

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de modificaciones a máquina envasadora de Choco-gol**

Trabajo de graduación presentado por Patrick Anthoni Junior Ordoñez  
Aroche para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería  
Mecatrónica

Guatemala,

2019







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de modificaciones a máquina envasadora de Choco-gol**

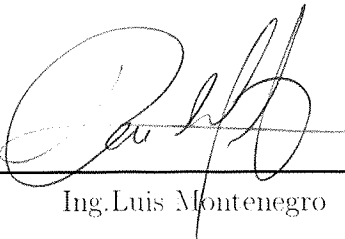
Trabajo de graduación presentado por Patrick Anthoni Junior Ordoñez  
Aroche para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería  
Mecatrónica

Guatemala,

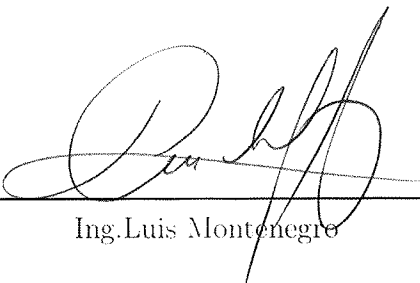
2019

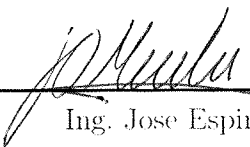


Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Luis Montenegro

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Luis Montenegro

(f)   
Ing. Jose Espinoza

(f)   
Ing. Otto Girón

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2018. /



Este trabajo, se realiza con el fin de culminar mi carrera en la universidad. Llegando a significar no solo el cierre de otra etapa en mi vida, sino que a su vez justifica de alguna forma las largas noches de desvelo, las largas horas de estudio y los fines de semana en casa. Con este trabajo busco el poder aplicar los todos los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera principalmente de sus ramas centrales como lo son la mecánica y la electrónica. Igualmente es una oportunidad para poder agradecer a todas esas personas que me han apoyado a lo largo de mi travesía por la universidad, es por eso que me gustaría agradecer:

A Dios por, permitirme la oportunidad de cumplir esta meta, otro de los logros de mi vida. Por darme cada día y permitirme superarme a mí mismo cada día, por esas pruebas que me han demostrado de lo que soy capaz. Por ayudarme a lo largo del camino no solo dándome fuerza para seguir adelante, sino que también como un guía espiritual en los momentos más difíciles y también en los buenos momento vividos.

A mis padres, por apoyarme durante tantos años de estudio, no solamente los universitarios, por los diversos sacrificios que han realizado con el fin de poder ayudarme en mi superación. Igualmente por siempre estar a mi lado, por los consejos que me han dado, que me ayudan no solo en la vida académica, sino también en todos los ámbitos que esta involucra.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, por todos los momentos que nos ayudamos mutuamente cada uno en los estudios. Por todas esas horas de diversión con ellos que me ayudaron a poder distraerme de las presiones de la universidad. Por apoyarme siempre que los necesite.

A la universidad, por haber sido una oportunidad de crecimiento constante, tanto en el aspecto intelectual como en lo personal, abriendo siempre nuevos retos y nuevas posibilidades a lo largo de la carrera.

A mis profesores por siempre guiarme, por ser los que compartieron su conocimiento, permitiéndome explorar nuevos horizontes en las diversas ramas que cubre la carrera. Por responder mis dudas sin importar lo triviales que estas pudieran ser.



<b>Prefacio</b>	v
<b>Lista de figuras</b>	xii
<b>Lista de cuadros</b>	xiii
<b>Resumen</b>	xvi
<b>Abstract</b>	xviii
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Justificación</b>	3
<b>3. Objetivos</b>	5
3.1. Objetivo general . . . . .	5
3.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>4. Alcance</b>	7
<b>5. Marco teórico</b>	9
5.1. Chocolate moldeado . . . . .	9
5.2. Normativas para la industria de los alimentos . . . . .	11
5.2.1. Las zonas de producción . . . . .	13
5.2.2. Superficies . . . . .	14
5.2.3. Elementos de unión, rosca . . . . .	14
5.2.4. Ángulos interiores, esquinas y radios . . . . .	14
5.2.5. Materiales sintéticos . . . . .	15
5.3. Materiales en la industria de alimentos . . . . .	15
5.3.1. Aceros inoxidable austenítico . . . . .	15
5.3.2. Materiales de aluminio . . . . .	16
5.3.3. Materiales sintéticos . . . . .	16
5.4. Diseño de cojinetes . . . . .	17
5.4.1. Vida de un rodamiento . . . . .	17

5.4.2. Cálculo de cargas	19
5.4.3. Cargas equivalentes	19
5.5. Diseño de pernos	20
5.5.1. Uniones con carga de tensión	20
5.5.2. Uniones con cargas en cortante	23
5.6. Soldaduras	24
5.7. Diseño de banda transportadora	27
5.8. Vibraciones mecánicas	29
5.8.1. Elementos finitos	30
5.9. PLC	31
5.10. Variador de frecuencia	32
5.11. Sensores	32
5.11.1. Sensores inductivos	34
5.12. Actuadores	34
5.12.1. Actuadores eléctricos	34
5.12.2. Actuadores neumáticos	36
<b>6. Recolección de datos:</b>	<b>37</b>
6.1. Medidas relacionadas con el producto	38
6.2. Medidas relacionadas con la estructura	39
6.3. Selección de método de conteo	39
6.3.1. Desventajas del conteo de unidades por peso	40
6.3.2. Conteo con finales de carrera	41
6.3.3. Conteo con sensores inductivos	41
<b>7. Diseño mecánico</b>	<b>43</b>
7.1. Tolva	43
7.1.1. Rediseño de la salida de la tolva	44
7.2. Estructura de soporte para tolva	45
7.3. Diseño de rampa	46
7.3.1. Primer diseño	46
7.3.2. Cálculos de la estructura	48
7.3.3. Soportes de rampa	50
7.4. Molinete	52
7.4.1. Cálculo de los cojinetes	53
7.5. Contenedor de alineado	53
7.5.1. Diseño inicial	53
7.5.2. Diseño final	54
7.5.3. Cálculo de pernos	55
7.6. Banda transportadora	56
7.6.1. Soportes de banda	57
7.6.2. Diseño y selección de cojinetes	57
7.7. Cálculo de soldaduras	58
7.7.1. Soldadura de estructura para la tolva	59
7.7.2. Soldaduras banda transportadora	60
7.7.3. Volumen total de soldadura	61

<b>8. Diseño eléctrico</b>	<b>63</b>
8.1. Construcción de prototipo	67
8.1.1. Primer prototipo	67
8.1.2. Segundo prototipo	68
<b>9. Modificaciones y mejoras</b>	<b>71</b>
9.1. Rediseño de la rampa	71
9.1.1. Reductores de velocidad	72
9.1.2. Compuertas	74
9.2. Sistema neumático	76
9.3. Cotización	76
<b>10. Conclusiones</b>	<b>79</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>81</b>
<b>12. Bibliografía</b>	<b>83</b>
<b>13. Anexos</b>	<b>87</b>
13.1. Planos mecánicos	87
13.2. Planos eléctricos	110



---

## Lista de figuras

---

1.	Circuito moldeado de chocolate tomado de [1].	10
2.	Uniones correctas para forma ángulos internos den las estructuras [10]	14
3.	Aceros inoxidable, denominación y uso en la industria [12].	16
4.	Relaciones entre factor de vida y factor de velocidad [4].	18
5.	Perno sujeto a tensión [2].	22
6.	Método de conos [2].	22
7.	Propiedades de soldadura sujeta a flexión tomado de [2].	26
8.	Bosquejo simplificado de banda transportadora [3].	27
9.	Cálculo de factor C1 [3].	28
10.	Mallado de una pieza [18].	30
11.	Esquema general de como se compone un PLC [19].	32
12.	Clasificación de los actuadores según la energía que utilizan [21].	35
13.	Máquina a la que se diseñarán modificaciones.	37
14.	Gráfica voltaje vs fuerza.	40
15.	Diseño de la tolva a utilizar.	44
16.	Salida de la tolva	44
17.	Tapadera de la tolva	44
18.	Primer diseño de estructura de soporte para la tolva.	45
19.	Deformación de la estructura encargada de soportar la tolva.	46
20.	Placa para soporte de tolva.	47
21.	Bosquejo de rampa, para salida de tolva.	47
22.	Bosquejo de rampa, para salida de tolva.	48
23.	Bosquejo de rampa, para salida de tolva.	48
24.	Parte inferior de la rampa para realizar análisis de deformación.	49
25.	Resultados del análisis de deformación en placa.	49
26.	Esfuerzos de Von Misses en la placa.	50
27.	Resultados del análisis de fatiga.	51
28.	Sostenedor superior	52
29.	Deformaciones sostenedor	52
30.	Diseño de molinete.	52
31.	Diseño inicial de contenedor.	54

32. Diseño inicial de tapadera para contenedor.	54
33. Contenedor modificado vista lateral	55
34. Contenedor modificado	55
35. Banda transportadora	58
36. Banda transportadora vista latera	58
37. Esfuerzos presentes en el soporte de la banda.	60
38. Programa diseñado para su uso en la máquina.	65
39. Programa diseñado para su uso en la máquina.	66
40. Prototipo.	67
41. Prototipo con mdf	69
42. prototipo con mdf	69
43. Pruebas de conteo	72
44. Pruebas de conteo	72
45. Pruebas de conteo	73
46. pruebas de conteo	73
47. Pruebas de conteo	73
48. Pruebas de conteo	73
49. Pruebas de conteo	73
50. Pruebas de conteo	73
51. Soporte para los cilindros.	75
52. Diseño final de las modificaciones.	75
53. Cilindro simple efecto 23.	76

---

## Lista de cuadros

---

1. Materiales poliméricos utilizados en la industria [11]. . . . .	17
2. Cálculo del factor $c_3$ . . . . .	29
3. Pesos por unidad de producto . . . . .	38
4. Pesos múltiples unidades agregando 5 cada medición. . . . .	38
5. Medidas de la máquina y espacio disponible para modificaciones. . . . .	39
6. Listado de componetes . . . . .	64
7. Señales utilizadas en los planos eléctricos . . . . .	64
8. Resultados de las pruebas . . . . .	72
9. Resultados de conteo con tiempo . . . . .	74
10. Cotización del proyecto . . . . .	77



El presente trabajo pretende diseñar una proposición para modificaciones de una máquina encargada de envasar un producto basado en chocolate. El equipo en cuestión se encuentra actualmente en uso continuo ya que es el único que desempeña la función de envasado del producto choco-gol en la planta de producción de chocolates BEST de Guatemala. El producto en cuestión consiste en esferas de chocolate con una envoltura de aluminio, el proceso utilizado actualmente por la máquina requiere que se encuentren presentes en la misma hasta tres operarios con el fin de garantizar que la unidades envasadas sean exactas. Teniendo en cuenta lo dicho en [1] donde se nos explica que la mayoría de procesos de fabricación de productos moldeados se realiza aún a mano, se puede notar que existe una gran cantidad de necesidad de automatización en el área de chocolates en la industria de alimentos. Es de este inconveniente que nace la necesidad por parte de la empresa de poder automatizar el proceso de conteo de unidades en la línea de producción y este trabajo se centra en diseñar las modificaciones necesarias a la máquina para poder automatizar el proceso de conteo, así como también el poder optimizar el tiempo de envasado el cual es actualmente de 7 segundos.

Par poder realizar el trabajo de diseño de las modificaciones se decidió dividir el diseño de elementos en dos distintos procesos, el primero de estos es el diseño de elementos mecánicos. Para esto se utilizaran los criterios y procesos mostrados en [2] en donde se utilizan los procesos de diseño de ingeniería de Shingley. De esta forma se diseñaron los elementos como pernos, soldadura, entre otros. En este caso el primer elemento a considerar para una modificación fue la tolva, a esta se le rediseño la salida con el fin de poder adaptarse mejor al método de conteo elegido, igualmente se diseño nueva estructura de soporte para esta, esta estructura mayormente soldada se fijaría con pernos M10x65 a la estructura principal y utilizaría una garganta de 3 mm en la soldadura para asegurar su correcto funcionamiento. Se diseño igualmente una rampa con divisiones o guías para el ordenamiento de las unidades. Para esta rampa, teniendo que soportar el peso de muchas unidades del producto, se eligió una lámina de acero de 1.2 mm. Otro elemento importante durante la fase de diseño mecánico es el molinete como método de conteo, para el cual se diseño un eje de acero inoxidable con un diámetro de 25mm, para el cual se eligieron cojinetes 6705. Por ultimo en el diseño mecánico se tiene el de la banda transportador para el cual se siguieron los pasos mostrados en [3], con esto se obtuvo tanto el diámetro del eje principal (12cm) así como la potencia de motor

necesaria (0.5 Kw). Para los ejes de la banda se seleccionaron cojinetes F-UCFM208/LP03. En cuanto a los pernos, en el catalogo de cojinetes NTN [4] se indica que para este tipo de ' cojinetes Y ' con soporte ovalado, se deben utilizar pernos M10. El siguiente proceso de diseño se enfocó en el diseño eléctrico-electrónico del proyecto. En este caso se diseño la red de conexiones que se tiene entre los distintos elementos como sensores y actuadores con el controlador principal encargado del funcionamiento de la máquina. Para esto se generaron planos que permitieran ver de una forma más clara la conexión de todos los elemento tanto a el PLC como a la fuente de alimentación requerida por determinado componte. En este caso el PLC a utilizar es un LOGO! de simens, mientras los variadores de frecuencia utilizados son micromastre 420 igualmente de la marca simens

Por último se tiene la implementación de un prototipo del método de conteo, con el fin de poder asegurar que este es efectivo y exacto, en dado caso se realicen las modificaciones propuestas. En este caso, se implementaron únicamente la rampa y el molinete, ya que son estos dos elementos los más importantes al momento de realizar el conteo. Se obtuvieron buenos resultados, indicando que el método es realmente efectivo para poder realizar el conteo de las unidades ya que siempre se obtuvieron resultados exactos al momento de pedir al molinete el contar una determinada cantidad de unidades. Por lo cual se concluyó que las modificaciones pueden efectivamente realizar el conteo de piezas por envasar, logrando de igual forma el aumentar la cantidad de unidades en la tolva evitando que esta tenga que ser llenada constantemente.

The present work intends to design a proposal for modifications of a machine responsible for packaging a product based on chocolate. The equipment in question is currently in continuous use since it is the only one that performs the packaging function of the choco-gol product at the BEST chocolate production plant in Guatemala. The product in question consists of chocolate spheres with an aluminum envelope, the process currently used by the machine requires that they are present in it up to three operators in order to ensure that the units packaged are accurate. Taking into account what was said in [1] where it is explained that most manufacturing processes of molded products is still done by hand, it can be noticed that there is a great need for automation in the area of chocolates in the Food industry. It is from this inconvenience that the need arises on the part of the company to be able to automate the process of counting units in the production line and this work focuses on designing the necessary modifications to the machine in order to automate the counting process, as well as also to be able to optimize the packaging time which is currently 7 seconds.

To be able to carry out the design work of the modifications, it was decided to divide the design of elements into two different processes, the first of which is the design of mechanical elements. For this, the criteria and processes shown in **Engineering Design** will be used where Shingley engineering design processes are used. In this way the elements were designed as bolts, welding, among others. In this case the first element to consider for a modification was the hopper, to this the output was redesigned in order to be able to adapt better to the method of counting chosen, also a new support structure was designed for it, this structure mostly welded I would fix with M10x65 bolts to the main structure and I would use a 3mm throat in the weld to ensure proper operation. A ramp with divisions or guides for the ordering of the units was also designed. For this ramp, having to support the weight of many units of the product, a steel sheet of 1.2 mm was chosen. Another important element during the mechanical design phase is the windlass as a counting method, for which a stainless steel shaft with a diameter of 25mm was designed, for which 6705 bearings were chosen. Finally, in the mechanical design, the of the conveyor belt for which the steps shown in cite forbomovementsystems were followed, with this the main shaft diameter (12cm) as well as the necessary motor power (0.5 Kw) were obtained. Bearings F-UCFM208 / LP03 were selected for the axes of the belt. As for the bolts, in the bearing catalog NTN cite CatalogoNTN it

is indicated that for this type of 'bearings textit Y' with oval support, M10 bolts must be used. The following design process focused on the electrical-electronic design of the project. In this case, the network of connections between the different elements such as sensors and actuators was designed with the main controller in charge of operating the machine. For this, plans were generated that would allow to see in a clearer way the connection of all the elements to the PLC as well as to the power supply required by a certain component. In this case, the PLC to be used is a LOGO! of simens, while the variators of frequency used are micromastre 420 equally of the brand simens.

Finally, we have the implementation of a prototype of the counting method, in order to ensure that it is effective and accurate, in which case the proposed modifications are made. In this case, only the ramp and the windlass were implemented, since these are the two most important elements when making the count. Good results were obtained, indicating that the method is really effective to be able to count the units since they always obtained exact results when asking the windmill to count a certain number of units. Therefore, it was concluded that the modifications can effectively carry out the counting of pieces to be packaged, achieving in the same way the increase of the number of units in the hopper, avoiding that this has to be filled constantly.

Con este trabajo se busca optimizar el envasado del producto Choco-gol. Este consiste en pequeñas bolas de chocolate cubiertas con una envoltura de aluminio. Las modificaciones por realizar permitirán que la máquina sea capaz de realizar un conteo exacto de las unidades que se desean envasar en la menor cantidad de tiempo posible. Se diseñará igualmente una banda transportadora donde se depositarán los envases vacíos. En el diseño de estas modificaciones se incluye tanto la parte física y mecánica como la parte eléctrica. Para poder asegurar el conteo exacto de las unidades envasadas se implementará un prototipo del contador. Se diseñará de igual forma el programa a utilizar en un microcontrolador que permita controlar las distintas partes de la máquina y se asegura del conteo exacto de las unidades.

Los resultados del funcionamiento del sistema de conteo, se obtuvieron de la implementación de un prototipo fabricado con MDF. Este prototipo tiene como principal función el poder determinar si el sistema de vibración y el uso de un molinete logran cumplir con el objetivo de poder asegurar una óptima dispersión de los chocolates, antes de pasar estos por los fines de carrera presentes al final de la rampa. En este caso, se pudo apreciar cómo es que el uso de este método asegura que el sistema logra la dispersión de las unidades de una forma efectiva. Esto último se realizó de esta manera, ya que no se tiene acceso al sensor óptimo para hacer el conteo, sin embargo, asegurando una buena dispersión de los chocolates se puede asegurar que estos pasen por el sensor de forma ordenada permitiendo un conteo más eficiente.



Este trabajo se ve mayormente inspirado en poder mejorar el proceso actual que se tiene de envasado de este producto en la empresa de chocolates BEST. Ya que, si bien la máquina logra cumplir con el envasado de las unidades necesarias, para lograrlo debe haber una persona supervisando que la cantidad de unidades sea la correcta. Otro inconveniente que se tiene actualmente es que, para poder cambiar la cantidad de unidades a empacar, es necesario realizar modificaciones físicas a la máquina las cuales pueden llegar a tomar hasta 2 días en realizarse perjudicando la producción de la línea. Con el diseño de estas modificaciones se busca que en un futuro puedan ser implementables, aumentando de esta forma la eficiencia en la línea encargada de este producto. Estas modificaciones se realizarán considerando todas las precauciones y consideraciones mencionadas en [1] con respecto a empacar alimentos basado en chocolate. Se puede apreciar en [1] y [5], cómo es que la industria ha tomado un curso enfocado mayormente en los productos de barras de chocolate, ya que se puede ver como se discuten los distintos métodos de empacado tanto individual como por múltiples unidades. Otro punto importante de esta modificación se puede apreciar en [5] donde se menciona en el capítulo 10, cómo es que actualmente en muchas de las empresas dedicadas a este tipo de alimentos, aun es necesario que una persona cuente manualmente las unidades a empacar, esto se debe principalmente a que se pueden encontrar una gran variedad de formas y tamaños, tanto del producto como del empaque.



### 3.1. Objetivo general

Diseño de propuesta de modificaciones a envasadora de Choco-gol, con el fin de lograr aumentar la velocidad de envasado, así como asegurar un conteo exacto de unidades envasadas.

### 3.2. Objetivos específicos

- Diseño de un nuevo contenedor o tolva de Choco-gol que permita una mejor distribución del producto previo al envasado.
- Definición de un método de conteo para el producto, adecuándose a las normas de inocuidad y calidad determinadas por la empresa.
- Diseño circuito a utilizar para el conteo y programa a utilizar en el PLC encargado de controlar el funcionamiento de la envasadora de Choco-gol.
- Construcción de un prototipo del sistema de conteo, para asegurar el futuro funcionamiento de este, al momento que se decida realizar las modificaciones.
- Diseño de banda transportadora tomando en cuenta las distintas presentaciones de envases del producto.
- Diseño de planos eléctricos y generación de listado de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos necesarios para la construcción del sistema, con su respectiva cotización.



Con este proyecto, se busca alcanzar la automatización parcial de uno del envasado de Choco-gol. Se menciona el término parcial, ya que algunos de los proyectos futuros propuestos en la empresa, es el diseñar e implementar una máquina que pueda colocar las tapaderas a los envases, al igual que una etiquetadora. Por lo tanto, se consideran estas modificaciones como el inicio de dicho proyecto en la línea completa de envasado. Es por esto mismo que en este proyecto se realiza uno de los componentes principales en la línea, el cual es la primera banda transportadora ya que es según esta que se diseñarán los siguientes componentes en la línea. Por lo tanto, se busca con este diseño el iniciar un proceso más largo en la empresa.

A nivel académico se busca con el diseño de las modificaciones, aplicando todos los conocimientos adquiridos en la carrera. Se espera con la realización del diseño el poder aplicar los distintos conceptos de mecánica vistos en clase, mayormente los relacionados con la fabricación de piezas como ejes, cojinetes, entre otros. Igualmente se espera poder aplicar los temas relacionados con el área de circuitos eléctricos al momento de diseñar y generar los planos eléctricos para la máquina completa. Igualmente se espera el poder ver como es que la unión de ambos conocimientos tanto mecánicos como en electrónica logra automatizar una máquina en una empresa.

Entre otros puntos previstos, se tiene con la ayuda de los datos recolectados durante las pruebas al prototipo, el poder confirmar que el método seleccionado para el conteo de unidades de producto, si logra satisfacer las condiciones y restricciones dadas y tener la certeza de que si las modificaciones llegan a implementarse, se puede garantizar un conteo exacto de las unidades siempre sin la necesidad de que alguna persona tenga que verificar que si se esta cumpliendo con el valor impuesto.



## 5.1. Chocolate moldeado

El chocolate, es actualmente uno de los dulces o **confite** más conocidos, debido a que posee una gran cantidad de usos dentro de la industria de alimentos. Estos pueden ser, desde su uso como cobertura de alimentos hasta el uso de la cocoa como ingrediente en pasteles y otros productos horneados. Dentro de la empresa donde se posee la máquina a la cual se realizaran modificaciones, el chocolate es utilizado principalmente de dos formas: Como cobertura de galleta y productos moldeados terminados. Esta investigación se centrara mayormente en la segunda presentación ya que la máquina para la cual se diseñaran las modificaciones, se utiliza para envasar pelotas de chocolate cubiertas con una envoltura de aluminio. A continuación se presenta una forma generalizada del proceso de moldeado de chocolate.

La producción de este tipo de productos sigue en su mayoría el circuito descrito en **[1]**, este puede apreciarse mejor en la Figura **[1]**. El cual consiste principalmente en una área de depositado, un vibrador, distintas unidades de enfriado y finalmente un área de desamoldado. El área de depositado se encarga de verter en los moldes la mezcla de chocolate previamente temperada. El vibrador, se encarga de eliminar las burbujas de aire que quedan dentro de los moldes con el fin de que el producto final tenga una mejor consistencia y también evitar problemas en cuanto al peso final del producto. Las áreas de enfriado son las encargadas de que el chocolate se solidifique. Por último, en el área de desamoldado, como su nombre lo indica se retira el producto del molde. Finalmente se cuenta con un área encargada de retirar las orillas o excedentes que se pueden formar durante el moldeado.

El área en la cual se deposita el chocolate debe seguir distintas consideraciones. Como primera consideración, se tiene la temperatura, esta variable es importante ya que se debe mantener el chocolate a una temperatura lo suficientemente alta para que pueda llenar la cavidad del molde de la forma correcta, sin embargo, si la temperatura es demasiado alta, el chocolate tomará una consistencia demasiado líquida que puede llegar a causar derramamientos. Esta, por lo general, se encuentra en el rango de 30-35°, sin embargo en **[5]** se discute una forma alternativa para poder asegurar consistencia adecuada del chocolate y

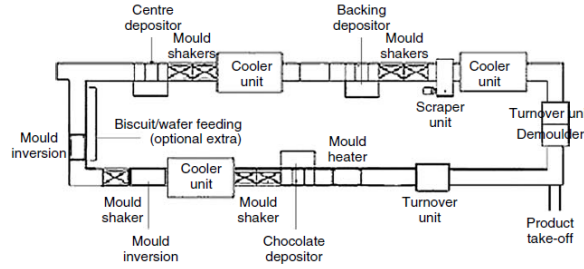


Figura 1: Circuito moldeado de chocolate tomado de [1].

que este sea vertido de una forma más eficiente. esta se encuentra mayormente basada en la viscosidad de la mezcla. En esta se muestra cómo es posible el uso de un vibrador para poder movilizar la mezcla y que esta se disperse de una forma adecuada. Para esto, es necesario realizar distintos estudios con la mezcla específica, lo cual permitirá determinar tanto una frecuencia como una amplitud adecuada.

La parte más delicada del producto de moldeo es principalmente el enfriado. Esto se debe a que se busca que el chocolate posea la consistencia adecuada. Esto ya que si el chocolate se deja a una temperatura muy alta este es muy maleable dificultando que pueda ser empacado y se busca igualmente que enfríe en el menor tiempo y distancia posible. Sin embargo, si tanto el tiempo como el la temperatura de enfriado son demasiado bajos, el chocolate puede llegar a presentar problemas de cristalización y consistencia. [2]. Se busca, por lo tanto, llevar el chocolate de una temperatura en un rango aproximado de 30-35° C a temperaturas entre 12-15°C, temperatura a la cual es consistente tanto la cristalización de las grasas como la textura y consistencia del chocolate. Luego de esto y si la cristalización se lleva a cabo de forma correcta, el chocolate puede mantener su forma sólida aun a temperatura ambiente. Esto igualmente es estudiado en [1]. donde se relaciona el temperado del chocolate con el tamaño y la distribución de partículas de grasa que componen el producto moldeado, se puede ver como productos que se enfrían demasiado rápido y a muy bajas no presentan una cristalización adecuada al igual que se vuelven significativamente más duros y por lo tanto más frágiles.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la forma en la cual se enfría el chocolate, ya que existen dos métodos distintos para realizar esto. La primera es por medio del uso de aire frío en lo que se conoce como túneles de enfriamiento y la otra consiste en contacto directo del molde o el mismo chocolate, con una superficie previamente enfriada.

Como se puede ver anteriormente existen una gran cantidad de factores que influyen en el moldeo de chocolate, sin embargo el producto que se trata en este documento, se realiza por moldeo de **grageas**, esto se debe a que por lo general los moldes en los cuales se vierte el chocolate no son capaces de poseer una forma esférica. El moldeo en grageas se diferencia en que el chocolate se vierte directamente en rodillos los cuales poseen cavidades con la forma deseada del producto, como los mostrados en a figura . En el caso de las esferas de chocolate y otros productos con forma de lenteja, los rodillos son enfriados para que el chocolate se cristalice al momento de contacto. el desmoldado consiste en separar cada una de las bolitas de chocolates de forma individual ya que al salir de los rodillos el chocolate adopta una forma de "blister" de la cual se desprenden cada una de las unidades. El chocolate restante de este proceso, puede ser reutilizado como materia prima reciclada para generar

un nuevo lote de mezcla.

El siguiente paso consiste en la remoción de imperfecciones que siempre llegan a darse en este tipo de productos, esto se debe mayormente a que existe un exceso de chocolate al momento de que este es vertido en los moldes, En el caso de algunos productos, esto se realiza de forma manual por un operario, sin embargo en el caso de productos con un acabado esférico o cóncavo, esto se puede realizar por medio de bombos o bien cilindros giratorios, estos se encargan de pulir la forma final del producto, al igual que con otros excedentes, el material que se desprende luego de este proceso de pulido puede ser utilizado nuevamente como materia prima para la mezcla de chocolate.

Otra propiedad del producto a tomar en cuenta es tanto las fuerza de penetración y de fractura que poseen, esto debido a que el método de conteo a seleccionar puede poner este tipo de producto en distintas condiciones y es necesario en todo caso asegurarse que estas no sean demasiadas como para afectar la calidad del producto. Si bien cada mezcla de chocolate, así como cada presentación de este, posee distintas propiedades se menciona en [6] distintos estudios realizados a tres presentaciones comunes de chocolate, estas son chocolate oscuro, blanco y chocolate con leche.

En este artículo se logra determinar la fuerza de penetración y fractura para barras de chocolate al igual que un dato más característico como lo es el modulo de elasticidad del chocolate moldeado. En este caso nos interesa únicamente el chocolate con aditivos de leche ya que esta es la presentación a envasar, en cuyo caso se tienen un valor de  $4.13 \cdot 10^8 N/(m^2)$  Valor que nos ayudara a determinar, de ser necesario, que el producto no sufra deformaciones o bien se fracture por alguno de los mecanismos utilizados.

## 5.2. Normativas para la industria de los alimentos

Como en todo tipo de negocio, en la actualidad la industria de alimentos se encuentra sujeta a distintas normativas para asegurar la calidad de los productos. Especialmente la industria alimentaria se ve obligada a poseer este conjunto de normas tratándose de productos que serán directamente ingeridos por personas o consumidores finales. Se debe entonces procurar por la inocuidad de los alimentos, en el caso internacional, esta es la normativa ISO 22000 desarrollada por la **Organización Internacional de Normalización sobre la seguridad alimentaria**, [7]. Esta norma incluye toda la cadena, que involucra la industria, ya que incluye normas que rigen desde los agricultores o ganaderos, hasta los puntos de venta del producto, **lloyd'sregister2018**

La norma ISO 22000 surge principalmente en la Unión Europea en donde surgió una gran preocupación, por lograr asegurar que los consumidores se sintieran completamente a salvo de los productos que ingieren, esto al realizar una encuesta y descubrir los miedos de la población con respecto a los alimentos, estos datos son presentados en [7]. Esta normativa posee varios objetivos entre los cuales se encuentra: reforzar la seguridad alimentaria, asegurar la protección del consumidor, fortalecer la confianza del consumidor, etc. Sin embargo, se menciona en este documento la existencia de dicha norma, para poder tener en cuenta que si existen una normativa internacional a la cual se puede y debe adaptar una máquina que se utilice en algún proceso que involucra alimentos. Pero en este caso, se tomarán en

cuenta las normas fijadas para centro-america.

En centromamerica se encuentra vigente el **Reglamento Técnico Centroamericano** específicamente el RTCA 67.01.33:06 [8], donde se nos habla de las buenas practicas de manufactura en la industria de bebidas y alimentos. Este habla mayormente de las condiciones que se deben de tener en las instalaciones de la planta de alimentos en cuestión refiriéndose mayormente a la infraestructura. Sin embargo, también se dedica una pequeña sección a las condiciones y lineamientos que debe tener el equipo que se utiliza durante un determinado proceso. Se tiene por otro lado el RTCA 67.06.55:09 [9] se especifican los planes de mantenimiento que se debe tener tanto para las instalaciones como para los equipos y utensilios involucrados en un proceso. Esto último nos puede ayudar a asegurar que las piezas por diseñar no compliquen el mantenimiento y limpieza de la máquina en general.

En las condiciones de equipos y utensilios mencionadas en se en listan las siguientes:

- El equipo debe estar construido de tal forma que se facilite la limpieza del mismo, así como el mantenimiento. Estos deben:
  1. Estar diseñados de tal manera que sea fácil de desmontar así como encontrarse en una posición accesible para su limpieza y mantenimiento.
  2. Estar contruidos a base de materiales no absorbentes o corrosivos, resistentes a múltiples operaciones de limpieza.
  3. No transferir a el producto materiales o sustancias toxicas, así como olores o sabores no deseados.
- Debe existir un programa de mantenimiento preventivo en el cual se deben de especificar los procedimientos tanto de mantenimiento como de limpieza, de la forma más detallada posible. Estos programas deben ser constantemente actualizados para cada uno de los equipos.

Igualmente en [9], se mencionan puntos importantes sobre los utensilios y el equipo. si bien esta sección de la RTCA se dedica mayormente a el manejo de materias primas, a continuación se en listan algunos de los puntos importantes a tomar en cuenta en el diseño de maquinaria y/o modificaciones. Estos elementos son:

- Ubicación de los equipos:
  1. Permitir el correcto flujo de un proceso o varios procesos, evitando contaminación cruzada.
  2. El espacio entre la pares y el equipo debe ser de por lo menos 50 cm y sin obstáculos para facilitar las operaciones de limpieza y desinfección.
  3. Facilite la limpieza.
  4. Facilite el mantenimiento,
  5. Facilite la circulación de productos y personas.
- Los equipos deben ser fabricados con materiales resistentes , lisos y no absorbentes, que no reaccionen al contacto con los alimentos ni a los químicos utilizados para la limpieza.

- Se debe asegurar que los equipos utilizados para un tratamiento térmico o almacenamiento, alcancen las temperaturas requeridas y puedan mantener dichas temperaturas de manera eficaz durante el tiempo necesario.
- El diseño de los equipos debe permitir la vigilancia y el control sobre las distintas variables que pueden llegar a dañar la inocuidad del producto como lo son: Temperatura, Humedad, corriente del aire, etc.

Con el fin de poder cumplir estos requisitos, se investigarán primeramente los materiales que pueden ser utilizados para el diseño de las modificaciones, En cuanto a los demás requisitos que se deben de cumplir, serán retomados nuevamente al momento de realizar el diseño final de las modificaciones. Se tiene igualmente que tomar en cuenta otros factores, estos son presentados en [10]. Donde se presentan temas relacionados directamente con el diseño de piezas y de equipos. En este documento se nos refiere a las normas EN 1672-2 así como también la norma ISO 14159. En este documento se nos presentan los siguientes temas:

### 5.2.1. Las zonas de producción

En la norma EN 1672-2 nominada "Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos" se distinguen y categorizan tres distintas zonas de producción [10],

#### **Zona de contacto con alimentos**

Como su nombre lo indica, estas son las piezas o componentes de un equipo que se encuentran directamente en contacto con el alimento, estas partes por lo tanto deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicas y no absorbentes. Estas se prefieren que sean una única pieza continua con el fin de evitar que se quede algún material en la unión de piezas.

#### **Zona de salpicadura**

En esta sección las piezas si entran en contacto con el alimento, sin embargo este no regresa al proceso de producción. En este caso se podría decir que estas se relacionan mayormente con los desechos generados en el proceso, aun así estas zonas deben diseñarse utilizando como siempre materiales anticorrosivos. Esto debido a que en determinadas ocasiones los desechos pueden volver a ser utilizados como una parte previa del proceso o bien pueden convertirse en un producto por separado.

#### **Zona sin contacto con alimentos**

Como se indica, estas zonas de la maquinaria o equipo no entran en contacto con el producto. A pesar de esto, estos componentes deben de igual manera cumplir con los requisitos previamente mencionados ya que pueden convertirse en focos de infección a largo plazo.

### 5.2.2. Superficies

Las superficies son uno de los elementos más importantes en la industria de alimentos, especialmente aquellas que deben estar en contacto directo con el producto, ya sea que este se encuentre en un estado temprano del proceso o bien en las etapas finales, en se nos dice que una superficie debe de poseer una rugosidad media de  $Ra \leq 0.8 \mu m$ , esto según la norma ISO 468. Esto ayuda a que microorganismos con tamaños de 1  $\mu m$  a 10  $\mu m$  se puedan desprender de la superficie cuando se realiza la limpieza con detergente. Igualmente se menciona como es que en la áreas de salpicadura se utilizan componentes con una rugosidad menor a 3,2  $\mu m$ . El poseer superficies lisas no solo ayuda al momento de realizar la limpieza, sino que también prevé la corrosión de las piezas.

### 5.2.3. Elementos de unión, rosca

Los elementos como remaches, tornillos y pernos resultan un gran problema para la higiene, es por esto que se recomienda el poder evitar su uso, [10]. Si nos es posible diseñar una pieza con otro tipo de unión que no sea por tornillo, se debe de asegurar que este se encuentre en una ubicación de fácil acceso para su limpieza. Las roscas que más generan este tipo de problemas son las roscas abiertas por lo que se debe evitar su uso y seleccionar tuercas ciegas, [11].

### 5.2.4. Ángulos interiores, esquinas y radios

En este caso se nos habla de como es que los dobleces con ángulos demasiado pequeños son un peligro para la higiene de un producto ya que dificultan mucho la limpieza de las esquinas de cualquier elemento en cuestión. Esto debido a que las velocidades de circulación de los detergentes se ven limitadas en estas áreas, para esto el radio mínimo que se recomienda es de 3mm [11], en la Figura 2 se muestra un ejemplo de cuales son las formas correctas de realizar un dobles o un ángulo interior.

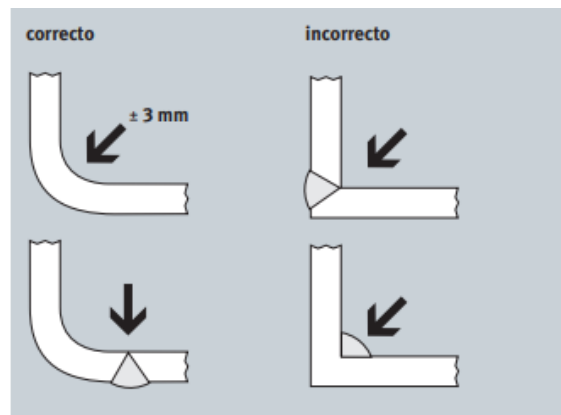


Figura 2: Uniones correctas para forma ángulos internos den las estructuras [10]

### 5.2.5. Materiales sintéticos

En estos distintos manuales publicados por la compañía FESTO, se toman en cuenta otros componentes como lo son los cojinetes, en este caso únicamente se indica que estos deben encontrarse lo más alejados del producto posible, y que si esto no es posible por limitaciones de diseño, se deben lubricar estos con aceites aptos para la industria alimenticia.

## 5.3. Materiales en la industria de alimentos

Existen una gran cantidad de materiales en la actualidad, estos van desde los materiales encontrados en la naturaleza como lo son el hierro y el cobre entre otros, y se encuentran los materiales que han sido creados por el hombre. Tomando en cuenta esto y las normas presentadas anteriormente, se deben de tomar en consideración que los materiales a utilizar no deben desprender ni absorber ningún material o sustancia nocivos. Por lo tanto y tomando en cuenta la información brindada en [10], se puede tener en la industria los siguientes materiales convencionales:

- Acero inoxidable austenítico.
- Materiales de aluminio.
- Materiales sintéticos.
- Lubricantes.

### 5.3.1. Aceros inoxidable austenítico

Los aceros inoxidables también conocidos como aceros resistentes a la corrosión se obtienen utilizando una gran cantidad de cromo, este genera una capa de óxido que se adhiere fuertemente a la superficie de la pieza, [12] dando así a la aleación una gran resistencia a corrosión. Sin embargo, la aleación de acero inoxidable austenítico se consigue al agregar níquel ya que este es capaz de estabilizar la austenita. Este tipo de acero posee por lo tanto un 12 % de Cromo y aproximadamente un 22 % de níquel.

Los aceros inoxidables austeníticos, posee una gran cantidad de propiedades, entre las primeras tenemos que estos son amagnéticos y poseen una gran resistencia a la corrosión en distintos ambientes, excepto en ambientes con ácido clorhídrico y otros ácidos similares [12], igualmente el pulir este material le da uno de los acabados más finos que se puede conseguir de este tipo de aleaciones. Entre las principales limitaciones de los aceros inoxidables de este tipo, es que estos por lo general tienen un precio muy elevado, por lo cual se han desarrollado otras alternativas que involucran el uso de manganeso y nitrógeno. estas alternativas que por lo general, buscan únicamente reducir la cantidad de níquel utilizado, poseen una baja calidad y se encuentran en las series 200 [12].

Si bien los aceros austeníticos son los aceros más resistente a la corrosión, también se encuentran dentro de la familia de los aceros inoxidables: aceros inoxidables Martensísticos

y los aceros inoxidable Ferríticos. En la Figura 3 se pueden encontrar como estos aceros se denominan comercialmente así como también los usos que se pueden dar a cada uno.

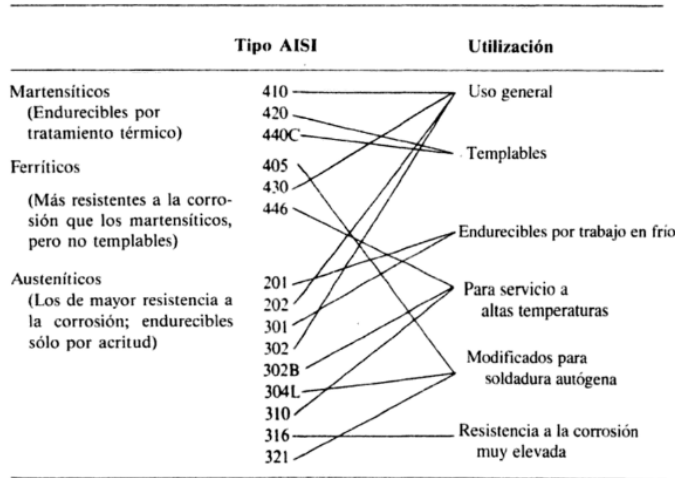


Figura 3: Aceros inoxidable, denominación y uso en la industria [12].

### 5.3.2. Materiales de aluminio

Los materiales de aluminio poseen una gran cantidad de ventajas, entre las que encontramos su peso, ya que estos materiales son livianos, estos son económicos al igual que fáciles de mecanizar [11]. Igualmente el aluminio presenta una excelente resistencia a la corrosión, esto debido a que este reacciona con el aire para generar una pequeña capa de óxido de aluminio que protege de medios corrosivos igualmente realizando proceso de anodizado **Anodizar** este material se vuelve resistente a los productos químicos utilizados en la limpieza. Sin embargo entre las desventajas que poseen las aleaciones de aluminio se encuentra: Baja dureza, baja resistencia al desgaste y no soporta altas temperaturas, [13]. Entre las principales denominaciones de estos materiales en la industria encontramos: AlMg2Mn08, AlMgSi1 y AlMgSi0,5 [10].

El aluminio en la industria de alimentos, no solamente es utilizado para el diseño y construcción de equipos, este material también es utilizado en muchos casos como un medio para la envoltura de alimentos, esto con el fin de protegerlos mismo de posible contaminación externa. El aluminio igualmente es utilizado para poder mantener la temperatura de un producto ya que este elemento retiene muy bien el calor [14]. En la industria del chocolate este material es muy utilizado para la envoltura del producto ya que este puede mantener aislado al producto de humedad, al igual que ayuda a mantener la temperatura del chocolate deseada, igualmente este se encuentra por lo general entre grosores desde 5 um a 20 um, lo cual permite que este material adopte una gran cantidad de formas.

### 5.3.3. Materiales sintéticos

Estos son materiales creados por el hombre, los más populares en esta categoría son los elastómeros estos, deben de cumplir con la disposición 1935/2004/CE o bien con la

disposición 10/2011 o las directivas FDA. Como todos los demás materiales mostrados anteriormente, estos deben de poseer una alta resistencia a la corrosión y no liberar ningún tipo de sustancia nociva, [10].

La mayoría de los materiales sintéticos utilizados en la industria son materiales poliméricos ya que presentan distintas propiedades como su baja densidad, bajo coste e inclusive resistencia a la corrosión. En estos materiales sus propiedades varían mucho dependiendo como estos fueron creados factores como la materia prima utilizada, aditivos que se encuentran incorporados y el procedimiento que se utilizo para fabricar estos. [13]. Se muestra en el Cuadro 1 algunos de los materiales poliméricos utilizados en la industria de los alimentos.

Denominación	Abreviatura	Conformidad según
Polipropileno	PP	FDA y/o 10/2011
Poliamida	PA	FDA y/o 10/2011
Polifluoruro de vinilideno	PVDF	FDA y/o 10/2011
Tereftalato de polietileno	PET	FDA y/o 10/2011
Policarbonato	PC	FDA y/o 10/2011
Caucho fluorado	FKM/caucho fluorado	FDA
Polioximetileno	POM	FDA y/o 10/2011

Cuadro 1: Materiales poliméricos utilizados en la industria [11].

## 5.4. Diseño de cojinetes

Los cojinetes son fabricados con el fin de poder soportar dos tipos distintos de cargas, estas son cargas radiales y cargas axiales o bien una combinación de estas. Estos, pueden ser separados en distintos grupos dependiendo del tipo de elemento que utilicen para poder realizar el movimiento de rotación, entre los principales encontramos los rodamientos de bolas y los de rodillos. Estos elementos se utilizan por lo general para evitar un contacto directo entre dos piezas, donde una rota respecto a la otra, [2]. Para poder realizar un diseño consistente en un cojinete, se utilizan dos términos distintos para poder determinar la vida útil de un rodamiento estos son:

- Número de revoluciones del anillo interior hasta que se presentan signos visibles de fatiga.
- El número de horas que soportara un cojinete cuando se expone a una velocidad angular constante, antes de presentar signos fisibles de fatiga. [2]

### 5.4.1. Vida de un rodamiento

El termino que se utiliza para describir la duración de un cojinete es "vida del cojinete". el cual puede emplearse para las dos medidas antes mencionadas. La vida útil de un rodamiento nos da un aproximado ideal de cuanto puede llegar a durar un cojinete en condiciones

ideales sin embargo no se toman en cuenta otras causas de falla como lo son: atascamiento, abrasiones u oxido. Para poder calcular la vida de un rodamiento es necesario tomar en cuenta la capacidad básica de carga que posee el mismo la cual nos da un valor numérico de cuanta carga dinámica puede asimilar dicho rodamiento. Otro factor a tomar en cuenta es la vida nominal básica la cual se encuentra basada en un modelo estadístico al 90 % la cual indica un número total de revoluciones que un 90 % de rodamientos de un grupo idéntico alcanzara [4]. La relación que se da entre estos valores, es la mostrada en la ecuación [1] y [2]:

$$L_{10} = (C/P)^3 \quad (1)$$

$$L_{10} = (C/P)^{10/3} \quad (2)$$

En esta ecuación se tiene que  $L_{10}$  es la vida nominal básica del rodamiento en  $10^6$  revoluciones, C es la capacidad básica de carga dinámica y P la carga dinámica equivalente. Las relaciones que se presentan entre la velocidad de rotación  $n$  y el factor de velocidad  $f_n$  y entre la vida nominal básica y el factor de vida se encuentran representado en la Figura 4 [4]

Clasificación	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Vida nominal básica $L_{10n}$ h	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500 f_n^3$	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = 500 f_n^{10/3}$
Factor de vida $f_n$	$f_n \frac{C}{P}$	$f_n \frac{C}{P}$
Factor de velocidad $f_n$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/3}$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{3/10}$

Figura 4: Relaciones entre factor de vida y factor de velocidad [4].

Las fórmulas anteriores, son utilizadas para poder determinar la vida de un conjinete cuando se utiliza un factor de confiabilidad de 90 % , por lo tanto si se desea utilizar un factor de confiabilidad más alto por motivos de diseño en donde se tomen en cuenta otros factores externos como: lubricación, temperatura y la velocidad de giro, se debe utilizar un factor de vida nominal ajustado calculado con la ecuación [3] en la cual los factores  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  son modificadores que deben calcularse de acuerdo a determinadas condiciones. [4]

$$L_{na} = a_1 * a_2 * a_3 * L_{10} \quad (3)$$

## Factor de confiabilidad

Este es el valor  $a_1$  mostrado en la ecuación [3] este valor cambia de acuerdo a la confiabilidad deseada, tomando valores desde 1 al tener un factor de confiabilidad de 90 % hasta 0.21 cuando este ultimo es de 99 %

## Factor de características del rodamiento

Este es uno de los factores más difíciles de determinar ya que este varia de acuerdo al material del rodamiento la calidad de este material y el proceso de manufactura del rodamiento. Debido a que este documento se basa en el proceso de diseño mostrado en [4] se toma en cuenta que, por lo general, este valor es de 1 por lo que  $a_2 = 1$ . Tomando lo anterior en cuenta, se dice igualmente que este factor se ve afectado por la temperatura de operación del rodamiento variando esto ultimo desde un valor de 1 a una temperatura de 120 grados celcius a un valor de 0.48 a una temperatura de 250° [4].

## Factor de condiciones de operación

Este termino es utilizado para poder compensar los efectos que llegan a influenciar en la lubricación, entre estos encontramos: mala lubricación debido a los cambios en la temperatura, desgaste del lubricante y también la contaminación resultante por motivos externos como puede ser partículas de metal desprendidas de los distintos componentes. Este factor, posee un valor de 1 cuando las condiciones de lubricación son satisfactorias y posee valores menores a 1 en los siguientes casos [4]:

- La viscosidad del lubricante es muy baja para la temperatura en la cual el rodamiento se encuentra operando.
- La velocidad de rotación es baja.
- Lubricante contaminado con cuerpos extraños o humedad.

### 5.4.2. Cálculo de cargas

Las cargas que pueden ser aplicadas a un cojinete pueden ser dos como se vio previamente. El como se determinan estas cargas depende mucho de las fuerzas que son aplicadas al eje que es soportados por los rodamientos. Estas cargas pueden, por lo general, ser: Cargas aplicadas por engranes y cargas aplicadas por corras o cadenas. Pero en este caso, se estudiarán las cargas promedio que se aplican en los cojinetes ya que son estas las que se utilizan en su mayoría al momento de realizar un diseño de cojinetes.

### 5.4.3. Cargas equivalentes

Este tipo de carga es determinado cuando tanto cargas axiales como cargas radiales actúan sobre un mismo rodamiento, este tipo de carga puede dividirse en carga dinámica radial equivalente y carga dinámica axial equivalente expresados en las ecuaciones: [4] y [5] respectivamente. igualmente encontramos las versiones estáticas de esta carga equivalente mostradas en las ecuaciones [6] y [7] [4].

$$P_r = XF_r + YF_a \quad (4)$$

$$P_a = F_a + 1.2F_r \quad (5)$$

$$P_{or} = X_oF_r + Y_oF_a \quad (6)$$

$$P_{oa} = F_a + 2.7F_r \quad (7)$$

donde,

- Fr: Fuerza radial aplicada.
- Fa: Fuerza axial aplicada.
- X: Factor de carga radial.
- Y: Factor de carga axial.
- Xo: Factor de carga radial estática.
- Yo: Factor de carga axial estática [4].

Debe tenerse en cuenta que tanto las cargas radiales como axiales se encuentran en unidades de Newtons. Igualmente, se debe mencionar que estas formula aplican únicamente a rodamientos rectos y no a rodamientos de contacto angular o cónicos. Los factores de X e Y se calculan dependiendo del tipo y la distribución de las cargas, este por lo general se presenta dentro del catalogo para cada uno de los rodamientos disponibles. Pero se debe tomar en cuenta que cuando no existe una carga axial el valor de X es igual a 1 y viceversa.

## 5.5. Diseño de pernos

Al momento de realizar la selección de pernos adecuados para un determinado proyecto, se debe iniciar determinando el tipo de esfuerzo que se aplicara en el elemento, principalmente se pueden encontrar dos tipos de esfuerzos, los esfuerzos de tensión y los esfuerzos de corte. El determinar el tipo de esfuerzo al cual se expondrá el tornillo es importante ya que dependiendo de como se aplique la carga al perno, el método a seguir varia.

### 5.5.1. Uniones con carga de tensión

Este tipo de carga puede verse ilustrada en la Figura [5], como se puede apreciar en este tipo de uniones la carga se encuentra paralela o axial al elemento de unión. Cuando se diseñan pernos, se busca mayormente determinar un número de pernos que soporten la carga o bien el factor de seguridad obtenidos con una dada cantidad de pernos a utilizar. Para poder determinar un diseño basado en un factor de seguridad, primero se deben de conocer otros conceptos sobre los pernos siendo el primero de estos la geometría que un perno posee y las distintas medidas importantes que este presenta.

## Medidas en un perno o tornillo

La primera medida importante al momento de diseñar perno es la porción del mismo que posee una rosca ( $L_t$ ), Esto puede ser determinado conociendo el diámetro y el largo del tornillo el como calcular este valor puede encontrarse en la ecuación [8]. El siguiente paso a tomar en cuenta, es la determinación de la rigidez del sujetador, Para poder determinar dicho factor se debe considerar al tornillo como la unión de dos distintos resortes sobre los cuales se aplica la tensión. Esto se debe a que ambas áreas presentan distintas propiedades entre sí.

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & \text{si } L \leq 125 \text{ } d \leq 48, \\ 2d + 12 & \text{si } 125 < L \leq 200, \\ 2d + 25 & \text{si } L > 200 \end{cases} \quad (8)$$

Para poder determinar la constante de rigidez, se debe primero calcular las áreas transversales tanto de la parte roscada ( $A_t$ ) como de la parte plana ( $A_d$ ). Luego de esto se debe calcular la longitud efectiva de dichas áreas, con longitud efectiva, nos referimos a la longitud que se encuentra presente dentro de la unión de los dos elementos. por lo general la longitud no roscada ( $l_d$ ) se encuentra 100 % dentro de los elementos a unir mientras que de la parte roscada se deja una parte fuera de la unión para colocar la tuerca. la longitud de rosca efectiva ( $l_t$ ) por lo general se calcula restando la longitud de la parte no roscada de la longitud total que se genera por el grosor de los los elementos. Teniendo tanto las áreas de cada parte del tornillo, como las longitudes efectivas y el modulo de elasticidad del tornillo se puede calcular la rigidez del sujetador con la ecuación [9].

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (9)$$

El siguiente paso a seguir, es el cálculo de la la rigidez de los elementos a unir para esto se considera cada uno de los elementos como un resorte con una constante k donde luego se realiza la suma de todas estas constantes para obtener la rigidez equivalente del elemento ( $k_m$ ), en este caso se describirá el método de conos para el cálculo de los valores k de cada uno de los elementos. Con este método se traza un cono con relación a la cabeza del perno con un ángulo determinado, para poder apreciar mejor este principio, se muestra el uso del método en la Figura [6]. Con el uso de este método se llega a la ecuación [10] para el calculo individual de los factores k de cada elemento utilizando un ángulo de 30° luego se utiliza la ecuación [11] para obtener un valor final de  $k_m$

$$k = \frac{0.5774 * \pi * E * d}{\ln \frac{(1.155*t+D-d)*(D+d)}{(1.155*t+D-d)*(D-d)}} \quad (10)$$

donde,

- E: Módulo de elasticidad del elemento.
- t: es el ancho de la placa.

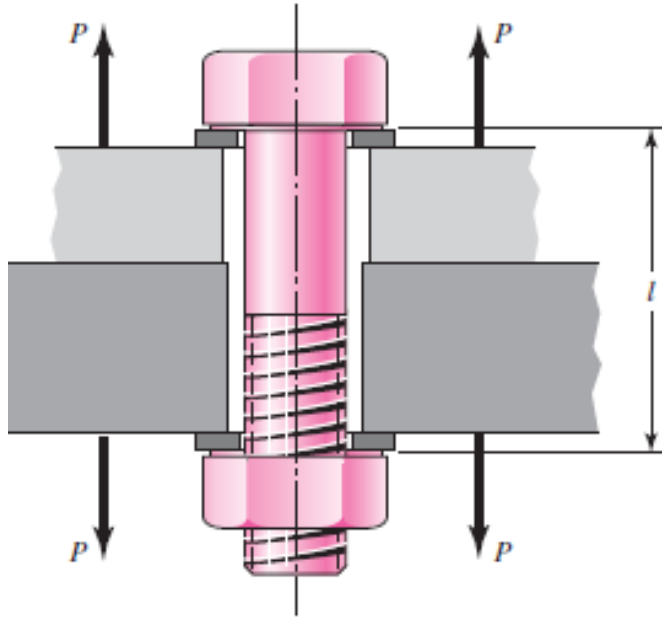


Figura 5: Perno sujeto a tensión [2].

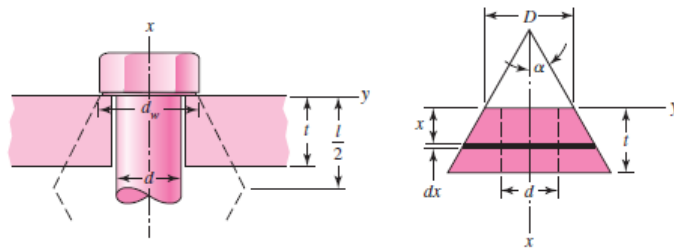


Figura 6: Método de conos [2].

- $d$ : Diámetro del tornillo/perno.
- $D$ : Diámetro del cono al inicio de sección [2]

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i} \quad (11)$$

Igualmente se encuentran casos donde puede simplificarse esta ecuación, un claro ejemplo de esto es al utilizar elementos que posean el mismo modulo de elasticidad, tomando en cuenta también que por lo general el diámetro de las arandelas es 1.5 veces el diámetro del tornillo, se tiene que  $k_m$  se calcula de acuerdo a la ecuación [12], luego de obtener las constantes de rigidez tanto del sujetador como de los elementos, se debe analizar primero el término de precarga.

$$k = \frac{0.5774 * \pi * E * d}{2 * \ln 5 * \frac{(0.5774 * l + 0.5 * d)}{(0.5774 * l + 2.5 * d)}} \quad (12)$$

### Precarga ( $F_i$ )

La precarga también conocida como pre-tensión en el perno consiste en generar una flexión inicial en el tornillo antes de exponer la unión a las cargas para las cuales se diseña, esta flexión se logra apretando la tuerca, esta tensión ayuda a asegurar que las piezas se una y no exista ningún juego entre estas. Otro factor importante de la precarga es que si esta es demasiado pequeña o no se aplica de forma correcta el tornillo puede llegar a no cumplir su labor y las piezas se pueden llegar a separar. Para poder calcular la precarga necesaria para un tornillo se puede utilizar la tabla 8-11 encontrada en [2] y se utiliza el valor de resistencia de prueba mínima ( $S_p$ ) además de la ecuación [13] en la que como se puede apreciar se utiliza el área transversal de la rosca.

$$F_i = 0.75 * A_t * S_p \quad (13)$$

Luego de tener la precarga necesaria para el tornillo, se calcula la fracción de la carga externa soportada por el perno (C) para esto se utilizan los valores de rigidez encontrados previamente y se hace uso de la ecuación [14]. Teniendo todos estos datos, ya es posible realizar el cálculo del factor de seguridad para una determinada carga externa en este caso P. Esto se logra con el uso de la ecuación [15]. Donde el único término nuevo es N, que en este caso se refiere al número de pernos o tornillos que se utilizarán en la unión.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (14)$$

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{C(P/N)} \quad (15)$$

### 5.5.2. Uniones con cargas en cortante

Cuando se somete un perno o un tornillo e inclusive un remache a una carga cortante, se considera a estos elementos como una barra circular del material sometida a una carga es por esto que el esfuerzo en un remache en cortante se calcula de la ecuación [16]. Otro punto a tomar en cuenta es que se llega a generar un esfuerzo de flexión al sujetador lo cual igualmente puede provocar que el elemento falle, este se calcula con la ecuación [20]. Como se puede apreciar, ambas ecuaciones son similares, en donde la única diferencia visible reside en si el símbolo del esfuerzo utilizado. Sin embargo, en el primer caso se calcula el esfuerzo que provoca fallos directamente por cortante tanto en el elemento como en el sujetador, mientras en el segundo caso, el fallo ocurre por aplastamiento. Debido a que este tipo de esfuerzos empiezan a tener un efecto significativo en el sujetador cuando se pierde la fuerza de precarga, se analizan, en este documento, únicamente algunos casos críticos en este tipo

de diseños, estos casos son: Aplastamiento del perno (eq 18), cortante de un perno (eq 18), aplastamiento de los elementos (eq 19) y cortante del borde (eq 20). en estas ecuaciones  $t$  se refiere al espesor de la placa que aplica la fuerza sobre el tornillo,  $S_y$  siempre pertenece al elemento,  $A_r$  es el área transversal roscada del tornillo y  $a$  es la distancia desde el borde del agujero del sujetador a el borde.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (16)$$

$$\sigma = \frac{F}{2 * t * d} = \frac{S_p}{n} \quad (17)$$

$$\sigma = \frac{F}{2 * t * d} = \frac{S_y}{n} \quad (18)$$

$$\tau = \frac{F}{4 * A_r} = \frac{0.577 * S_p}{n} \quad (19)$$

$$\tau = \frac{F}{4 * a * t} = \frac{0.577 * S_y}{n} \quad (20)$$

## 5.6. Soldaduras

Dentro del proyecto, el diseño de piezas mecánicas y los requerimientos de las mismas, se utiliza la soldadura, ya que existen determinadas geometrías que resultan muy complicadas al momento de querer unir estas con otros elementos como tornillos o pernos. Como es mencionado en [2], el uso de la soldadura se ha vuelto muy popular ya que no solamente provee una solución rápida a la unión de piezas complejas, sino que también ha pasado a ser una opción más viable económicamente.

La soldadura es entonces una forma muy conveniente de poder unir dos piezas lo cual nos ayudara más adelante al momento de realizar un diseño para las modificaciones, es por esto, que se prosigue con una breve descripción de como es que se diseña una soldadura y el cálculo para la elección correcta del electrodo. Estos cálculos pueden ser realizados fácilmente a mano o bien con una hoja de cálculo en cualquier programa igualmente se retomará el tema cuando se hable de diseño en cuyo caso se utilizara la herramienta INVENTOR para poder calcular la cantidad de material de aporte a utilizar o bien cuantas libras de electrodos serían necesarios al momento de realizar las modificaciones, algo que igualmente puede traducirse en costos por soldadura. Para esto nos basaremos en los métodos utilizados en la octava edición de "Diseño en ingeniería de Shingley" donde se nos presentan distintos aspectos y métodos a tomar en cuenta para poder determinar la soldadura a utilizar.

## Soldadura a flexión

La mayoría de los casos mostrados en las estructuras diseñadas, es el caso de soldaduras sujetas a un esfuerzo de flexión. esto debido a que las estructuras construidas para este diseño, en su mayoría asemejan a una viga empotrada con una fuerza en uno de los extremos. Para poder realizar los cálculos, es necesaria una gran cantidad de información extra acerca de las soldadura, se inicia este cálculo determinando la fuerza de corte primario que se presenta en el lugar siendo esta la mostrada en la ecuación [21]. Igualmente se calcula un corte de torsión ecuación [22]. Para poder entender a que área nos estamos refiriendo en la ecuación [21] se tiene que tomar en cuenta primero otra medida propia de la soldadura.

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (21)$$

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad (22)$$

Esta medida es coincida como garganta, denominada mayormente con la letra h. esta medida es utilizada para poder medir el grosor efectivo que posee el cordón de soldadura. La forma en que la garganta de una soldadura es medida, depende mucho del la forma en que se unen ambas piezas. En la mayoría de los cálculos, lo que se hace poner a esta medida un valor fijo con el fin de simplificar estos, igualmente se convierte una medida que puede cambiarse con el fin de mejorar el soporte de la estructura en general.

En la ecuación [23] se muestra como se calcula el segundo momento de área I, en la ecuación se pueden apreciar distintas variables, estas son: b, por lo general, representa la distancia entre dos cordones paralelos verticales asociados a una misma pieza; d, significa el largo de los cordones paralelos verticales mientras el factor  $I_u$  se refiere al segundo momento de área unitaria, este valor se calcula dependiendo de la forma que presente la soldadura o bien la pieza a soldar, El como calcular este valor, se puede apreciar en la Figura [7].

$$I = 0.707hI_u = 0.707h\frac{bd^2}{2} \quad (23)$$

Igualmente se deben de tomar en cuenta otros factores al momento de realizar un diseño de soldaduras adecuados, en la literatura se resalta el hecho de que uno de los factores más importantes a tomar en cuenta es tanto la habilidad y experiencia del operador, así como también la rapidez con que este puede realizar el proceso de soldada. Esto último se debe principalmente a que mientras más rápido se realice el proceso es menos factible que se generen desperfectos en el cordón. Sin embargo, en el diseño mostrado en [2] se muestra cómo calcular o bien diseñar una soldadura tomando en cuenta un determinado factor de seguridad. En este caso se toman en cuenta los límites elásticos de los materiales, tanto los de las piezas a soldar como del material de aporte. Para esto se utilizará principalmente el criterio de energía de distorsión como forma de calcular el factor de seguridad que posee la unión soldada, ecuación [24]. Igualmente se puede calcular este factor tomando en cuenta el cedido de la soldadura para el metal de aporte ecuación [25].

	$A = 0.707hd$	$x = 0$ $y = d/2$	$I_y = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_y = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_y = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $y = d/2$	$I_y = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$x = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_y = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_y = \frac{d^2}{6}(3b + d)$

Figura 7: Propiedades de soldadura sujeta a flexión tomado de [2].

$$N = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (24)$$

$$N = \frac{S_{sy}}{\tau_h} * \frac{\tau_{perm}}{\tau} \quad (25)$$

En estos casos el termino  $S_{sy}$  se refiere a los esfuerzos permisibles para el material de aporte, este se calcula aplicando un factor determinado al limite elástico del material. Este factor es calculado según el tipo de soldadura que se estará realizando, así como también el tipo de carga que soportará. En el caso de la ecuación [25] el termino  $\tau_h$  significa el esfuerzo cortante permisible en la garganta. Se tienen igualmente las consideraciones para el diseño de soldadura y elección de soldadura planteadas en [15], en donde se habla más de consideraciones practicas y no tanto en forma matemática para el diseño, estas son:

- Tomar en cuenta la forma de la estructura por soldar, el tamaño de los componentes.
- Métodos de manufactura utilizados para la creación de los elementos a soldar ( Esto debido a que algunos procesos puede requerir que se le de un previo tratamiento a la pieza).
- La ubicación del área y la accesibilidad de un operador.
- Efectos de distorsión o decoloración ( Esto tiene que ver mayormente con la apariencia que se le quiere dar al área soldada, dependiendo de la estética de la estructura).
- El tamaño del cordón debe ser el mínimo requerido, para ahorrar el material de soldadura lo más posible.

## 5.7. Diseño de banda transportadora

Para poder diseñar la banda transportadora encargada de transportar los envases donde se depositara el producto, se seguirá el método encontrado en [3]. En este documento se encuentran los pasos para el diseño de una banda transportadora en diversas formas, así como también se encuentran los procedimientos de cálculo de cada uno de sus componentes. En este caso se realizará el diseño para una banda transportadora con una plancha en la parte superior y rodillos guía en la parte inferior. un esquema simplificado de este tipo de banda se puede apreciar en la Figura 8. En este caso se seguirán los pasos recomendados para poder realizar dicho diseño y poder determinar así que componentes son necesarios para poder fabricar la banda transportadora.

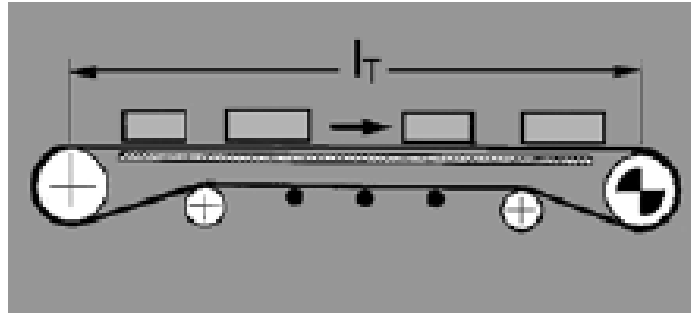


Figura 8: Bosquejo simplificado de banda transportadora [3].

El primer paso a seguir para el diseño de bandas transportadoras según [3] es el cálculo de la fuerza tangencial máxima o  $F_u$  la cual toma en cuenta los pesos de todos los elementos presentes en la banda. La fórmula para calcular dicha fuerza es la mostrada en la ecuación [26]. En esta ecuación  $\mu_T$  representa el coeficiente de fricción presente entre la banda y la mesa sobre la cual esta pasa en la parte superior,  $\mu_R$  representa el coeficiente de fricción de la banda con los rodillos guía,  $m$  representa la masa de la mercancía transportada,  $m_B$  es la masa de la banda y  $m_R$  es la masa de todos los rodillos menos el rodillo motriz.

$$F_u = \mu_T * g * (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R * g * (m_R + \frac{m_B}{2}) \quad (26)$$

Como siguiente punto se calcula la fuerza máxima de tracción presente en la banda, esta se calcula aplicando a la fuerza tangencial un factor  $C_1$  El cual depende de diversos factores tanto del rodillo motriz como de la banda. En la Figura 9 se pueden encontrar los valores que este factor puede llegar a tener. En este caso el ángulo de contacto  $\beta$  se refiere a el ángulo con el cual la banda deja de tener contacto con el tambor motriz. Los demás factores, se refieren a las condiciones de fabricación tanto de la banda como del tambor motriz, igualmente se encuentran las condiciones de trabajo de los mismos. Tendiendo ya un factor  $C_1$  la ecuación [27] muestra como calcular la fuerza máxima de tracción o  $F_1$  [3].

$$F_1 = F_u * C_1 \quad (27)$$

Los siguientes pasos consisten en el cálculo de los elementos presentes en la banda como el diámetro mínimo del tambor motriz y la potencia de motor. El cálculo de el diámetro

Recubrimiento de la cara Inferior Slegling Transilon	V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H, V2H, V5H		
Angulo de contacto $\beta$	180°	210°	240°	180°	210°	240°
<b>Tambor de acero liso</b>						
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5
Mojado	3,7	3,2	2,9	5,0	4,0	3,0
<b>Tambor con forro de fricción</b>						
Seco	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,4
Mojado	1,8	1,6	1,5	3,7	3,2	2,9

Recubrimiento de la cara Inferior Slegling Transilon	0, U0, NOVO, E0, A0, T, P			TX0 (AmpMiser)		
Angulo de contacto $\beta$	180°	210°	240°	180°	210°	240°
<b>Tambor de acero liso</b>						
Seco	2,1	1,9	1,7	2,9	2,6	2,3
Mojado	No recomendable			No recomendable		
<b>Tambor con forro de fricción</b>						
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5
Mojado	2,1	1,9	1,7	No recomendable		

Figura 9: Cálculo de factor  $C_1$  [3].

del tambor motriz se encuentra en la ecuación [28], en esta ecuación se tiene los términos  $b_0$  el cual se refiere al ancho de la banda transportadora mientras  $\beta$  es el mismo ángulo que se utiliza para el cálculo del factor  $C_1$ . Al igual que  $C_1$  el término  $C_3$  se refiere a un factor que debe ser determinado dependiendo del tambor motriz. En el cuadro [2] se muestra como calcular dicho factor tomando en cuenta el recubrimiento de la banda utilizado. Luego de esto en la ecuación [29] se muestra la potencia necesaria en el tambor motriz para poder hacer funcionar a la banda mientras la ecuación [30] muestra como calcular el motor necesario para movilizar la banda. En la ecuación [29] el término  $v$  se refiere a la velocidad lineal que se desea tener en la banda mientras en la ecuación [30] el término  $n$  significa la eficiencia que se espera tener del motor.

$$d_A = \frac{F_u * C_3 * 180}{b_0 * \beta} \quad (28)$$

$$P_A = \frac{F_u * v}{1000} [kW] \quad (29)$$

$$P_M = \frac{P_A}{n} [kW] \quad (30)$$

Por último, se debe de calcular la elongación que la banda transportadora debe tener al momento de instalar la misma, la elongación de montaje se calcula dependiendo de la posición en la cual se encuentre el tambor motriz. En este caso se presentan tres distintos métodos de cálculo para este factor, el primero mostrado en la ecuación [31] es descrito en [3] como "elongación de montaje con accionamiento de cabeza". el término de cabeza se refiere a que el tambor motriz se encuentra en el extremo hacia el cual se mueven los objetos al estar en la banda transportadora en funcionamiento. El siguiente término descrito en el documento se calcula con la ecuación [32] este es nombrado como "montaje con accionamiento de cola", en este el movimiento de los objetos sobre la banda transportadora es alejarse del tambor motriz, el último perteneciente a la ecuación [33] se denomina "elongación de montaje

[HTML]67FD9A	Recubrimiento de la cara inferior	V3,V5,U2, A5,E3	V1,U1,UH	0,Uo,NOVO, T,P
[HTML]68CBD0	[HTML]68CBD0Tambor de acero liso			
Seco		25	30	40
Mojado		50	No recomendado	
[HTML]68CBD0	[HTML]68CBD0Tambor con forro de fricción			
Seco		25	25	30
Mojado		30	40	40

Cuadro 2: Cálculo del factor c3

con estación de accionamiento subterránea", denominado así ya que el tambor motriz se encuentra bajo la banda transportadora.

$$\varepsilon = \frac{\frac{F_u}{2} + 2 * F_2}{2 * K_1 * b_0} \quad (31)$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{F_u}{2} + 2 * F_2 + F_u}{2 * K_1 * b_0} \quad (32)$$

$$\varepsilon = \frac{F_u * (C_1 - K)}{K_1 * b_0} \quad (33)$$

En las ecuaciones anteriores se introducen varios nuevos términos entre los principales tenemos  $F_2$  el cual se calcula:  $F_2 = F_1 - F_u$  El siguiente término es  $K_1$  el cual es mencionado en [3] como un valor dado en el catalogo de bandas ya que este varia dependiendo del modelo. Otro valor a tomar en cuenta es  $K$  ya que este depende de en que en que dirección se encuentra girando el tambor motriz este posee por lo general un valor de 0.62 a menos que se indique lo contrario.

## 5.8. Vibraciones mecánicas

Una vibración como la define [16] es una oscilación que se repite en un cuerpo rígido. Por lo general las vibraciones en la maquinaria industrial no son deseadas en algunas estructuras ya que reducen el tiempo de vida de una máquina o de un determinado elemento. El origen de las vibraciones puede ser de muchas formas, en algunas ocasiones este se genera por el movimiento constante de personal y/o maquinaria pesada cerca del elemento en cuestión, por lo tanto siempre se debe de procurar el evitar estas vibraciones en la mayor medida de lo posible, o bien buscar la manera de reducir estas con el fin de que reducir los esfuerzos generados en el elemento lo más posible. En la actualidad existen una gran cantidad de métodos con el fin de poder realizar un análisis de vibraciones a un elemento mecánico, sin embargo el método que ha ganado popularidad en los últimos años, es el uso de elementos finitos.

### 5.8.1. Elementos finitos

El método de elementos finitos es un método numérico que puede aplicarse en diversas áreas de la ingeniería mecánica ya que este nos permite analizar, esfuerzos, deformaciones, comportamiento de un flujo y por supuesto vibraciones. Este tipo de análisis se utiliza cuando la geometría del elemento es muy compleja o bien cuando la distribución de cargas dentro del mismo igualmente es muy complicada como para poder realizar un análisis de forma manual. Lo que este método hace es el dividir la pieza en pequeños segmentos con una geometría determinada llamados "elementos", y los cálculos se realizan en cada uno de los "nodos" formados por cada uno de los elementos [17]. a esta estructura de elemento finitos se le conoce por lo general como "mallado" que al aplicar este elemento a una pieza se genera una especie de malla alrededor de la pieza. El mallado es una parte importante de un diseño con elementos finitos, ya que entre mejor sea la selección y el espesor del mallado mejor y más precisos serán los resultados obtenidos un ejemplo de mallado puede ser encontrado en la Figura [10].

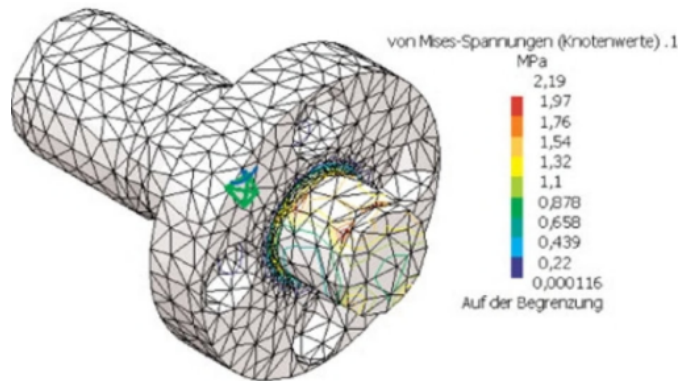


Figura 10: Mallado de una pieza [18].

El proceso de elementos finitos, es muy popular en distintas herramientas electrónicas de diseño, por mencionar algunas encontramos: ANSYS, NASTRAN DE INVENTOR, CATIA, etc. y el proceso que se utiliza para poder realizar un análisis con elemento finitos en todos estos softwares es muy general ya que se siguen una serie de pasos los cuales son [17]:

1. Definición de la pieza: La mayoría de programas CAD por lo general este paso es omitido ya que se puede realizar el análisis a una pieza existente previamente realizada en algún proyecto. En otros programas dedicados mayormente al análisis como ANSYS, este paso por lo general consiste en exportar una pieza hecha en otro entorno de diseño, aunque bien posee su propio editor pero es por lo general es menos efectivo que otros.
2. Generación del mallado: En esta parte del proceso, se define el mallado que se aplicara a la pieza, en la actualidad los programas poseen una gran libertad en cuanto a la definición del mallado ya que estos permiten aumentar la densidad del mismo, así como también permiten el elegir la forma del mallado entre una gran cantidad de geometrías.
3. "Set-up": Este paso del proceso consiste en definir todas las condiciones físicas del problema. Es en esta parte donde se definen características del material utilizado como

el módulo de elasticidad, entre otros. Igualmente se definen en esta parte, las cargas y restricciones del problema inclusive si hay alguna idealización a tomar en cuenta en el programa.

4. Resultados: Esta es la etapa final del proceso de análisis ya que es aquí donde se pueden ver los resultados deseados que poseen las cargas en el elemento estudiado [17].

## 5.9. PLC

Los controladores lógicos programables o PLC **PLC** como son mayormente conocidos, son una forma específica de microprocesadores que utilizan una memoria programable, la cual indica al controlador que operación realizar ya sea matemática, lógica, secuencial, conteo o inclusive operaciones relacionadas con el tiempo, con el fin de controlar un proceso o una máquina dentro de una línea de producción. Es por esto último, que el uso de un PLC se ve enfocado principalmente en el área industrial. Con estos se busca en la mayoría de los casos, el formar un lazo cerrado donde el PLC lee constantemente las entradas, que son sensores en campo, para poder determinar la salida o bien como se comportaran los actuadores para que la máquina llegue a un estado determinado [19]. Si bien los PLC pueden ser vistos como dispositivos similares a una computadora, un PLC está diseñado de una forma más robusta creados especialmente para tareas de control por lo tanto estos poseen las siguientes características:

- Diseñado para soportar vibraciones, grandes cambios de temperatura, humedad y ruido.
- Poseen una interfaz para entradas y salidas.
- Son más fáciles de programar y poseen lenguajes de programación sencillos [19].

Los primeros controladores que fueron fabricados consistían mayormente de una serie de compuertas lógicas y la forma de actuar del controlador se determinaba cambiando cables físicamente entre las distintas compuertas para. En la actualidad un PLC se encuentra constituido en distintos componentes digitales entre estos tenemos : unidad de procesamiento, una memoria, una fuente de poder, entradas y salidas, entre otros. Un esquema general de como se encuentra compuesto un PLC es mostrado en la Figura [1]. Igualmente estos se encuentran en una gran cantidad de presentaciones y con una gran cantidad de complementos que permiten que un PLC logre controlar sistemas más complicados. Entre los módulos más conocidos se encuentra el de entradas y salidas analógicas que permiten a un PLC interactuar de una forma más directa con su entorno al igual que el uso de módulos para conexión de red que permiten crear una gran cadena de controladores o bien controlar dispositivos más complejos como lo pueden ser varedores de frecuencia.

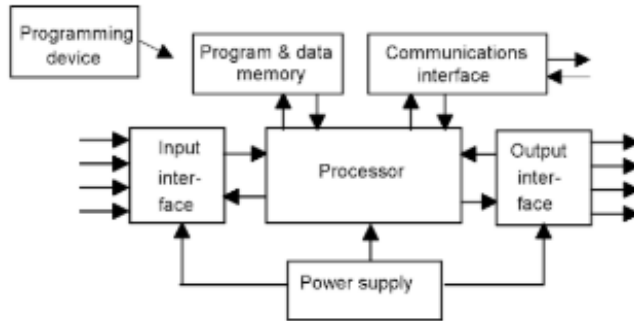


Figura 11: Esquema general de como se compone un PLC [19].

## 5.10. Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia o VDF son dispositivos electrónicos del área de la electrónica de potencia utilizado en la industria para poder controlar la velocidad de un motor. Esto lo logra cambiando la frecuencia de alimentación del motor; la ventaja de utilizar estos dispositivos es que estos trabajan con parámetros que pueden ser modificados para poder ajustarse a las necesidades que se le pidan. Entre estos parámetros encontramos: Velocidad máxima, velocidad mínima, velocidad estimada del motor. Estos dispositivos pueden ser configurados para funcionar de muchas maneras, en los casos más sencillos estos se conectan directo a un motor y a un switch que permite el cambio de encendido a apagado de la forma más sencilla. En aplicaciones más exigentes, es posible realizar una conexión en red del variador de frecuencia con otro elemento como un PLC que permita controlar un proceso que requiera distintas velocidades, funciones que dependan completamente del tiempo entre otros [20]. La programación de un variador de frecuencia puede realizarse de diversas formas entre estas encontramos:

- Desde el panel de operación que se encuentra incorporado en el variador
- Desde una terminal de programación externa, en este caso se pueden realizar tareas más complejas ya que este método permite una programación avanzada.
- Desde un ordenador, esto se puede realizar utilizando alguna interfaz de comunicación específica [20].

## 5.11. Sensores

Los sensores son una parte importante al momento de querer realizar un sistema de control que permita la automatización de una máquina o bien una línea de producción completa, ya que son estos los que nos permitirán obtener información de como se esta comportando la variable que se desee controlar. Para esto los sensores se encargan de proporcionarnos información de una variable física la cual es convertida en una señal eléctrica ya sea digital o analógica que nos permite por uso de micro-controladores alterar el estado de un actuador. Los sensores se encuentran fuertemente ligados a los transductores ya que todo sensor lleva

por lo menos un transductor, siendo la única diferencia entre un transductor y un sensor es que este último no solamente cambia el dominio de la variable trabajada, sino que la señal que un sensor genera representa un dato que puede ser utilizado por un controlador. En [21] se nos da una definición sobre esto último indicando que el sensor es "un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida". Tomando lo anterior en cuenta los sensores pueden llegar a clasificarse de dos formas: por el principio de transducción utilizado y por el tipo de variable medida. En este caso nos enfocaremos en la segunda clasificación utilizada ya que en ese proyecto se centra mayormente en medir una variable sin importar tanto como es que esta se mide. Por lo cual entre esta clasificación las variables pueden ser medidas son las siguientes:

- De velocidad y aceleración.
- De húmedas y temperatura.
- De fuerza y deformación.
- De flujo y presión.
- De color y luz.
- De posición.
- Biométricos.
- De corriente [21].

Al momento de elegir un sensor, no se debe determinar solamente por el tipo de variable que este mide, ya que existen diversas características que nos ayudan a determinar cual sensor cumple con los requisitos necesarios e inclusive se convierten en un factor determinante ya llegan a determinar el costo de un sensor, las principales características estáticas son: Sensitividad, rango, precisión, exactitud y resolución. Igualmente se tienen las características dinámicas: Tiempo de respuesta, Histéresis, linealidad dinámica, etc. Si bien todas estas características son importantes, a continuación se mencionaran algunas de las que se tomaran en cuenta para la selección de un sensor.

- Sensitividad: Esta es definida como el cambio mínimo necesario en la entrada que llegue a generar un cambio perceptible en la salida. Esto es generalmente representado en una gráfica conocida como curva de salida [21].
- Rango: Este define el valor mínimo y máximo que un sensor puede detectar.
- Precisión: Esta es definida como la repetitividad del sensor o bien cuantas veces al medir la variable física con el mismo valor el resultado del sensor debe siempre ser el mismo.

## Sensores fotoeléctricos

Estos sensores utilizan un haz de luz para poder detectar la presencia de un objeto. Estos sensores suelen remplazar a los sensores capacitivos cuando es necesario detectar un objeto a largas distancia o cuando el objeto a detectar no es metálico. Estos pueden inclusive ser utilizados para poder detectar objetos transparentes de ser necesario, algo que nos ayuda en este caso ya que los botes utilizados son transparentes. [22].

## Sensores de peso

Estos sensores utilizan en su mayoría un principio piezo-eléctrico para su funcionamiento, Basándose en la deformación que una fuerza aplica al elemento cambiando su valor resistivo. Más adelante se discutirá el por qué se mencionan estos dos tipos de sensores y el uso que se le busca dar a los mismos.

### 5.11.1. Sensores inductivos

Este tipo de sensores, utilizados para la detectar la presencia de objetos metálicos con la ayuda de una bobina y el uso de campos magnéticos. Este tipo de sensores en la actualidad se han visto remplazados por tecnologías más modernas como lo son los sensores de efecto hall para la detección de campos magnéticos.

## 5.12. Actuadores

Los actuadores son dispositivos que tienen la capacidad para poder ejercer una fuerza que cambia la posición, velocidad o un cambio de cualquier tipo sobre un elemento, estos por lo general se clasifican en dos distintos grupos: Por el tipo de energía que utilizan y por el tipo de movimiento que generan. La primera clasificación divide a los actuadores en actuadores neumáticos, actuadores hidráulicos y actuadores eléctricos. Esta clasificación puede verse con mayor detalle en la Figura [12].

En esta investigación igualmente nos centraremos en describir a mayor profundidad los elementos utilizados en el diseño de las modificaciones para que no sea necesario el describir cada uno de los elementos presentados en la Figura [12]. En las modificaciones se utilizaron solamente actuadores eléctricos como lo son motores eléctricos de corriente alterna.

### 5.12.1. Actuadores eléctricos

Estos actuadores se caracterizan por convertir energía eléctrica en energía mecánica tanto rotacional como traslacional. Estos son en la actualidad de los actuadores más utilizados en el ámbito industrial, esto debido a que la energía eléctrica es uno de los recursos más accesibles en la actualidad. Dentro de esta categoría de actuadores se puede encontrar una subdivisión

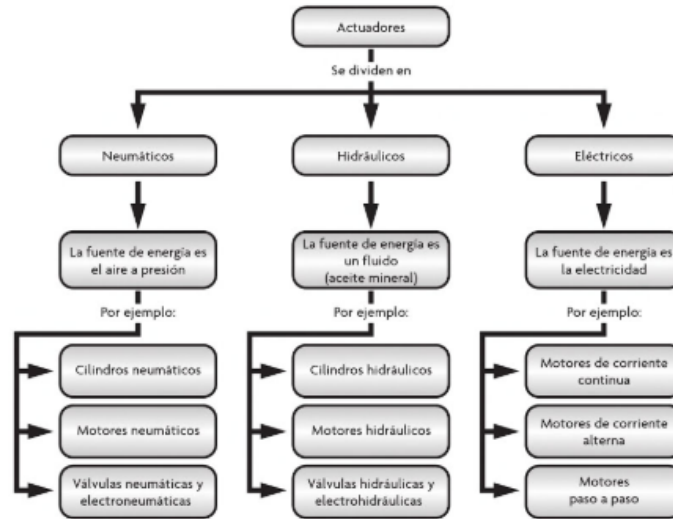


Figura 12: Clasificación de los actuadores según la energía que utilizan [21].

de los mismos dependiendo del tipo de energía eléctrica con la que estos son alimentados [21]. Estas son:

### Corriente alterna

Estos actuadores son alimentados con un flujo eléctrico en el cual el voltaje cambia de dirección de forma periódica, esto debido al cambio de polaridad de la tensión con la cual se alimenta al motor. Estos son utilizados en aplicaciones donde se requiere cambiar la velocidad de forma constante [21].

### Corriente directa

Estos a diferencia de los actuadores de corriente alterna, utilizan un flujo eléctrico que en un solo sentido. Los motores que utilizan este tipo de corriente se encuentran compuestos por dos distintas partes conocidas como rotor y estator. En este caso el rotor consiste en la parte móvil encargada de transmitir la potencia mientras el estator constituye la parte inmóvil del motor esta parte es encargada igualmente de suministrar la fuerza electromagnética para generar el movimiento del estator. En este tipo de actuadores también es posible modificar la velocidad al momento de aumentar o disminuir el voltaje de alimentación [21].

### Paso a paso

Este tipo de motor puede utilizar cualquiera de los dos tipos de corrientes mencionadas con anterioridad, la diferencia radica en que este trabaja con impulsos eléctricos lo cual le permite dar giros angulares discretos. Estos pueden por lo tanto dar giros en determinada cantidad de grados haciéndolos perfectos para aplicaciones en las cuales se requiera posiciones

exactas del actuador o bien aplicaciones de mayor preposición de las que se pueden lograr con actuadores o motores convencionales [21].

### 5.12.2. Actuadores neumáticos

Este tipo de actuadores, se basan en transformar la energía potencial del aire en energía ya sea lineal o bien rotativa. Estos son mayormente utilizado en cilindros que actúan como pistones los cuales producen un desplazamiento determinado [23]. Este tipo de elementos son muy utilizados en la industria debido a que poseen un tiempo de respuesta superior a los sistemas hidráulicos, aunque poseen la desventaja de no soportar grandes fuerzas como si pueden hacerlo los cilindros hidráulicos. Este tipo de cilindros pueden dividirse en cilindros de efecto simple y cilindros de doble efecto. Los primeros se basan en el uso del aire para realizar desplazamiento en una sola dirección y retornan a su posición original por medio de otras fuerzas como resortes o imanes. Mientras los cilindros de doble efecto, utilizan la fuerza del aire para moverse en ambas direcciones.

---

### Recolección de datos:

---

Para poder realizar las distintas modificaciones a la máquina designada, se hicieron distintas mediciones con el fin de poder tomar en cuenta tanto el espacio disponible como las fuerzas que deben ser soportadas en dado caso estas afecten la integridad de la estructura o bien puedan llegar a afectar la calidad del producto. Para esto se dividieron las medidas tomadas en dos distintos grupos, aquellos que se relacionan directamente con el producto y aquellos con la estructura con la que ya se cuenta dentro de la línea de producción. La máquina en cuestión puede ser apreciada en la Figura [13](#).



Figura 13: Máquina a la que se diseñarán modificaciones.

## 6.1. Medidas relacionadas con el producto

La primera medida importante a tomar en cuenta para el diseño de la máquina, es el peso de cada una de las unidades del producto. El peso es importante al momento de diseñar los distintos contenedores por los cuales pasara el producto previo al envasado, como son la tolva y otras piezas encargadas de transporte. Esto debido a que las piezas se deben diseñar para soportar tanto el peso como el constante choque entre piezas. Para poder proceder con el diseño se tomaron distintas muestras del producto y se pesaron tanto de forma individual como grupal, esta última medida se realizó para poder ver si con distintos conjuntos el peso total se ve afectado de alguna forma.

Otro motivo para realizar esta prueba es el poder verificar cuanto peso es agregado en conjunto por la envoltura de aluminio con el cual se encuentran cubiertas la unidades y si a larga escala este puede afectar de alguna forma el peso total a tomar en cuenta.

peso (g)	
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5
6	5
7	5
8	5
9	5
10	5

Cuadro 3: Pesos por unidad de producto

Los pesos de 10 distintas muestras son mostrados en la tabla 1, el peso estándar de cada una de las pelotas de chocolate es de 5 gramos. Para poder obtener este peso, se pesaron las muestras con una pesa digital de cocina con una precisión de  $\pm 0.5$  gramos. Debido a esto se decidió realizar la prueba de el peso de varias unidades. Esto para poder tener una medida más precisa del peso que posee cada una de las unidades con el fin de poder verificar si un método de conteo por peso es completamente viable. Para poder ver este efecto, se midieron lotes de 5 unidades agregando 5 unidades por cada medida para poder verificar. En el Cuadro 4 se muestran los valores obtenidos al momento de realizar dichas mediciones.

unidades	peso (g)
5	26.5
10	53
15	84.8
20	112
25	137.8
30	169.6

Cuadro 4: Pesos múltiples unidades agregando 5 cada medición.

Estas medidas serán tomadas en cuenta más adelante, al momento de poder elegir un

método de conteo que permita el conteo exacto de las unidades que son envasadas.

Otra medida importante a tomar en cuenta es el diámetro que poseen las esferas de chocolate. Esta medida se toma en cuenta mayormente para poder diseñar las distintas modificaciones que incluyen desde la tolva hasta el riel encargado de guiar y alinear cada una de las esferas. El diámetro de cada esfera es de 2 cm incluyendo la cobertura de aluminio. Como se mencionó anteriormente estas medidas serán utilizada para poder determinar un método de conteo que se lo más exacto posible en cuento al conteo de unidades.

## 6.2. Medidas relacionadas con la estructura

Otras medidas que deben ser tomadas en cuenta, son las de la estructura que actualmente se posee para poder envasar el producto. Igualmente se debe tener en cuenta el espacio que aún se tiene disponible para poder realizar estas modificaciones ya que no se debe interferir con otras máquinas presentes dentro de la misma línea. en la figura siguiente se muestra un boceto diseñado en inventor, con la forma de la estructura, si bien este puede parecer bastante simple permite en un esquema mayor ver como es que las modificaciones se verán en la máquina y si estas se adecuan al espacio necesario. son presentadas en el cuadro 5.

<b>Máquina</b>	<b>valor (m)</b>
frente máquina	1
Alto	1.43
Ancho	1.24
<b>Tolva</b>	
Ancho	0.6
Alto	0.4
Frente	0.62
<b>Espacio disponible</b>	
Espacio sobre la máquina	1.5
Espacio lateral ambos sentidos	2
Espacio detrás de la máquina	0.6

Cuadro 5: Medidas de la máquina y espacio disponible para modificaciones.

Con todas estas medidas mostradas anteriormente, se puede iniciar el diseño de las modificaciones de la envasadora de unidades de chocolate. Estas medidas no ayudarán mayormente con el diseño mecánico de las distintas piezas, con el fin de poder asegurar que se soporten las distintas fuerzas presiones que las cargas conjuntas de dicho producto puedan generar.

## 6.3. Selección de método de conteo

Para poder seleccionar un método de conteo adecuado para poder implementar en el conteo de unidades, se tomaron en cuenta distintos factores tomando en cuenta mayormente las propiedades físicas del producto. Por lo tanto teniendo en cuenta los datos presentados

en la sección 6 sobre el producto, se tiene que la medida que más sobresale del mismo es que el peso de las unidades, ya que este es constante o bien este se mantiene siempre con un valor de 5.33 g. en las distintas medidas realizadas. Por lo tanto el primer método considerado para realizar el conteo, es por medio del peso de las unidades. como se puede apreciar en la sección 7.5 sobre el contenedor previo al envasado, se empezó el diseño de las modificaciones para adaptarlas a este método.

### 6.3.1. Desventajas del conteo de unidades por peso

Uno de los principales obstáculos que se presento al momento de diseñar el resto de las piezas como la rampa, se hizo notar que no había una forma de poder extraer unidades en dado caso las depositadas en el contenedor superarán el valor requerido. Este problema se origina mayormente debido a que se necesitaría un determinado control de las unidades que pasan por la rampa lo cual implicaría que se utilizarían dos métodos de conteo por separado en dos distintas etapas del envasado, sabiendo que la implementación de dos métodos en una sola estructura no solo implica, una mayor complejidad en las estructuras por diseñar sino también un mayor costo en las modificaciones.

Otra de las desventajas encontradas en el uso de peso como medida de peso se encuentra en los sensores disponibles para poder realizar un prototipo de conteo. Esto se debe a que en los sensores de peso comerciales encontrados en Guatemala en distintas electrónicas poseen, detectan cambios mínimos de 100 gramos. También se menciona en el manual de uno de estos sensores, que se pueden llegar a detectar cambios de 20 gramos utilizando amplificadores operacionales. En la Figura 14 se muestra una gráfica obtenida de la hoja de datos de dicho sensor en donde se puede apreciar una configuración de divisor de voltaje con un OpAmp utilizando distintos valores de resistencia, como se puede apreciar otro inconveniente que surge al momento de amplificar la señal, es que esta pierde linealidad, lo cual dificulta el poder hacer un programa, para que el controlador a utilizar pueda determinar exactamente el voltaje que corresponde a la cantidad de unidades indicadas.

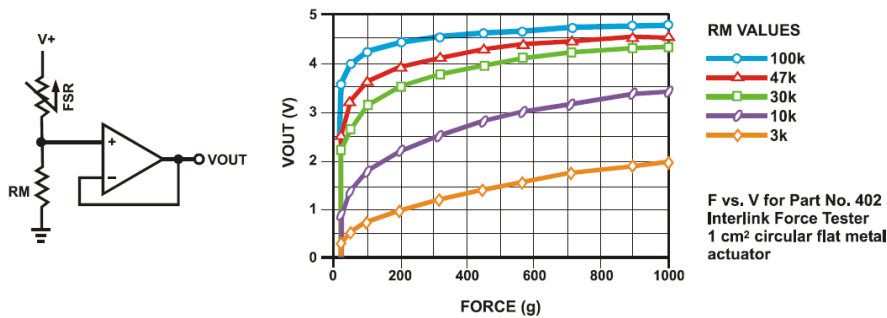


Figura 14: Gráfica voltaje vs fuerza.

Igualmente se posee distintas desventajas con el uso de este tipo de sensores ya que para poder tener una repetitividad aceptable, las cargas aplicadas siempre se apliquen en el mismo lugar con la misma distribución, algo que al momento de dejar caer las unidades en el contenedor es muy difícil de poder asegurar. Es por esto que se decidió cambiar el método de conteo y ya no se realizara en forma grupal y se cambio a un método de conteo

que permite tener un control individual de cada unidad o bien de una determinada cantidad de unidades fija.

### **6.3.2. Conteo con finales de carrera**

El siguiente método propuesto para el conteo de unidades, fue el uso de una rampa con guías que permitieran el paso de una unidad por carril, luego de esto se coloca un fin de carrera al final de cada uno de los carriles. El siguiente paso fue el diseño de un molinete que permita ordenar las esferas de chocolate antes de que estas pasen por los sensores permitiendo tener un mejor control sobre las unidades que pasan. Esto, evita que sea necesario el uso de alguna compuerta para controlar el paso de los chocolates al envase, este hecho puede parecer insignificante ya que el cierre de una compuerta efectivamente impide el paso de los chocolates, sin embargo en este caso la forma del producto dificulta que las puertas puedan ser cerradas con facilidad y en ocasiones se puede dar que estas se atoren en la tapadera o bien que el cierre de la compuerta facilite que entre una mayor cantidad de producto que el deseado. En este caso, es necesario el uso de fines de carrera especiales, ya que la mayoría de estos no son lo suficientemente sensibles para ser activados con fuerzas menores a 28 gramos o bien 1 onza. Es por esto que se utilizaran sensores especiales capaces de detectar hasta 1 gramo de peso.

Los primeros prototipos fueron estructurados para poder funcionar con este tipo de conteo, pero se presentaron distintos dificultades como el hecho de que al ser un sensor que necesita un accionamiento mecánico, no es posible detectar a alta velocidades cada una de las unidades individuales por lo cual este no fue tomado como método final de conteo.

### **6.3.3. Conteo con sensores inductivos**

Este tipo de sensores, se caracteriza principalmente por la detección de objetos metálicos, es por esto que no se consideraron en un principio ya que se planeo la estructura inferior de la rampa fabricada con una lámina metálica, sin embargo al realizar pruebas dejando pequeñas aberturas en la lámina se pudo apreciar que en definitiva es posible que el sensor no detecte la lamina y únicamente detecte las unidades. Por lo cual se decidió cambiar el sensor a utilizar por un sensor de tipo inductivo que es capaz de detectar las unidades sin causar interferencia a las mismas.



## 7.1. Tolva

Para poder asegurar un conteo exacto de las unidades a envasar, se decidió modificar la estructura de la tolva en la cual se deposita el producto. Principalmente para adaptar esta, al sistema de conteo que se utilizara. Ya que se busca tener mayor control sobre las unidades desde que estas salen de la misma.

Tomando en cuenta las medidas de la tolva que se posee actualmente en la estructura, se calculo el volumen de capacidad de la misma teniendo un valor de  $0.1488 m^3$ . Teniendo igualmente que cada esfera tiene un volumen de  $4.18e^{-6}$  se tiene que esta puede almacenar un total entre 36000 esferas de chocolate. Tomando en cuenta el espacio vacío que se deja entre cada una de las esferas de chocolate se puede redondear esta cifra a un valor aproximado entre 30000 a 28000 unidades en su máxima capacidad. Sabiendo que este es valor actual que caben dentro de la tolva y que esta necesita ser llenada nuevamente cada 20 minutos como se pudo apreciar durante la fase de investigación.

A diferencia de la tolva que se posee actualmente, se decidió colocar la tolva en una estructura metálica que permita que la tolva se pueda quitar con facilidad, esto se debe a que la tolva utilizada actualmente esta hecha en su parte inferior por una pieza fundida, atornillada a la estructura principal. El hecho de que esta pieza, se encuentre fundida no permite que la salida de la tolva se pueda ajustar de forma adecuada, en dado caso el método requerido requiera que la salida de la misma posea una forma específica. Esta estructura actualmente ocupa una gran cantidad de espacio en la parte trasera de la máquina siendo esta medida de 50 cm, en el diseño de la tolva se buscara reducir este espacio o bien eliminarlo ya que la posición actual dificulta el relleno de la tolva.

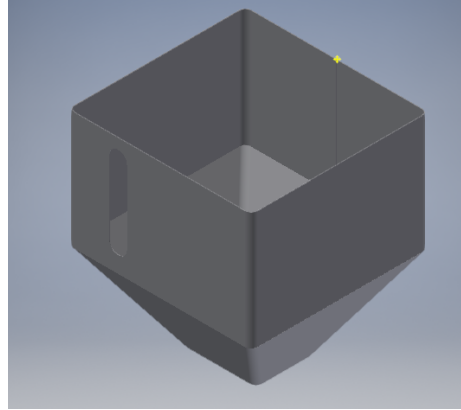


Figura 15: Diseño de la tolva a utilizar.

### 7.1.1. Rediseño de la salida de la tolva

Como se discutirá en próximas secciones, se decidió el colocar la rampa guía como 'tapadera' inferior de la tolva, esta parte contara con un vibrador para hacer que las unidades salgan de la tolva al igual que para alinear las mismas para su posterior envasado. Por esto mismo se buscó evitar el contacto entre la rampa y la tolva para evitar lo más posible la propagación de las vibraciones a áreas no deseadas de la estructura. Por esto mismo se agregaron dos estructuras más a la parte inferior de la tolva, estas tienen el fin de evitar que la tolva entre en contacto directo con la rampa y al mismo tiempo sirven como un mecanismo de compuerta para el producto. Estas piezas, así como la forma en que estas se acoplan a la tolva puede ser visto en las figuras de la [16](#) y [17](#). Esto se debe a que se busca que la compuerta sea de un material muy pesado frenando el movimiento de las unidades, provocando que estas se amontonen en la salida y entre ellas mismas eviten su salida, siendo el movimiento de vibración lo que permite que estas se reacomoden y puedan rodar nuevamente a través de la rampa.

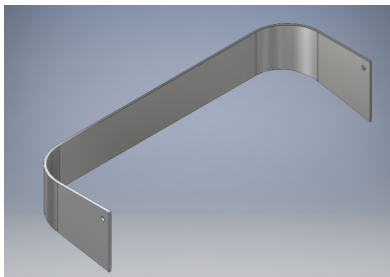


Figura 16: Salida de la tolva

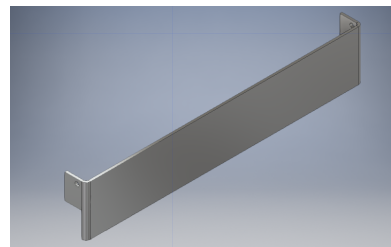


Figura 17: Tapadera de la tolva

Por último, se analizan los pins a utilizar en esta pieza, los cuales tienen un diámetro de 4mm y un largo de aproximadamente 1 cm. Estos se encontraran sometidos a fuerzas cortantes, donde el valor de la fuerza es determinado por el peso de la placa teniendo en cuenta que la placa al ser fabricada con acero inoxidable, posee un peso de 0.191 Kg dando una fuerza total de 1.87 N. el esfuerzo calculado en la ecuación [34](#) tiene un valor de 468 Pa utilizando como material de los pines una barrilla de acero inoxidable y teniendo en cuenta que el esfuerzo a la fluencia de dicho material es de 206 Mpa se puede utilizar el método de

distorsión para poder determinar el factor de seguridad de los pines tomando en cuenta que el factor de seguridad se calcula como en la ecuación 35, teniendo en cuenta la diferencia de magnitud en los esfuerzos aplicados y el del material elegido para pin, se puede asegurar que sí cumple.

$$\tau = F/A = 1.87/0.004 = 468Pa \quad (34)$$

$$n = 0.577 \frac{S_y}{\tau} \quad (35)$$

## 7.2. Estructura de soporte para tolva

La estructura mecánica diseñada para esta nueva tolva, se generó con el "frame generator" incluido en Inventor. Se realizó igualmente un análisis de deformación a la estructura generada, esta igualmente es una función que se incluye en el programa. El primer paso que se sigue para poder realizar una estructura, es generar un bosquejo de la misma en archivo tipo .ipt, este proceso se decidió iniciar por una estructura simple, utilizando únicamente cuatro soportes, se decidió iniciar de esta forma para poder minimizar el costo final de la estructura, buscando utilizar en esta estructura la menor cantidad de material posible. Luego de realizar el análisis de esfuerzos si el diseño muestra una gran cantidad de deformación, se cambia el diseño, pudiendo con esta herramienta igualmente tratar una diferente forma de perfil o bien un material distinto de construcción. El resultado final del diseño de la tolva puede ser encontrado en la Figura 18

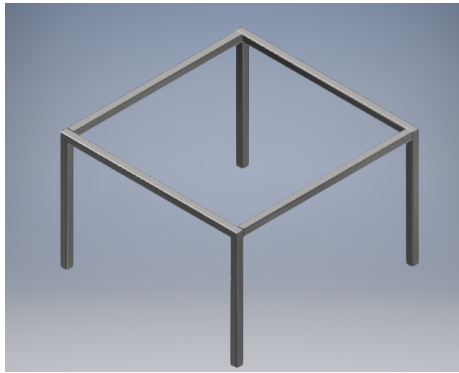


Figura 18: Primer diseño de estructura de soporte para la tolva.

Las especificaciones detalladas de la estructura son las siguientes: Como primer característica, se seleccionó la norma ISO para la elección del perfil esto ya que esta norma trabaja principalmente con el sistema de unidades internacional además que se encuentra avalada a nivel mundial. El perfil se eligió de una sección cuadrada hueca para construcción, en cuenta a las características, este es de 25x25x3 y el material que se eligió es un acero inoxidable AISI 440. Estos factores son importantes al momento de realizar el análisis de deformación ya que muchos de los datos del material a utilizar son tomados en la selección del material.

Para el análisis de deformación llevado a cabo en inventor, se determinó la fuerza total

que soportaría cada uno de los cuatro soportes, para esto se asumió el caso más extremo en el cual la tolva se encuentra completamente cargada. Teniendo en este caso un total de aproximadamente 30000 unidades del producto. Como se sabe cada una de las unidades tiene un peso aproximado de 5 gramos, tomando lo anterior en cuenta se puede asumir que en la tolva hay una masa total de 150 Kg, tomando en cuenta el peso tanto de la tolva el peso se incrementa a un valor de 173.71 Kg por lo cual la fuerza total de estos elementos es de 1,704.09 N Esta fuerza puede ser dividida en 4 asumiendo que a cada uno de los soportes les corresponde una carga igual siendo esta de 426.02 N. En este análisis se busca que las fuerzas aplicadas no generen demasiada deformación ya que esta estructura debe mantener su altura constante lo suficiente para poder colocar el resto de las piezas a diseñar debajo de esta estructura. Esto debido a que se busca mantener la estructura original con la menor cantidad de modificaciones posibles por lo tanto los diseños buscarán no necesitar de espacio a los costados de la máquina. Los resultados de la deformación de la estructura para soporte de la tolva son mostrados en la Figura [19](#)

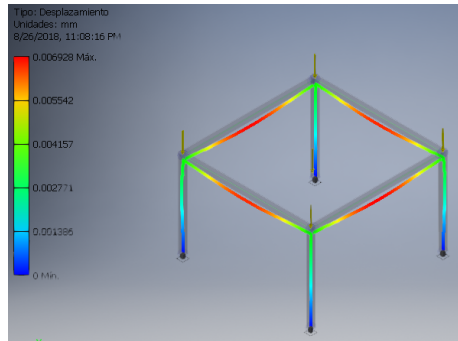


Figura 19: Deformación de la estructura encargada de soportar la tolva.

Por último, se agregaron cuatro placas metálicas en la parte inferior de los soportes de la estructura, esto debido a que se busca que tanto la tolva como la estructura puedan ser removidas de la máquina en caso de mantenimiento o bien de que se decida realizar una nueva modificación a la misma. Estas placas, contienen cuatro agujeros en cada una de sus esquinas para que se facilite el uso de un tornillo con tuerca para poder sujetar la misma a la máquina, mientras que la estructura de soporte, se encontrara soldada a cada una de estas placas como método más efectivo para unir estas, las placas pueden apreciarse mejor en la Figura [20](#). Tanto el cálculo de las soldaduras para las placas, como el cálculo de soldadura de cada uno de los elementos que conforman la estructura, se realizara más adelante cuando se haya terminado de explicar el diseño mecánico completo de cada una de las piezas.

## 7.3. Diseño de rampa

### 7.3.1. Primer diseño

La siguiente parte a diseñar fue la rampa de salida de la tolva, dentro del diseño final, esta es una de las piezas más importantes, ya que no solo es la encargada de sacar el producto de la tolva, sino que al mismo tiempo se busca que esta logre ordenar de la mejor forma el producto para poseer un control completo sobre el mismo. Por esto mismo, esta es una

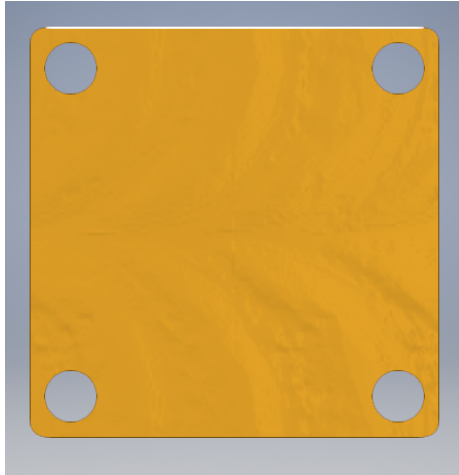


Figura 20: Placa para soporte de tolva.

de las piezas que se modificó constantemente. Se pensó mayormente en una rampa simple que tuviera dos partes unidas en un ángulo de  $45^\circ$  grados permitiendo igualmente suficiente inclinación para que los chocolates se deslizaran sobre esta. Teniendo la apariencia simple mostrada en la Figura 21 esta rampa se decidió colocar distintas guías, que permitirán que los chocolates se alinearán al momento de de entrar en en la parte inferior de la rampa permitiendo tener un mejor control sobre la cantidad de chocolates que se depositan en el envase. Igualmente esto se adapta mejor al método de conteo seleccionado. Estas divisiones permiten que en la rampa inferior se encuentren cinco chocolates en filas por cada una de las vueltas del molinete, por último se agrego a esta rampa, las ranuras en la parte inferior donde se colocan los fines de carrera.

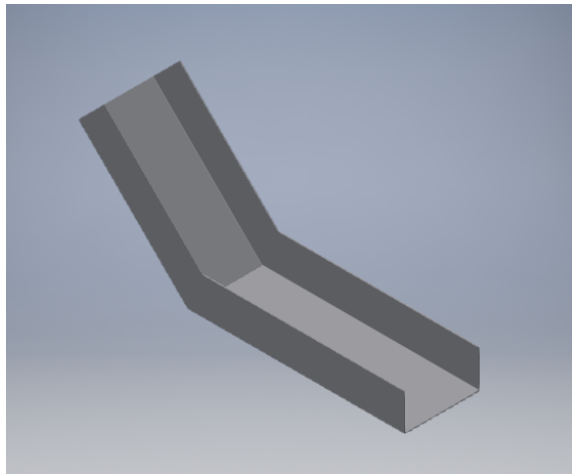


Figura 21: Bosquejo de rampa, para salida de tolva.

La siguiente modificación del diseño consistió en mejorar la parte superior de la rampa, esta modificación se realizó debido a que este diseño es muy similar al utilizado actualmente, el cual posee el problema de que los chocolates salen de una forma demasiado desordenada, esto no es un problema actualmente con la forma de conteo que se posee. Para poder arreglar esto se dio a esta parte superior una forma trapezoidal con el fin de que los chocolates se

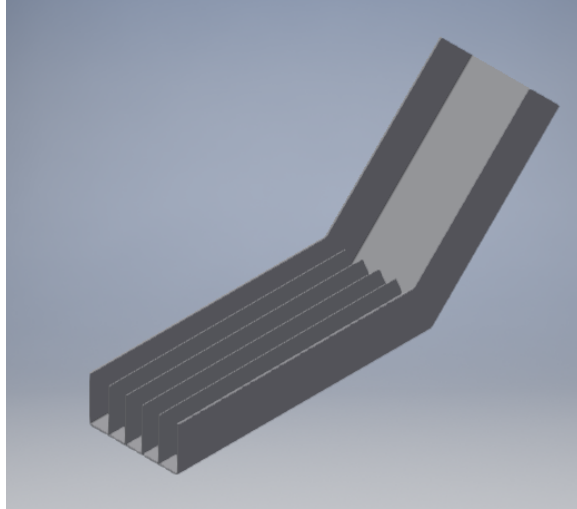


Figura 22: Bosquejo de rampa, para salida de tolva.

acomoden más fácilmente y puedan entrar a los rieles de una forma más fácil. Igualmente esto permite que la rampa pueda contener una mayor cantidad de chocolates y que en caso de cambiar a una presentación con más unidades no sea necesario abrir la tolva múltiples veces para un solo envase. Al momento de realizar un prototipo a escala se pudo observar que en la rampa con la modificación previamente mencionada posee capacidad para las cien unidades que se trabajan a diferencia de la rampa normal.

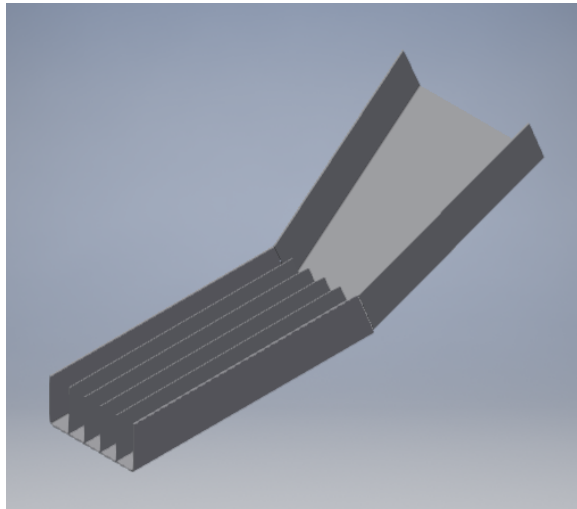


Figura 23: Bosquejo de rampa, para salida de tolva.

### 7.3.2. Cálculos de la estructura

Una de las claves importantes a mencionar sobre este elemento, es que esta rampa sirve en su mayoría no solo como un método de transporte del producto, sino también como tapadera inferior de la tolva que se diseñó. El motivo de utilizar esto como parte inferior de la tolva es que se decidió utilizar un vibrador para hacer que las unidades se desplacen

más fácilmente. Se realizara más adelante, el análisis correspondiente sobre las vibraciones y sus efectos en las rampas. Lo primero que se determino es si la estructura de la rampa puede soportar el peso de todas las unidades que se encuentran sobre la misma. Para esto se hizo un análisis en ANSYS sobre la deformación que se presenta en la placa al momento de aplicar los 500 N totales generados por el peso de todos los chocolates.

Este análisis se llevó a cabo en la parte superior de la rampa. En este caso se utilizó la geometría correspondiente únicamente a la parte inferior de esta pieza. En la Figura 24 se puede observar tanto la geometría analizada como el mallado generado para la pieza. Los resultados obtenidos del análisis de deformación en la placa se muestran en la Figura 25.

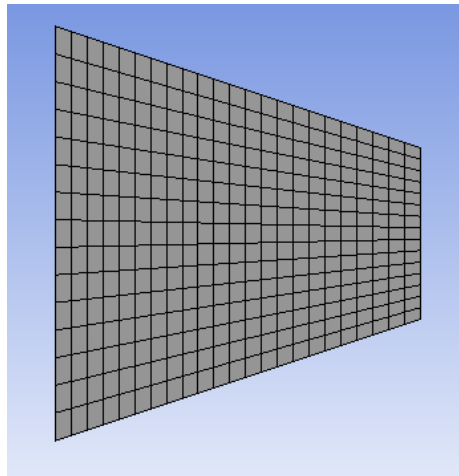


Figura 24: Parte inferior de la rampa para realizar análisis de deformación.

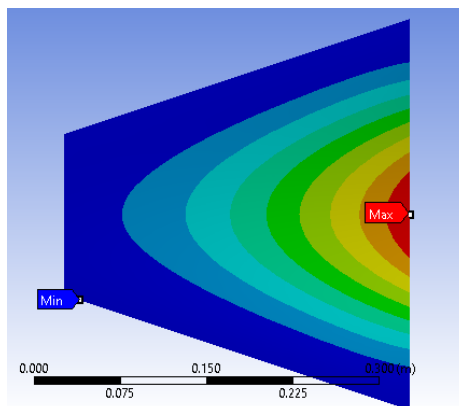


Figura 25: Resultados del análisis de deformación en placa.

Como se puede apreciar la parte más afectada por deformación es la parte superior de la pieza. Esto es de esperarse debido a que esta este segmento es en su mayoría el que soportara el peso de los chocolates, en cuanto a los valores obtenidos, se tiene que la máxima deformación es de aproximadamente 0.4 milímetros. Utilizando la teoría de energía de distorsión, esta nos indica que el esfuerzo de Von Mises aplicados a una pieza no pueden ser mayores a el esfuerzo de fluencia que soporta dicho material. Para esto se utilizó el esfuerzo a la fluencia del acero AISI 304, el cual es un metal muy común en la industria de alimentos, el esfuerzo posee un valor de 206 Mpa, [2] mientras el esfuerzo máximo de Von

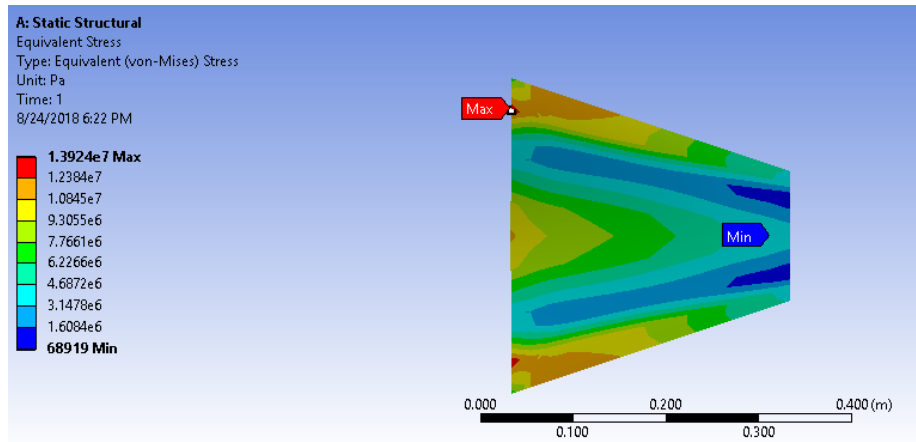


Figura 26: Esfuerzos de Von Misses en la placa.

Misses obtenido es 33.8 Mpa por lo cual se puede determinar que la pieza logra cumplir y es posible el aplicar esta carga a la pieza para poder obtener esto se utilizó una plancha con un grosor de 1.2 mm en lugar de la de 0.6 milímetros que se tenía planeado utilizar originalmente. La distribución de los esfuerzos de Von Mises se pueden encontrar en la Figura 26 al igual que los valores específicos obtenidos para cada una de las secciones.

De esta forma se evita que estas se queden atoradas tanto al salir como al momento de entrar a la guías de la rampa inferior. Esto igualmente elimina la necesidad de un actuador que se encargue de abrir una compuerta en la tolva. El mecanismo a utilizar es únicamente una bisagra con una compuerta que bloquee la salida de de los dulces únicamente con su propio peso. Este método es utilizado actualmente para poder controlar la salida de las esferas de chocolate, utilizando el tiempo correcto de vibración, así como la amplitud correcta, se pueden llegar a sacar una cantidad que si bien puede no ser exacta poseerá un rango determinado de unidades que salen de la tolva.

Con el fin de poder asegurar que la placa superior de la tolva, sera capaz de poder soportar los esfuerzos de fatiga que se aplicarán de forma intencional, se realizó un análisis de fatiga por vibraciones donde el resultado obtenido nos indica la cantidad de siglos que la estructura es capaz de soportar antes de presentar signos de fatiga en la pieza. Este análisis se realizó en el software NASTAN el cual es una extensión a INVENTOR el cual permite el estudio de distintos casos tanto de problemas estáticos como dinámicos. En las Figura 27 podemos observar los resultados que se obtuvieron con le programa, teniendo este valores de en el orden de  $1e+10$  ciclos por lo cual se considera que la estructura si puede soportar muchos ciclos antes de necesitar un cambio.

### 7.3.3. Soportes de rampa

Al igual que la estructura de la tolva, la rampa tiene sus propios soportes que la ayudan a soportar las distintas cargas que se aplican en la rampa, así como también la rampa misma. A diferencia de la estructura de soporte diseñada para la tolva, en este caso se optó por únicamente utilizar dos barras rectangulares de acero unidas por soldadura tal que formen una L ,con una medida de 20x5 mm a estas se les realizó igualmente un análisis

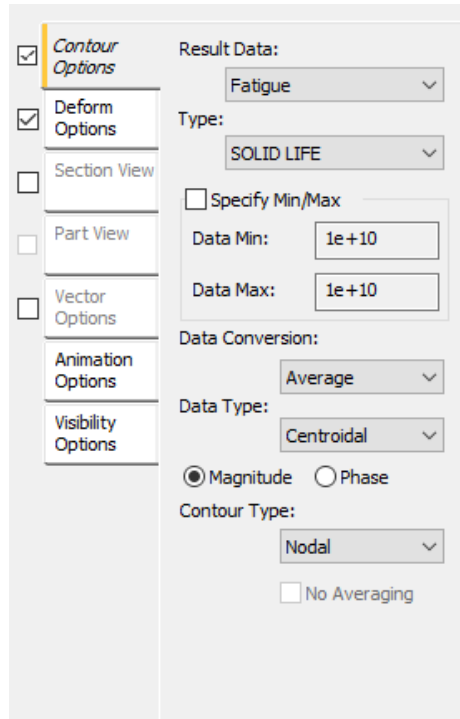


Figura 27: Resultados del análisis de fatiga.

de deformación con el fin de determinar si estas pueden llegar a sufrir un fallo debido a la carga que soportan, ya que estas se encargan de soportar la rampa, que como se sabe actúa de tapadera inferior para la tolva. Por esto se aplicó a la misma una fuerza de 250 N suponiendo en dado caso que la rampa soporta 500 N de los chocolates que se encuentran sobre la misma. La apariencia de estos soportes, así como los resultados del análisis se encuentran en las figuras 28 y 29 respectivamente. en este caso se verificó únicamente los soportes de la rampa superior ya que los soportes de la rampa inferior se encuentran sujetos a fuerzas de aproximadamente 30 N que no son muy grandes comparadas con las fuerzas soportadas en la rampa superior o inclusive las que soporta la estructura de la tolva, como se puede apreciar en 29, la mayor deformación que sufre el elemento en este caso es de 0.003 mm que al compararla con las demás medidas de la pieza, es insignificante por lo que se puede asegurar que la pieza cumple.

Otro punto que se debe tomar en cuenta, es que al momento de diseñar los soportes para la rampa superior, se necesito integrar un elemento más a la estructura y este es un elemento que amortigüe las vibraciones que se inducen a la placa, para que no afecten otros elementos de la máquina. En este caso se podía optar por dos distintas soluciones, la primera de estas consiste en el uso de soportes especiales que no permitan que las vibraciones lleguen a la estructura principal de la máquina, sin embargo este método resulta muy costoso. Por lo tanto se optó por el uso de planchas especiales, que permiten el amortiguamiento de vibraciones, estas son las placas SYLOMER R42, sus especificaciones pueden ser encontradas en los anexos, estas placas funcionan a baja frecuencia y soportan cargas de hasta  $420 \text{ Kg/cm}^2$ , con la desventaja que para poder utilizarlas, es necesario el uso pegamento para poder unir las piezas a la plancha. En este caso se utilizaron cuatro tacos para cada uno de los soportes de la rampa superior

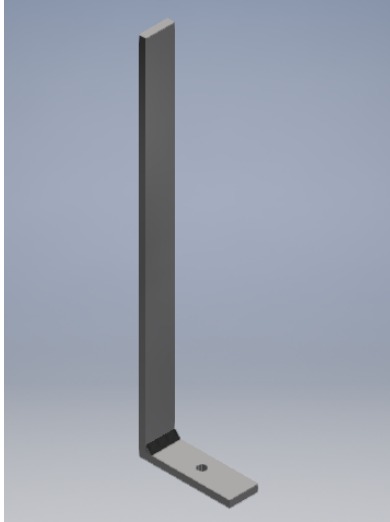


Figura 28: Sostenedor superior

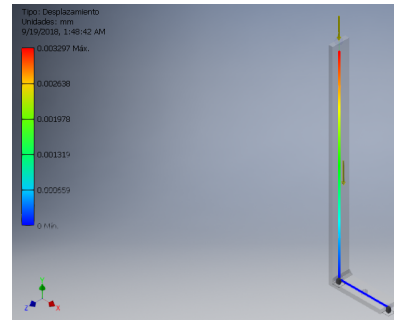


Figura 29: Deformaciones sostenedor

## 7.4. Molinete

El siguiente elemento a diseñar, es el molinete encargado de permitir el paso de una unidad a la vez. El molinete evita que pasen demasiadas unidades ya que de lo contrario estas pasarían una pegada a la otra lo cual dificulta en la mayoría de los casos una forma precisa de poder detener el flujo del producto. Es por esto que esta es una forma muy efectiva de controlar el flujo de unidades que pasan a través de la rampa permitiendo decidir cuando exactamente se quiere iniciar un nuevo conteo y cuando detener el flujo. El molinete puede apreciarse en la Figura [30](#). Donde se pueden apreciar las distintas paletas que se utilizan como separador de unidades.

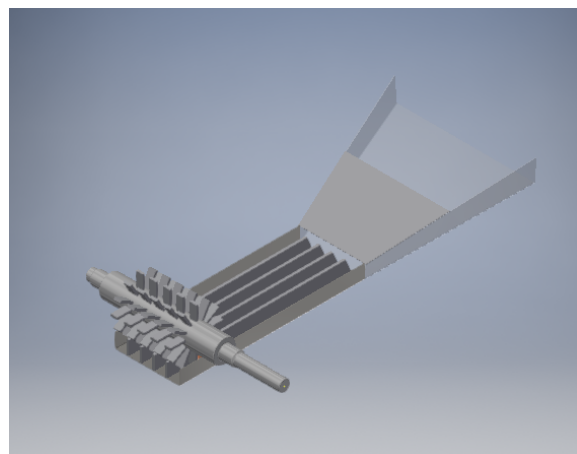


Figura 30: Diseño de molinete.

### 7.4.1. Cálculo de los cojinetes

Como es de esperar, la implementación de un eje lleva conlleva un numero de consideraciones, en este caso tenemos, el hecho de que deben de diseñarse y seleccionarse los cojinetes que se estará utilizando. Por lo tanto, se verificará la vida de los cojinetes utilizados en este elemento. Iniciamos encontrando la fuerza ejercida por el peso del eje y sus placas teniendo por medio de inventor que el peso del eje es de: 4.7 Kg y el peso de cada una de las placas es de 8 gramos, por lo cual podemos aproximar el peso a 5 Kg con esto se obtiene una fuerza de 49.05 N. Tomando en cuenta que estas fuerzas son únicamente axiales, debido a que no existe ningún elemento que genere fuerzas axiales de forma directa tendiendo esto en cuenta, calculamos la carga radial dinámica equivalente en el cojinete, siendo esta según la ecuación 4 con un X de 1 igual a la fuerza calculada previamente. utilizando la fórmula 3 con un factor de confiabilidad del 90 % un factor de características de rodamiento de 0.9 por cualquier variación al momento de comprar y colocar los cojinetes con un factor de 0.9 en cuanto a condiciones de operación teniendo en cuenta cualquier imprevisto en cuanto a la exposición del cojinete a alguna condición no usual de funcionamiento. Eligiendo un cojinete del catálogo NTN 4. el cojinete 6705 LLF, el cual posee un Cr de 1.1 KN se obtiene el resultado de la ecuación 36 con un valor de 8624.88 sin embargo hay que recordad que en este caso este es un número  $10^6$  de revoluciones por lo cual se puede decir que el cojinete tendrá una larga vida útil antes de presentar signos de desgaste.

$$L_{10h} = 0.9 * 0.9 * \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 8624.88 * 10^6 \text{revoluciones} \quad (36)$$

## 7.5. Contenedor de alineado

### 7.5.1. Diseño inicial

Este elemento se pensó al principio como un contenedor previo al envasado donde se pesarían las unidades a empacar, Por esto mismo se diseñó un elemento como una caja que se colocaría en la parte inferior de la estructura ya existente, cuya tapa inferior se abriría al momento de detectar que el peso es el indicado para envasado. Es en la tapa inferior donde se tendría de igual forma el sensor encargado de pesar las unidades. El diseño inicial de esta estructura es el el mostrado en la Figura 31. Esta estructura se encontraría sujeta con tornillos o pernos los cuales igualmente deberían resistir el peso de la estructura y de el producto previo a su envasado.

La parte clave de este contenedor, es la tapadera inferior, ya que en esta se colocaría el sensor de peso o celda de carga a utilizar para poder realizar la medida de las unidades. Con el fin de poder determinar mejor el peso, se diseñó una tapa de doble placa donde ambas placas se encuentran separadas por resortes, y en el centro de la placa inferior se ubicaría el sensor, sobre este se encontraría un trozo de caucho encargado de ejercer la fuerza que permitiera determinar el peso exacto que se encuentra ejercido en la parte superior. La estructura de la tapadera es como la mostrada en la Figura 32. Como se puede apreciar en la imagen anterior, la tapadera inferior es donde se coloca el sensor, y la unión entre las dos tapaderas se diseñaría a partir de resortes u otros elementos similares. Otra característica

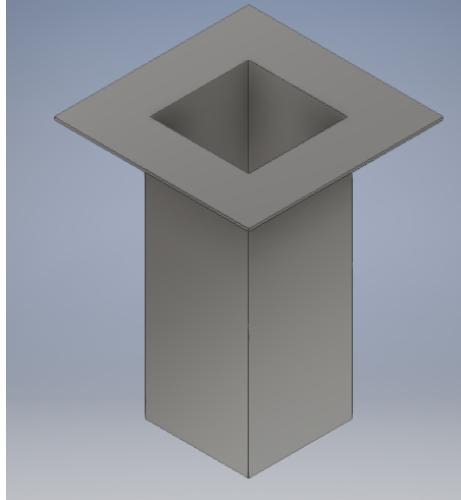


Figura 31: Diseño inicial de contenedor.

de este diseño es que como se puede apreciar en la tapadera inferior, es necesario el dejar soportes semicirculares, estos se pusieron de esta forma principalmente para mostrar en que parte se sujetaría el actuador para abrir esta compuerta, esto principalmente por que se pensó utilizar un actuador lineal neumático para poder abrir la tapadera cuando se tuviera el conteo exacto de las unidades.

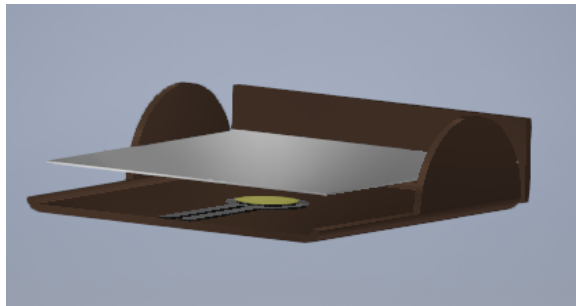


Figura 32: Diseño inicial de tapadera para contenedor.

### 7.5.2. Diseño final

Los diseños iniciales si bien pueden parecer simples, permitían lograr la tarea de poder contar las unidades y luego que estas fueran envasadas a una gran velocidad. Sin embargo dentro de los principales problemas que estos diseños poseen es que no se tiene un gran control sobre la cantidad de dulces que se encuentran dentro del contenedor, ya que si dentro de este la cantidad de dulces excede la cantidad deseada no es posible retirar únicamente una determinada cantidad de unidades. Igualmente este tipo de elementos incumple con algunas de las normas de salubridad al ser demasiado pequeños y cerrados como para poder realizar una limpieza adecuada. Estas piezas igualmente fueron cambiadas al momento de elegir el método de conteo ya que se determino que estas ya no serían necesarias, en este caso esta estructura pasó a tener otro diseño más simple, esto se debió a que como se sabe en el nuevo método el conteo de las unidades se realizará en la parte previa que es la rampa, por lo tanto

el contenedor"se modificó con el fin de que este únicamente se asegure de que las unidades contadas entren en el bote. El diseño final puede ser visto en las Figuras 33 y 34

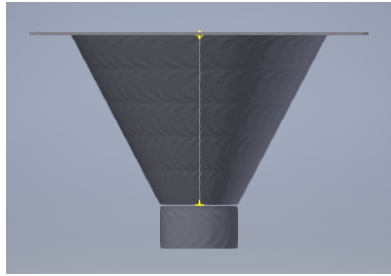


Figura 33: Contenedor modificado vista lateral

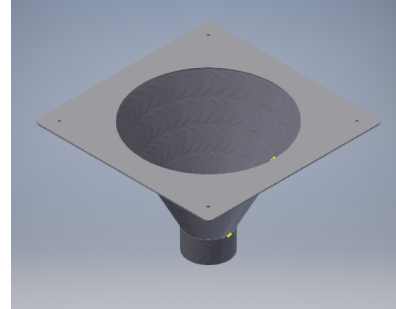


Figura 34: Contenedor modificado

Como se puede apreciar en los diseños finales esta estructura ya no es un contenedor ya que no posee una tapadera que impida el paso del producto, en este caso, la función de este elemento es la de asegurar que los dulces entren en el bote luego de ser contados. Esto se debe a que como se vio en el diseño final de la rampa, las unidades del producto son contadas lo que permite que estas pasen al envase sin necesidad de realizar otro proceso con las mismas. por lo cual se decidió que al salir de la rampa esta pasaran por esta estructura directamente al bote. En este caso esta estructura no recibirá ningún tipo de esfuerzo externo por lo cual a la estructura no se le realizó ningún análisis de esfuerzos, un punto importante a mencionar en esta estructura, es que se planea realizar en forma de placas con espesores de de 0.5 mm, unidas por medio de soldaduras.

### 7.5.3. Cálculo de pernos

En esta sección se seguirán los pasos mostrados en la sección 5.5. Iniciando por definir los datos que tenemos, en este caso se utilizaran tornillos M10 clase 4.8, con una longitud de 65mm para unir el contenedor guía con la estructura principal. En este caso tanto la placa con la que se une el contenedor y la estructura serán del mismo material, acero al carbono con un modulo de elasticidad (E) de 207 Gpa. Se utilizará una arandela 10R, con un diámetro interno de 10.85mm y un espesor de 2.8 mm. Se utilizara también una rosa con un espesor de de 8.4 mm.

La fuerza que se estará aplicando a los pernos, es en esta ocasión meramente el peso de la estructura del contenedor, la masa total se puede obtener utilizando el ipropierties de Inventor el cual nos da una masa de la estructura de 3.3 Kg, por lo tanto la fuerza aplicada es de 32.37 N. Se verificará igualmente que los pernos cumplan con esta condición.

Utilizando un tornillo M10 la longitud de la rosca es de 26 mm por lo tanto la longitud no roscada es de 39mm. Con esto podemos obtener la longitud roscada tomamos en cuenta que la longitud de ambos elementos a unir junto con la roldana es de 53.3 mm (debido a los 5 cm de la estructura base, más 0.5 mm del grosor de la placa). En este caso la longitud roscada que se encuentra dentro de la unión es de 11.7 mm. Utilizando el cuadro 8-1 presentada en 2 se tiene un  $A_t$  de  $58 \text{ mm}^2$  mientras que el área  $A_d$  es de  $78.53 \text{ mm}^2$  teniendo estos datos y utilizando la ecuación se obtiene un  $K_b$  de 295Gpa/mm, teniendo en cuenta que los

materiales a unir poseen el mismo modulo de elasticidad, se tiene que el factor  $K_m$  tiene un valor de 1591.903 Gpa/mm. Utilizando la ecuación se tiene un factor C de 0.156.

Teniendo en cuenta que se esta utilizando un tornillo calibre "4.8" se tiene que Sp en este caso tiene un valor de de 310 Mpa, se procede en este caso a calcular la precarga con la ecuación . teniendo esta un valor de 13.48 Gpa, en cuanto al factor de seguridad, este posee un valor mayor a 3000 por lo cual se puede asegurar el funcionamiento de la pieza cuando el factor de seguridad buscado era de 4.

## 7.6. Banda transportadora

Para el diseño de la banda transportadora, se siguió el procedimiento mostrados en el marco teórico siguiendo los procedimientos indicados en [3] para poder llegar en este caso a la potencia del motor requerido para el funcionamiento adecuado de la banda. Para esto se inició seleccionando las medidas de la banda transportadora. Teniendo en cuenta que la máquina a la cual se le están realizando las modificaciones se conectara directamente con una máquina en-tapadora, la banda transportadora debe conectar ambas máquinas, por lo cual el largo de la banda transportadora se fijo en 2.5m ya que esto permitirá suficiente juego entre ambas máquinas. En cuanto al ancho se determinó que el más eficiente es de  $b_0 = 20$  cm ya que los envases contenedor es poseen un diámetro de 10 cm, e igualmente el uso de este ancho de banda permitirá el cambio de presentación en dado caso sea requerido.

El siguiente paso es el determinar la fuerza tangencial en el tambor motriz. para esto se utiliza la ecuación 4.13, a continuación se determinarán los valores de cada una de las variables presentadas en la ecuación. Las primeras de estas variables son los coeficientes de fricción para los distintos recubrimientos en vista que la banda transportadora a utilizar no es parte del catálogo de forbo se utilizarán los coeficientes de fricción más altos ya que esto supone el peor de los casos, por lo tanto  $U_t$  y  $U_R$  tienen un valor de 0.5 y 0.033 respectivamente.

El siguiente valor a determinar es el peso de la banda transportadora o  $m$  en la ecuación [26], para determinar este valor se investigaron distintas bandas transportadoras y se decido utilizar bandas transportadoras específicas para el área de alimentos, la banda transportada seleccionada se puede encontrar en [3] donde se nos dice que le peso de la misma es de  $0.8 \text{ Kg/m}^2$  con el fin de poder obtener la masa de la banda se utilizó el bosquejo generado en inventor dando un valor de aproximadamente 0.64 Kg . El peso de los rodillos presentado en la ecuación [26] se determino igualmente por inventor ya que este en las propiedades de la pieza nos da la masa total dependiendo del material que se asigne a la pieza, con esto se determina que el peso de los rodillos grandes o bien los principales es de 26.34 Kg por cada rodillo en este caso son 2, mientras los rodillos guía tiene un peso de 6.84 Kg con un total de 4 rodillos en el diseño. El peso total de los rodillos o  $m_r$  es de 80 Kg. Por último, el peso de la mercancía se puede aproximar a 10 Kg tomando en cuenta que la mitad de los envases presentes en la banda se encuentran llenos. Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.13 tenemos que el valor de  $F_u$  es de:

$$F_u = 0.5 * 9.81 * (10 + \frac{0.64}{2}) + 0.033 * 9.81 * (\frac{0.64}{2} + 80) = 76.63N$$

El siguiente paso en el diseño de la banda transportadora, es el determinar el diámetro mínimo del tambor motriz para esto se utiliza la ecuación 4.15. Dentro de las variables a tomar en cuenta aquí tenemos el factor  $C_3$  en este caso como se menciono con anterioridad la banda no pertenece a la misma marca que el documento de diseño por lo cual se tomara el peor de los casos siendo este que el factor posea un valor de 40 ya que la potencia necesaria para mover el tambor motriz sera mayor. En cuanto al ángulo  $\beta$  el cual nos indica el ángulo con el cual la banda se despega del tambor motriz, se tiene un valor de  $180^\circ$  por lo cual al sustituir estos valores en la ecuación se tiene obtiene los siguiente:

$$d_A = \frac{76.63 * 40 * 180}{20 * 180} = 95.79mm$$

En este caso se aproximará el diámetro a 12 cm para poder asegurar que el tambor motriz puede cumplir con su función. El siguiente paso es el determinar la potencia necesaria en el tambor motriz para que este logre cumplir con mover la banda transportadora, en este caso se necesita únicamente determinar una velocidad adecuada para la banda la cual se encuentra estipulada por la máquina contigua a la envasadora, para poder unir ambas máquina, la velocidad lineal de la banda debe ser de 4 m/s teniendo de esta forma que la potencia necesaria es de 0.3 kW para la banda transportadora, igualmente se tiene la potencia del motor debe ser de 0.5 KW para poder poner la banda en funcionamiento.

### 7.6.1. Soportes de banda

El siguiente paso en el diseño de la banda, fue el de diseñar los soportes para la banda transportadora. Estos se diseñaron de la tal forma que permitieran que la banda transportadora pudiera moverse libremente y además se adecuara a las distintas superficies en donde esta se instalara. El diseño consiste en un trípode que utiliza en sus extremos un tornillo de potencia con el cual puede ajustarse la altura de la banda transportadora. Para poder comprobar que la banda cumpliera, se realizó a la misma una prueba de esfuerzos y deformaciones en INVENTOR. Tomando en cuenta que el peso total de la banda transportadora al incluir las placas principales donde se colocarán los cojinetes de los rodillos se obtiene un peso de 1478 Kn teniendo en cuenta que se utilizarán 6 de estos soportes, se dividió esta fuerza para poder tener un total de 246 N en cada una de estas. Utilizando esta información se sometió la estructura a dicha fuerza y se analizó su deformación en INVENTOR obteniendo de esta forma que la máxima deformación que se da en la estructura es de 0.002 mm por lo cual esta puede considerarse como despreciable. En cuanto a los esfuerzos, el esfuerzo máximo que se puede encontrar en la pieza es de 0.3 MPa teniendo en cuenta que se realice esta pieza con un acero inoxidable cuyo esfuerzo de fluencia es de 200 MPa, se considera por lo tanto que la pieza logra soportar los esfuerzos aplicados. El diseño final de la banda transportadora puede encontrarse en las figuras [35](#) y [36](#).

### 7.6.2. Diseño y selección de cojinetes

Otro componente importante a tomar en cuenta al momento de diseñar la banda transportadora, es el diseño de los cojinetes que se utilizarán para los rodillos principales en la

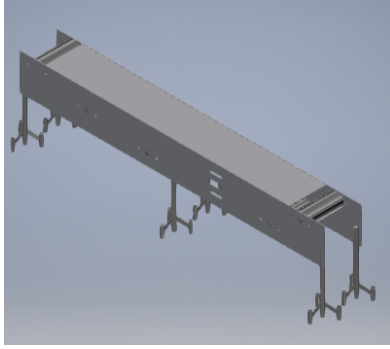


Figura 35: Banda transportadora

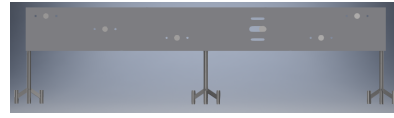


Figura 36: Banda transportadora vista lateral

banda transportadora, para este diseño, únicamente se tiene 3 rodillo giratorios, el resto de estos rodillos únicamente cumplen con ser guías para la banda en su recorrido, estos son los rodillos que se encuentran motriz, el cual se encuentra en una posición de accionamiento de cola, el rodillo al final de la carrera de la banda transportadora y el rodillo tensor el cual ese encuentra en la parte inferior. en este caso se utilizara el método de diseño visto anteriormente. Donde buscaremos encontrar la vida útil del cojinete elegido, primero debemos mencionar que en este caso no se tomaran en cuenta cargas axiales en el cojinete por lo cual el factor Y de la ecuación 4.4 tiene un valor de 0 mientras el valor de X es de 1. Teniendo estas consideraciones en cuenta podemos decir que la Carga dinámica equivalente en el cojinete se debe mayormente al peso del rodillo mismo como se vio anteriormente el peso máximo de uno de estos rodillos es de 26.34 Kg si a esto le sumamos el peso de la banda y otros factores que pueden llegar a generarse se aproxima esto a un peso de 30Kg o bien una fuerza de 258 N. A este último dato, se debe sumar la tensión de la banda transportadora el cual para simplificación de datos se encontrara a 90 grados de la fuerza del peso del tambor. Utilizando el teorema de Pitágoras se puede obtener la fuerza total resultante la cual tiene un valor de 284.9 N. Utilizando el catálogo encontramos el cojinete F-UCFM208/LP03 el cual posee un diámetro de eje de 40 mm como el de los rodillos utilizados, este puede ser utilizado con un chumacera ovalada para poder ajustarlo a los costados de la banda transportadora

$$L_{10h} = \left(\frac{22400}{285}\right)^3 = 485,522.62 * 10^6 \text{revoluciones}$$

Como se puede apreciar las revoluciones a un 90 % indican que el cojinete puede durar una gran cantidad de revoluciones antes de presentar señas de desgaste, esto puede deberse mayormente a que la carga aplicada a dichos cojinetes no es muy grande.

## 7.7. Cálculo de soldaduras

Como se puede observar, a lo largo del proyecto se realizaron distintas estructuras que necesitan ser soldadas ya que bien sea por su geometría o bien por restricciones espaciales, estas no permiten que sea posible el uso de uniones de tipo no permanente con lo son los tornillos y pernos. Si bien en la mayoría de los casos el proceso de soldadura puede parecer trivial, a continuación se presenta como es que se calculó tanto los esfuerzos a los cuales

se encontrará sujeta la soldadura, sino también el tipo de soldadura más eficaz, el tipo de electrodo a utilizar y también la cantidad de materia o bien cuántas libras de electrodo serán necesarios para poder realizar las modificaciones a la máquina.

En esta sección se realizará el cálculo de cada una de las soldaduras en las distintas estructuras donde estas se encuentran presentes. Para esto se seguirá el método de cálculo de soldaduras presentado con anterioridad el cual nos permitirá calcular de manera adecuada si la soldadura seleccionada es correcta y si el tipo de electrodo seleccionado para cada soldadura es el adecuado. Para simplificar el diseño, se asumirá que todas las soldadura son realizadas con un electrodo E6010, esto se cambiará en dado caso este electrodo no logre cumplir con los requerimientos del factor de seguridad que como se mencionó anteriormente este debe tener un valor mínimo de 3.

### 7.7.1. Soldadura de estructura para la tolva

En este caso, como se mencionó anteriormente, se determinará la soldadura en cada uno de los elemento que conforman la estructura para esto se determinara primero el esfuerzo cortante máximo que se puede encontrar en la estructura, Para esto se asume que la carga se aplica en medio de las barras que unen un soporte con otro, utilizando la ecuación (21). Para calcular el área de la soldadura, se supondrá que esta posee una forma cuadrada como la mostrada en la Figura 7, se utilizará como una primera iteración de diseño una garganta de 3 mm, valor que puede ser cambiado en dado caso la soldadura no cumpla con el factor de seguridad deseado. Como se emocionó anteriormente el perfil utilizado es cuadrado hueco de 25x25 teniendo así un valor de d y b exactamente iguales. Por lo tanto, el valor de esfuerzo cortante es de 2.828 Mpa considerando que la fuerza que se aplica individualmente en cada barra es de 300 N.

El siguiente paso es calcular el esfuerzo cortante secundario mostrado en la ecuación 22 para este caso se supone que la carga se coloca exactamente en la mitad de barra que une a los soportes, se tiene de esta forma un valor para el radio de 0.3 metros obteniendo por lo tanto un momento de 9000 Nm, en cuanto al cálculo de la inercia, este se realiza en la ecuación (37), utilizando estos elementos obtenemos un esfuerzo cortante secundario de 7.2 Mpa. Utilizando la relación de Pitágoras con dichos esfuerzos obtenemos un esfuerzo total de 7.73 Mpa

$$I = I_u * 0.707 * h \text{ donde } I_u = \frac{d^2}{6} * (3b + d) \quad (37)$$

Utilizando el primer criterio para determinar si el material de aporte soporta teniendo en cuenta que según 2 para un electrodo E6010 el material de aporte tiene una resistencia a la fluencia de 345 Mpa, se utiliza la ecuación y se obtiene un factor de seguridad de 25 por lo cual la soldadura si cumple. igualmente al utilizar la ecuación (25) se obtiene un factor de seguridad de 16 por lo cual el electrodo elegido si cumple con los requerimientos para la soldadura.

### 7.7.2. Soldaduras banda transportadora

Otra de las estructuras a las cuales se le aplicó soldadura fue a los soportes de la banda transportadora, como se mencionó al momento de diseñar la banda, la carga total de aplicada a cada uno de los soportes es de 246 N, teniendo esto en cuenta se utilizó nuevamente el programa de inventor para poder determinar el área más afectada de esta pieza, los resultados de este análisis son presentados en la Figura 37, en este caso se considera a la soldadura como dos líneas verticales, el perfil utilizado posee medidas de 25x5 por lo tanto el área de la soldadura se calcula de acuerdo a la ecuación (38) dando un valor de  $106.5 \text{ mm}^2$  por lo cual el esfuerzo de corte es de 2.31 Mpa. Luego de esto utilizamos la fórmula para el cálculo de I correspondiente en la Figura 7 con el cual se obtiene un segundo momento de área de  $5523.43 \text{ mm}^3$  tomando en cuenta este valor, el segundo esfuerzo de corte se tiene un valor de 23.61 Mpa.

$$A = 1.414h * d \quad (38)$$

Utilizando el mismo principio para poder obtener los factores de seguridad correspondientes, se obtiene para el material de aporte un factor de seguridad de 8.38 mientras que para el electrodo E6010 se obtiene un valor de 5.22 por lo cual se puede asegurar que las soldaduras cumplen.

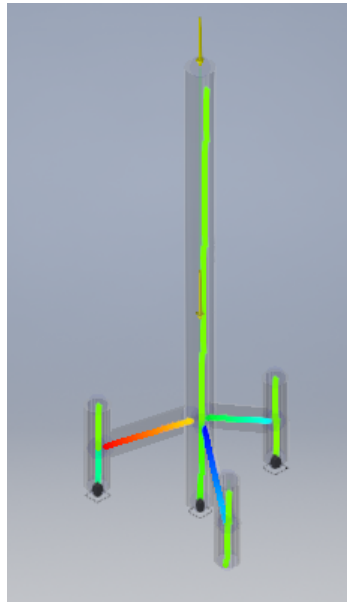


Figura 37: Esfuerzos presentes en el soporte de la banda.

Igualmente se realizó el cálculo de las soldaduras necesarias para unir los soportes a la banda, en este caso se diseñó como una soldadura de un solo cordón utilizando un cordón de 25mm, calculando nuevamente el área se tiene un valor de  $53.025 \text{ mm}^2$ . utilizando el mismo esfuerzo de 246 N el esfuerzo de corte es de 4.62 Mpa, en este caso no se tienen esfuerzos secundarios debido a que no hay una palanca desde el punto donde se aplica la fuerza y el punto de unión de soldadura. Utilizando los criterios de energía de distorsión se obtiene un factor de seguridad para el material de aporte de 42 y de 26 para el electrodo

E6010 por lo cual nuevamente comparados con el criterio de seguridad indicado en **2** de 3, las soldaduras si cumplen.

### **7.7.3. Volumen total de soldadura**

En esta sección se mostrara el total obtenido en los informes de inventor, sobre cuantas libras de soldadura son necesarias para poder llevar a cabo el proyecto. Con esto se busca poder garantizar que se cubren todas las áreas de diseño en el cálculo de los gastos. Para poder determinar la cantidad de cordón necesario, se convirtieron distintos ensamblajes en elementos soldados de INVENTOR. con el cual se agrego la soldadura a las distintas áreas seleccionadas, en cuanto al material de la soldadura, en este caso se eligió un acero general que posee muchas características medias de los distintos tipos de aceros. Utilizando estos informes encontramos que la cantidad total de soldadura a utilizar en el proyecto es de 26 lb.



En esta sección se hablará sobre como se realizo el proceso de diseño para la parte eléctrica de las modificaciones. La inclusión de una parte eléctrica y electrónica en las modificaciones se realiza con el fin de poder crear un proceso más automatizado en la línea de envasado del producto. Es por este motivo que se decidió utilizar un PLC, como controlador del proceso realizado por la máquina. Se presenta en el Cuadro 6 un listado de los componentes tanto eléctricos como electrónicos a utilizar en las modificaciones:

Luego de seleccionar los componentes o bien tener una idea de cuales componentes se utilizarán en la parte electrónica, se procedió a crear los planos eléctricos, donde se muestran como se conectan los distintos dispositivos tanto a las lineas de alimentación que necesita cada uno, como su conexión con el PLC. Los planos pueden ser encontrados en el Anexo B. Como se puede apreciar en los planos, existen una gran cantidad de señales dentro del panel por lo cual aquí se enumeran las señales que se tiene así como la función que estas cumplen esta información puede ser encontrada en el Cuadro 7.

Como se puede observar en el cuadro de materiales electrónicos, el PLC a utilizar es un LOGO siemens. Este PLC fue elegido para esta aplicación ya que no es necesario tener una gran cantidad de entradas y salidas, así como también el hecho de que en la empresa donde se ubica la máquina este es el tipo de PLC más utilizado. Igualmente se tiene en la elección de vareador de frecuencia, un micromaster 420 ya que estos poseen una sutil y fácil forma de controlar los distintos parámetros que poseen, igualmente en la aplicación que se implementará estos deben cumplir una función de encendido/apagado al motor con el cual se utilizarán.

Un esquema general del programa a utilizar en el LOGO!, nos puede dar una idea global del funcionamiento del sistema eléctrico, la secuencia a seguir en este caso es la siguiente: Lo primero que se debe detectar, es la presencia de un bote en la máquina, esto activará un timer que nos indicara que para cuando el envase se encuentre debajo del contenedor

Cantidad a utilizar	Nombre del producto
1	PLC Logo marca siemens
1	Tarjeta de memoria SD siemens para cargar el programa
2	Variadores de frecuencia micro-master 420 de siemens
6	fusibles de 220 V 10 A
1	Guarda-motores
1	potenciómetros de 5K
1	Motor de 0.5 Kw
1	Motor de 0.75 Kw
1	Relé con capacidad para 220 V
2	Contactores
1	Resistencia de 10K
1	Motor vibrador
4	Sensores inductivos
1	Sensor optico reflectivo
1	Transformador de voltaje de 480AC 24DC
1	Switch con enclavamiento/ Paro de emergencia
1	Switch 2 posiciones con enclavamiento

Cuadro 6: Listado de componentes

Número en plano	Función de la señal
12	Encendido/ apagado
13	Paro de emergencia
14	Señal de fin de carrera
15	Señal de sensor fotoreflexivo
16	Control de molinete
17	Control banda transportadora
18	Control de vibrador
20	Tierra
21	24 V
L1	Alimentación trifásica
L2	Alimentación trifásica
L3	Alimentación trifásica
PEN	Tierra física

Cuadro 7: Señales utilizadas en los planos eléctricos

guía, luego de que el tiempo transcurra, se activara el motor encargado de mover el molinete contador así como después de un tiempo se activará el vibrador de la rampa. El molinete, nos asegura que pasen de forma ordenada los chocolates por cada uno de los sensores, los cuales contarán con flanco positivo. Al momento de llegar al valor deseado de unidades, se detendrá el motor del contador así como el vibrador. Este proceso se repite con cada envase.

Algo que hay que tener presente en el diseño eléctrico del variador de frecuencia, es el

hecho de que para este diseño, se asume que el controlador no tendrá ningún panel con pantalla permitiendo el cambio de parámetros directos, en este caso se utilizará una señal digital del PLC para poder activar el motor, cuando la salida esta en alto, y la señal en bajo para detener el motor, lo que se hace realmente es decir al varedador de frecuencia que alimente o no al motor. En cuanto a la velocidad de encendido del motor, esta puede ser ajustada por medio de un potenciómetro, que igualmente se puede ver en el plano.

Entre otros aspectos importantes se tiene el uso de un paro de emergencia incorporado, este posee un enclavamiento y permite al operario detener la máquina en cualquier situación de peligro. El funcionamiento como se mencionó anteriormente queda mejor estructurado al momento ver el programa corriendo, para poder entender como es que el programa funciona y cual es la lógica detrás del mismo, en la Figura 38 se presenta un diagrama de flujo. El programa puede ser visto en la Figura 39. Para poder implementar el programa se utilizo el programa proveído por la empresa, en este caso LOGO Comfort versión "8.1", el cual utiliza el lenguaje de diagrama de bloque para poder realizar los programas. Si bien con el simple hecho de utilizar el programa, no es posible el poder determinar que este funcione, el programa ofrece una herramienta de simulación la cual nos ayuda a poder simular entradas y salidas del controlador, así como ver los cambios en las señales internas en tiempo real.

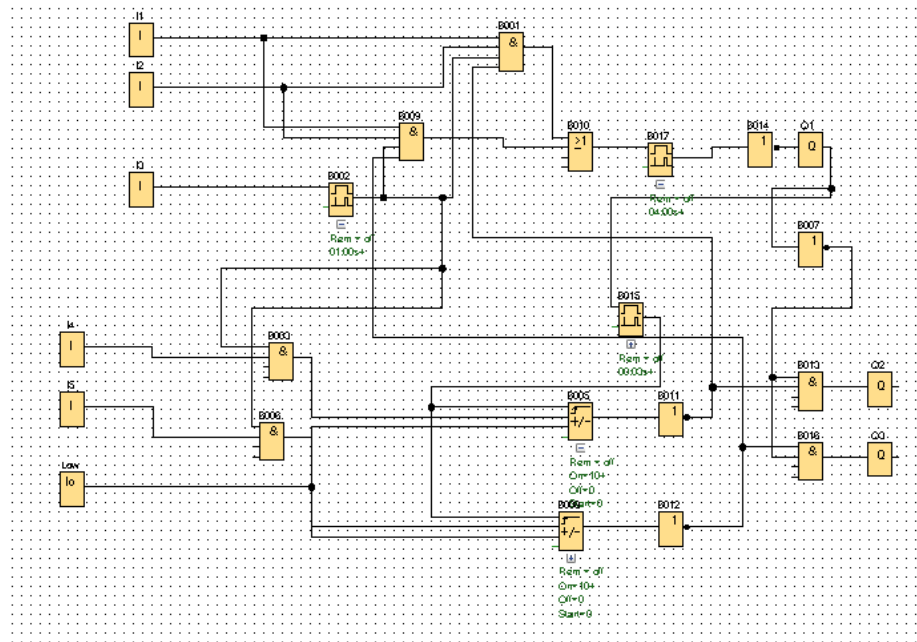


Figura 38: Programa diseñado para su uso en la máquina.

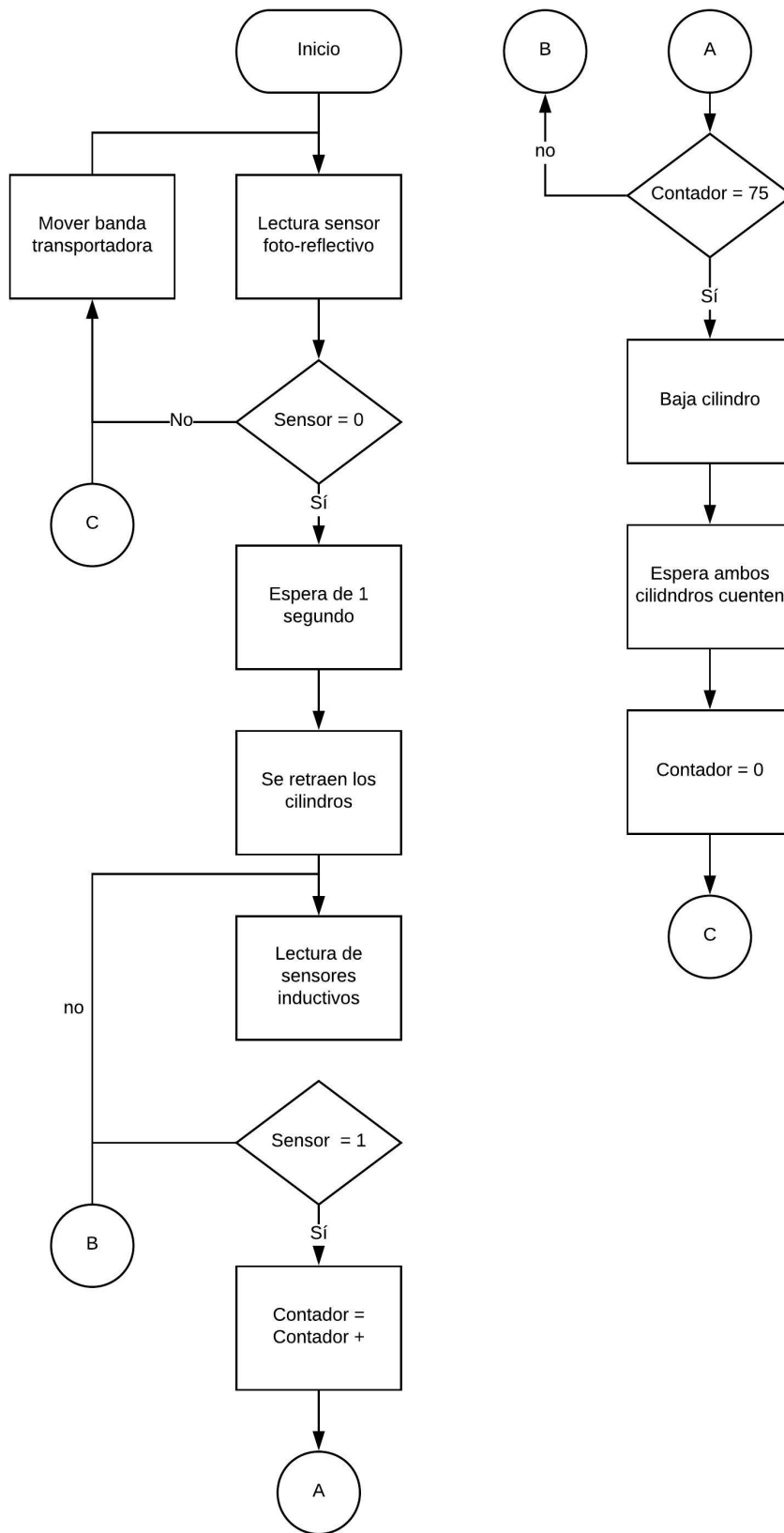


Figura 39: Programa diseñado para su uso en la máquina.

## 8.1. Construcción de prototipo

### 8.1.1. Primer prototipo

Con el fin de poder asegurar que el conteo de las unidades a empacar fuera exacto, se diseñó un prototipo que permitiera poder recolectar datos del mismo así como también demostrar el método de conteo a utilizar y su efectividad. Este prototipo, se realizó con distintos materiales, principalmente cartón ya que se busca que este sea más ilustrativo y no que imite completamente al modelo final que se fabricará con acero inoxidable. Una imagen del prototipo, puede ser encontrada en la Figura 40 como se puede apreciar en la imagen, se realizó un molinete únicamente a uno de los carriles, esto con ya que el utilizar un único carril, nos da una mejor visión de la distribución del producto en la rampa con guía. Esto último se debió ya que al utilizar los cinco carriles de la rampa, no es posible mantener un buen rastreo de cada una de la esferas.

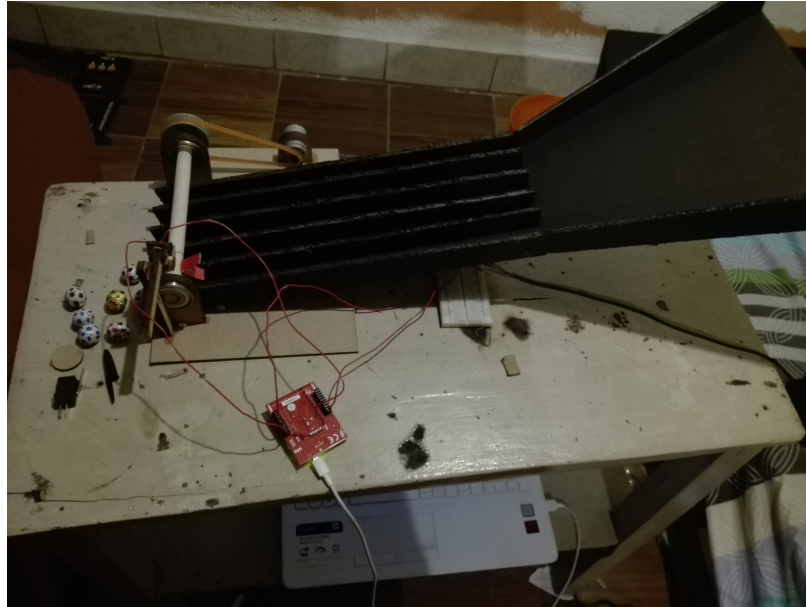


Figura 40: Prototipo.

En cuanto al funcionamiento del molinete, este se vio afectado por diversos factores, el primero factor que influencio en el mal funcionamiento del molinete, es el material con el cual se construyo la rampa del prototipo, el material utilizado en este caso es conocido como cartón espuma. Este material se utilizó principalmente ya que es fácil de moldear y permite crear una gran cantidad de componentes. Sin embargo, el problema surge cuando se intenta cortar este material, ya que los bordes del mismo no quedan perfectos y en la mayoría de casos quedan pequeñas protuberancias que dificultan el poder pegar una pieza con otra. Sin embargo, al momento de realizar las primeras pruebas con las esferas de chocolate, estas no presentaban ninguna dificultad al momento de pasar por la rampa e inclusive inclinaciones de 10 grados lograban movilizar a las unidades dentro de la rampa en determinado momento.

Con el paso del tiempo se pudo apreciar cómo es que la envoltura de papel aluminio de las muestras se empezó a despegar del producto dificultando cada vez más que las unidades

podrían rodar libremente por la rampa. Para el diseño final mostrado en la Figura 40 se determinó que para algunas unidades, el ángulo de inclinación debe ser superior a 30° grados para que las esferas rodaran sobre la rampa. Esto tuvo un impacto significativo sobre el funcionamiento del prototipo ya que en muchas ocasiones aún aplicando vibraciones manuales a la rampa, los dulces no se deslizaban por la misma y se quedaban atorados en el molinete afectando igualmente al motor encargado de mover dicho eje; sin embargo probando con otros objetos esféricos similares a las unidades cuando se encuentran recién formadas y con la envoltura puesta en un tiempo reciente.

Durante las pruebas realizadas al prototipo, se utilizaron dos distintos tipos de motores, el primero fue un motor ac, el cual fue remplazado por no poseer la fuerza suficiente para poder mover el fin de carrera disminuyendo la cantidad de veces que el contador acertaba, este motor fue cambiado por un motor servo con giro de 360 grados el cual posee una capacidad de carga de 5kg. Al utilizar dicho motor, se pudo apreciar una gran diferencia en cuanto a la efectividad del conteo de unidades ya que las paletas podían fácilmente mover el micro-switch al igual que este motor lograba empujar o reacomodar las unidades que se atoraban o bien no podían rodar en la rampa.

### 8.1.2. Segundo prototipo

En el segundo prototipo se utilizó un nuevo material para la rampa, este es MDF. Este material se caracteriza por ser más duro que el cartón teniendo un grosor de 3 mm, En dicho material, las esferas de chocolate presentaron un mejor comportamiento ya que estas siempre rodaban en exposición a una vibración. Otra ventaja mostrada con el uso de MDF es que la estructura se volvió más sólida permitiendo que las vibraciones se dispersaran mejor en los distintos elementos por lo cual la distribución de las unidades mejoro en relación al prototipo anterior, se pueden encontrar imágenes de este prototipo en las Figuras 41 y 42. En este caso, se buscó el poder determinar si la dispersión de las unidades en la rampa es lo suficientemente buena para poder asegurar que los chocolates puedan ser contados de forma efectiva al pasar por lo fines de carrera. Esto se determinó al simular la salida esporádica de distintos chocolates de la tolva. Para estas pruebas se utilizo un total de 100 chocolates los cuales se buscaba que no se trabaran en ninguna parte de la rampa ya que, como sucedió en el prototipo 1, se determino que es muy difícil aun con vibraciones que las esferas rueden con facilidad a través de la rampa. Sin embargo en este nuevo prototipo surgió un problema mayor, ya que las esferas de chocolate tienen a quedarse trabadas en el molinete, impidiendo que este pueda seguir girando. Si bien el problema anterior puede ser solucionado con la aplicación de una mayor fuerza en el molinete, con el uso de un motor más potente esto conlleva a que se generen determinadas deformaciones en el chocolate disminuyendo la calidad del producto, por lo cual se realizaron modificaciones a los diseños originales de los distintos elementos.



Figura 41: Prototipo con mdf



Figura 42: prototipo con mdf



### 9.1. Rediseño de la rampa

Este segundo diseño, viene luego de la implementación del primer y segundo prototipo, en este se decidió realizar modificaciones a la rampa con el fin de poder controlar individualmente cada uno de los carriles que posee la rampa. Por este motivo, los carriles fueron reducidos a únicamente cuatro. Por este motivo se modificaron tanto la parte inferior de la rampa como la parte superior de la misma, Mayormente reduciendo el ancho de estas piezas con el fin de poder adaptarlas a el uso de cuatro carriles en los cuales se controla el flujo de unidades por medio de dos pestañas que bajaran cuando se desea que dejen de pasar unidades, en este caso el conteo ya no se realizara con fines de carrera ya que estos al ser elementos mecánicos necesitan cierto tiempo para volver a su estado original. Por el motivo anteriormente mencionado, se decidió cambiar al uso de sensores inductivos para detectar las unidades. Para poder comprobar la correcta detección de las unidades, se probó utilizando únicamente la rampa y el sensor con el fin de determinar si el sensor es capaz de detectar cada unidad debido a que estas pasan demasiado cerca cuando se encuentran en fila dentro de los carriles. Imágenes de dichas pruebas realizadas se encuentran en las Figuras 43 y 44, estas imágenes fueron tomadas directamente del osciloscopio detectando los pulsos dados por cada una de las unidades al pasar por el sensor.

En estas pruebas se utilizó un estándar de 15 unidades del producto para poder saber si el sensor es capaz de detectar 15 pulsos los cuales servirían para detectar cada uno de los chocolates y así poder realizar un conteo. Los resultados de 8 distintas pruebas realizadas con esta rampa son mostrados en el Cuadro 8, en la última prueba se utilizaron 32 unidades con el fin de poder determinar que tanto se ve afectado el conteo por la cantidad a contar. Como se puede ver en el cuadro, no se logra un conteo exacto ni preciso de todas las unidades, esto se ve igualmente reflejado en las imágenes tomadas en el osciloscopio donde se puede

apreciar que por lo general existen picos que no regresan a 0 por lo cual no generan un pulso y esto en ocasiones no puede ser contado como un chocolate, igualmente se tienen que en ocasiones únicamente se generaron 14 o inclusive 10 pulsos por lo cual teniendo en cuenta la gran variación entre estas ocho pruebas, se puede concluir que el conteo de unidades no es satisfactorio. Teniendo en cuenta las imágenes

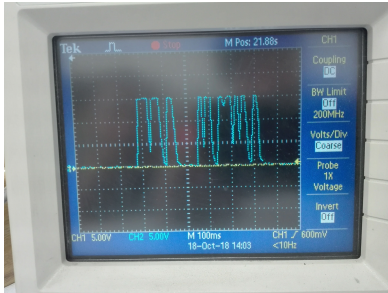


Figura 43: Pruebas de conteo

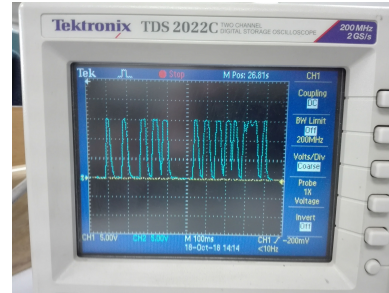


Figura 44: Pruebas de conteo

Prueba No.	Dulces contados
1	10
2	14
3	15
4	14
5	12
6	12
7	14
8	28

Cuadro 8: Resultados de las pruebas

### 9.1.1. Reductores de velocidad

Como se puede apreciar en los resultados anteriormente presentados, el sensor no es capaz de detectar todas las unidades que se dejan pasar a través de la rampa. Por esto mismo, se considera el uso de un nuevo elemento con el fin de poder separar las unidades antes de que estas pasen por cada uno de los sensores. Este nuevo elemento es un reductor de velocidad, el cual consiste en pequeñas rampas colocadas antes del sensor con el fin de que los chocolates se vean forzados a pasar por estas reduciendo su velocidad al igual que separando las unidades lo suficiente para que el sensor pueda detectar cada una por individual. Los resultados obtenidos por medio de osciloscopio pueden encontrarse en las Figuras 45 y 46.

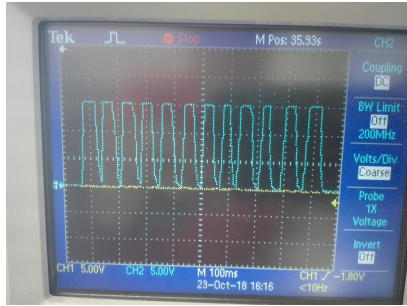


Figura 45: Pruebas de conteo

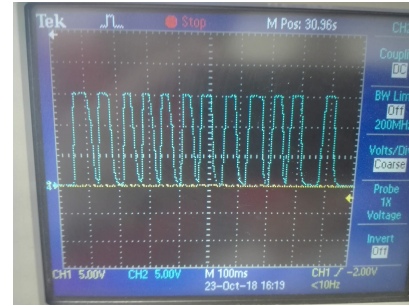


Figura 46: pruebas de conteo

En estas nuevas pruebas realizadas se pudo apreciar una mejora en cuanto a la detección de las unidades, esto se puede apreciar en las Figuras 45 y 46 donde se pueden contar claramente los distintos pulsos generados por las unidades en este caso igualmente se realizaron pruebas de conteo utilizando 15 unidades y en las ultimas pruebas se utilizaron 50 unidades. Se puede apreciar igualmente que al momento de realizar las pruebas, toma alrededor de 1 segundo el paso de 15 unidades en cada una de las rampas. Esto puede verse en el tiempo señalado en el osciloscopio igualmente se tiene el Cuadro 9 donde se pueden encontrar los tiempos de algunas de las pruebas realizadas con los reductores de velocidad. Se puede apreciar que el tiempo promedio para el paso de 15 unidades por cada una de las divisiones de la rampa es de aproximadamente 1 segundo por lo que se puede decir que el empaque de las 150 unidades puede realizarse en un tiempo de aproximadamente 5 segundos utilizando los dos carriles de la rampa.

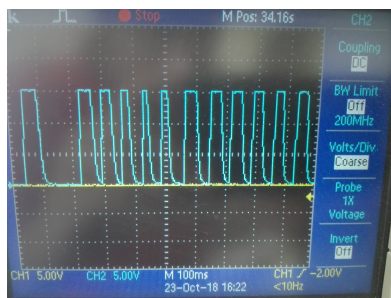


Figura 47: Pruebas de conteo

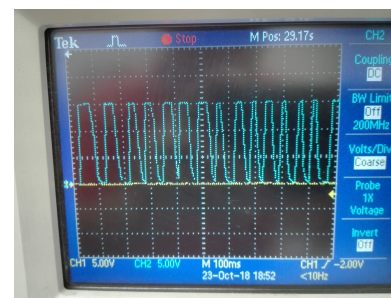


Figura 48: Pruebas de conteo

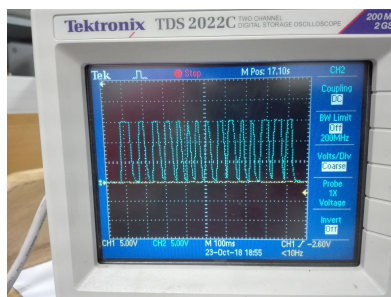


Figura 49: Pruebas de conteo

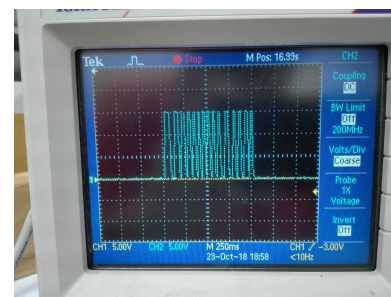


Figura 50: Pruebas de conteo

Prueba No.	Unidades contadas	Tiempo (s)
1	15	1
2	15	1.2
3	15	1
4	15	1
5	15	1.1
6	15	1
7	15	1
8	15	1.5
9	15	1.1
10	15	1.1

Cuadro 9: Resultados de conteo con tiempo

### 9.1.2. Compuertas

Tomando en cuenta los resultados obtenidos con el uso de los reductores de velocidad, se puede afirmar que estos son lo suficientemente efectivos para poder garantizar un conteo exacto de las de las unidades, por lo cual se remueve el molinete anteriormente diseñado para el ordenamiento de las unidades previo a su paso por el sensor. Teniendo esto en cuenta, se necesita el uso de un nuevo elemento encargado de detener el flujo de las unidades a través de los carriles. para esto se decidió el uso de actuadores lineales neumáticos que impidan el paso de unidades cuando este no sea necesario.

Los actuadores en cuestión a utilizar para estas compuertas, son actuadores lineales de la serie M de UNIVER, estos actuadores se caracterizan por poseer un tamaño reducido con vástagos con carreras de hasta 10mm. En específico se elige el modelo M1600100010 el cual posee una carrera de 10 mm. esto debido a que las unidades no necesitan una gran cantidad de esfuerzo para poder detener el flujo de la rampa. Para esto se diseñó un nuevo soporte capaz de sostener ambos cilindros. El soporte puede encontrarse en la Figura [51](#), en esta imagen ya se incluyen dos bocetos de los cilindros correspondientes, así como de el accesorio necesario para poder detener el flujo de unidades dentro de la rampa. En esta ocasión el flujo se detiene cuando bajan o bien se extienden los pistones. Igualmente se tiene en este nuevo soporte, un soporte para los sensores inductivos los cuales se encontraran en la parte inferior de la rampa.

Como se puede apreciar en este caso, el sensor se encuentra justamente debajo del actuador, esto con el fin de poder detener el flujo lo más rápido posible antes de que pase otra unidad. Para poder asegurar tanto la seguridad de las unidades, el material con el cual se realiza la placa que detiene las unidades es de hule de neopreno, igualmente esto evita que este sea detectado por el sensor ya que este reacciona con metales. Por último, en la figura [52](#) se muestra una imagen de la máquina con las modificaciones finales.

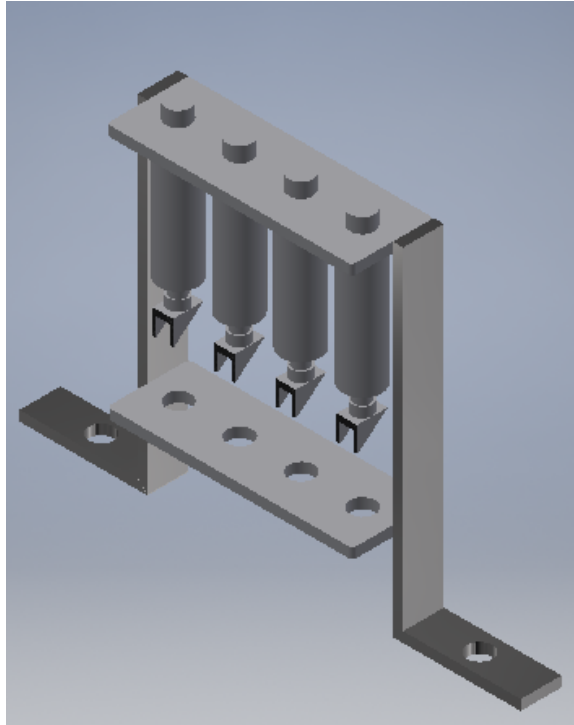


Figura 51: Soporte para los cilindros.

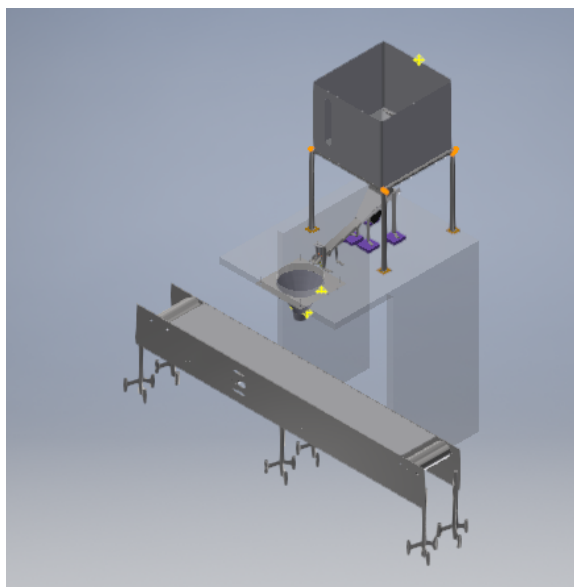


Figura 52: Diseño final de las modificaciones.

## 9.2. Sistema neumático

Con el nuevo diseño tomado para poder realizar el conteo de las unidades, y tomando en cuenta que ahora se utilizaran actuadores lineales para funcionar como compuerta en cada uno de los carriles, se decide utilizar actuadores neumáticos. Como se mencionó anteriormente el actuador a utilizar es un M1600100010 el cual posee la característica de necesitar únicamente una alimentación de aire ya que se retrae por medio de resortes esto puede verse ejemplificado en la Figura 53. Igualmente se utiliza una electro-válvula 3/2 vías para poder tener control del cilindro. En este caso al accionarse la electro válvula, el vástago se extenderá y bloqueará el paso, mientras que al encontrarse apagada la electro válvula el resorte se encargará de volver el pistón a su lugar. Igualmente en el anexo B podemos encontrar la conexión realizada para el accionamiento de los cilindros.

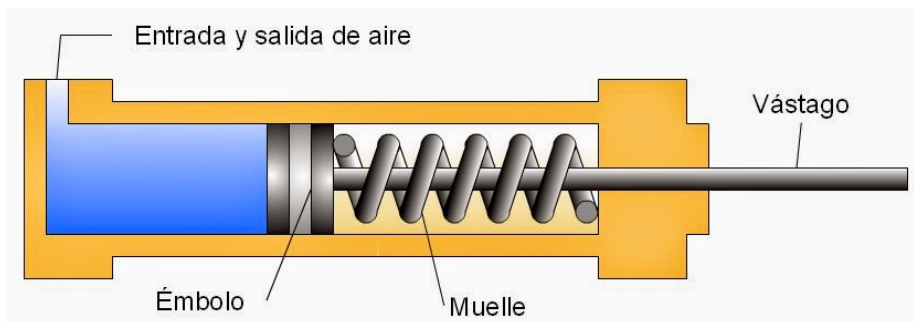


Figura 53: Cilindro simple efecto 23.

## 9.3. Cotización

El siguiente punto a tomar en cuenta es la cotización de los distintos elementos que se consideraron al momento de realizar el diseño del proyecto, la cotización final puede ser encontrada en el Cuadro 10. En este caso podemos apreciar que se dividieron los objetos en dos distintas categorías, siendo la primera de objetos relacionados a la parte mecánica o estructural de las modificaciones y la segunda la parte eléctrica y electrónica. En este caso, tenemos igualmente incluida una columna en la cual se encuentra el link del cual se obtuvo el precio de determinado producto.

## COTIZACIÓN

<b>Mecánico</b>						
cantidad	Producto	Marca	Dolares	Precio	total	
3	Lamina Acero 0.5			Q 300.00	Q 900.00	24
2	Lamina Acero 0.6			Q 320.00	Q 640.00	24
2	Lamina Acero 1.2			Q 1,425.00	Q 2,850.00	24
6	Sylomer L-25	Mecanocaucho		Q 36.45	Q 218.70	25
4	cilindros neumáticos	Univer	\$ 74.00	Q 569.80	Q 2,279.20	26
8	racores rapidos	Univer	\$ 3.20	Q 24.64	Q 197.12	26
4	Nanovalvulas 3/2	Univer	\$ 45.00	Q 346.50	Q 1,386.00	26
1	Unidad de mantenimiento	Festo	\$ 162.00	Q 1,247.40	Q 1,247.40	26
1	microvibrador	Vicmatic	\$ 94.00	Q 723.80	Q 723.80	26
25	electrodos punto verde			Q 13.50	Q 337.50	24
2	perfil tubular cuadrado			Q 155.00	Q 310.00	24
1	perfil plano rectangular			Q 175.00	Q 175.00	24
1	banda transportadora	EMI	\$ 2,500.00	\$ 19,250.00	Q 19,250.00	27
50	tornillos M10X60	Eaton		\$ 45.91	Q 353.51	28
<b>Electronico</b>						
1	Guarda motores	Me		Q 266.00	Q 266.00	29
1	sensor foto electrico	Banner	\$ 204.00	Q 1,570.80	Q 1,570.80	30
20	cable de cobre	Viakon		Q 1.90	Q 38.00	31
2	botones	Banner	\$ 65.00	Q 500.50	Q 1,001.00	30
15	borneras para riel	Dartel	\$ 5.53	Q 42.57	Q 638.48	32
1	Motor 1 hp	Siemens	\$ 429.00	Q 3,303.30	Q 3,303.30	33
1	Paro emergencia	Banner	\$ 52.00	Q 400.40	Q 400.40	30
1	Micromaster 420	Siemens			Q 1,270.00	34
1	PLC Logo	Siemens		Q 359.00	Q 2,764.30	35
1	Modulo extensión	Siemens	\$ 270.00	Q 2,079.00	Q 2,079.00	35
4	senosres inductivos	Honeywell	\$ 18.00	\$ 138.60	Q 554.40	36
4	pieza hule espuma				Q 154.00	37
TOTAL					Q 42,713.91	

Cuadro 10: Cotización del proyecto



1. El diseño cumple con las distintas normativas de la industria de alimentos, no solamente las centroamericanas, sino también las normas internacionales. tanto en el área del diseño de las piezas, así como en la de los materiales utilizados, ya que todos los análisis realizados para las estructuras utilizan acero inoxidable.
2. A pesar que la velocidad de conteo logra aumentarse en un 15 % con el método elegido se puede asegurar que el conteo de las unidades es exacto en un 100 % de las ocasiones, igualmente se puede asegurar que no es necesaria la presencia de un operario que verifique la cantidad a envasar debido a los sensores colocados en cada carril.
3. Las modificaciones presentadas logran hacer que la máquina cuente de forma exacta las unidades por envasar, sin la necesidad de que un operario supervise de forma directa la cantidad de unidades presentes en cada una de las etapas del sistema de conteo. Reduciendo de esta forma tanto el número de operadores necesarios a únicamente uno encargado de el llenar la tolva cada vez que sea necesario y poner los envases en la banda transportadora.
4. El diseño utilizado de la banda transportadora, permite que la máquina se adecue fácilmente a cualquier otro dispositivo que se instale dentro de la línea, sea este anterior al proceso de envasado o posterior al mismo.
5. El nuevo diseño de la tolva, junto con su estructura, permiten un mejor uso del espacio detrás de la máquina, ya que se reduce este a 0, cuando anteriormente el espacio de la tolva en la parte trasera ocupaba 50 centímetros hacia atrás de la estructura principal



Se recomienda en futuras modificaciones, la implementación de un PLC con capacidad de conexión por Ethernet, esto con el fin de poder controlar mejor tanto los parámetros de funcionamiento de la máquina como las variables importantes en el proceso. La implementación de una pantalla táctil nos permitiría observar en tiempo real determinados parámetros como la velocidad en los motores, la detección de objetos por parte de los sensores y el número de envases llenados en una determinada cantidad de tiempo. Igualmente el uso de un PLC con capacidad de Ethernet permite tener un mejor control sobre los motores, permitiendo cambiar frecuencias y paros del motor de una forma más eficiente ya que con este tipo de controlador se puede crear una comunicación directa con el varedor de frecuencia. Se tiene también que tomar en cuenta en futuras modificaciones, el poder expandir el espacio disponible con el fin de agregar una segunda rampa que permita aumentar la velocidad de producción ya que esto permitiría el poder llenar dos envases en la misma cantidad de tiempo algo que es posible realizar y que beneficiaría en gran medida a la producción de la empresa.

En cuanto al método de conteo se recomienda de ser posible y tener el acceso el uso de un método de conteo por medio de peso, ya que este método es aun más rápido que el método propuesto, debido a que las unidades del producto se envasan con el simple hecho de abrir una compuerta. Esto, a diferencia del método utilizado, para el diseño, permite que una gran cantidad de unidades entren al envase de forma casi instantánea mientras que en el método actual se debe esperar a que todas las unidades pasen por el molinete. Como se especificó, esto debe ser probado solamente si se tiene acceso a un sensor de peso que posea una alta sensibilidad y que posea una relación lo más lineal posible permitiendo determinar el peso exacto de forma sencilla. Se recomienda igualmente en este caso probar el sensor utilizando un controlador simple como lo puede ser un arduino, esto ya que de usarse dicho sensor se necesitaría igualmente conseguir un módulo de entrada analógicas para el PLC a utilizar. Por último, se recomienda una comparación de costos recomienda una comparación de precios y de recuperación de inversión, para el método propuesto en este documento y el de uso de un sensor de peso.



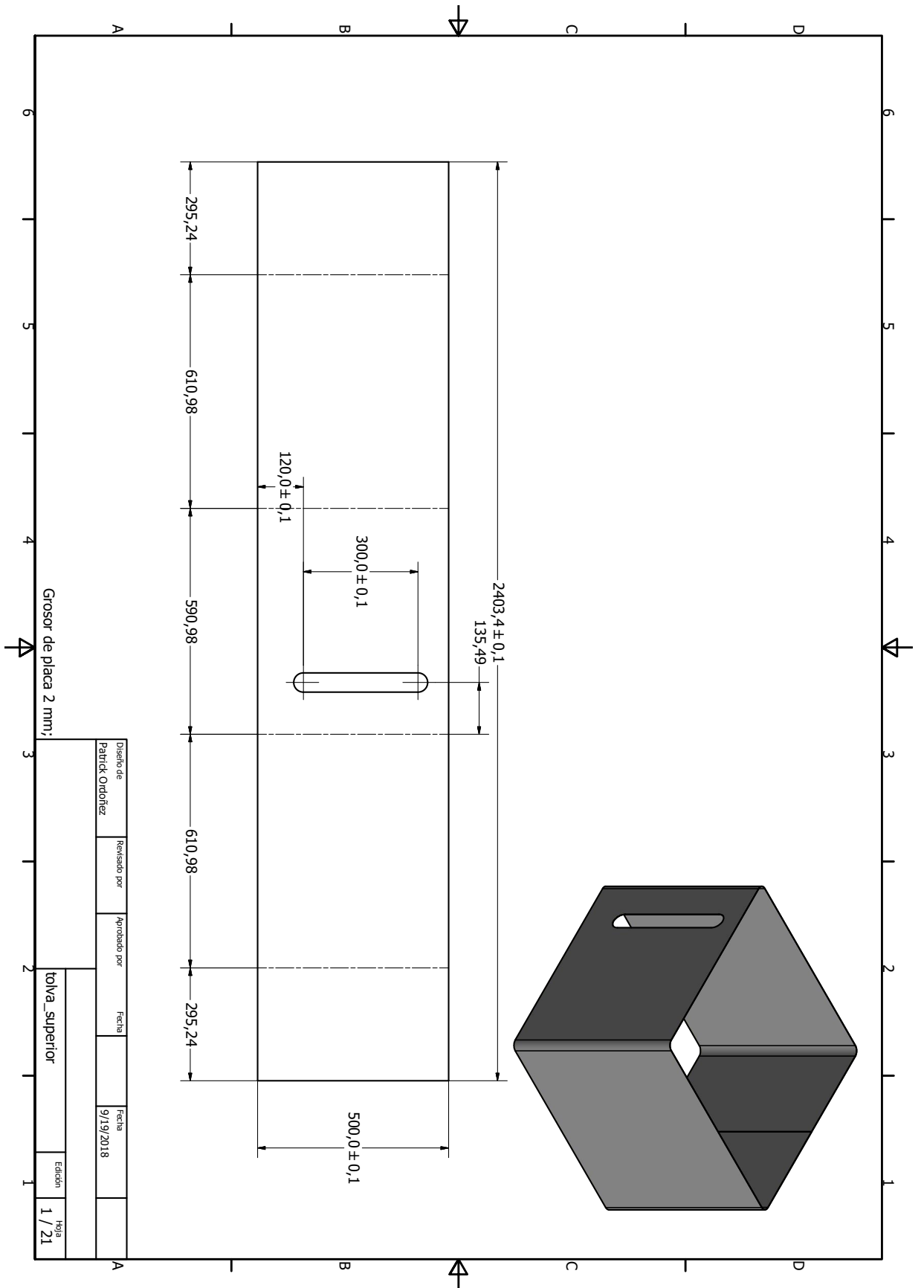
- 
- [1] S. T. Beckett, *Industrial chocolate manufacture and use*, Cuarta. York, UK: Blackwell Publishing, 2009.
  - [2] J. K. Budynas Richard G. & Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shingley*, eighth. México D.F: McGraw Hill, 2008.
  - [3] F. M. Systems. (). Cálculo de banda transportadora, dirección: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=%5C&esrc=s%5C&source=web%5C&cd=1%5C&ved=2ahUKEwi7yPDQ9rrdAhUHU1AKHfkVBNYQFjAAegQICRAC%5C&url=https%5C%5CA%5C%2F%5C%2Fforbo.blob.core.windows.net%5C%2Fforbodocuments%5C%2F7376%5C%2F304-fms\\_transilon-calculo-de-la-banda-transportadora\\_es.pdf%5C&usg=AOvVaw0EvehqKCDWWA\\_y3xNcRTOM](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=%5C&esrc=s%5C&source=web%5C&cd=1%5C&ved=2ahUKEwi7yPDQ9rrdAhUHU1AKHfkVBNYQFjAAegQICRAC%5C&url=https%5C%5CA%5C%2F%5C%2Fforbo.blob.core.windows.net%5C%2Fforbodocuments%5C%2F7376%5C%2F304-fms_transilon-calculo-de-la-banda-transportadora_es.pdf%5C&usg=AOvVaw0EvehqKCDWWA_y3xNcRTOM).
  - [4] *Rodamientos de bolas y rodillos*, Cat. No. 2202-VII/S, NTN, 2004.
  - [5] S. T. Beckett, *The Science of chocolate*, Second. Cambridge, UK: RSC Publishing, 2008.
  - [6] A. Alvis, L. Pérez y G. Arrazola, “Determinación de las Propiedades de Textura de Tabletas de Chocolate Mediante Técnicas Instrumentales”, *Información tecnológica*, vol. 22, págs. 11-18, de 2011. dirección: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642011000300003&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000300003&nrm=iso).
  - [7] PrevenSystem. (2018). NORMA ISO 22000, NORMA ISO 22000, dirección: <http://www.prevensystem.com/internacional/prevensystem-noticias.php?id=801#submenuhome>.
  - [8] M. Ministerio de Economía y Comercio. (2004). Industria de bebidas y alimentos procesados. Buenas practicas de manufactura. Principios generales, dirección: [http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/rtca/rtca\\_67\\_01\\_3306\\_bebidas\\_procesadas\\_buenas\\_practicas.pdf](http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/rtca/rtca_67_01_3306_bebidas_procesadas_buenas_practicas.pdf).
  - [9] —, (2004). Industria de bebidas y alimentos procesados. Buenas practicas de manufactura. Principios generales, dirección: [http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/buenas\\_practicas\\_de\\_alimentos\\_no\\_procesados.pdf](http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/buenas_practicas_de_alimentos_no_procesados.pdf).

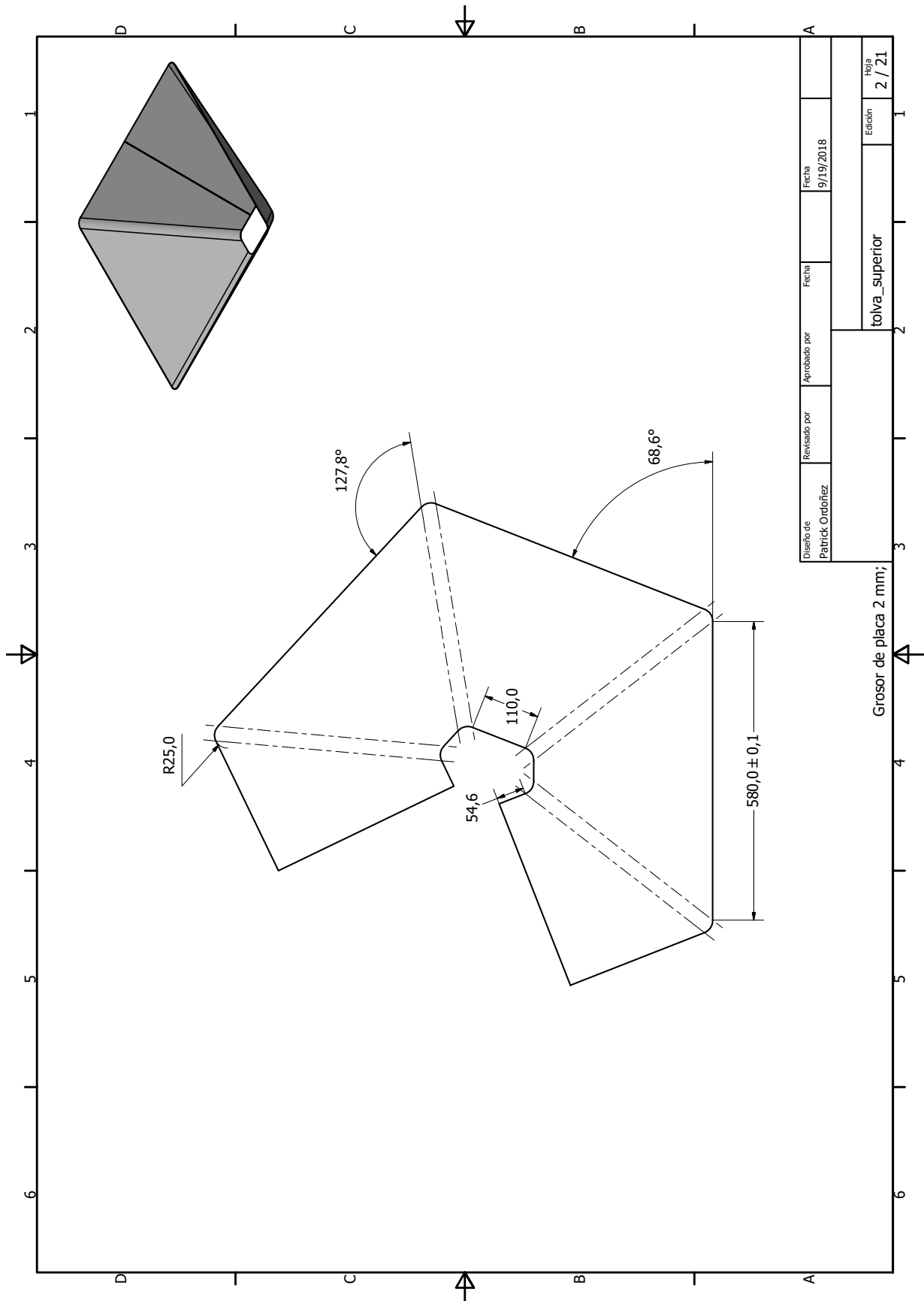
- [10] A. Wagner. (2015). Libro blanco - Seguridad alimentaria, FESTO, dirección: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/365870/White\\_Paper\\_Foodsafety\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/365870/White_Paper_Foodsafety_es.pdf).
- [11] —, (2013). Diseño de máquinas y especificaciones de diseño, dirección: [https://www.festo.com/rep/es\\_es/assets/pdf/FOOD\\_manual\\_design\\_es.pdf](https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_design_es.pdf).
- [12] E. P. DeGarmo, J. T. Black y R. A. Kohser, “Capítulo 7, Productos siderúrgicos (aceros y ferroleaciones)”, en *Materiales y Procesos de Fabricación*, segunda, vol. 1, Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A., 2002. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=m2swZYTsVIC&pg=PA208&dq=Acero+inoxidable+austenitico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwizn6-d9andAhXRzFMKHeBxCg8Q6AEIJTAA#v=onepage&q=Acero%5C%20inoxidable%5C%20austenitico&f=false>.
- [13] A. Milvaques. (mar. de 2015). Diseño higiénico en la industria alimentaria, dirección: <http://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/disenio-higienico-en-la-industria-alimentaria/>.
- [14] *Técnicas de envasado y empaque*, Edición y producción: Hamann, Soledad, Intermediate Technology Development Group, Lima, Perú, 1998. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=KQ2rfoGbDB0C&pg=PA21&dq=envoltura+aluminio+alimentos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwja-oGXzKrdAhUOEVAKHeQyAdwQ6AEIKzAB#v=onepage&q=envoltura%5C%20aluminio%5C%20alimentos&f=false>.
- [15] S. R. Kalpakjian Serope & Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Fourth. Naulcanpan de Flores, México: Prentice Hall, 2002. dirección: [https://books.google.com.gt/books?id=gilYI9\\_KKAoC&pg=PA819&dq=dise%C3%B1o+de+soldadura&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi41-fttqXdAhXfPfkKHdVSBm8Q6AEIJjAA#v=onepage&q&f=false%20material%20de%20soldadura%20lo%20m%C3%A1s%20posible](https://books.google.com.gt/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA819&dq=dise%C3%B1o+de+soldadura&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi41-fttqXdAhXfPfkKHdVSBm8Q6AEIJjAA#v=onepage&q&f=false%20material%20de%20soldadura%20lo%20m%C3%A1s%20posible).
- [16] L. D. Riley F. William & Sturges, *Ingeniería mecánica: Dinámica*. Barcelona, España: Reverté S.A., mayo de 2005. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=Vq3HdDHRsz8C&pg=PA450&dq=vibraciones+mecanicas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixtez7rsXdAhV0zFMKHQazBI4Q6AEIJjAA#v=onepage&q=vibraciones%5C%20mecanicas&f=false>.
- [17] P. Céspedes Calderón, “Aplicación del método del los elementos finitos al estudio de vibraciones en vigas empleadas en construcción naval”, Tesis doct., Universidad de Cádiz, Puerto real (Cádiz), 2006. dirección: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6406/b33285780.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- [18] J. A. Vásquez Angulo, *Análisis y diseño de piezas con CATIA V5*, second. España: marcombo, 2012. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=zaB9qchwY08C&printsec=frontcover&dq=elementos+finitos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiMx9FYvMXdAhWkuVMKHTUWC3#v=onepage&q=elementos%5C%20finitos&f=false>.
- [19] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, fourth. Oxford, UK: ELSEVIER, 2006. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=o7100Dj6jqQC&printsec=frontcover&dq=PLC&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj0v5D0krLdAhUSPN8KHRCyBo8Q6AEILDAB#v=onepage&q=PLC&f=false>.

- [20] M. P. Martín Castillo Juan Carlos & García García, *Arranque y variación de velocidad en motores (Automatismos industriales)*. Madrid, España: Editex, S.A., 2016. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=27NcDAAAQBAJ&pg=PA213&dq=variador+de+frecuencia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj6d7jm7LdAhWBPFAKHRxDD94Q6AEINDAD#v=onepage&q=variador%5C%20de%5C%20frecuencia&f=false>.
- [21] J. Corona Ramírez Leonel Germán ; Abarca Jiménez Griselda Stephany; Mares Carreño, *Sensores y Actuadores aplicaciones con arduino*. México: Grupo Editorial Patria, 2014. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sensores&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjX-6fi47PdAhVH9aQKHUSTC0oQ#v=onepage&q=sensores&f=false>.
- [22] R. Automation. (2018). Sensores fotoeléctricos, dirección: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Photoelectric-Sensors>.
- [23] M. B. Fernández. (sep. de 2014). Cilindros Neumáticos, dirección: <http://manuelbrionesfernandezde.blogspot.com/2014/07/informe-del-mes-de-agosto-cilindros.html>.
- [24] (), dirección: <https://www.novex.com.gt/>.
- [25] (), dirección: <https://www.adasec.cat/files/nuevaTarifa%5C%20acustica%5C%20reducida%5C%202008.pdf>.
- [26] (), dirección: <https://www.fluid24.eu/univer-series-m-micro-cylinder-iso-6432-o-8-25-mm-stainless-steel-piston-rod-standard-version-ew-piston-rod-retracted-o10-25-max-stroke-50-mm-o10-10-2639.html>.
- [27] (), dirección: <http://catalogs.emicorp.com/data/con18esn/011/html/export/Bandas%5C%20Transportadoras.pdf>.
- [28] (), dirección: <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/eaton-moeller/flat-round-screw-m10x60-88-eaton-moeller-xnnfrs-m10x60-8-168955>.
- [29] (), dirección: <https://www.electroma.com/collections/guardamotores>.
- [30] (), dirección: <https://www.bannerengineering.com/us/en.html>.
- [31] (), dirección: <https://www.electroma.com/collections/cable-electrico/products/cable-thhn-ul>.
- [32] (), dirección: <https://www.dartel.cl/index.php/catalog/product/view/id/6548/s/accesorios-shunt-para-bloques-paso-55/category/129/>.
- [33] (), dirección: <https://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-motor/nema-motors/Literature-and-technical-resources/Documents/2015-D81.2%5C%20NEMA%5C%20Motors%5C%20Catalog.pdf>.
- [34] (), dirección: <https://www.acpd.co.uk/sei/s/1488/f110.pdf>.
- [35] (), dirección: <https://www.amazon.com/Siemens-6ED1052-1FB00-0BA8-Controller-23ORCE-Display/dp/B010SHWWNC>.
- [36] (), dirección: <http://ceiisa.com/sensores-inductivos/sensores-inductivos-honeywell>.
- [37] (), dirección: <https://www.espumaencasa.es/medidor/angulorecto/D25/>.



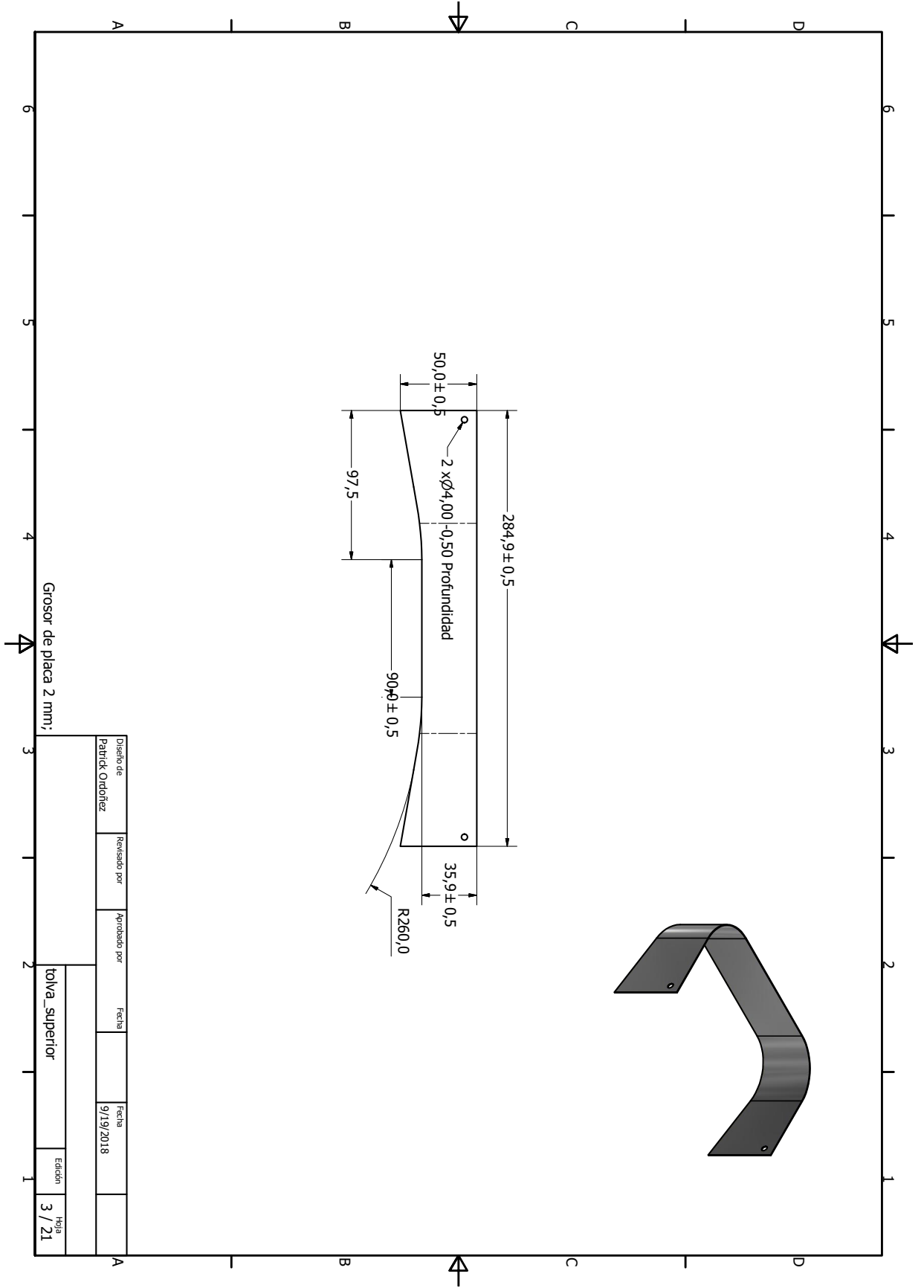
**13.1. Planos mecánicos**





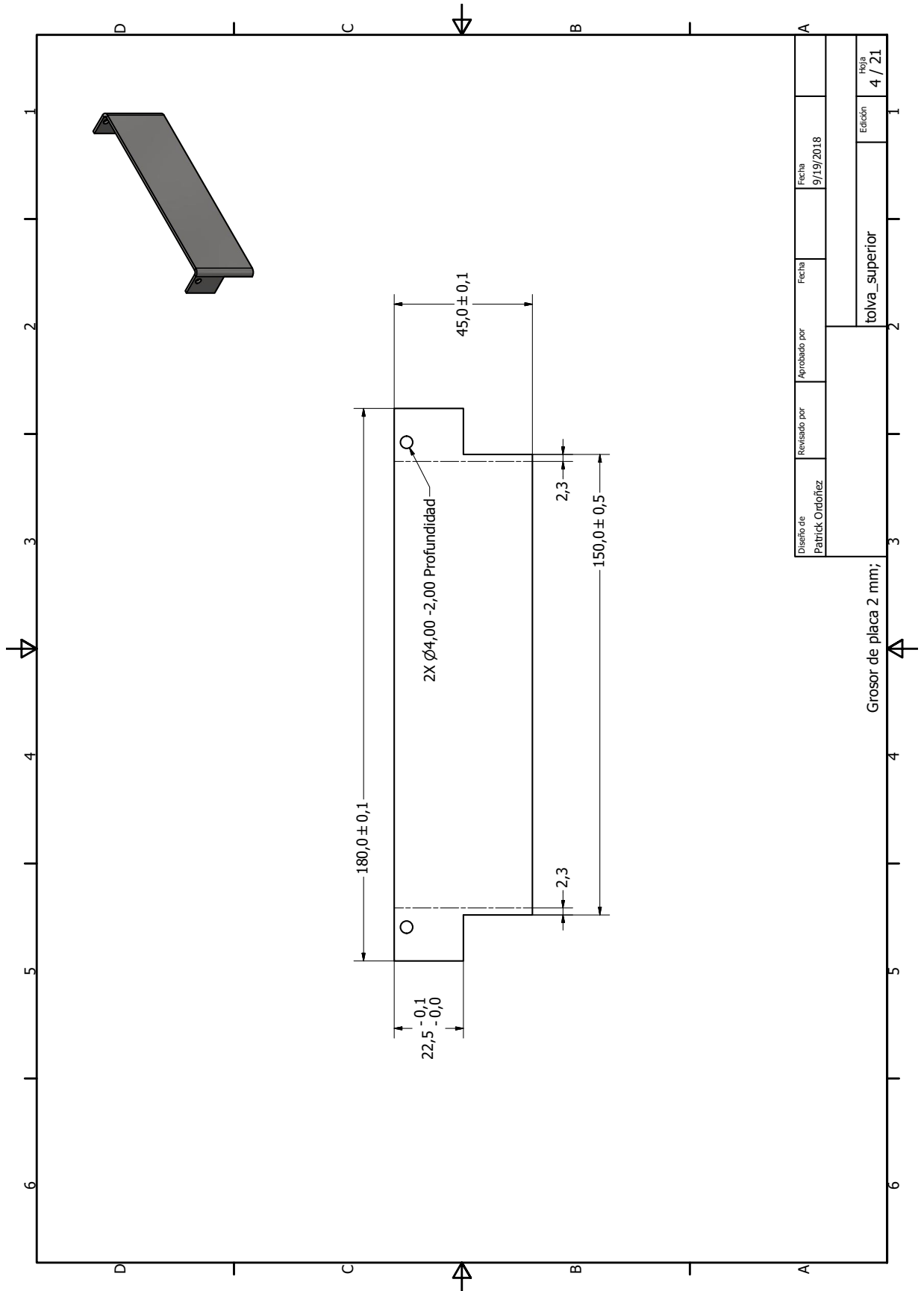
Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha 9/19/2018
tolva_superior			Edición 2 / 21

Grosor de placa 2 mm;



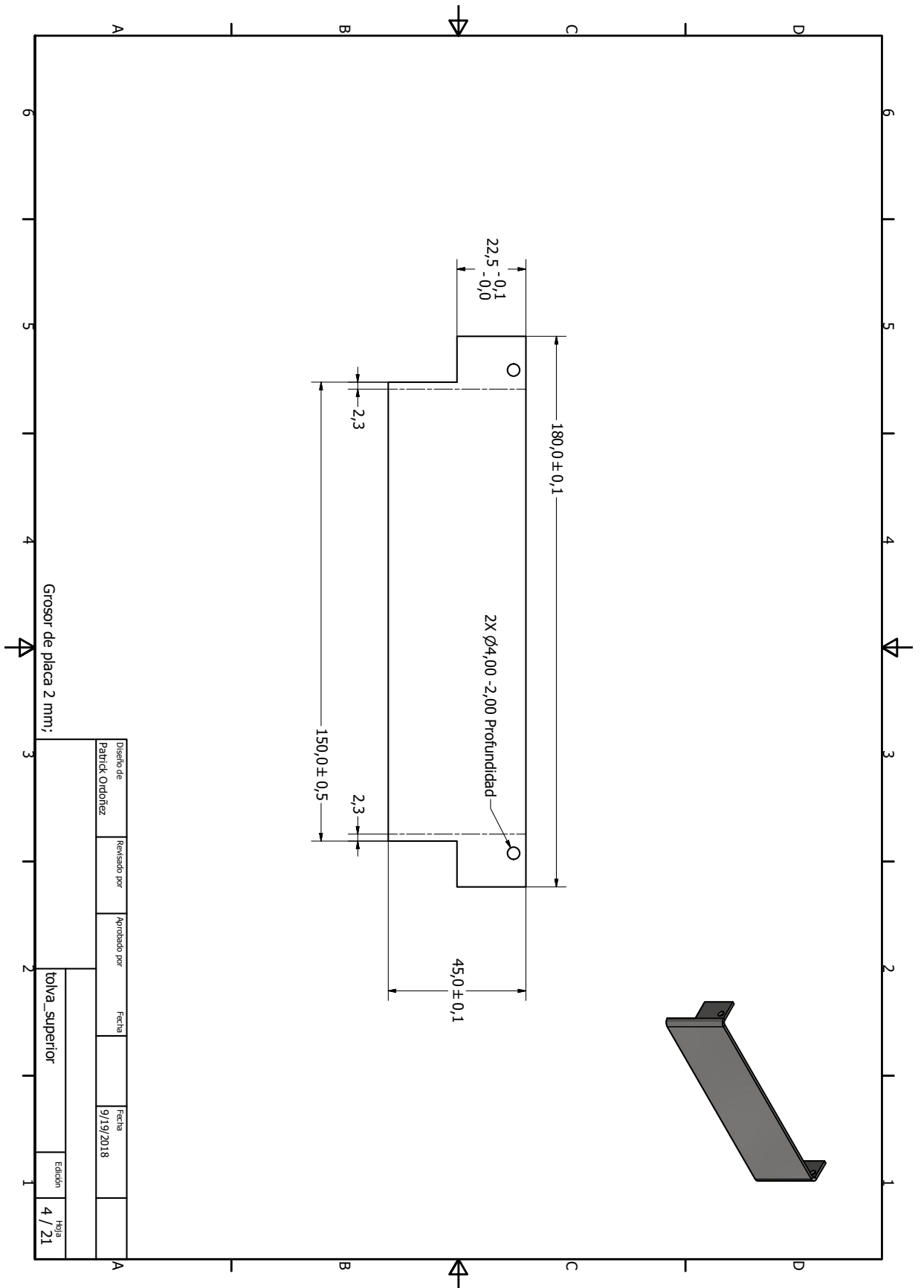
Grosor de placa 2 mm;

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
Patrick Ordóñez				9/19/2018		3 / 21
tolva superior						

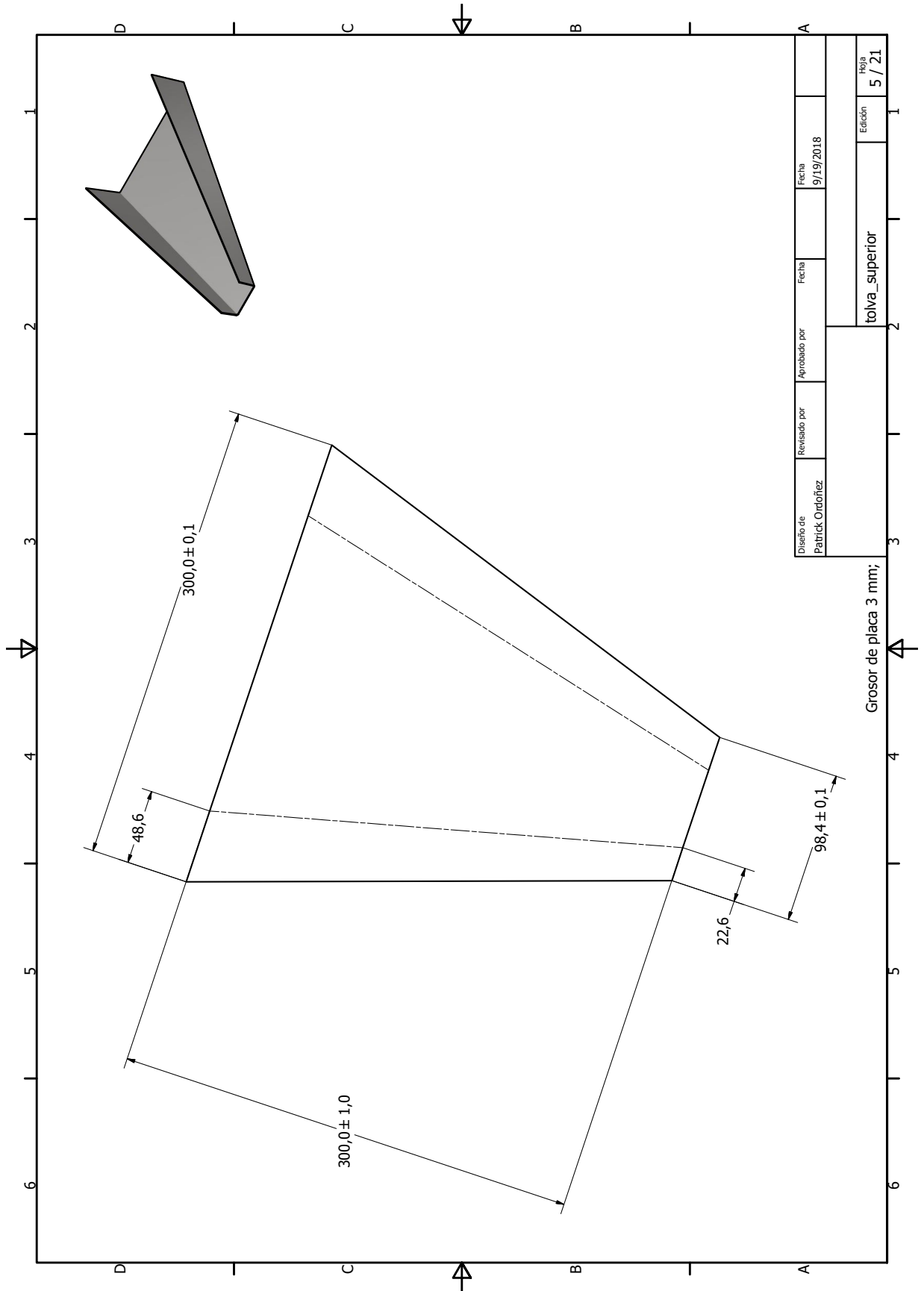


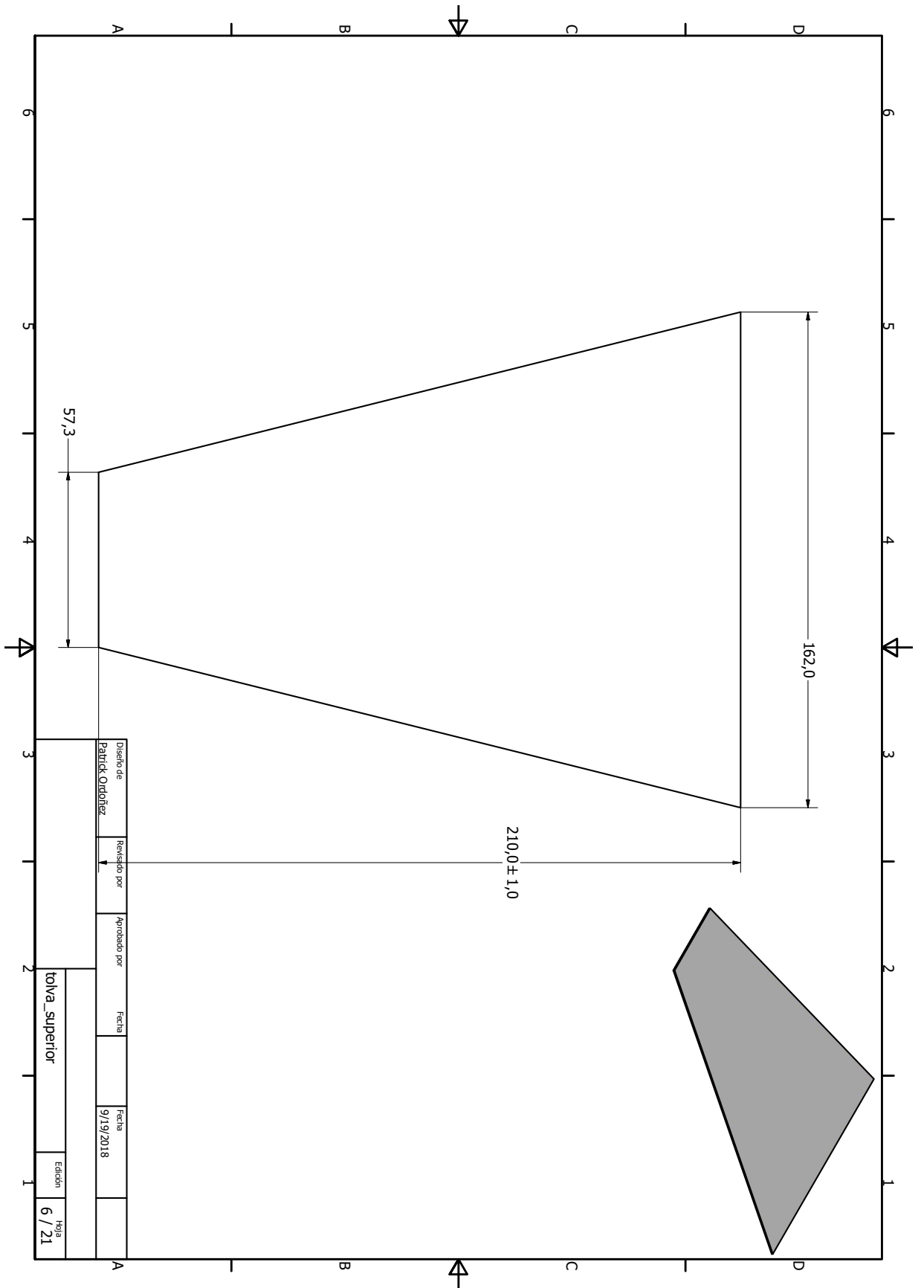
Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha 9/19/2018
tolva_superior			Edición 4 / 21

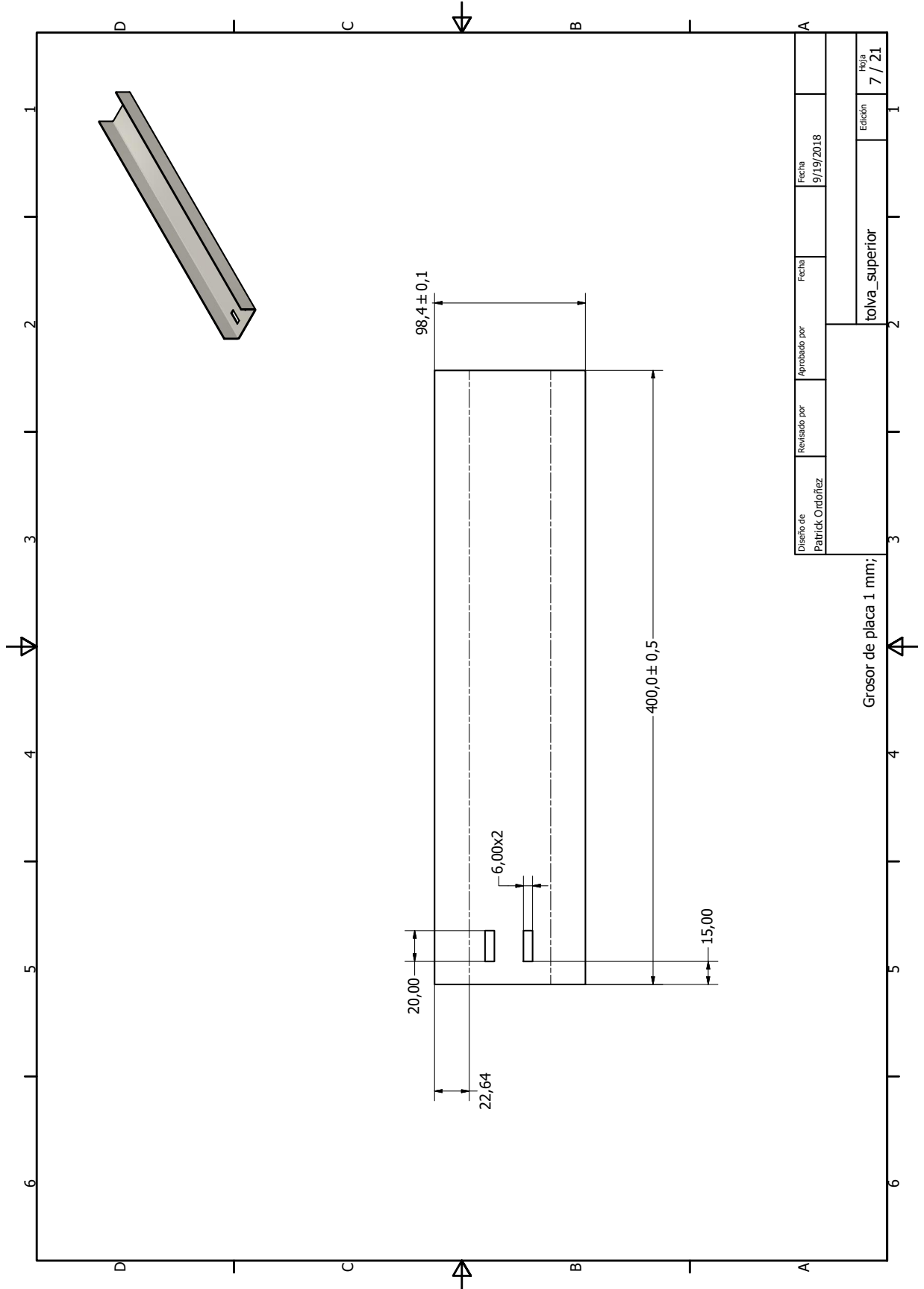
Grosor de placa 2 mm;



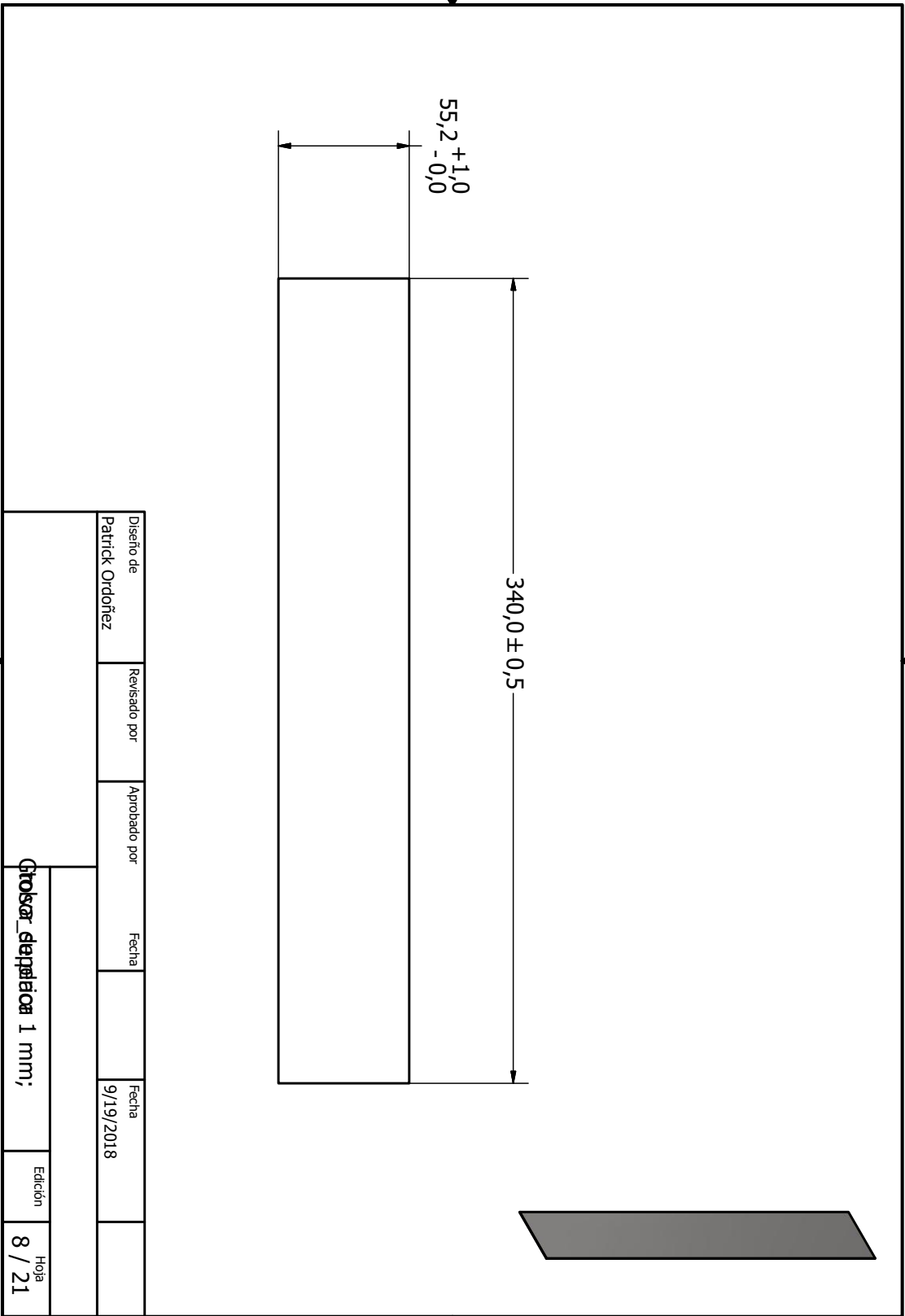
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
Patrick Ordóñez				9/19/2018		4 / 21
tolva superior						

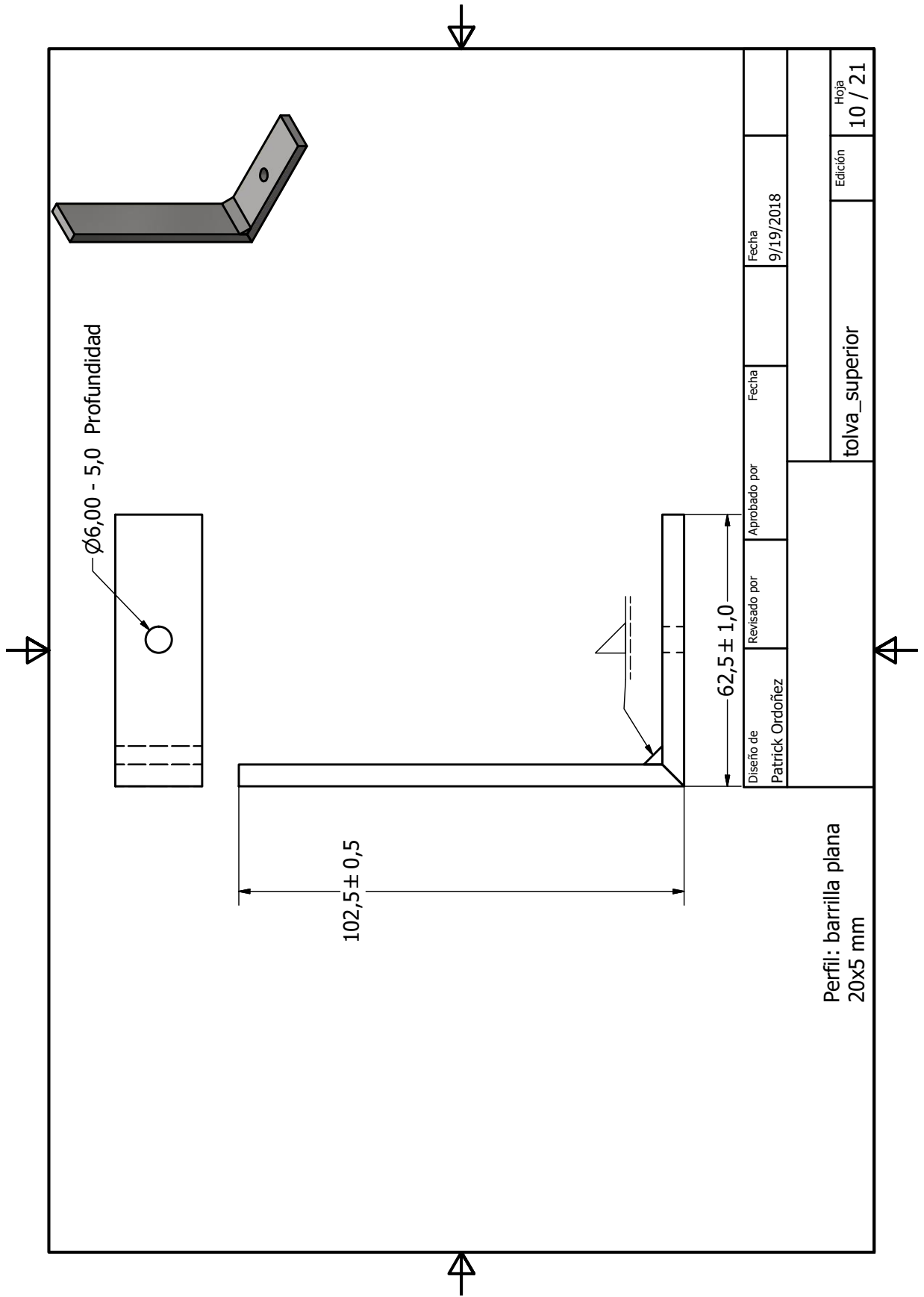






Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha 9/19/2018
tolva_superior			Fecha 9/19/2018
Grosor de placa 1 mm;			Edición 7 / 21





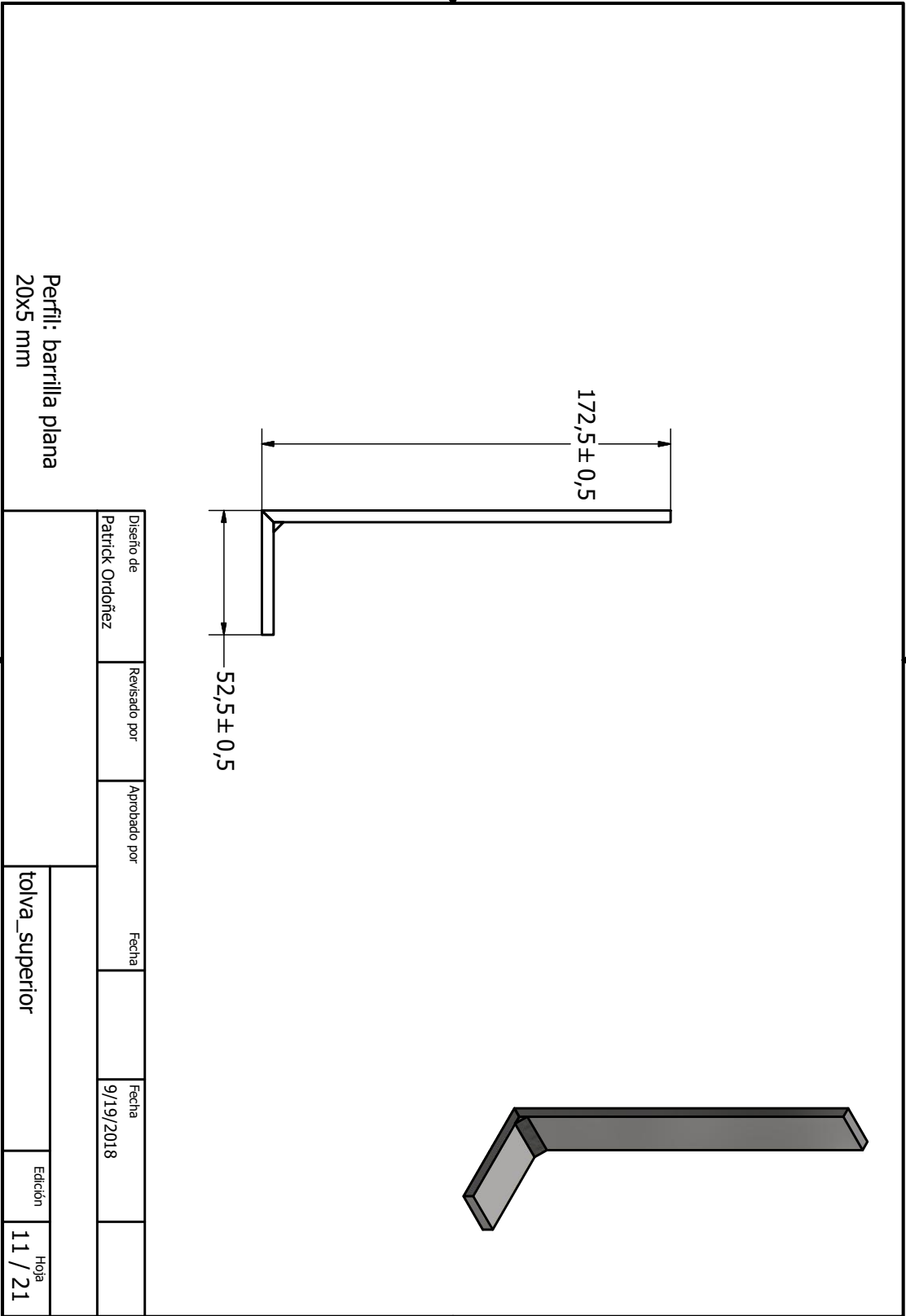
Ø6,00 - 5,0 Profundidad

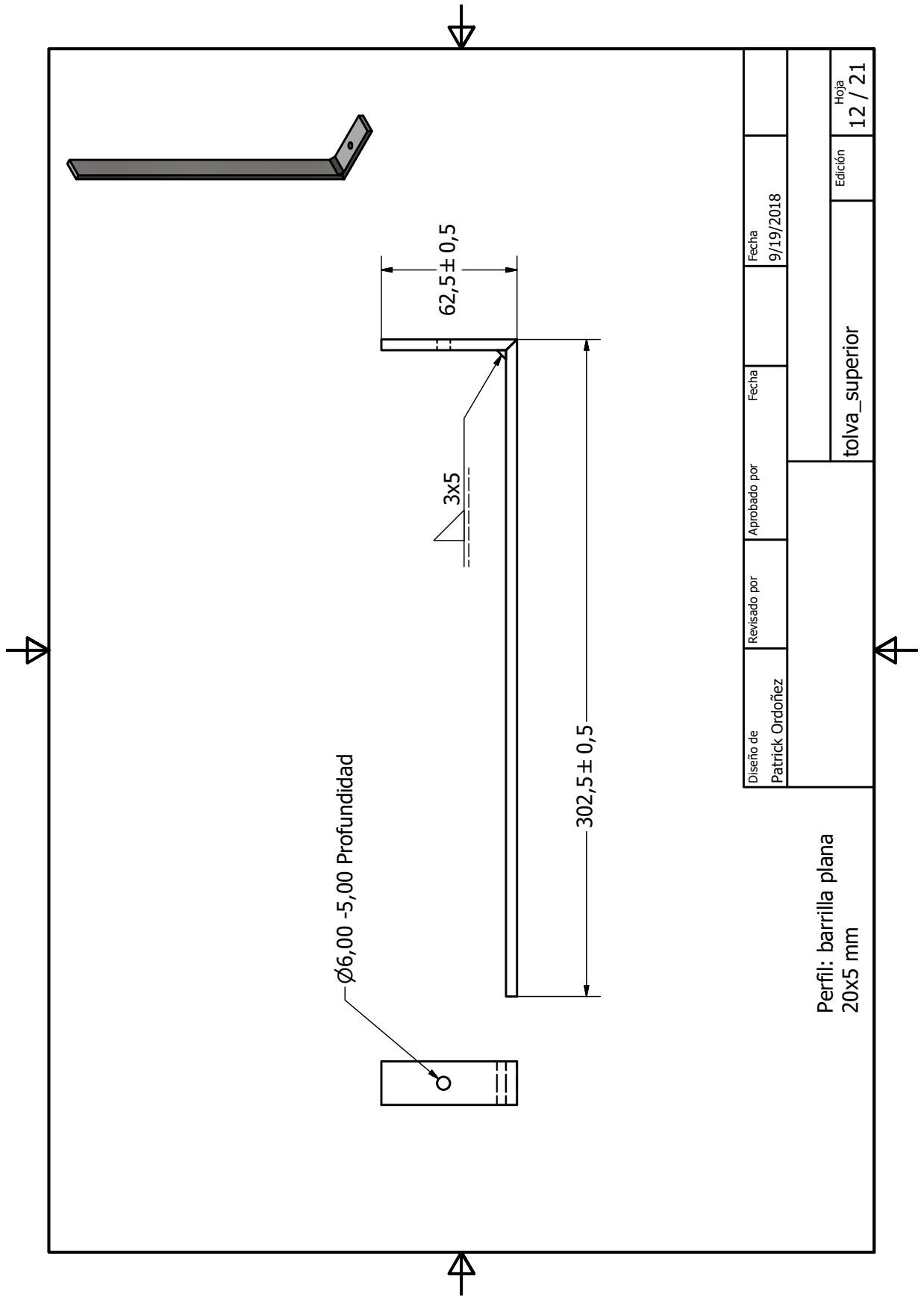
102,5 ± 0,5

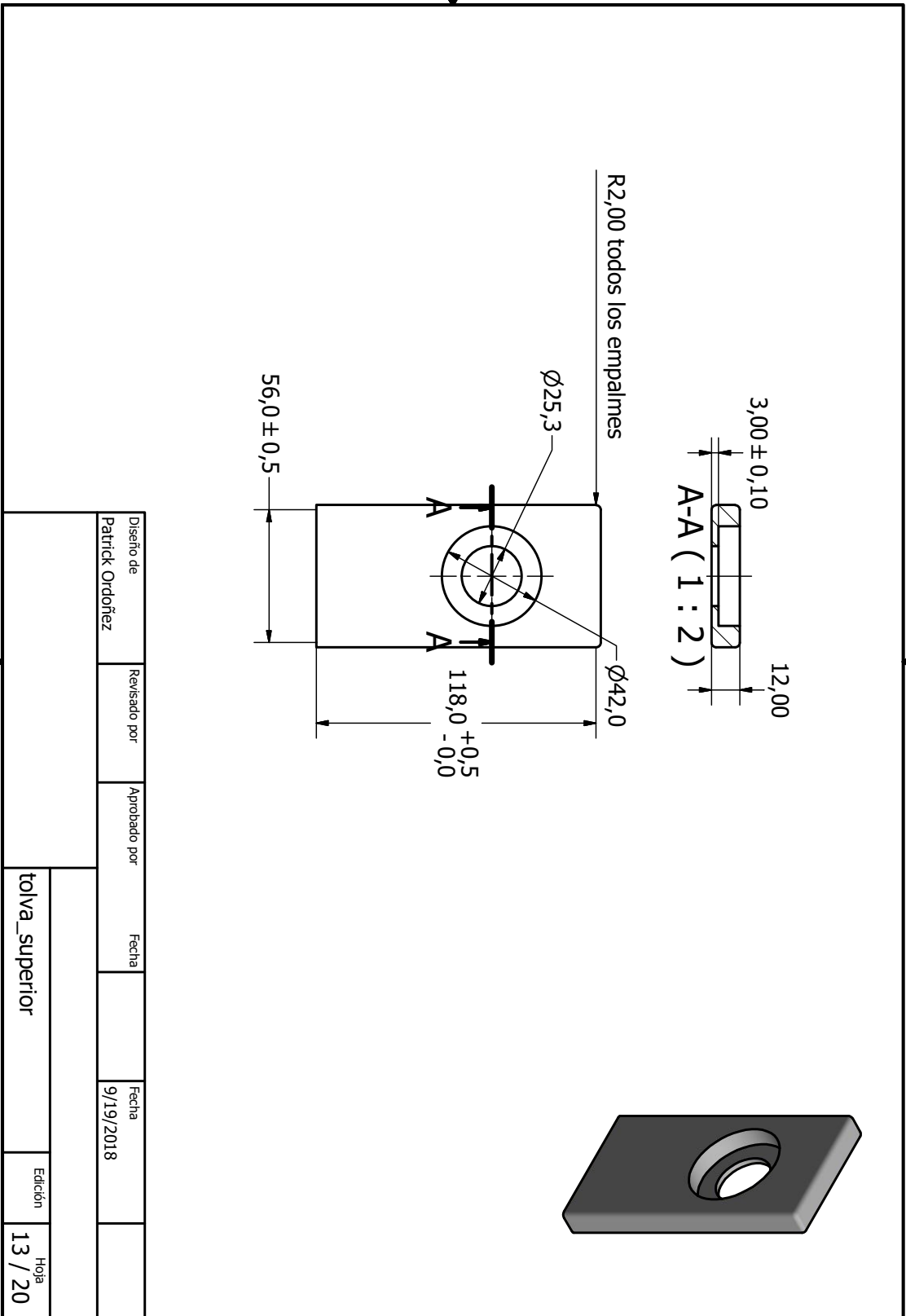
62,5 ± 1,0

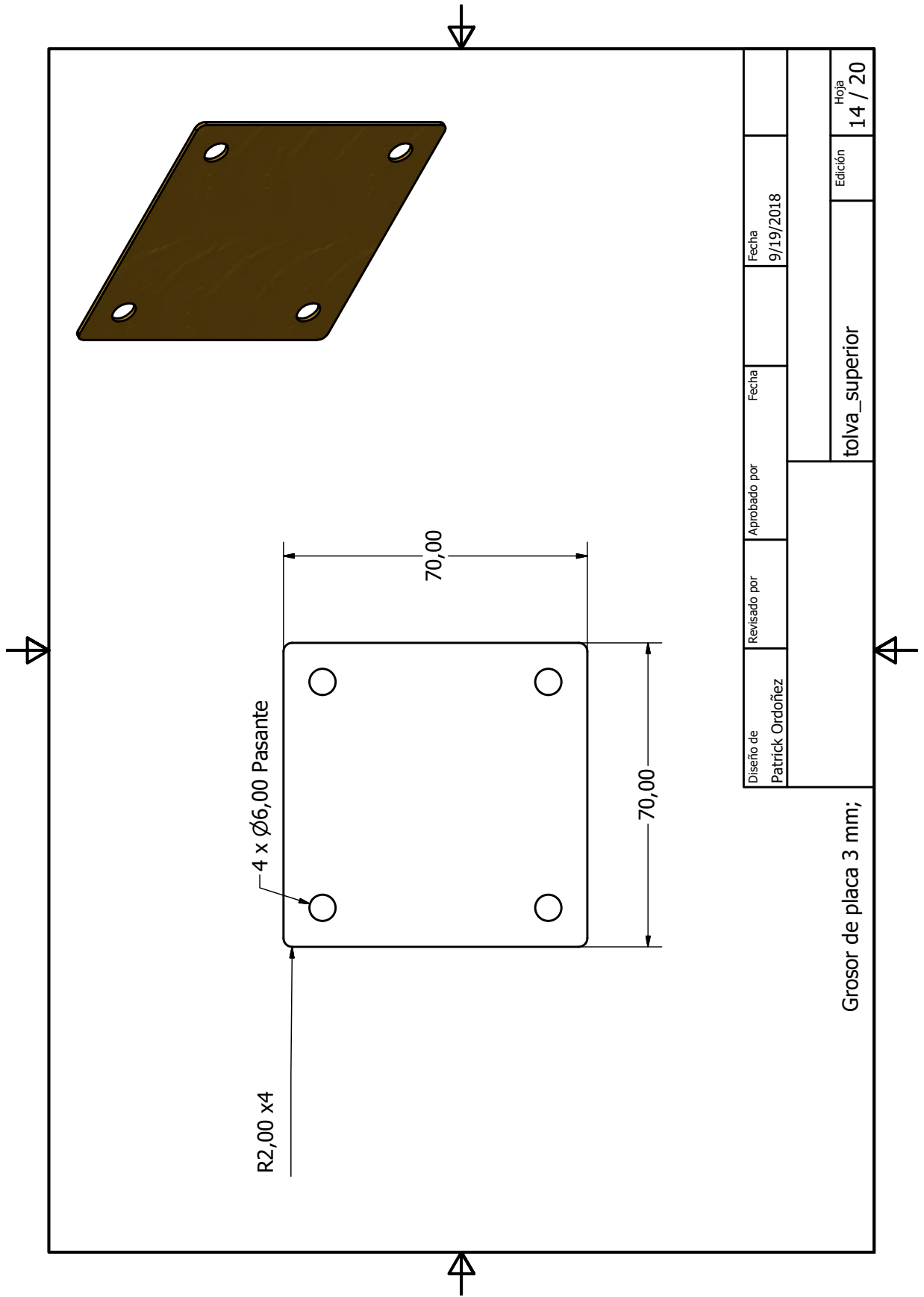
Perfil: barrilla plana  
20x5 mm

Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha
			9/19/2018
tolva_superior			Edición
			Hoja 10 / 21

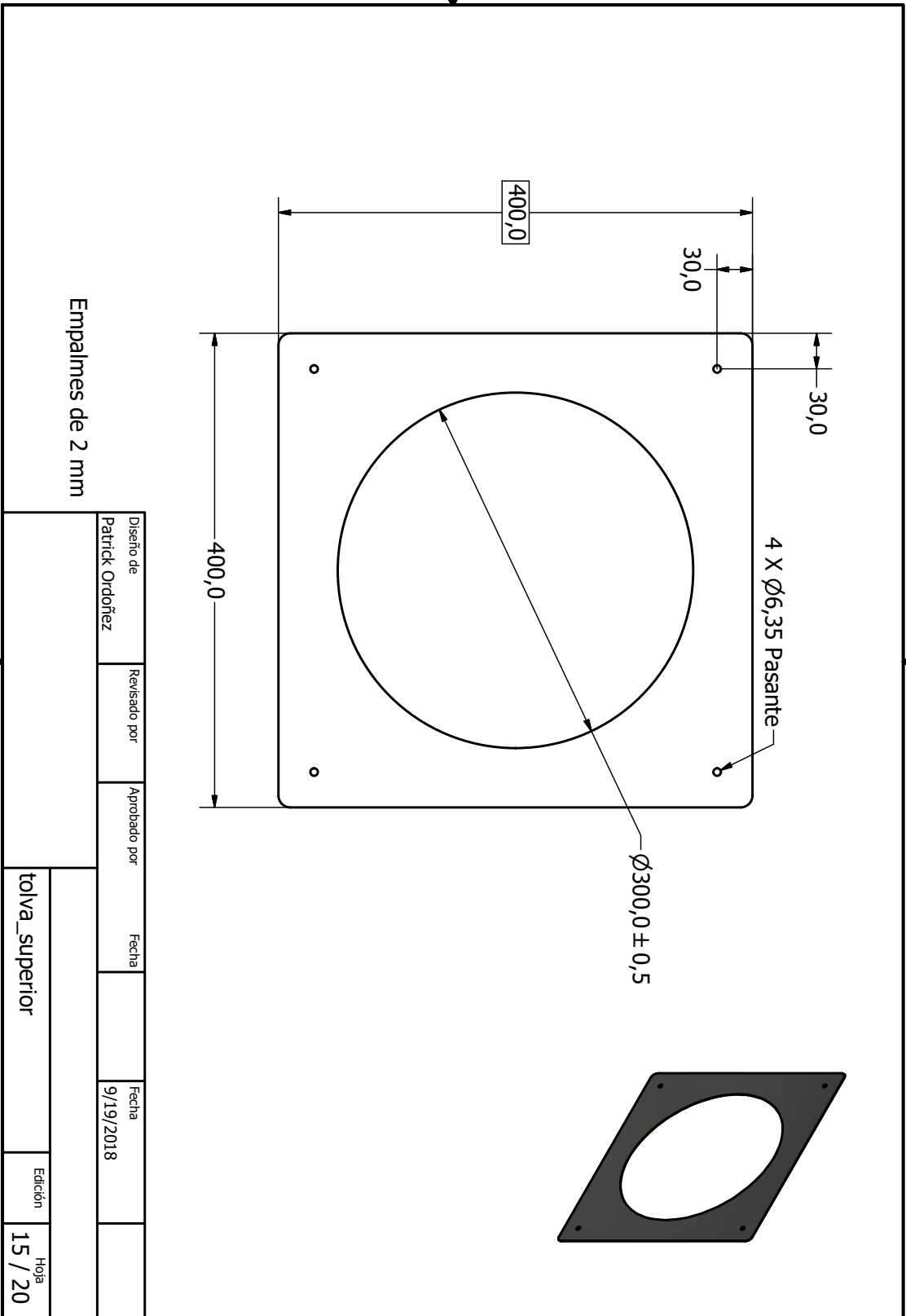






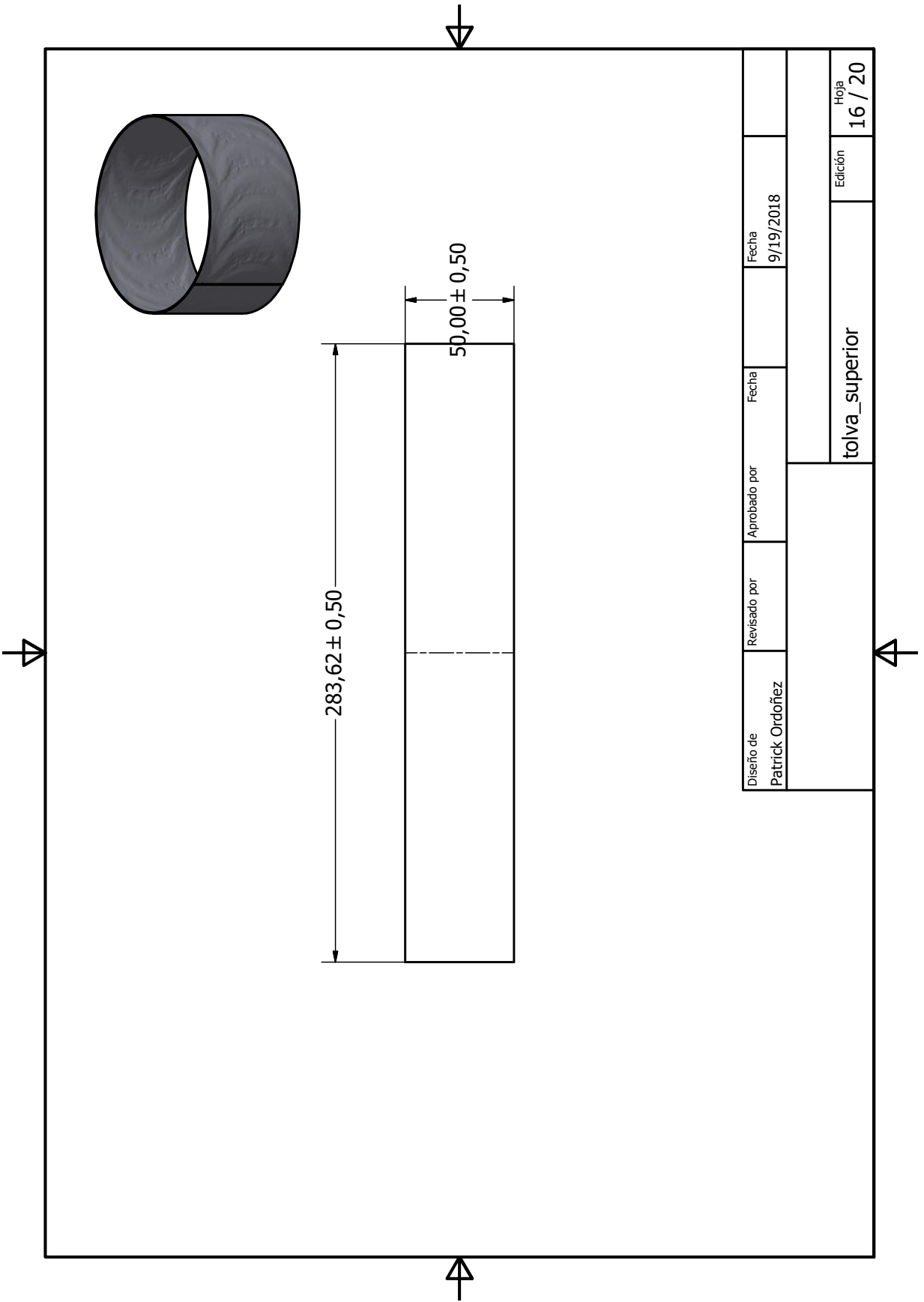


Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha 9/19/2018
Grosor de placa 3 mm;			Edición 14 / 20
tolva_superior			Hoja 14 / 20

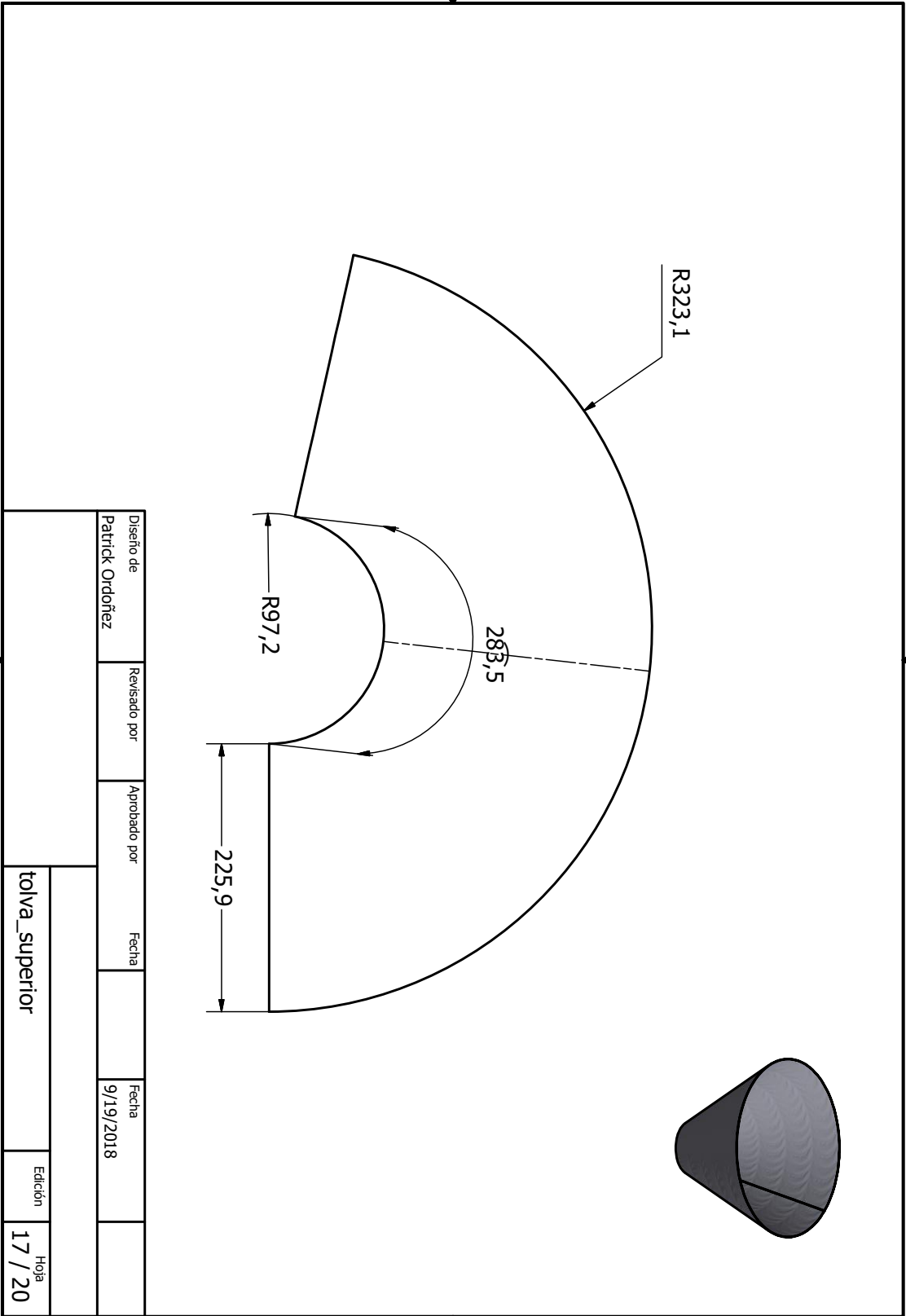


Empalmes de 2 mm

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
Patrick Ordoñez				9/19/2018		15 / 20
tolva_superior						

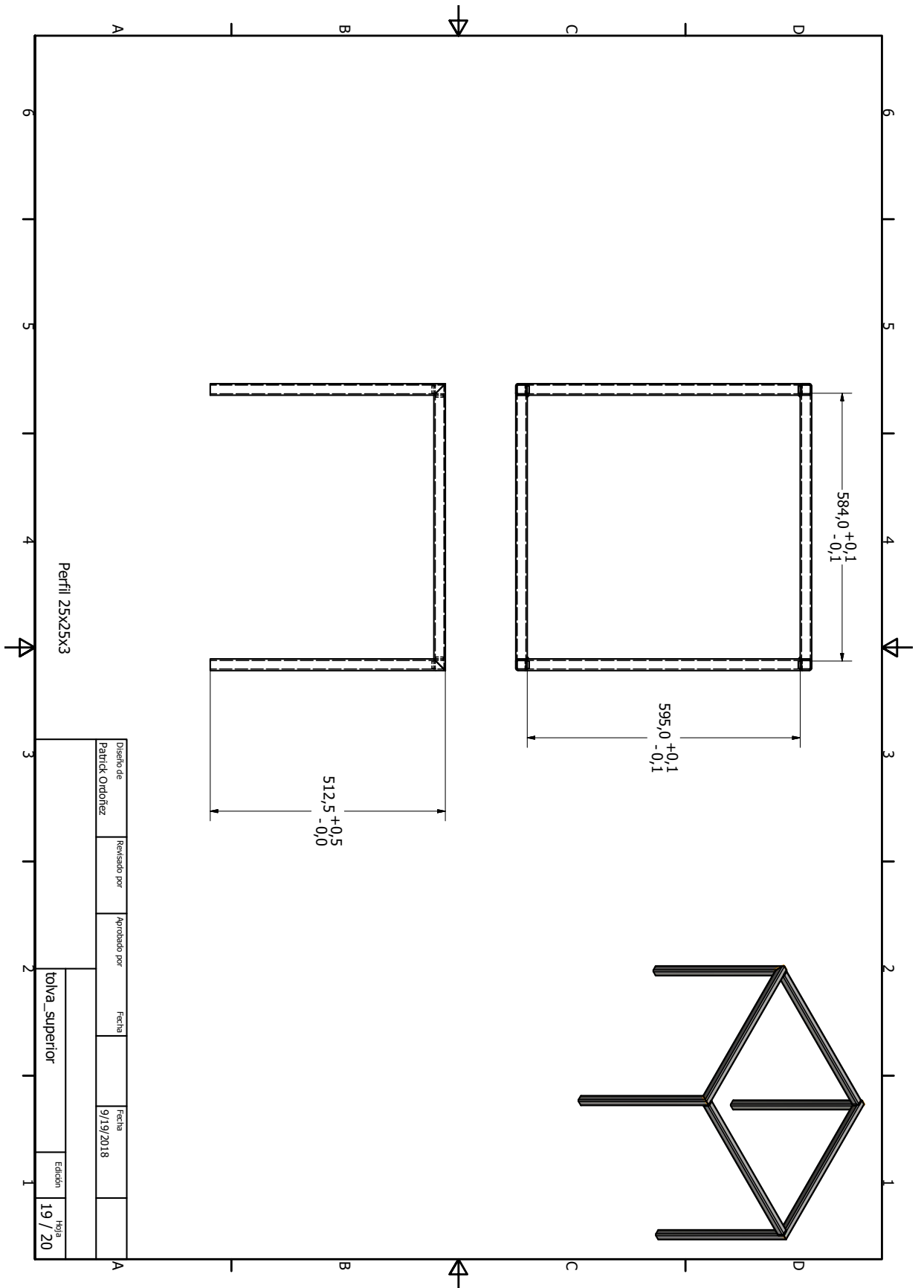


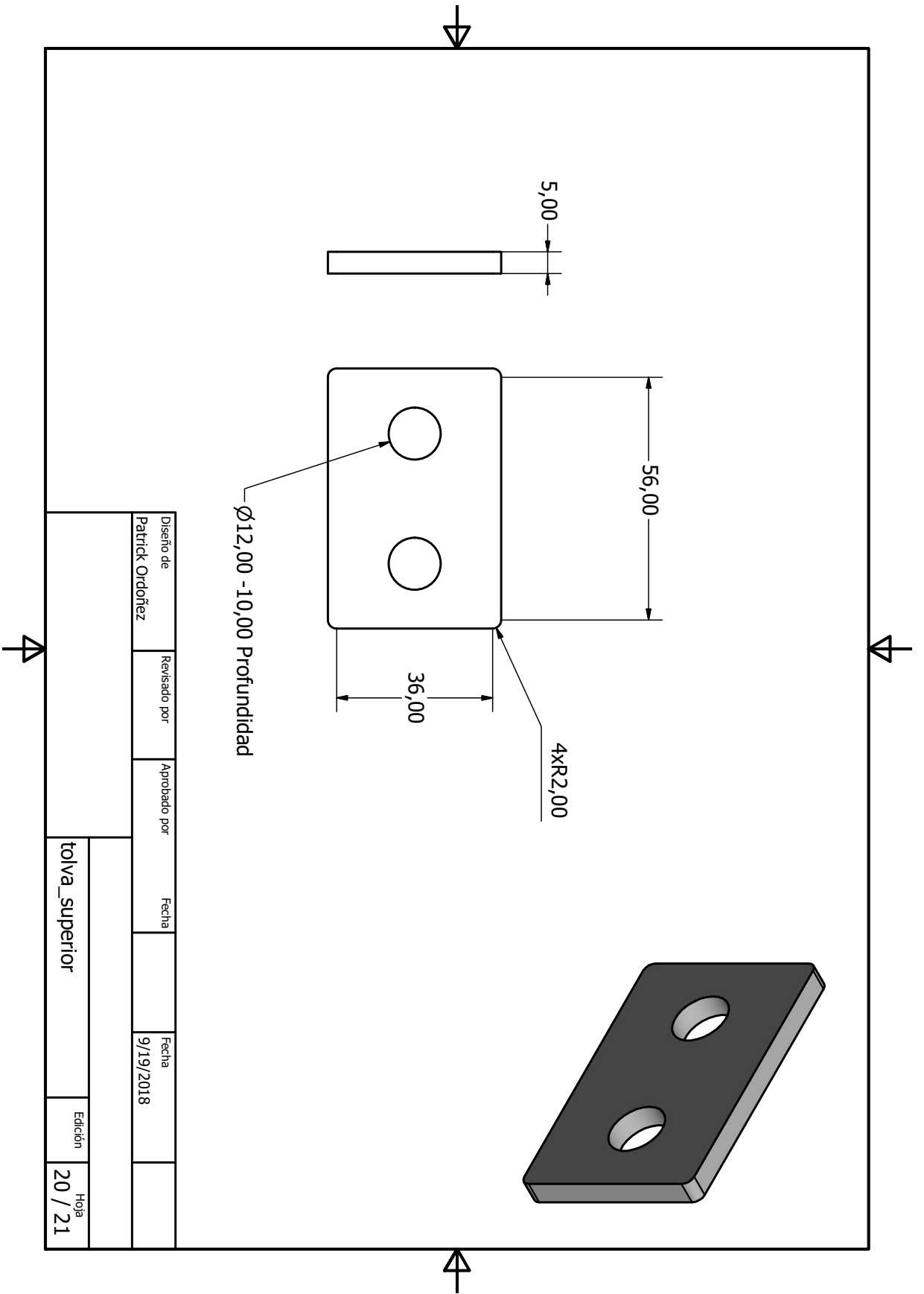
Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
			9/19/2018	
tolva_superior			Edición	Hoja
			16 / 20	

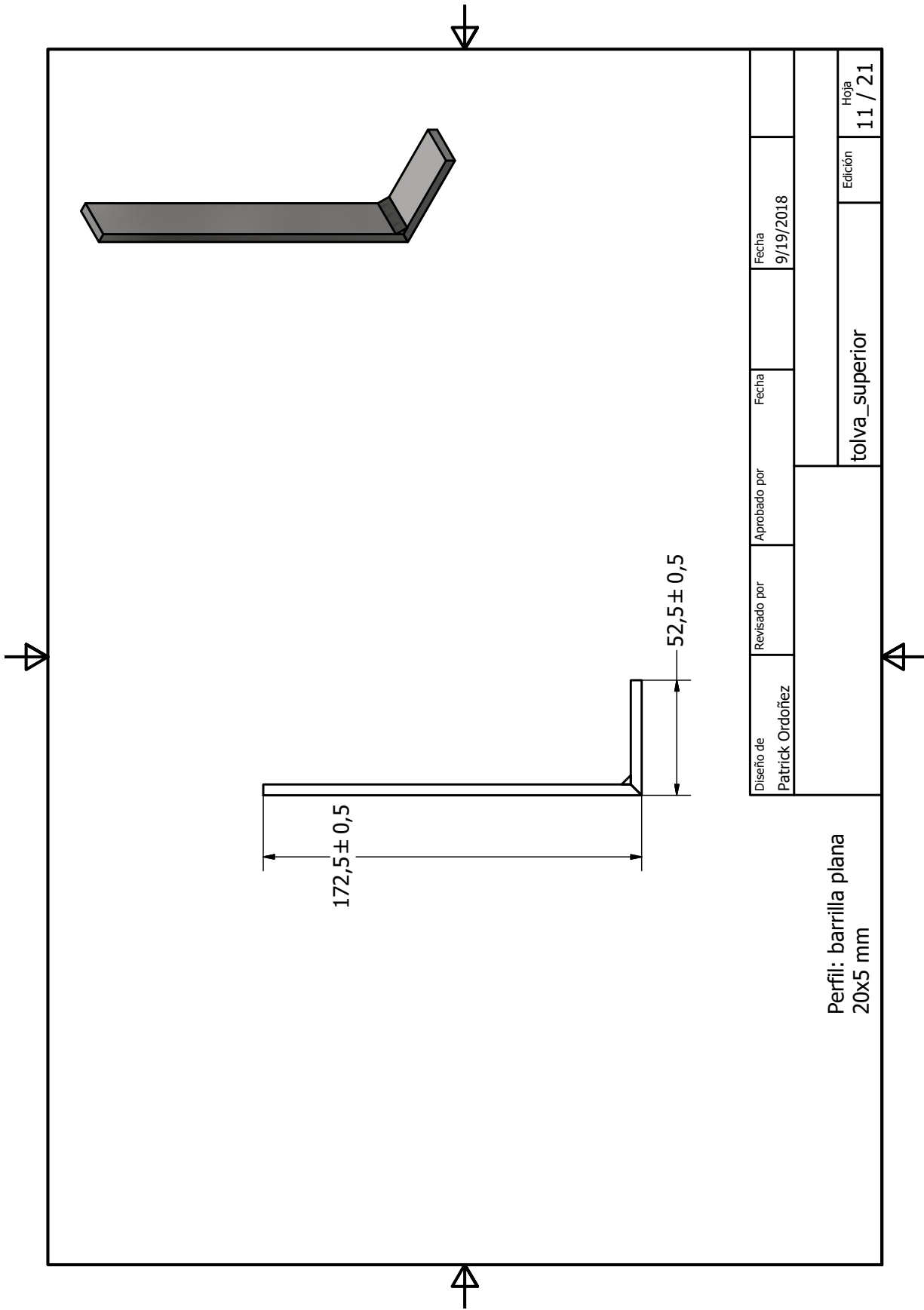


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
Patrick Ordoñez				9/19/2018		17 / 20
tolva_superior						





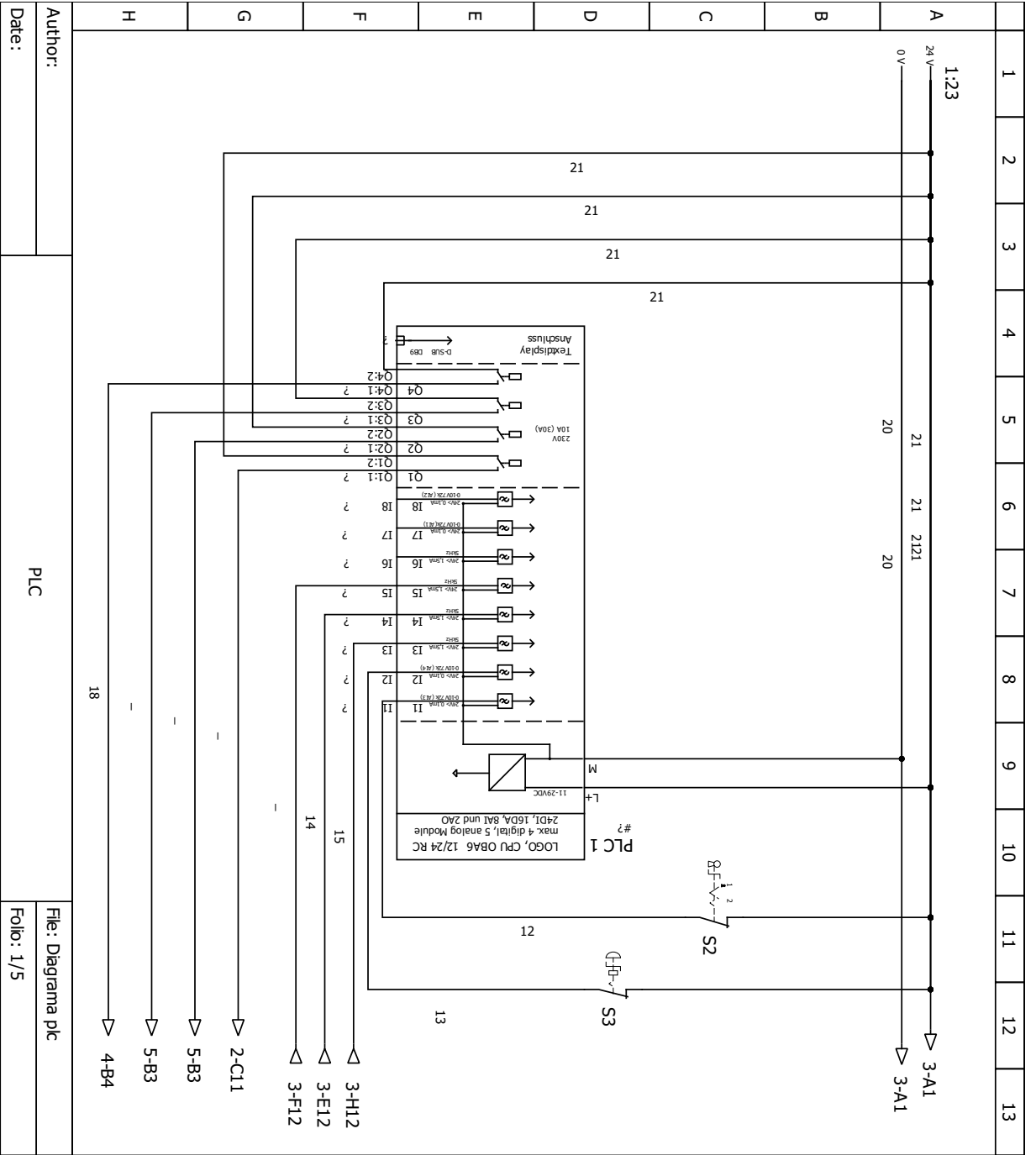


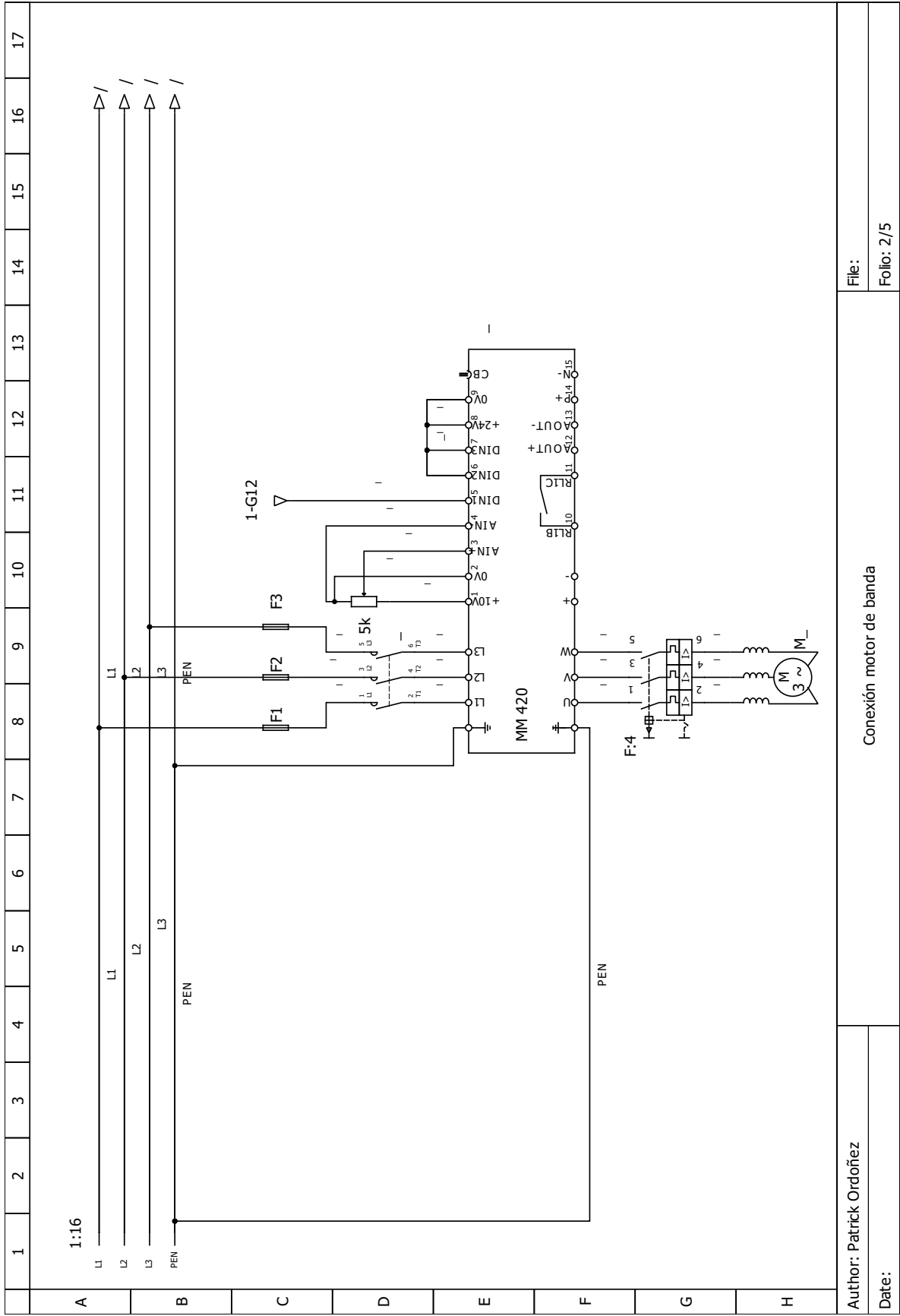


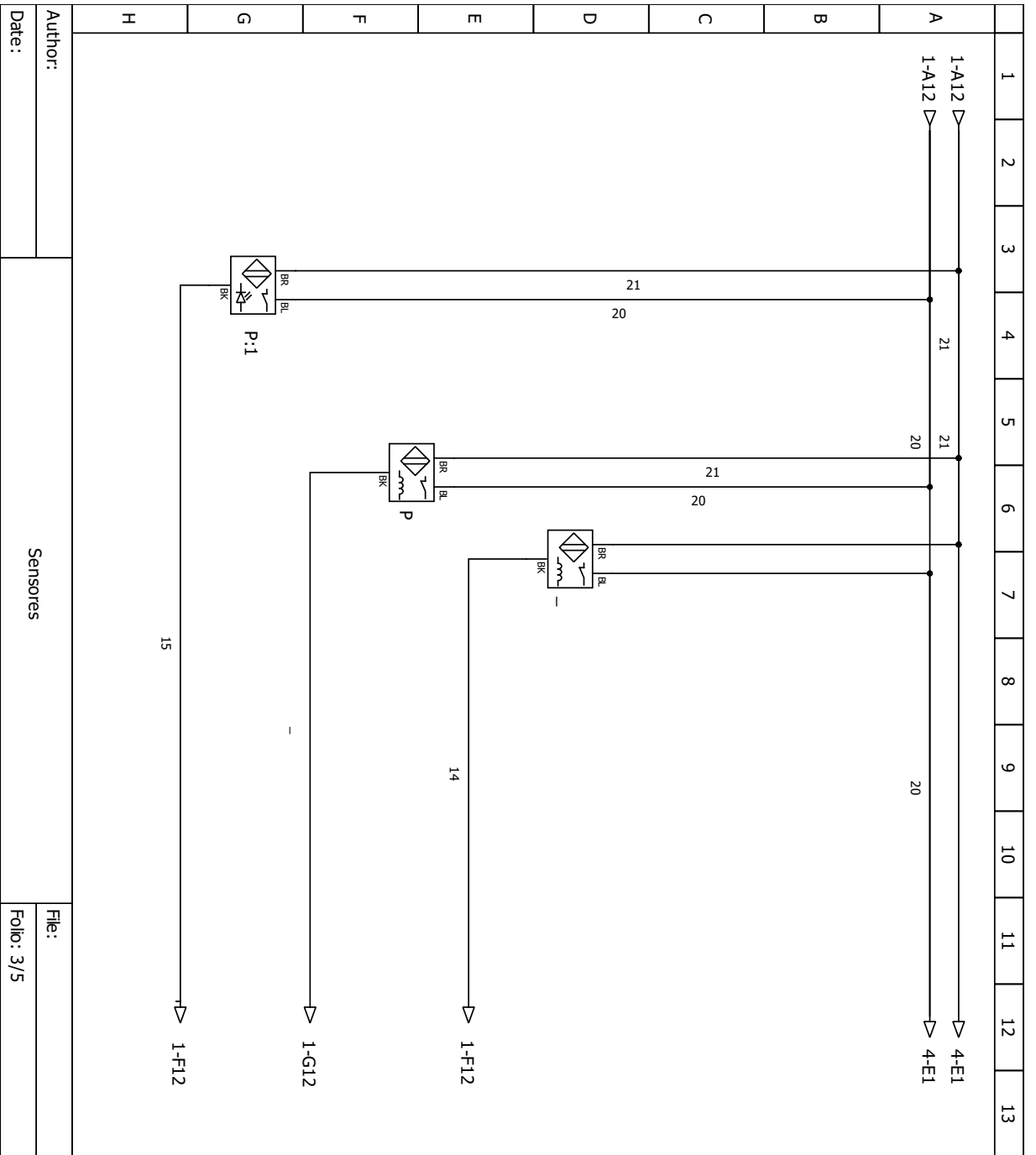
Diseño de Patrick Ordoñez	Revisado por	Aprobado por	Fecha 9/19/2018
Perfil: barrilla plana 20x5 mm			Edición 1.1 / 2.1
tolva_superior			Hoja 1.1 / 2.1

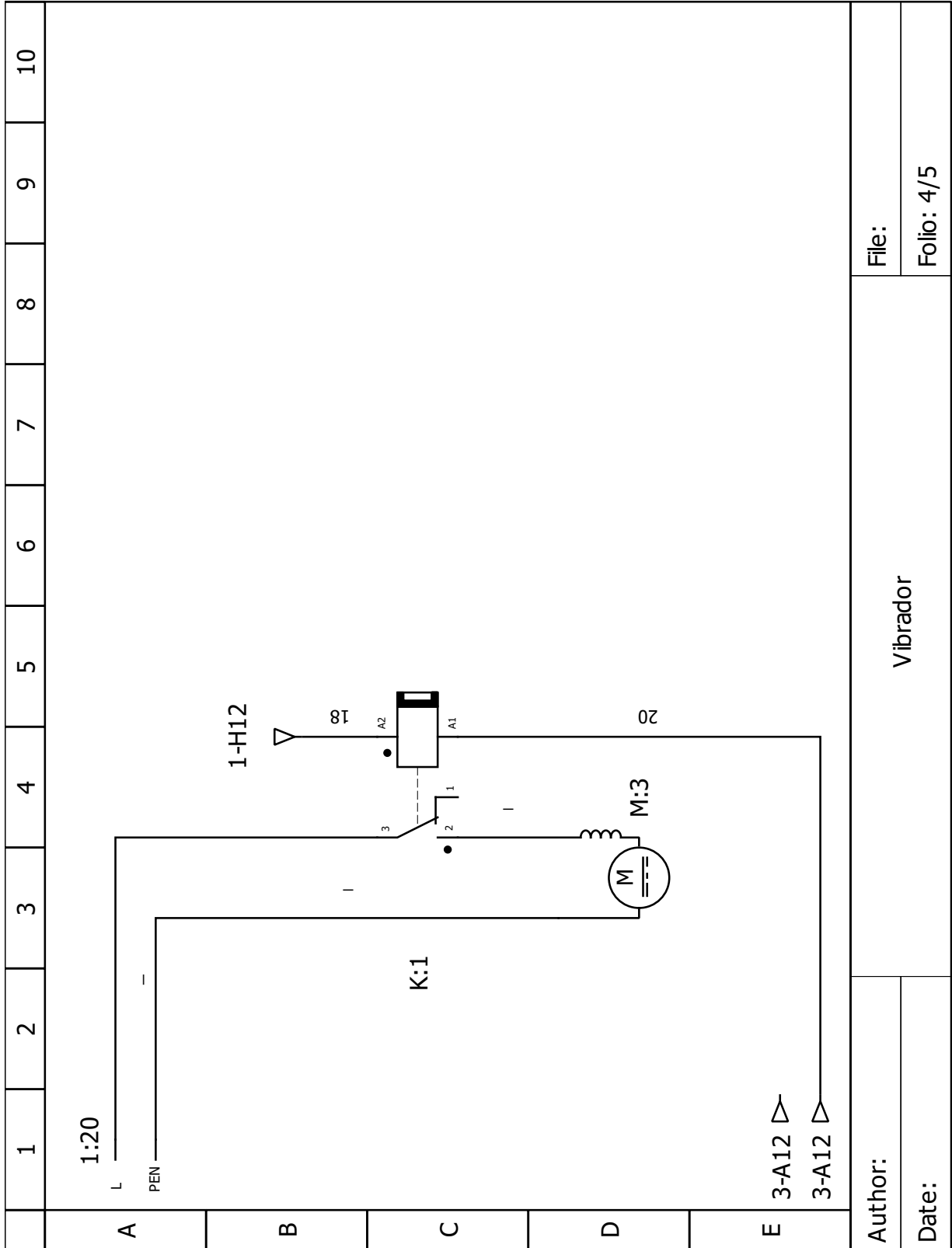


## 13.2. Planos eléctricos









Vibrador	File:
Author:	Folio: 4/5
Date:	

