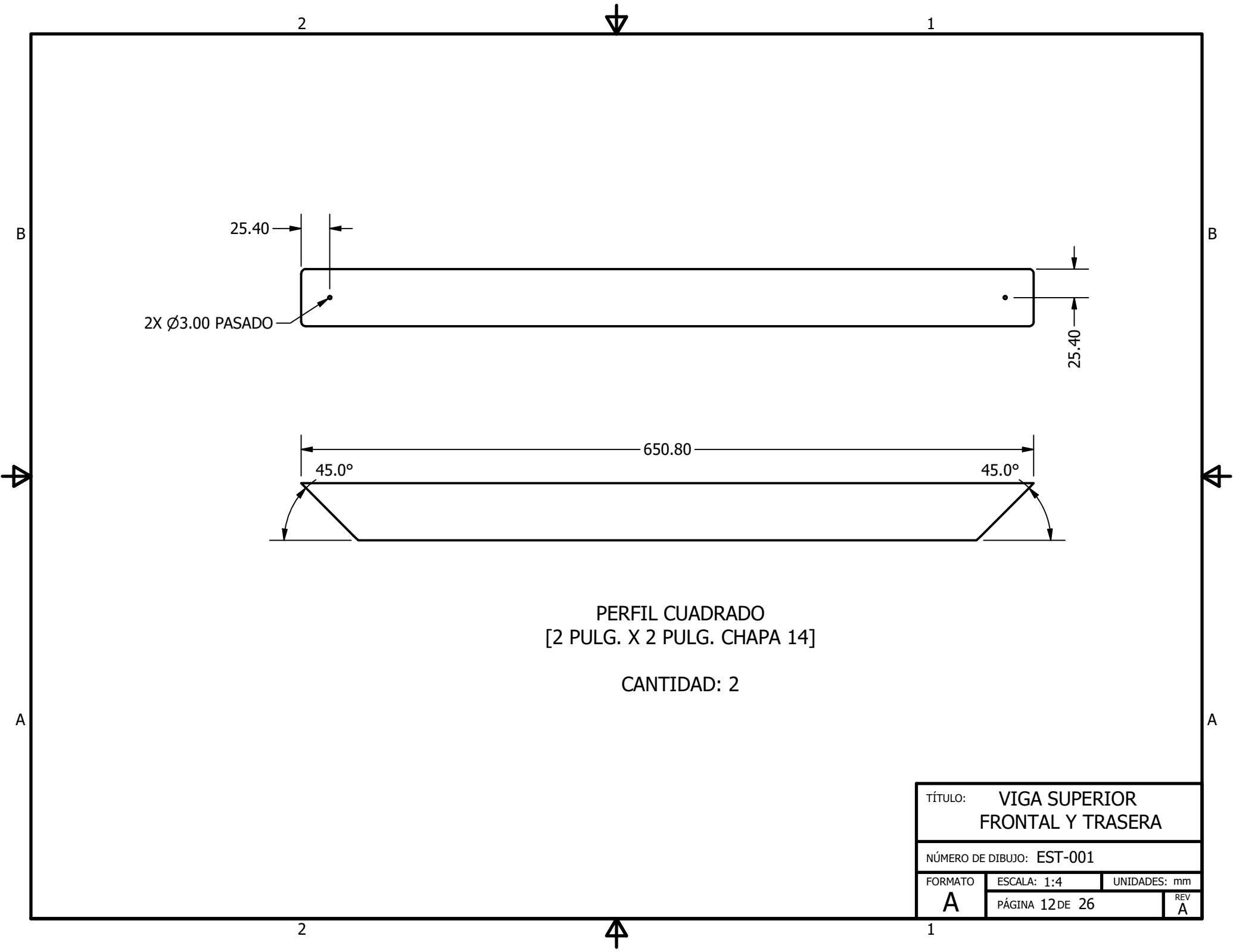
A

A

2

1

TÍTULO: VIGA SECUNDARIA LATERAL		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 11 DE 26	REV A



25.40
2X Ø3.00 PASADO

2

1

B

B

25.40

650.80

650.80

45.0°

45.0°

PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 2

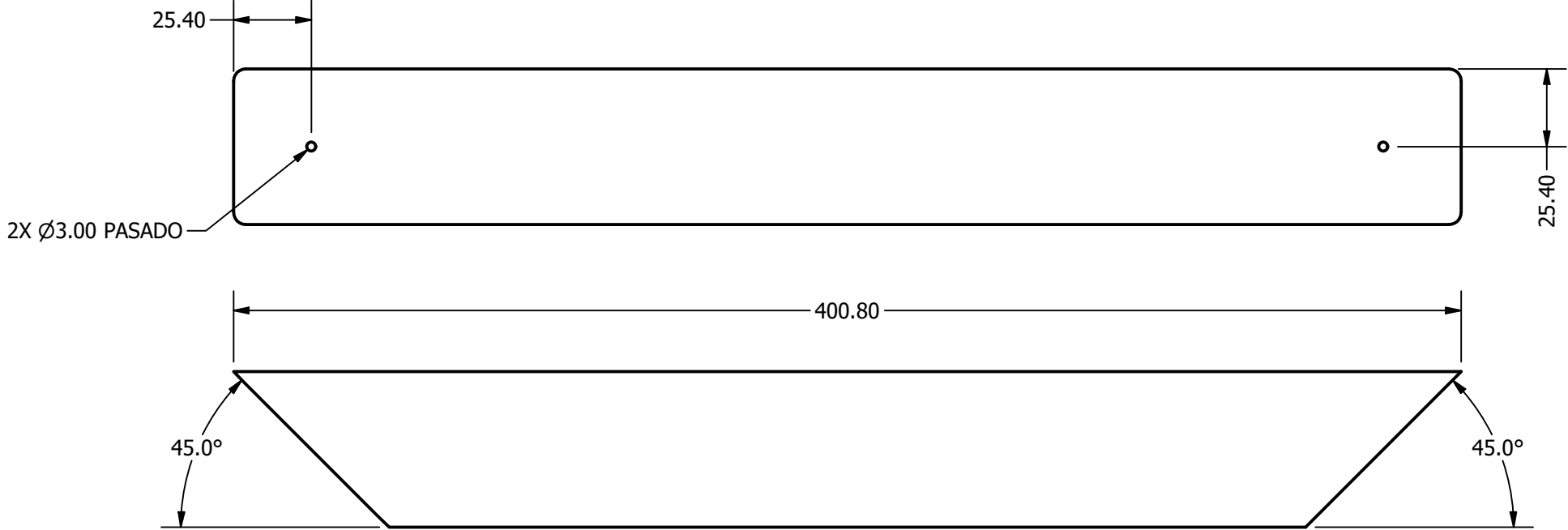
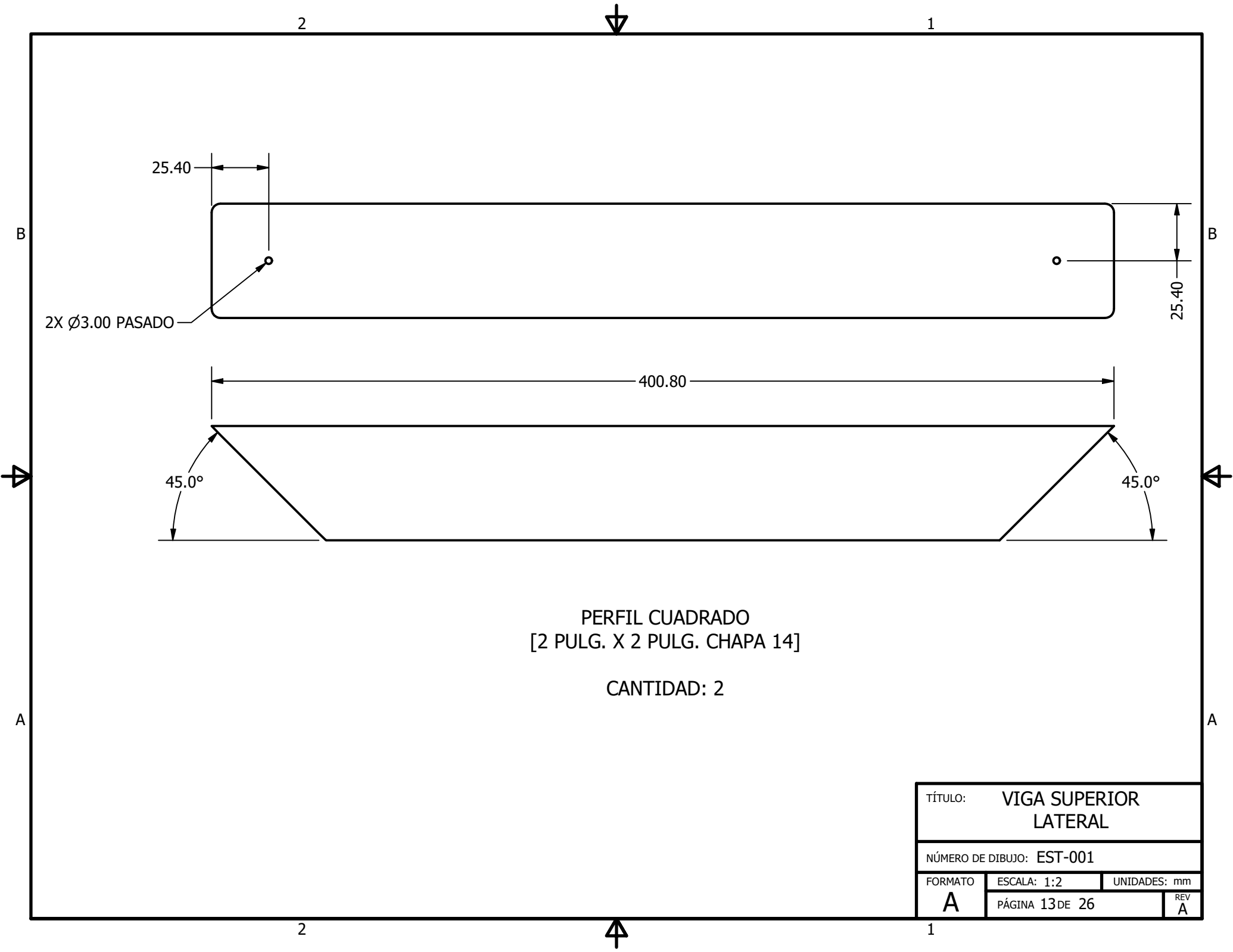
A

A

2

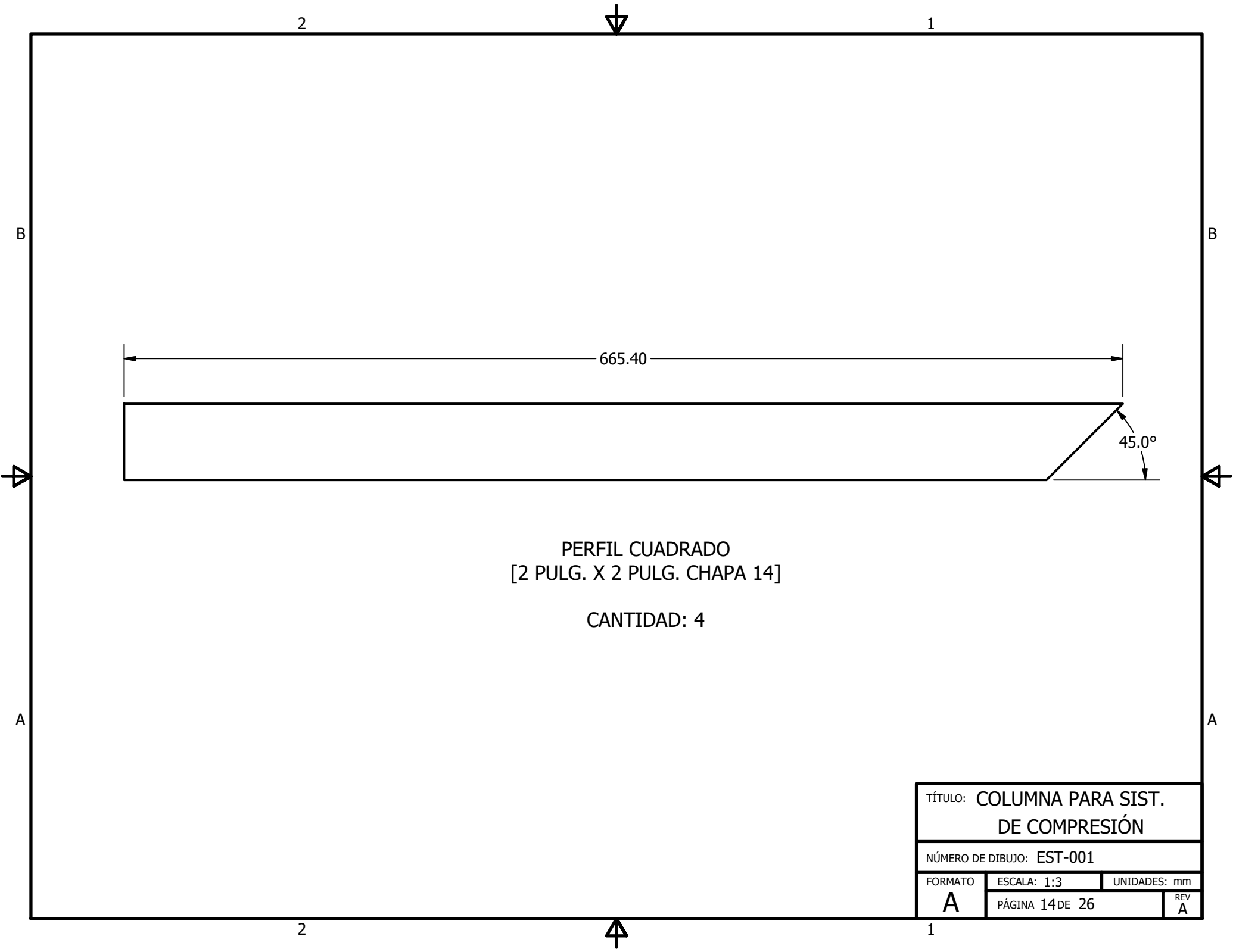
1

TÍTULO: VIGA SUPERIOR FRONTAL Y TRASERA		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 12 DE 26	REV A



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]
 CANTIDAD: 2

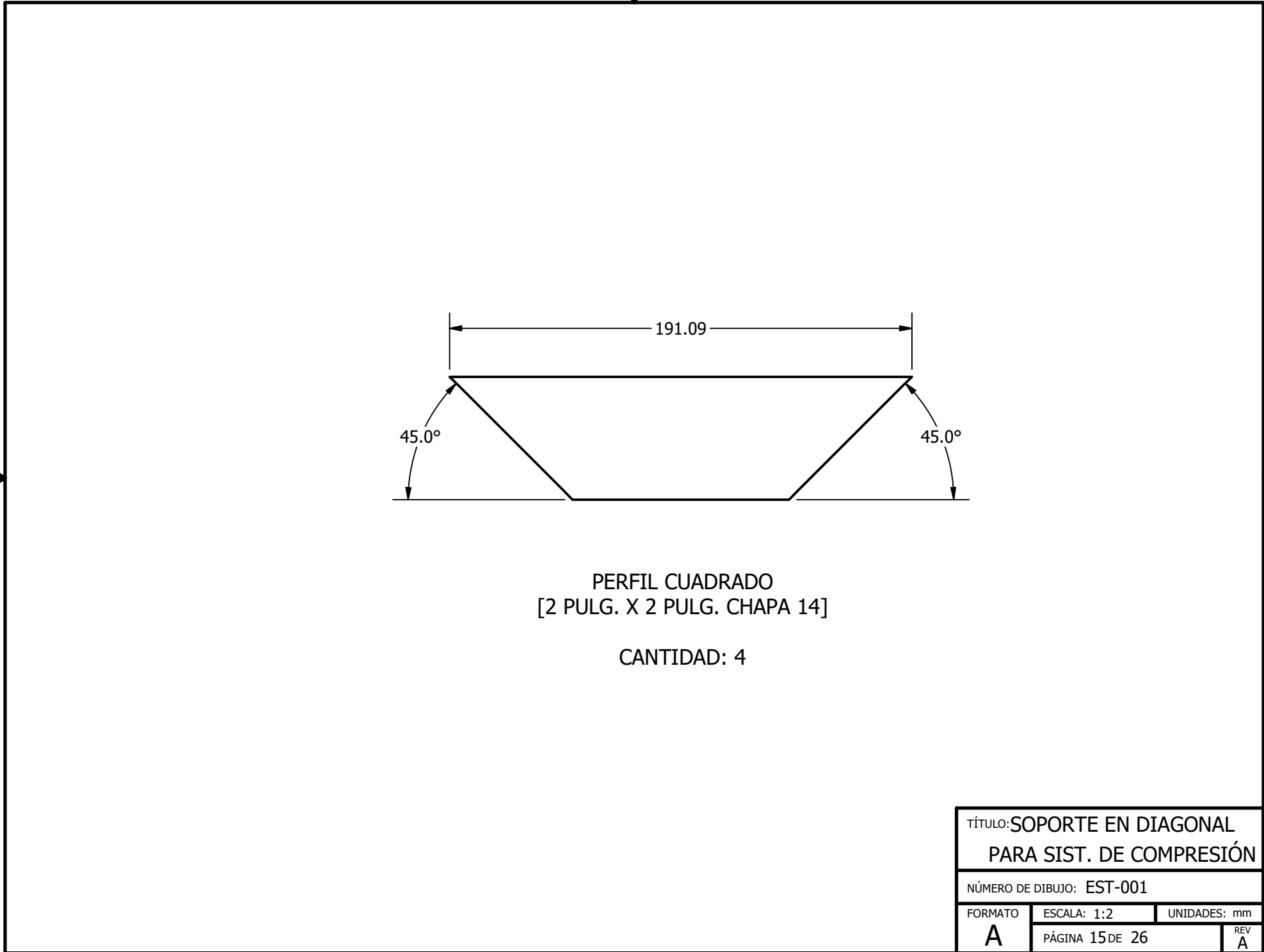
TÍTULO:		VIGA SUPERIOR LATERAL	
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 13 DE 26	REV	A



PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 4

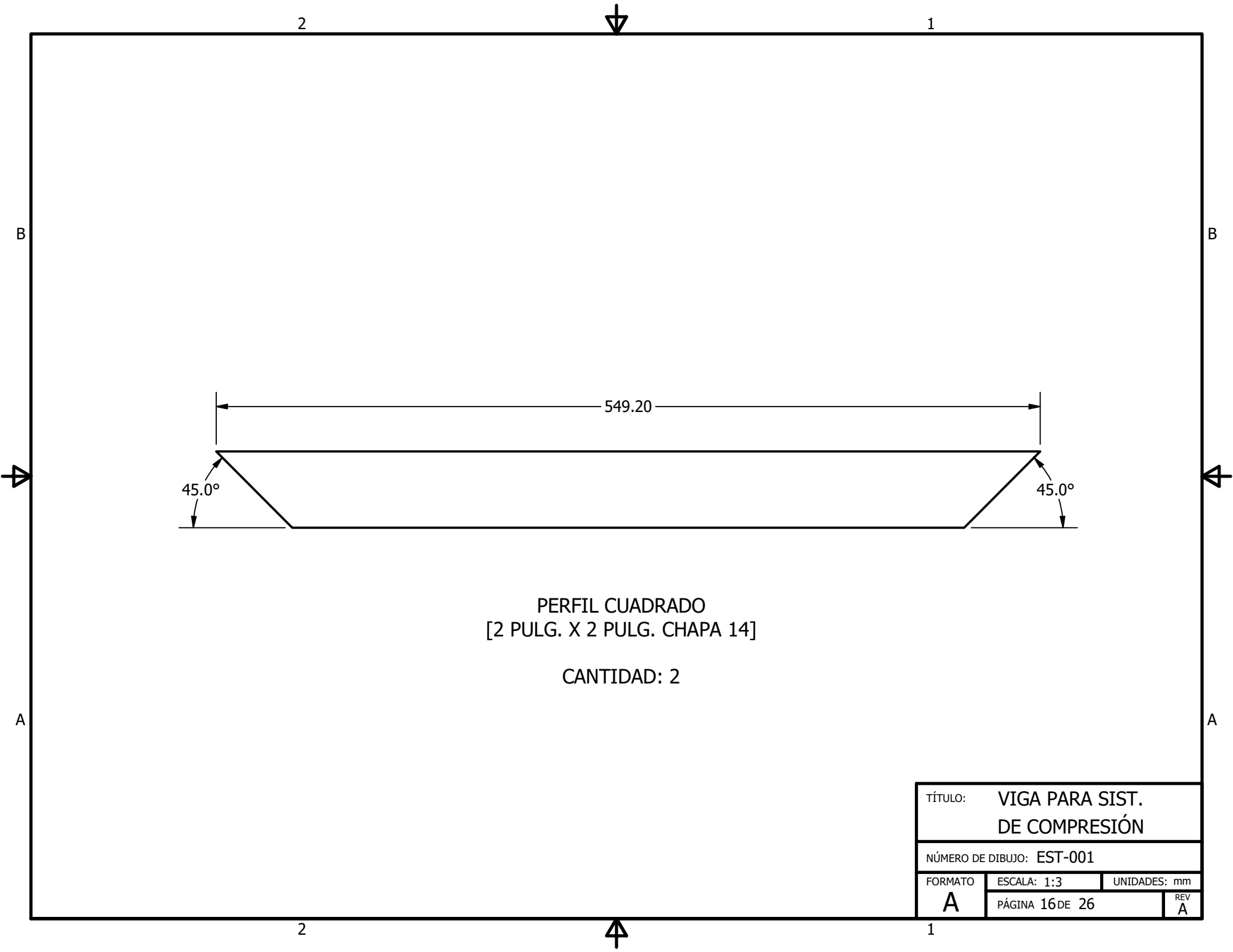
TÍTULO: COLUMNA PARA SIST. DE COMPRESIÓN			
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 14 DE 26	REV	A



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 4

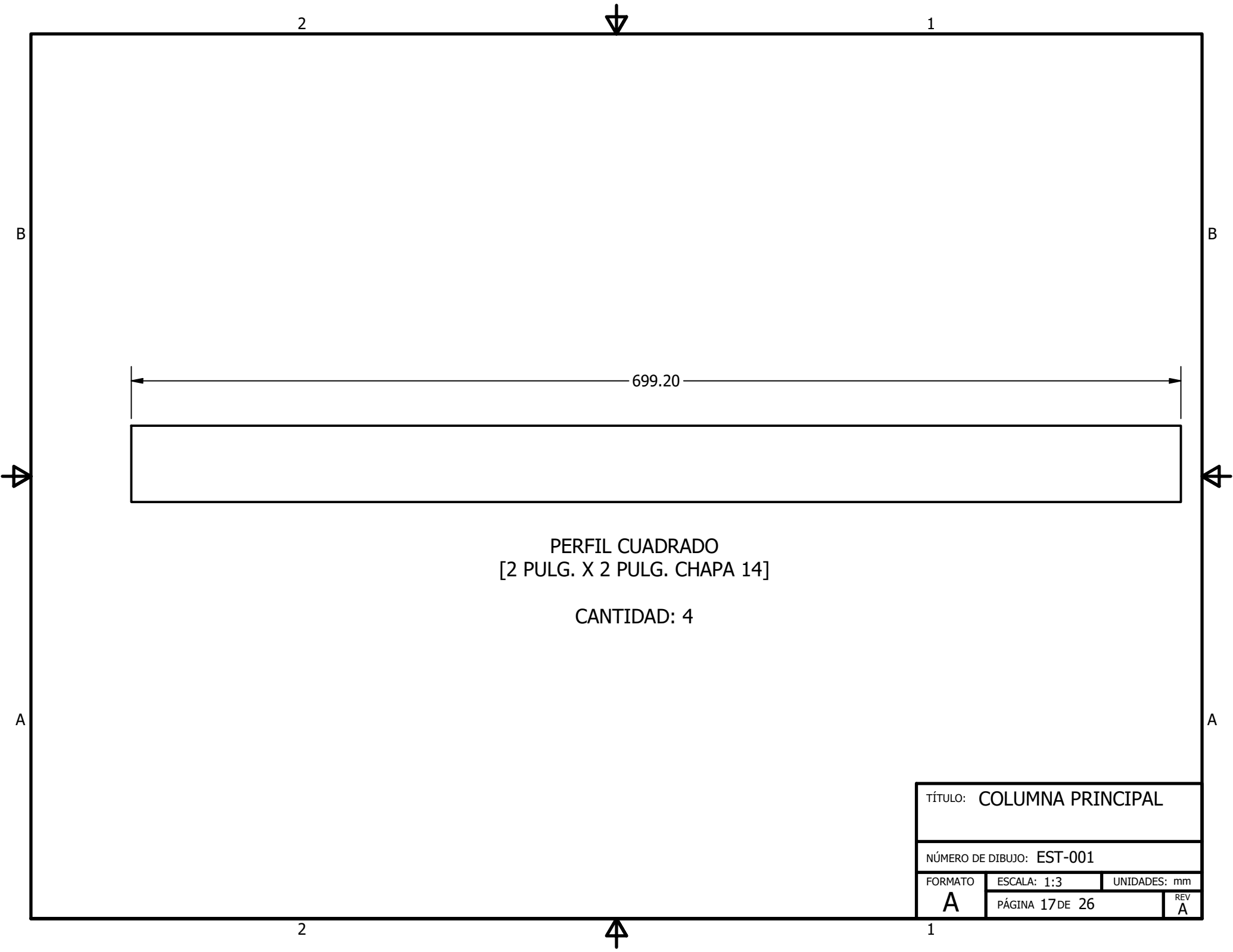
TÍTULO: SOPORTE EN DIAGONAL PARA SIST. DE COMPRESIÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 15 DE 26	REV A



PERFIL CUADRADO
 [2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 2

TÍTULO:		VIGA PARA SIST. DE COMPRESIÓN	
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 16 DE 26	REV	A



2

1

B

B

699.20

PERFIL CUADRADO
[2 PULG. X 2 PULG. CHAPA 14]

CANTIDAD: 4

A

A

TÍTULO: COLUMNA PRINCIPAL			
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	REV
A	PÁGINA 17 DE 26		A

2

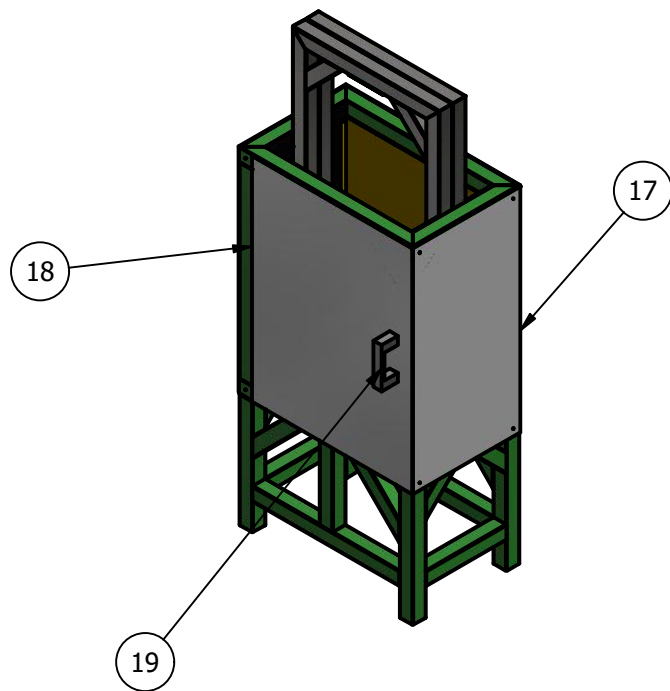
1



2

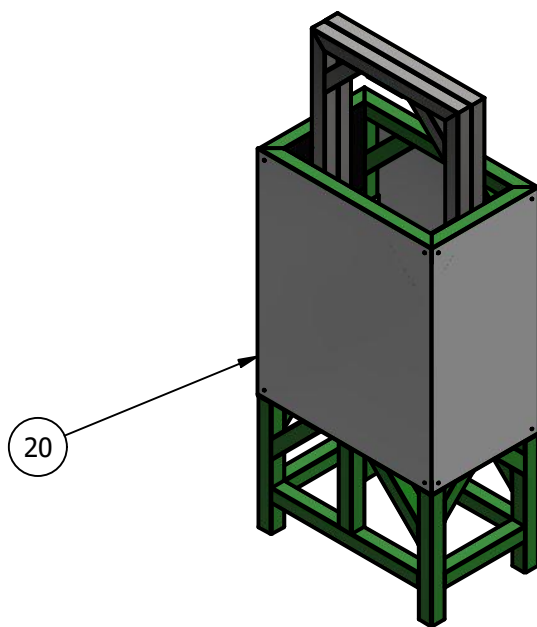
1

VISTA ISOMÉTRICA ZONA FRONTAL



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
17	2	LÁMINA LATERAL EXTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
18	1	LÁMINA FRONTAL EXTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
19	1	AGARRADERO	ACERO INOXIDABLE
20	1	LÁMINA POSTERIOR EXTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
21	12	REMACHES EXTERIORES	REMACHES DE ALUMINIO DE 5/32 PULG

VISTA ISOMÉTRICA ZONA POSTERIOR



TÍTULO: LÁMINAS EXTERIORES

NÚMERO DE DIBUJO: EST-001

FORMATO ESCALA: 1:20 UNIDADES: mm

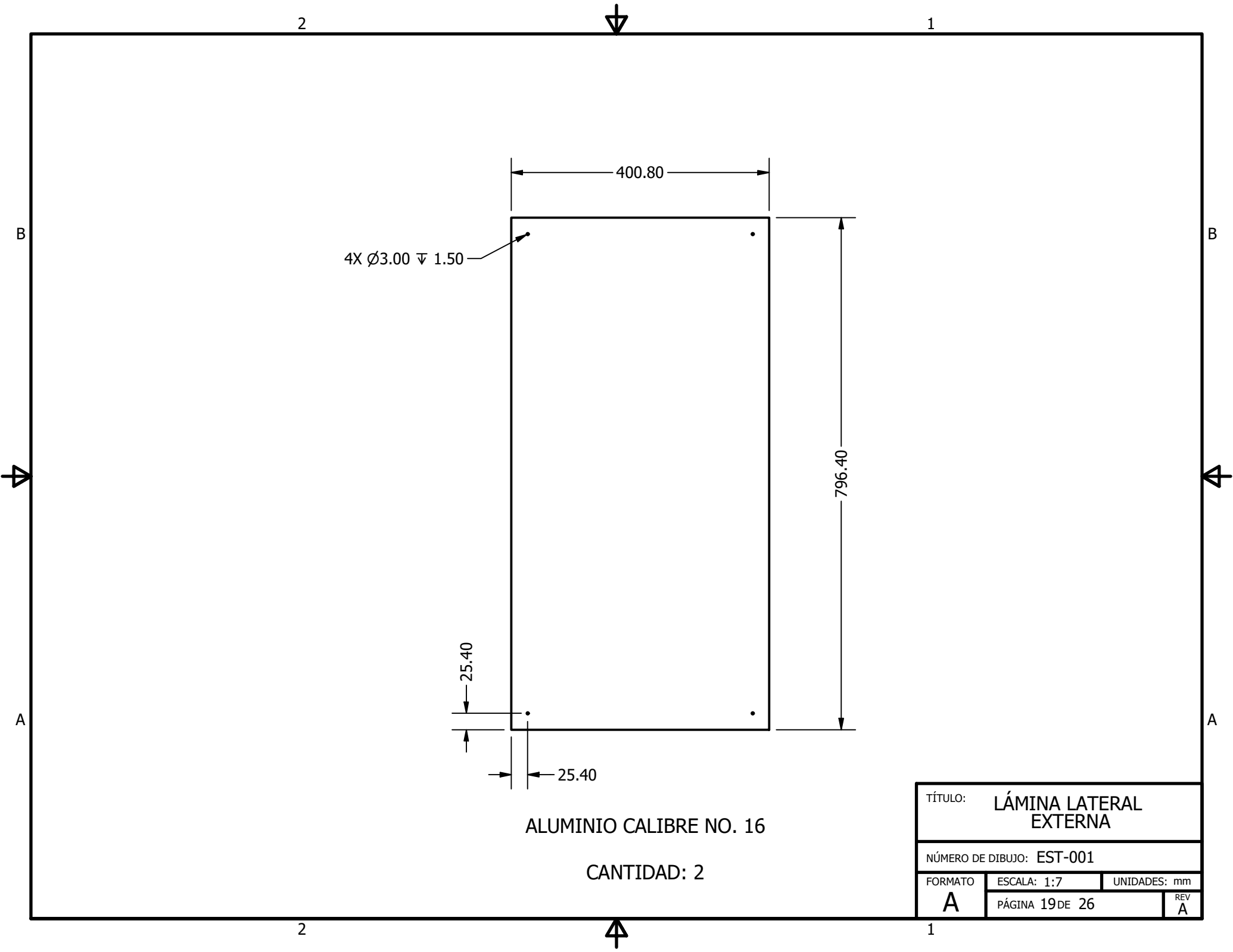
A

PÁGINA 18 DE 26

REV A

2

1



2

1

B

B

A

A

4X Ø3.00 ▽ 1.50

400.80

796.40

25.40

25.40

ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 2

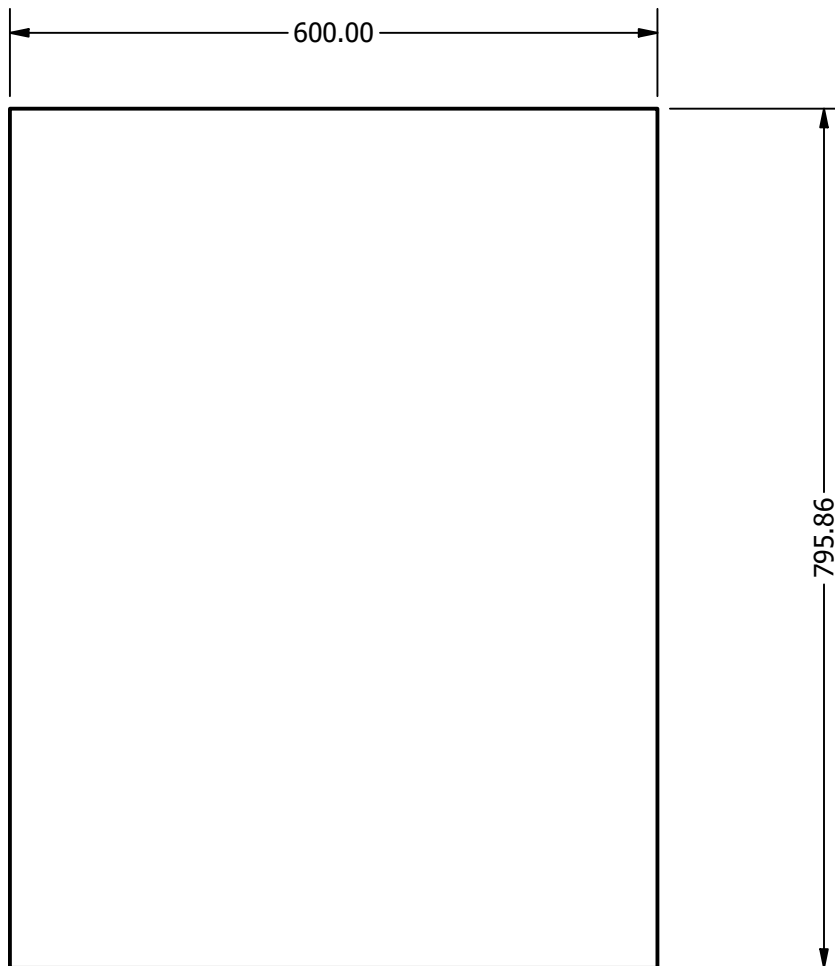
TÍTULO: LÁMINA LATERAL EXTERNA		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:7	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 19 DE 26	REV A

2

1



NOTA: REALIZAR LOS AGUJEROS PARA LAS BISAGRAS Y EL AGARRADERO CON UN BARRENO Y BROCA DE 3 MM. MEDIR CONFORME A LA BISAGRA Y AGARRADERO QUE SE OBTENGA.



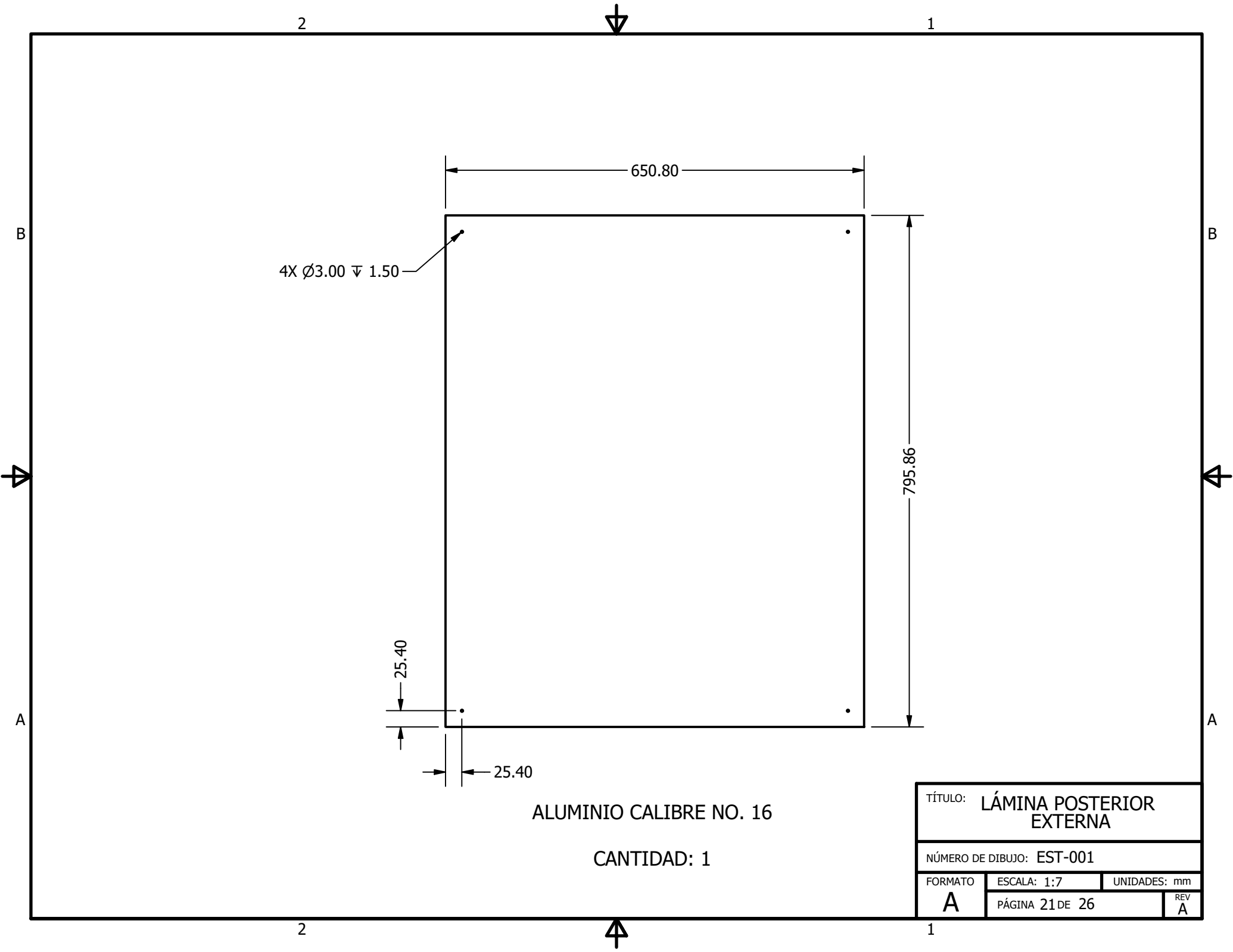
ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 1

TÍTULO:		LÁMINA FRONTAL EXTERNA	
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:7	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 20 DE 26		REV A

2

1



2



1

B

B

4X Ø3.00 ∓ 1.50

650.80

795.86

25.40

25.40

A

A

ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 1

TÍTULO: LÁMINA POSTERIOR EXTERNA

NÚMERO DE DIBUJO: EST-001

FORMATO ESCALA: 1:7 UNIDADES: mm

A PÁGINA 21 DE 26 REV A

2

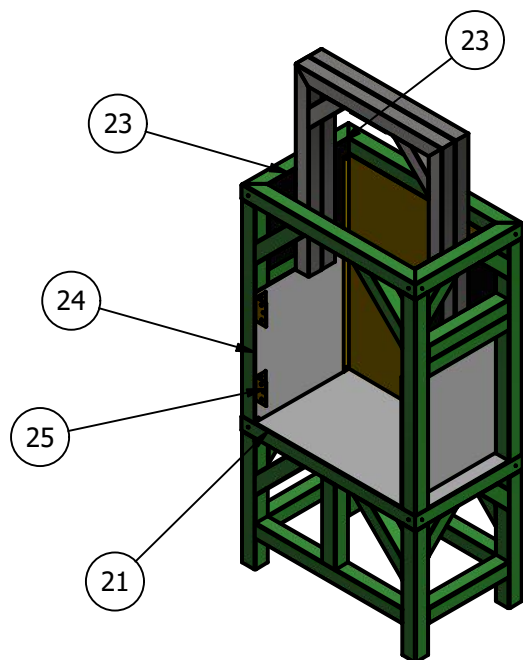


1

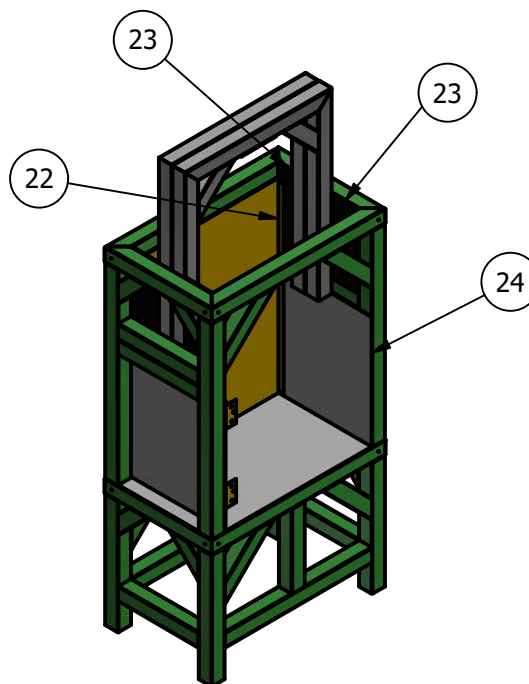
2

1

VISTA ISOMÉTRICA ZONA FRONTAL



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
21	1	LÁMINA PRINCIPAL	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
22	1	LÁMINA POSTERIOR INTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
23	4	LÁMINA LATERAL SUPERIOR INTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
24	2	LÁMINA LATERAL INFERIOR INTERNA	ALUMINIO CALIBRE NO. 16
25	2	BISAGRA	CONVENCIONAL DE FERRTERÍA
26	10	REMACHES INTERIORES	REMACHES DE ALUMINIO DE 5/32 PULG



VISTA ISOMÉTRICA ZONA POSTERIOR

TÍTULO: LÁMINAS INTERAS

NÚMERO DE DIBUJO: EST-001

FORMATO ESCALA: 1:20 UNIDADES: mm

A

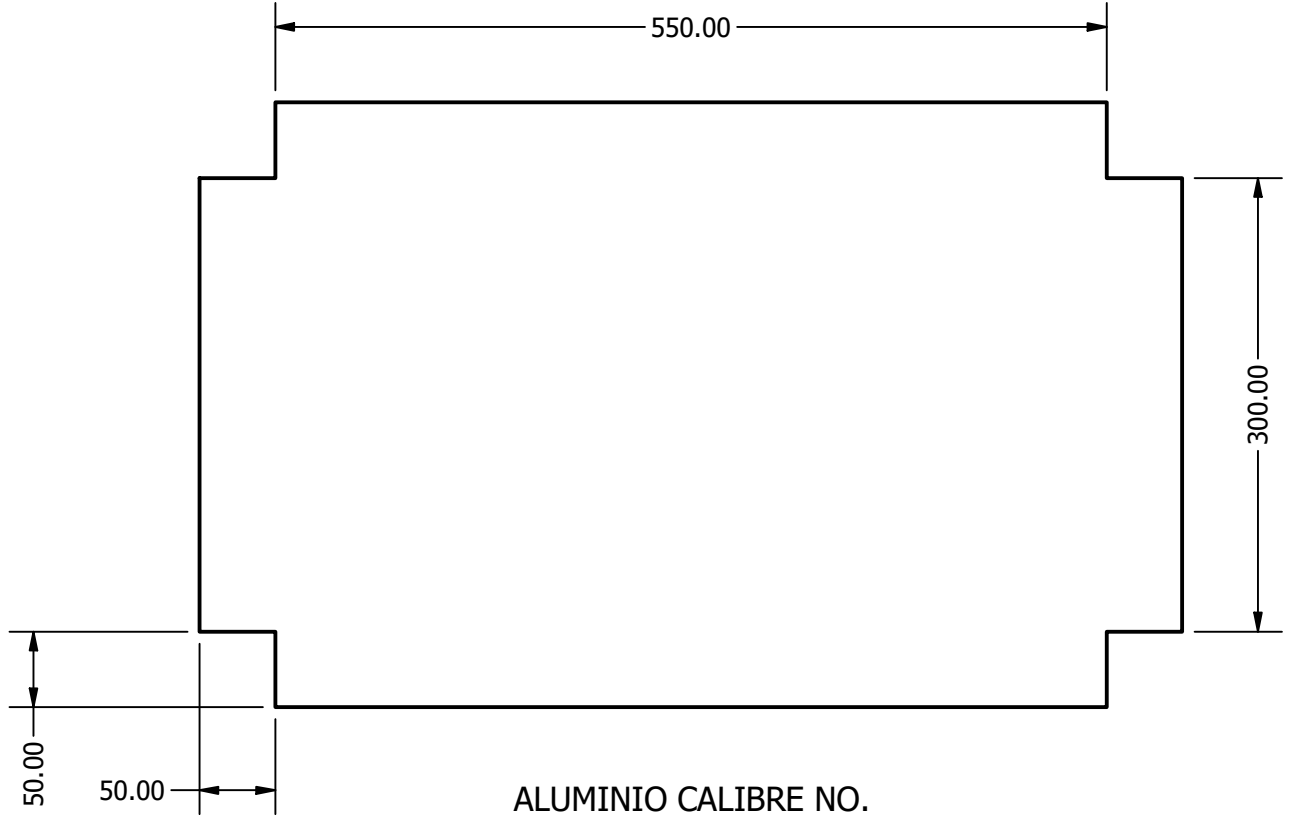
PÁGINA 22 DE 26

REV A

2

1

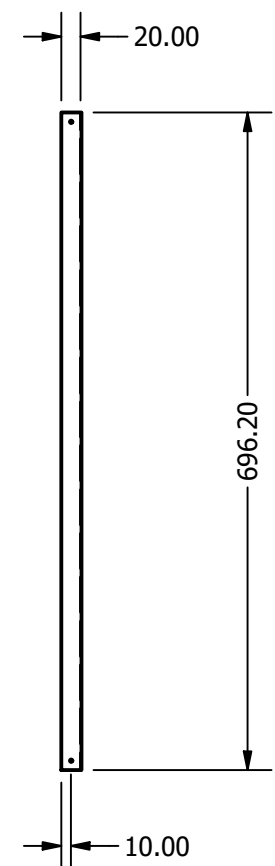
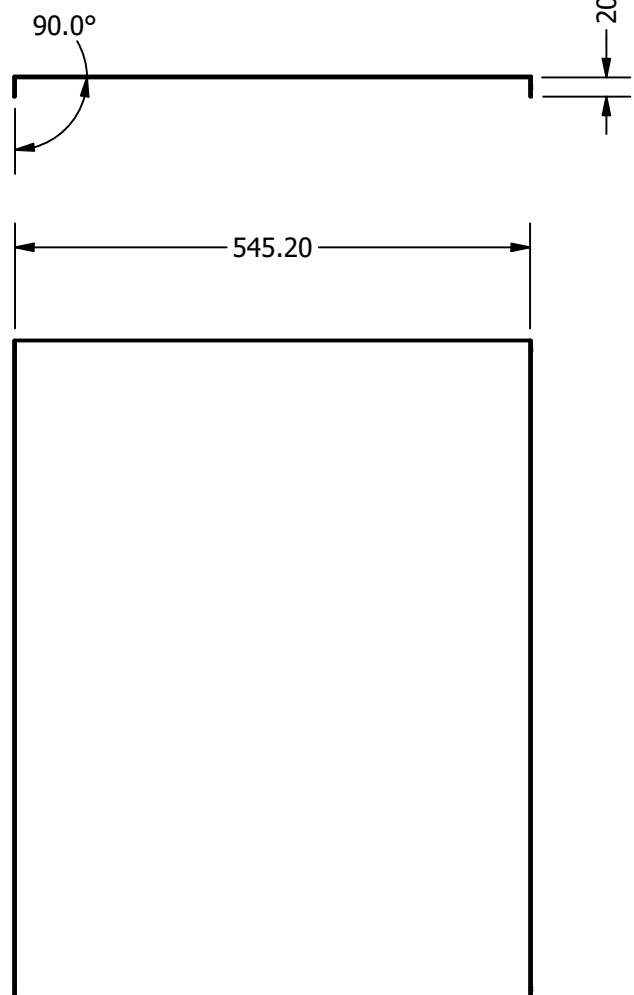
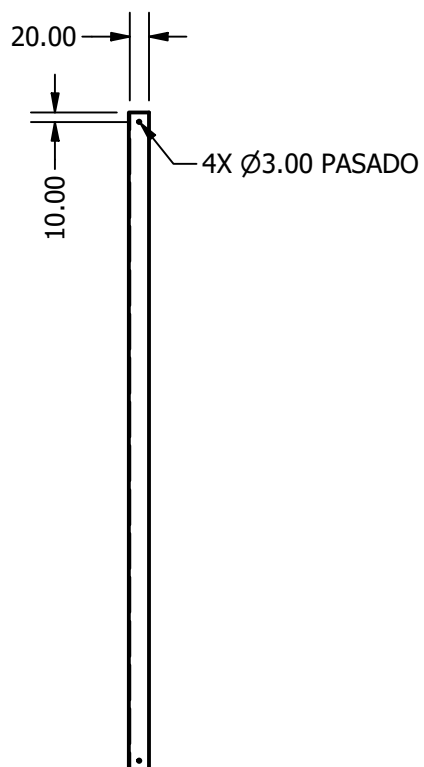
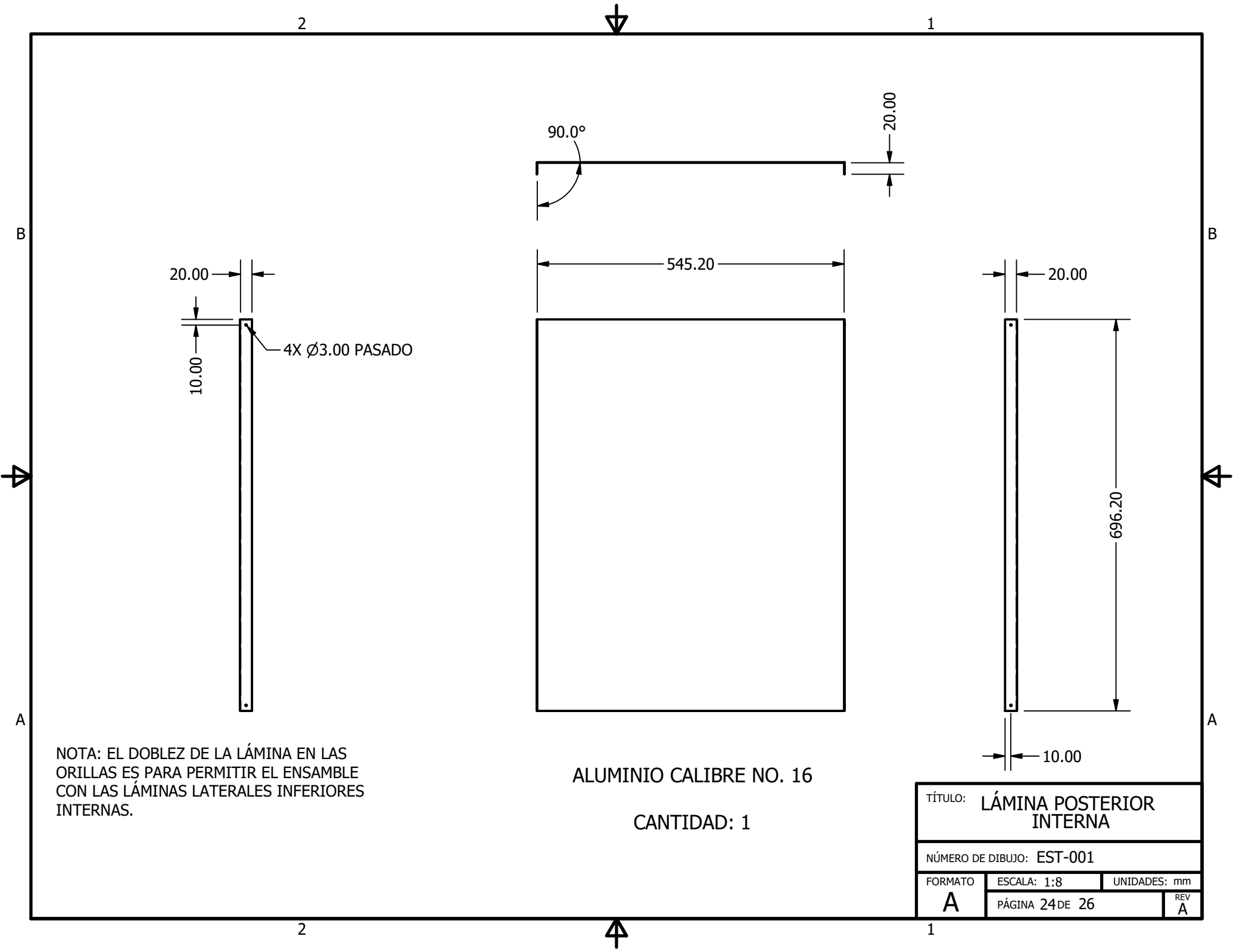
NOTA: LOS DIMENSIONES EN LAS CUATRO
ESQUINAS SON LAS MISMAS.



ALUMINIO CALIBRE NO.
11

CANTIDAD: 1

TÍTULO: LÁMINA PRINCIPAL		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 23 DE 26	REV A



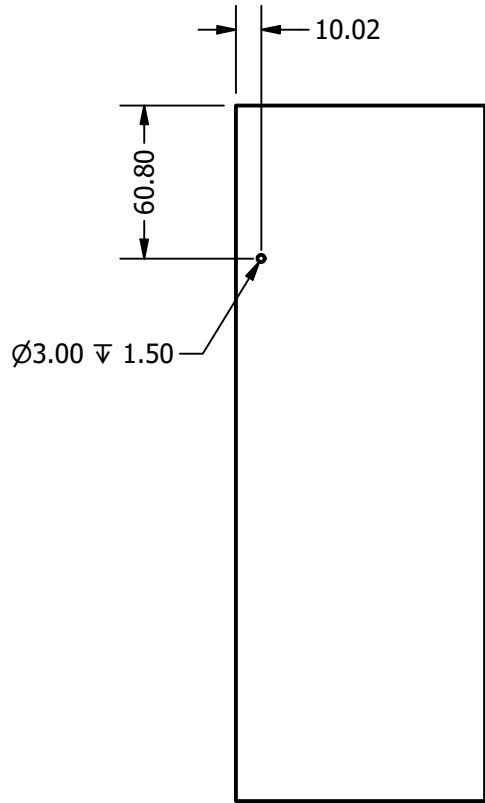
NOTA: EL DOBLEZ DE LA LÁMINA EN LAS ORILLAS ES PARA PERMITIR EL ENSAMBLE CON LAS LÁMINAS LATERALES INFERIORES INTERNAS.

ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 1

TÍTULO: LÁMINA POSTERIOR INTERNA			
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001			
FORMATO	ESCALA: 1:8	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 24 DE 26		REV A

NOTA: REALIZAR LOS AGUJEROS DE LAS ORILLAS CON BARRENO CON UNA BROCA DE 3MM. EL AGUJERO SE ENCUENTRA A 10 MM DE SEPARACIÓN DE AMBAS ORILLAS.



ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 4

TÍTULO: LÁMINA LATERAL SUPERIOR INTERNA

NÚMERO DE DIBUJO: EST-001

FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 25 DE 26	REV A

2

1

B

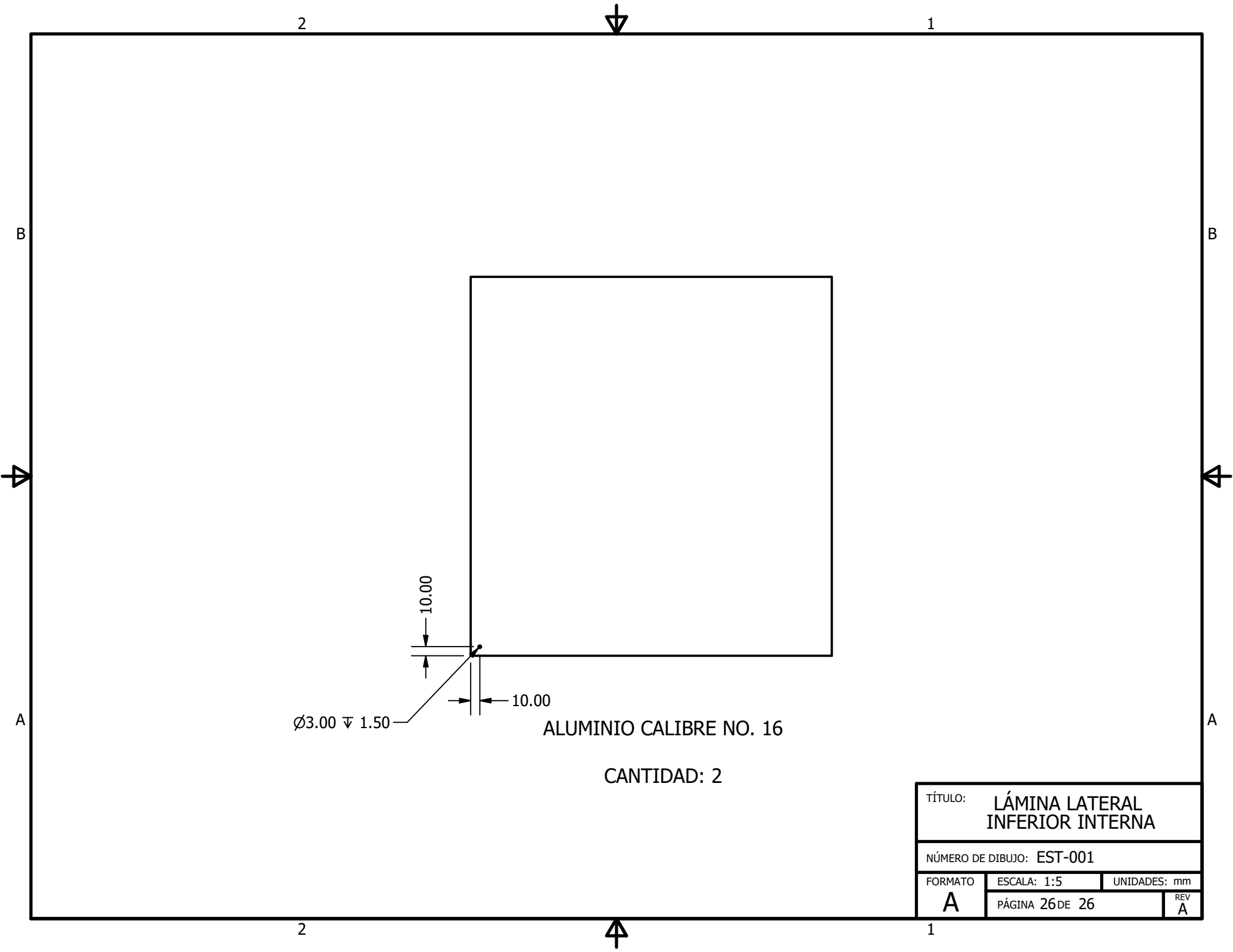
B

A

A

2

1



Ø3.00 ∇ 1.50

10.00

10.00

ALUMINIO CALIBRE NO. 16

CANTIDAD: 2

TÍTULO:			LÁMINA LATERAL INFERIOR INTERNA		
NÚMERO DE DIBUJO: EST-001					
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm			
A	PÁGINA 26 DE 26			REV	A