

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de sistemas de automatización para la máquina bobina  
cortadora de la empresa Industria de Tubos y Perfiles S.A.**

Trabajo de graduación presentado por Pablo Roberto de Leon Rodas  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2019







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de sistemas de automatización para la máquina bobina  
cortadora de la empresa Industria de Tubos y Perfiles S.A.**

Trabajo de graduación presentado por Pablo Roberto de Leon Rodas  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2019

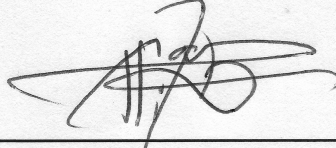


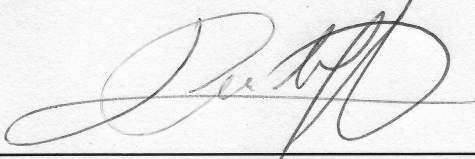
Vo.Bo.:

(f)   
MAEB. Otto Girón

Tribunal Examinador:

(f)   
MAEB. Otto Girón

(f)   
MSc. Carlos Esquit

(f)   
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de junio de 2019.





La elaboración de este proyecto ha sido para la empresa de Industria de Tubos y Perfiles S.A., (INTUPERSA), con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera, a través del diseño ingenieril se mejora el nivel de seguridad al operador de la máquina cortadora de bobinas, y beneficiar con tal conocimiento a la empresa. Mediante este proyecto se puede examinar el desarrollo de soluciones interesantes y eficientes ante una problemática compleja e inclusive se le puede llamar quisquillosa.

Al inicio no se comprendía la causa de la problemática, cuál es su origen, ni qué elementos mecánicos u electrónicos son afectados o aportan a la formación del problema. Siendo tantas las variables que afectan al problema, me vi atónito ante los factores a considerar y en general como enfrentar el proyecto. Por lo tanto, acudí a por ayuda ante el director de mi departamento, Carlos Esquit, para pedir consejo, discutir posibles causas y las posibles soluciones.

Se agradece a la Universidad del Valle de Guatemala por proveer las herramientas y recursos para desarrollar las habilidades ingenieriles que me han permitido llegar a donde estoy, a la empresa de Tubos y Perfiles S.A. por darme la oportunidad de realizar prácticas profesionales en su establecimiento, al Ingeniero Oscar Morales por orientarme dentro de Intupersa y darme la conformidad de documentar el trabajo realizado, a mi asesor por guiarme en las etapas del proyecto, a mis compañeros por el apoyo en este período de la licenciatura y aspecto de mi vida y por sobretodo le agradezco a mis padres por el soporte incondicional a lo largo de mi vida universitaria.



<b>Prefacio</b>	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>xiv</b>
<b>Resumen</b>	<b>xv</b>
<b>Abstract</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.0.1. Colocado . . . . .	3
2.0.2. Des-embobinado . . . . .	3
2.0.3. Corte . . . . .	3
2.0.4. Rebobinado . . . . .	4
<b>3. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>9</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	9
4.2. Objetivos específicos . . . . .	9
<b>5. Alcance</b>	<b>11</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>13</b>
6.1. Descripción de la máquina . . . . .	13
6.2. Análisis físico . . . . .	13
6.2.1. Leyes de Newton . . . . .	13
6.2.2. Fuerzas . . . . .	14
6.2.3. Diagrama de Cuerpo Libre . . . . .	15
6.2.4. Energía y trabajo . . . . .	15
6.3. Análisis matemático . . . . .	17

6.3.1. Catenaria . . . . .	17
6.4. Propiedades mecánicas de los materiales . . . . .	19
6.5. Diseño de elementos mecánicos . . . . .	20
6.5.1. Pernos . . . . .	20
6.5.2. Soldaduras . . . . .	22
6.5.3. Cojinetes . . . . .	23
6.6. Neumática . . . . .	24
6.6.1. Criterios de diseño . . . . .	24
6.7. Controlador Lógico Programable . . . . .	24
6.7.1. Control de actuadores . . . . .	25
6.8. Sistemas de control . . . . .	25
6.8.1. Sistema de control abierto . . . . .	26
6.8.2. Sistema de control cerrado . . . . .	27
6.9. Estándares del sistema de gestión de calidad (ISO 9000) . . . . .	28
6.9.1. Ventajas de un enfoque basado en procesos . . . . .	28
6.9.2. Comprender el enfoque del proceso . . . . .	28
6.9.3. Implementar el enfoque del proceso . . . . .	29
<b>7. Análisis de tensión</b>	<b>31</b>
7.1. Análisis de espesor en lámina de acero . . . . .	31
7.2. Análisis de tensión en proceso de rebobinado . . . . .	33
7.2.1. Solución propuesta . . . . .	36
<b>8. Máquina de tensión</b>	<b>39</b>
8.1. Diseño de estructura . . . . .	39
8.1.1. Cálculo de soldaduras . . . . .	41
8.2. Diseño de unidad de tensión . . . . .	43
8.2.1. Análisis de fuerzas . . . . .	43
8.2.2. Selección de actuador . . . . .	46
<b>9. Sistema neumático: conexión de tiras</b>	<b>49</b>
9.1. Diseño de estructura . . . . .	49
9.1.1. Diseño de rodillos . . . . .	50
9.1.2. Cálculo de cojinetes . . . . .	50
9.2. Diseño de puente neumático . . . . .	51
<b>10. Automatización de recolección de rebaba.</b>	<b>57</b>
10.1. Descripción del proceso . . . . .	57
10.2. Selección de actuador . . . . .	58
10.2.1. Diseño de soldadura . . . . .	58
10.2.2. Diseño de pernos . . . . .	59
<b>11. Sistema de control para máquina rebobinadora.</b>	<b>61</b>
11.1. Selección motor ac . . . . .	61
11.2. Diseño del control . . . . .	62
11.2.1. Diseño del control . . . . .	62
11.2.2. Controlador lógico programable . . . . .	63

<b>12. Análisis de riesgos</b>	<b>65</b>
12.1. Estrategia de documentación . . . . .	65
12.1.1. Finalidad . . . . .	65
12.1.2. Procedimientos . . . . .	65
12.1.3. Indicadores . . . . .	66
12.1.4. Metodología . . . . .	66
12.1.5. Herramientas . . . . .	67
<b>13. Cotización y listado de partes</b>	<b>69</b>
<b>14. Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>15. Recomendaciones</b>	<b>73</b>
<b>16. Bibliografía</b>	<b>75</b>
<b>17. Anexos</b>	<b>77</b>
17.1. Manuales . . . . .	77
17.1.1. Manual de ensamblaje . . . . .	77
17.2. Manual de usuario . . . . .	91
17.3. Listado de partes . . . . .	93
17.4. Plano de ubicaciones . . . . .	98
17.5. Planos . . . . .	99
17.6. Circuito neumático . . . . .	111
17.7. Diagrama eléctrico . . . . .	112
<b>Lista de símbolos</b>	<b>115</b>



---

## Lista de figuras

---

1.	Vista lateral de máquina desbobinadora [1]. . . . .	4
2.	Vista lateral de línea de corte [1]. . . . .	4
3.	Vista lateral de máquina rebobinadora [1]. . . . .	5
4.	Maquinaria estadounidense. Braner USA, Inc. . . . .	5
5.	Maquinaria india. ROLLCON ENGG. CO. . . . .	6
6.	Maquinaria china. Taizhou Hitech NC Machine Tool Co., Ltd. . . . .	6
7.	Sistemas que conforman el PLC [14]. . . . .	25
8.	Sistema de control abierto [15]. . . . .	26
9.	Sistema de control cerrado [15]. . . . .	27
10.	Diferencia de diámetro entre dos rollos de la misma bobina madre. . . . .	33
11.	Diagrama de tensión en máquina rebobinadora. . . . .	34
12.	Diagrama de tensión de rebobinado [18]. . . . .	35
13.	Vista isométrica del modelo de la estructura. . . . .	42
14.	Diagrama de Cuerpo Libre de fuerzas que actúan sobre lámina. . . . .	43
15.	Vista isométrica: placa de acero 304. . . . .	45
16.	Especificaciones de fieltro. Coil Equipment Processing Consultants. . . . .	45
17.	Vista isométrica de estructura. . . . .	51
18.	Vista isométrica de estructura. . . . .	52
19.	Estructura con actuadores neumáticos. . . . .	54
20.	Estructura con actuadores neumáticos, unidad de tensión y rodos guía. . . . .	55
21.	Recolector de rebaba [1]. . . . .	57
22.	Mecanismo manivela corredera. . . . .	58
23.	Estructura para montar mecanismo. . . . .	59
24.	Lazo de control. . . . .	62
25.	Bloque de escala en simatic manager. . . . .	64
26.	Código stl de variador de frecuencia. . . . .	64
27.	Inserción de cojinetes en perfil . . . . .	78

28.	Inserción de rodos de aluminio en perfil. . . . .	78
29.	Estructura de rodos aluminio. . . . .	78
30.	Perfiles de acero soldados . . . . .	79
31.	Montura de estructura. . . . .	79
32.	Inserción de cojinetes en perfil. . . . .	80
33.	Inserción de rodos en cojinetes del perfil. . . . .	80
34.	Estructura de rodos. . . . .	80
35.	Estructura con placas soldadas. . . . .	81
36.	Inserción de cojinetes en placas. . . . .	81
37.	Instalación de rodos guía en estructura de soporte. . . . .	82
38.	Instalación de montura para cilindros neumáticos. . . . .	82
39.	Instalación de cilindros neumáticos. . . . .	83
40.	Estructura guía 1. . . . .	83
41.	Posición de cojinetes en perfil de acero. . . . .	84
42.	Unión de rodos con perfil de acero. . . . .	84
43.	Estructura de rodillos guía. . . . .	85
44.	Estructura de rodillos guía. . . . .	85
45.	Estructura con rodos guía y cilindros neumáticos. . . . .	86
46.	Estructura con placa de fricción. . . . .	86
47.	Perfiles de acero para cilindros compactos. . . . .	87
48.	Montura de cilindros compactos. . . . .	87
49.	Montaje de platinas de acero. . . . .	88
50.	Montaje de estructura de puente. . . . .	89
51.	Estructura de rodos guía con puente neumático. . . . .	89
52.	Instalación de cilindros neumáticos. . . . .	90
53.	Segunda estructura de rodos guía. . . . .	90
54.	Posición neutra de rodillos. . . . .	91
55.	Acero al salir de proceso de corte. . . . .	91
56.	Pozo con acumulación de tiras de acero. HARSLE INDUSTRIAL UNLIMITED. . . . .	92
57.	Vástago de cilindro retraído. . . . .	92
58.	Listado de partes para estructura. . . . .	93
59.	Listado de partes para estructura con doble puente guía. . . . .	94
60.	Anexo para plano 13 y manual de ensamble. . . . .	95
61.	Anexo para plano 6 y manual de ensamble. . . . .	96



---

## Lista de cuadros

---

1.	Datos de análisis de lámina de acero. . . . .	31
2.	Datos de análisis de lámina de acero. . . . .	32
3.	Datos de análisis de lámina de acero. . . . .	32
4.	Datos de análisis de lámina de acero. . . . .	33
5.	Especificaciones de producción . . . . .	35
6.	Resultado de Ecuación Catenaria . . . . .	36
7.	Requisitos de estructura. . . . .	39
8.	Propiedades de acero A500 Grado A. . . . .	40
9.	Resultados de simulación de estructuras. . . . .	40
10.	Resultados de soldadura bajo fuerza axial. . . . .	41
11.	Resultados de soldadura bajo fuerza radial. . . . .	41
12.	Propiedades de electrodo E60XX. . . . .	41
13.	Placa para unidad de tensión . . . . .	45
14.	Material de fricción . . . . .	45
15.	Requisitos de actuador. . . . .	46
16.	Actuador neumático ADVC-80-25-A-P. . . . .	46
17.	Perno ISO 4762 M10×1.5×180 ISO Grado 5.8 . . . . .	47
18.	Requisitos de diseño de estructura. . . . .	49
19.	Propiedades de aluminio 6061 T6. . . . .	50
20.	Resultados de simulación. . . . .	50
21.	Datos otorgados. . . . .	51
22.	Medidas del pozo. . . . .	52
23.	Requisitos de funcionamiento. . . . .	52
24.	Actuador neumático CRHD-80-200-PPV-A-M. . . . .	53
25.	Perno ISO 4015 M10×1.5×120 ISO Grado 5.8 . . . . .	53
26.	Pin ISO 2340 B B -16×70. . . . .	53
27.	Perno ISO 4762 M6×1.5×20 ISO Grado 12.9. . . . .	54
28.	Pin ISO 2340 B B -16×70. . . . .	54
29.	Resultados de soldadura bajo fuerza radial. . . . .	59
30.	Perno ISO 4762 M10×1.5×25 ISO Grado 4.9. . . . .	59

31. Motor 365TSTDS16041. . . . . 61

32. Cotización y listado de partes. Tasa de conversión de dollar a quetzal utilizada  
7.66453 . . . . . 70

El propósito principal del trabajo de graduación fue el de proponer una solución ante la problemática que se tiene dentro del proceso de rebobinado en la planta de Intupersa. Para realizar ello, se analizó la materia para determinar si en alguna etapa de producción esta se deforma o sufre una alternación, el análisis demostró un defecto proveniente del proveedor, tal defecto se evalúa en el espesor de lámina. Considerando el efecto de un espesor no nominal se propuso el uso de un pozo o "looping pit", así mismo se tuvo que diseñar una máquina de tensión para sustentar una formación de rollos homogénea.

En el trabajo se describe el procedimiento efectuado para diseñar sistemas de automatización para tareas de los operarios de la línea de producción. El procedimiento conlleva diseño de elementos mecánicos, selección de actuadores neumáticos, actuadores eléctricos, diseño de mecanismos, selección de elementos electrónicos y cotización de elementos. Además, dentro del área electrónica, se seleccionará un motor ac nuevo para la máquina rebobinadora y el diseño de un sistema de control abierto según el al diámetro variable de la formación de rollos.



The main purpose of the graduation work was to propose a solution to the problem that exists within the rewind process at the Intupersa plant. To do this, the matter was analyzed to determine if at any stage of production it is deformed or undergoes an alternation, the analysis showed a defect from the supplier, such defect is evaluated in the thickness of the sheet. Considering the effect of a non-nominal thickness, the use of a pit or loop pit was proposed, and a tension machine had to be designed to support a homogeneous roll formation.

The work describes the procedure performed to design automation systems for tasks of the operators of the production line. The procedure involves design of mechanical elements, selection of pneumatic actuators, electric actuators, design of mechanisms, selection of electronic elements and quotation of elements. In addition, within the electronic area, a new ac motor will be selected for the rewinding machine and the design of an open control system according to the variable diameter of the roll formation.



# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

Uno de los principales fuertes en el mercado guatemalteco es la industria de formación de metales y aleaciones. La planta Intupersa se dedica a la formación de perfiles y tubos de acero, manteniendo una fuerte presencia en el mercado desde 1961. Al ser una empresa con tantos años de experiencia, la innovación es un constituyente fundamental para la misión de la empresa. Continuando con la misión de la empresa, esto incluye "fabricar y producir productos de acero con calidad certificada en un ambiente seguro".

Para mantener un ambiente seguro para todos los trabajadores y mantener una presencia firme en el mercado la innovación en procesos industriales es necesaria para sustentar la misión empresarial. La planta tiene diversas líneas de producción para manufacturar la demanda de dichos productos, el proceso general inicia con la materia prima conocida como una bobina de lámina de acero la cual es procesada en varios rollos de la misma lámina para alimentar las líneas de producción de tubería de acero, costanera y otros perfiles.

La línea de producción que corta la bobina principal en rollos de distintos calibres se conforma por distintas máquinas diseñadas para colocar la bobina, rotar la bobina para alimentar la cortadora con lámina de acero y enrollar los segmentos cortados en rollos de lámina de menor ancho en comparación a la bobina con la que inicio el proceso. Actualmente el segmento de enrollar lámina presenta problemas que afecta el producto manufacturado, las tiras de lámina pierden tensión en la última fase del proceso e introduce prácticas inseguras para mejorar el producto terminado.

Para presentar una solución es necesario conocer el proceso realizado, los estándares que rigen la maquinaria utilizada, antecedentes dentro de la empresa, historia de esta industria y al ser más específico la historia de la industria para este proceso particular, así mismo hay que considerar el trabajo que efectúan los elementos mecánicos y electrónicos a la materia prima. Al analizar algunos de los factores, no solo existen los mencionados, el problema recae en el acabado de la materia, por lo tanto es vital investigar y analizar las bobinas de lámina de acero.





El concepto de la máquina cortadora rebobinadora ha existido por varias décadas, siendo el corazón de la industria de formación de rollos, sean de papel o de lámina de acero. La máquina rebobinadora, llamada "slitter" de forma coloquial por su traducción al inglés, es una máquina que procesa de forma continua una bobina de material cortándola en varios segmentos del mismo material que para la formación de rollos de distintos calibres. La línea de proceso esta conformada por las siguientes etapas:

#### **2.0.1. Colocado**

Por medio de una grúa hidráulica se mueve la bobina desde el área de bodega al sector de carga, una vez se coloca en el carro hidráulico un operario activa el control para insertar la bobina en el eje de la máquina desbobinadora.

#### **2.0.2. Des-embobinado**

El proceso de des-embobinar es llevado a cabo por medio de un motor eléctrico que gira el eje, mecanismos hidráulicos efectúan el trabajo de alinear la lámina a la siguiente etapa del proceso.

#### **2.0.3. Corte**

Lámina entra a una serie rodos alineadores, los rodos se ubican laterales a la plancha de lámina para ajustar la posición antes de ser cortada por cuchillas circulares.

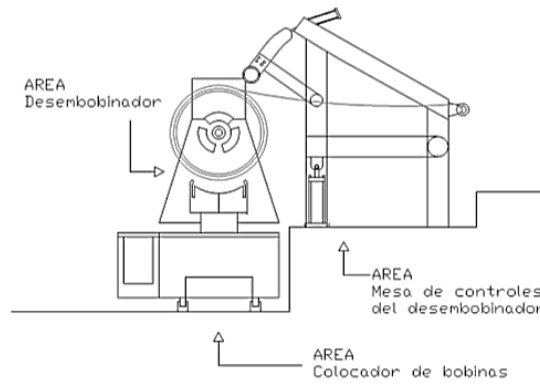


Figura 1: Vista lateral de máquina desbobinadora [1].

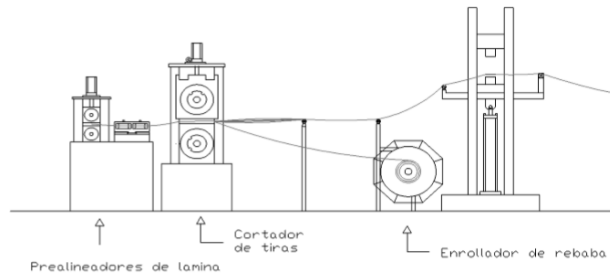


Figura 2: Vista lateral de línea de corte [1].

## 2.0.4. Rebobinado

Al salir de las cuchillas de corte varios segmentos de lámina son guiados por rodos guía al mecanismo rebobinador y el enrollador de rebaba. La máquina rebobinadora forma nuevos rollos de la materia prima, mientras que segmentos de desperdicio se acumulan en otro mecanismo.

Parte de la investigación consiste en el análisis de maquinaria existente en el mundo, con el fin de formar ideas para iterar soluciones. La empresa Braner USA, Inc; posee vídeos donde muestran funciones de su maquinaria, en la Figura 5.4 se observa una rampa utilizada para introducir lámina a la máquina rebobinadora, esta estrategia se repite en la maquinaria china de la Figura 5.6. El uso de la rampa evita que los operadores necesiten utilizar sus manos para mover el acero resultando en un mejor nivel de seguridad.

Otro de los avances que se observa en otra maquinaria, una tal como RollCon, es el uso de un pozo en conjunto de una rampa hidráulica para permitir que tiras de acero se conecten entre maquinaria y procesos previamente mencionados, sin posibles riesgos ante la salud de operarios. La Figura 5.6 presenta una perspectiva de las dimensiones que ocupa el pozo, en la Figura 5.5 se puede ver con mas detalle una rampa por debajo de las tiras de acero.

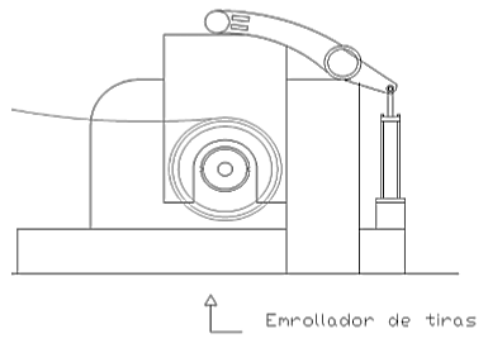


Figura 3: Vista lateral de máquina rebobinadora [1].

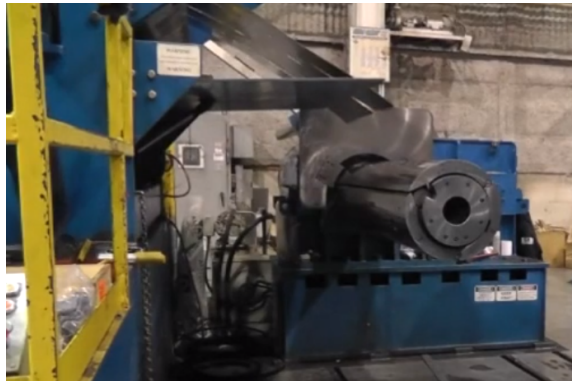


Figura 4: Maquinaria estadounidense. Braner USA, Inc.

En tres distintas empresas utilizan el mismo sistema para automatizar el movimiento de lámina desde una máquina hacia otra, por medio de cilindros hidráulicos, o bien neumáticos, se despliega una rampa que actúa como puente conector entre áreas de producción.



Figura 5: Maquinaria india. ROLLCON ENGG. CO.

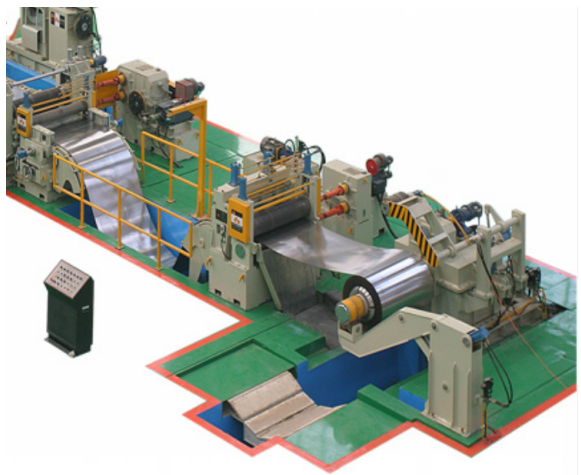


Figura 6: Maquinaria china. Taizhou Hitech NC Machine Tool Co., Ltd.

En la planta Intupersa producen tubería, costanera y cañería de acero, se utiliza lámina de acero como la materia prima, tal se presenta como una bobina de gran tamaño. La materia prima se procesa para obtener lámina de distintos calibres según los requerimientos de producción, por lo tanto la bobina de lámina entra a un proceso de des-bobinado, corte y rebobinado. Al terminar el proceso la nueva materia prima consisten en rollos de lámina para su futuro uso dentro de la planta.

Actualmente en el proceso de rebobinado se presenta una problemática, los segmentos de lámina que entran a la máquina rebobinadora no logran mantener la fuerza de tensión necesaria para que el proceso de formación habilite rollos de calidad óptima. De momento para solucionar el problema se utilizan trozos de cartón entre los rollos, durante el lapso del proceso, para mantener una tracción óptima. La tarea de ingresar cartón al rollo es realizada utilizando una pinza agarradora, aun así, el operador mantiene sus extremidades a menos de un metro de distancia a la maquinaria que forma los rollos, el riesgo al que se mantiene expuesto el operario es de un atrapamiento de su mano o brazo, por lo tanto es de vital importancia analizar la causa en la problemática de fuerza de tensión y proponer una solución para eliminar la necesidad de una tarea tan peligrosa para los operarios de la máquina cortadora de bobinas.



### 4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de automatización que ofrezca un mayor nivel de seguridad a los operarios de la línea de corte de bobinas de lámina.

### 4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema hidráulico que conecte las tiras cortadas hasta la máquina rebobinadora solo con el control de un operador.
- Diseñar un proceso automatizado de recolección de rebaba y cambiar el diseño del reguilete de acumulación de esta.
- Diseño de un sistema mecánico con el fin de solucionar problemas de tensión en tiras de lámina.
- Diseño de un sistema de control electrónico en el motor de la máquina rebobinadora





La extensión del programa se adhiere al diseño de sistemas de automatización para implementar posteriormente en la empresa Industria de Tubos y Perfiles S.A. Bajo criterios de diseño de ingeniería se realizarán estructuras mecánicas, mecanismos, sistemas electrónicos y demás disciplinas que apoyen la elaboración del proyecto. Con el fin de razonar el proceso de diseño se proveerá constancia de los cálculos matemáticos, análisis físicos, reportes de simulaciones realizadas en el software asistido por computadora y demás herramientas utilizadas.

Además de la constancia de cálculos los esquemas y planos para manufacturar piezas mecánicas, listados de componentes electrónicos, cotizaciones de partes o materiales se anexara al documento.



## 6.1. Descripción de la máquina

La máquina cortadora de bobinas, también conocida como una slitter machine, consiste en una serie de máquinas cuyo objetivo es convertir un rollo de acero, de gran ancho en varios rollos de menor tamaño. Inicia con un rollo de acero que se des-embobina, lo cual otorga lámina de acero luego se utilizan cuchillas para cortar el acero en varios segmentos y con una maquina rebobinadora cuyo eje cuenta con una ranura para insertar los segmentos de acero se regresa de lámina a rollo de acero.

## 6.2. Análisis Físico

### 6.2.1. Leyes de Newton

Según la publicación en 1687 de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton ha surgido la mecánica elemental, en su publicación Newton enunció tres "leyes" del movimiento:

1. Una partícula en reposo permanecerá en reposo cuando la suma de fuerzas externas sobre una partícula sean igual a cero y su velocidad es constante[2].

$$\sum F = 0$$

2. La suma de las fuerzas externas sobre una partícula es igual a la razón de cambio de la cantidad de movimiento lineal de la partícula. Para masa constante la suma de sus fuerzas externas es igual al producto de la aceleración y su masa[2].

$$\sum F = m * a$$

3. Las fuerzas ejercidas por dos partículas entre sí son iguales en magnitud y opuestas en dirección[2].

### 6.2.2. Fuerzas

Una fuerza es el concepto de la física que explica la producción de movimiento o la tendencia a producir un movimiento. El concepto tal de fuerza se comprende como el contacto entre dos cuerpos, en el sentido más sencillo un empuje describe el concepto de fuerza, aunque no siempre se cumple tal definición. La fuerza gravitatoria ejerce una fuerza sobre la masa para traerla al centro del planeta[3].

La unidad asociada a la fuerza en el sistema métrico es el Newton (N), tales fuerzas tienen una magnitud y una dirección en otras palabras es un vector.

#### Fuerza normal

Todos los cuerpos ejercen una fuerza debido a la fuerza gravitatoria, tal fuerza la conocemos como el peso. Dada la primera ley de Newton la sumatoria de fuerzas para una partícula dada debe de ser igual a cero si esta se encuentra en reposo, para ello un objeto en reposo cuya masa provoca una fuerza de peso debe de mantenerse en equilibrio por una fuerza ejercida en dirección opuesta y de misma magnitud a la fuerza de peso, usualmente esta fuerza opuesta se conoce como la fuerza normal y no siempre involucra solamente al peso[2].

$$\sum F = 0 = \text{Peso} + F\text{Normal} = 0 = \text{Peso} = F\text{Normal}$$

Ocasiones en las que la fuerza normal es distinta al peso involucran superficies no horizontales, es decir, un ángulo de inclinación entre las superficies del cuerpo y del apoyo, fuerzas externas además a la gravedad tales como el peso de un cuerpo externo al sistema[2].

#### Fuerza tensión

La fuerza de tensión se comprende tal como una fuerza ejercida por el tirón de una cuerda estirada sobre un cuerpo. Un ejemplo es de una cuerda atada de un extremo a un techo y del otro extremo a una masa sin contactar una superficie, la fuerza de tensión que actúa sobre la cuerda es la magnitud de la fuerza de peso que ejerce la masa[4].

#### Fuerza fricción

Las ruedas de un vehículo que se encuentra en movimiento tienen una fuerza que se opone a su movimiento, tal fuerza se conoce como la fuerza ejercida por la fricción. La fricción ejerce una fuerza paralela al movimiento de la partícula y en dirección opuesta, además la magnitud depende de los materiales y la superficie de tales materiales.

La fuerza de fricción es representada por el producto de la fuerza normal y del coeficiente de fricción, tal coeficiente es la razón de la fuerza necesaria para vencer la fricción. El coeficiente de fricción se representa con la letra griega  $\mu$  ( $mu$ ).

$$F = \mu * N \quad (1)$$

### 6.2.3. Diagrama de Cuerpo Libre

El análisis relacionado con el equilibrio de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es por medio de un diagrama de cuerpo libre del cuerpo en consideración[5]. Los criterios que rigen los diagramas de cuerpo libre o DCL son los siguientes:

1. **Fuerzas externas:** Las fuerzas que deben indicarse en el diagrama deben de ser las que actúan externas al cuerpo, las fuerzas externas representan esfuerzos que se aplican sobre el cuerpo libre aplicadas por otros cuerpos y por la superficie de apoyo. El peso del cuerpo libre se incluye como una fuerza externa debido a la gravedad de la Tierra sobre las partículas que constituyen el cuerpo libre[5].
2. **Magnitud y dirección:** Cada fuerza externa conocida debe señalarse con claridad en el diagrama de cuerpo libre lo cual incluye la dirección de tal fuerza ejercida sobre el sistema[5].
3. **Fuerzas desconocidas:** Fuerzas externas cuyo magnitud y dirección sea desconocida se puede considerar como reacciones por apoyos superficiales tales como el suelo u otros cuerpos en oposición al movimiento del cuerpo libre en el diagrama [5].
4. **Fuerzas internas:** Para el caso de los cuerpos rígidos, estos son un a composición de partículas que ejercen fuerzas una en contra de otra. Tales cargas son internas al sistema, debido a que estas fuerzas se presentan en parejas colineales en dirección opuesta con misma magnitud, por lo tanto el efecto neto dentro del sistema es cero.

### 6.2.4. Energía y trabajo

#### Energía

El concepto de energía origina del principio de conservación de la energía, la energía es una cantidad que se puede convertir de un tipo o forma en uno distinto, no se crea ni se destruye solo se transforma o convierte. En un motor de combustión interna se encuentra energía química del combustible almacenado que se convierte en la energía que provee el movimiento al automóvil. Los aparatos electrodomésticos utilizan energía electromagnética que se convierte en energía térmica. En cada uno de los procesos la energía total del sistema es la suma de distintos tipos de energía presentes, no obstante al considerar todos las formas en las que puede presentarse la energía solo nos interesa el aspecto mecánico [4].

## Principio del trabajo y energía

Utilizando la segunda ley de Newton para relacionar la aceleración de un cuerpo y las fuerzas externas que actúan sobre[6].

$$\sum F = m * \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

La segunda ley de Newton es una ecuación vectorial que puede transformarse en forma escalar. Al aplicar el producto de la velocidad en ambos lados de la ecuación:

$$\sum F * v = m * \frac{dv}{dt} * v, \quad (3)$$

Se expresa como:

$$\sum F * v = \sum F \cdot \frac{dr}{dt}, \quad (4)$$

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} m \frac{d}{dt} (v \cdot v), \quad (5)$$

Se obtiene:

$$\sum F \cdot dr = \frac{1}{2} md(v^2), \quad (6)$$

donde  $v^2 = v \cdot v$  es la magnitud de la velocidad elevada al cuadrado. El término en el lado izquierdo de la expresión es el trabajo expresado como la fuerza eterna sobre la partícula y el desplazamiento infinitesimal  $dr$  de su centro de masa [6]. Integrando la ecuación se obtiene:

$$\int_{r_1}^{r_2} \sum F \cdot dr = \frac{1}{2} md(v_1^2) - \frac{1}{2} md(v_2^2), \quad (7)$$

El término

$$\frac{1}{2} md(v^2)$$

se conoce como la energía cinética asociada con el movimiento del centro de masa de un cuerpo. Si el trabajo realizado por el movimiento del centro de masa de

$$r_1 a r_2$$

se escribe como:

$$U_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \sum F \cdot dr, \quad (8)$$

De la cual se obtiene el principio de trabajo y energía:

*El trabajo realizado sobre una partícula por todas las fuerzas externas que actúan sobre la misma es igual al cambio en su energía cinética.*[6]

$$U_{12} = \frac{1}{2}m(v_1^2) - \frac{1}{2}m(v_2^2), \quad (9)$$

Las unidades utilizadas para dimensionar el trabajo y la energía cinética en el sistema internacional son N-m o joules(J)[6].

## Energía potencial

Algunas fuerzas efectúan un trabajo sobre un objeto, tal se puede expresar como el cambio de posición de la partícula, llamado energía potencial. Del principio de trabajo y energía se establece la ley de conservación de la energía: la sumatoria de la energía cinética y energía potencial es la misma.

Suponiendo una función escalar de posición  $V$  se puede determinar tal que:

$$dV = - \sum F \cdot dr, \quad (10)$$

La integral de trabajo se puede evaluar:

$$U_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \sum F \cdot dr = \int_{v_1}^{v_2} -dV = -(V_2 - V_1), \quad (11)$$

Los valores  $V_1$  y  $V_2$  son en las posiciones  $r_1$  y  $r_2$ . Sustituyendo en la ecuación 4.9, se obtiene el principio del trabajo y energía de la siguiente forma:

$$\frac{1}{2}m(v_1^2) + V_1 = \frac{1}{2}m(v_2^2) + V_2, \quad (12)$$

De la ecuación se establece la ley de conservación de energía, la suma de energía cinética y potencial de un objeto en cualquier punto tiene la misma magnitud. Quiere decir que la energía del sistema se conserva[6].

## 6.3. Análisis matemático

### 6.3.1. Catenaria

La catenaria es una representación matemática de una curva generada por el comportamiento físico de una cuerda, cable u objeto similar suspendido entre dos puntos extremos y únicamente bajo la carga que efectúa fuerza gravitatoria[7].

## Deducción

Utilizando equilibrio de fuerzas a una porción infinitesimal de una catenaria se tiene que [8]:

$$F_H = T \cos \alpha(x + \Delta x) - T \cos \alpha(x) = 0 \quad (13)$$

$$F_V = T \sin \alpha(x + \Delta x) - T \sin \alpha(x) = \int_{s_1}^{s_2} w ds \quad (14)$$

Para el cual:

$\alpha$  es el ángulo entre la horizontal y la catenaria.  $T(x)$  es la tensión total del cable.  $w$  es el peso por unidad de longitud.

De la primera ecuación se obtiene que  $T \cos \alpha = T_H = cte$ , mientras que la segunda ecuación puede reescribirse al escoger el origen de la longitud del arco como [8]:

$$F_H = T \cos \alpha \quad (15)$$

$$T \sin \alpha = w(s - s_0) \quad (16)$$

De 15 y 16 se escribe:

$$\tan \alpha = \frac{w}{T_H(s - s_0)} \quad (17)$$

Introduciendo la relación entre la tangente del ángulo de la pendiente y la longitud de arco:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} \quad (18)$$

$$s = s_0 + \int_{x_0}^{x_1} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \frac{dy}{dx} = \frac{w}{T_H} \int_{x_0}^{x_1} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (19)$$

Al derivar la última expresión se obtiene la ecuación diferencial para la pendiente de la catenaria.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{w}{T_H} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (20)$$

La solución general de la ecuación es dada por:



$$y(x) = \frac{T_H}{w} \cosh\left(\frac{w}{T_H}(x - C_1)\right) + C_2 = a \cosh\left(\frac{x - C_1}{a}\right) + C_2 \quad (21)$$

La solución general es válida mientras se cumplan las suposiciones:

w es el peso por unidad de longitud se mantenga constante.

$T_H$  es la tensión horizontal en los extremos del cable.

Al evaluar el punto (0,a), siendo  $a = \frac{T_H}{w}$ , resulta en la solución para un cable suspendido entre dos puntos a la misma altura:

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{a}{2} (E^{\frac{x}{a}} + E^{-\frac{x}{a}}) \quad (22)$$

## 6.4. Propiedades mecánicas de los materiales

### Esfuerzo permisible

Es el resultado de aplicar el factor de seguridad a una resistencia del material; tal como la resistencia a la fluencia[9].

### Límite elástico

También conocido como esfuerzo a la fluencia, tensión máxima que puede soportar un material sin sostener deformaciones duraderas[9].

### Resistencia a la tracción

También conocido como resistencia última a la fluencia, máximo esfuerzo que puede sufrir un material antes de incumplir ante una rotura[9].

### Módulo de elasticidad

Parámetro que indica la relación entre incrementos de esfuerzos de tensión e incrementos en la deformación producidos[9].

### Primer esfuerzo principal

Es el valor del esfuerzo que es normal al plano en el que el esfuerzo cortante es cero, indica el esfuerzo de tensión máximo dada una carga[10].

### **Tercer esfuerzo principal**

Valor del esfuerzo normal al plano donde el esfuerzo cortante es cero, indica el esfuerzo de compresión máximo dada una carga[10].

### **Esfuerzo de Von Mises**

Indica el momento de fractura de un material bajo la condición de igualdad entre el esfuerzo de Von Mises y el límite elástico[10].

### **0.2 % Tensión de prueba**

Para materiales cuya curva del límite elástico es difícil de establecer se compensa con una línea paralela de 0.2 % respecto a la curva elástica[11].

## **6.5. Diseño de elementos mecánicos**

### **6.5.1. Pernos**

Los estándares que provee la SAE o ASTM contienen las especificaciones de fuerza y tensión mínimas que puede soportar un perno. La SAE mantiene una jerarquía de grados para los pernos, estos son: 1, 2, 4, 5, 8 y 8.1. ASTM tiene roscas más cortas, ya que más son utilizadas en conexiones estructurales. Tanto ASTM como SAE son especificaciones en el sistema inglés, el sistema métrico lo maneja la ISO para cual su jerarquía se basa en números decimales 4.6, 4.8, 5.8, 8.8, 9.8, 10.9, 12.9[12].

El grado al que pertenece cada perno se encuentra marcado en la cabeza del perno, de no estar marcado puede que sea importado y no aplican los estándares mencionados[12].

Pernos bajo una carga de fatiga fallan en el filete debajo de la cabeza, al final de la rosca y en la primera rosca en juego con la tuerca. Las tuercas están graduadas de tal manera que se acoplen con el perno de la misma jerarquía, el propósito de utilizar una tuerca es desviar una porción de la distribución de la carga del perno a la tuerca[12]. El proceso de diseño inicia con especificaciones del perno, calcular la precarga y determinar criterios de falla conjunto a factores de seguridad.

### **Criterios de falla**

La unión con remaches implica que todos los remaches comparten carga de corte, por lo que se dan fallas de aplastamiento y corte en el remache, además aplastamiento en el elemento.

Para los pernos, con precarga en la tuerca, el cortante se toma como la fricción de sujeción y no se da aplastamiento. Perder la precarga introduce la falla por aplastamiento.

### Falla por flexión

El momento flexionante para el cálculo del esfuerzo flexionante es:

$$M = Ft/2 \quad (23)$$

De tal forma que el esfuerzo flexionante se da como:

$$\sigma = \frac{M}{I/c} \quad (24)$$

### Falla por cortante

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (25)$$

Se utiliza el área total de todos los remaches, el análisis y diseño para pernos y remaches es el mismo. De ser para pernos evaluar el área de la sección roscada.

### Falla a la tensión

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (26)$$

El área utilizada es de la sección del elemento más delgado y restando el área del agujero.

### Falla por aplastamiento

$$\sigma = -\frac{F}{A} \quad (27)$$

Se asume una distribución uniforme en el área del perno siendo el área igual al producto del espesor de la placa más delgada y el diámetro del perno.

## Falla por desgarramiento

Al colocar varios remaches o pernos en serie se debe de mantener una distancia entre elementos de 1.5 veces el diámetro para evitar desgarramiento[12].

### 6.5.2. Soldaduras

A diferencia de las uniones no permanentes con pernos, la soldadura es un proceso de unión permanente utilizado extensamente en los procesos de manufactura. La diferencia que traen las soldaduras es para las secciones de elementos delgados, disminuye los costos de producción y permite una rapidez en la manufactura.

La soldadura en filete para cualquier caso sea tensión o compresión tiene un esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{F}{hl} \quad (28)$$

Para la ecuación  $h$  es el ancho del cordón de soldadura y  $l$  es el largo.

### Esfuerzo de torsión en uniones de soldadura

Una fuerza de corte  $V$  y un momento  $M$  producen un esfuerzo primario de corte en la soldadura cuya magnitud es:

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (29)$$

$A$  es el área de todos los segmentos de soldadura que se encuentren. El momento produce un esfuerzo secundario de corte en la soldadura dado por:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad (30)$$

Para el cual  $r$  es la distancia del centroide de la soldadura al punto de interés,  $J$  es el momento polar del área en el que se ubica el centroide. El resultado de la ecuación provee el esfuerzo cortante máximo[12].

### Esfuerzo de flexión en uniones de soldadura

Una fuerza cortante  $V$  y el momento  $M$  forman un esfuerzo primario cortante de misma magnitud que la ecuación 29.

El momento  $M$  forma un esfuerzo horizontal al elemento con la soldadura, el momento de inercia  $I$ .

$$L = 0.707hI \quad (31)$$

Resulta en:

$$\tau'' = \frac{Mc}{l} \quad (32)$$

En el libro de [12], la sección de diseño de soldaduras incluye tablas con las ecuación es para diversas áreas y momentos de inercia según la forma de la soldadura.

### Fuerza de uniones soldadas

Una soldadura se efectúa con un electrodo con propiedades mecánicas similares a la de los pernos, así mismo como existen estándares y especificaciones mínimas para pernos se da lo mismo para electrodos. La selección de un electrodo es acompañada por los mejores estándares, tal como el de la AISC. De acuerdo a resistencia a la tracción y esfuerzo a la fluencia se calculan los valores de factor de seguridad mínimos[12].

### 6.5.3. Cojinetes

Los cojinetes o rodamientos son elementos mecánicos que permiten transferir un movimiento rotatorio entre elementos mecánicos. Para transmitir el movimiento los rodamientos están diseñados para mantener coeficientes de fricción muy bajos, tanto que se les confunde con el termino anti-fricción. El proceso de diseño no inicia desde cero hay cojinetes de distinto tamaño y función.

Se inicia considerando el tipo de carga, si es radial, axial o una combinación de ambas. Algunos de los tipos de rodamiento son: de esferas, de rodillos cilíndricos, cónicos, rodillos de agujas, rodillos de barril, rodillos rectos, rodillos cónicos, de agujas, rodillos esféricos, entre otros.

### Capacidad de carga y vida útil

La vida útil del cojinete se define en parámetros del número de revoluciones u horas de vida útil. Los factores que se involucran en las fallas de vida son, desgaste, óxidos, esfuerzos compresivo, falta de mantenimiento, etc [12].

Según un modelo estadístico expresado en términos de revoluciones totales que un 90 % de un grupo de control de cojinetes bajo las mismas condiciones se calcula la vida nominal básica[12].

Un rodamiento puede soportar una carga constante a lo largo de un período de 1 millón de revoluciones, tal capacidad se le denomina como carga dinámica.

$$Lb_{10} = \left(\frac{C}{P_k}\right)^3 \quad (33)$$

$$Lr_{10} = \left(\frac{C}{P_k}\right)^{\frac{10}{3}} \quad (34)$$

Las ecuación es describen la vida nominal básica dada  $10^6$  revoluciones, C es la capacidad de carga dinámica,  $P_k$  es la carga dinámica equivalente y n la velocidad de rotación.

## 6.6. Neumática

El funcionamiento de un cilindro neumático se compone por un tubo sellado el cual contiene un pistón con un vástago, una abertura en un extremo, puertos para el ingreso de aire comprimido para mover el pistón de un extremo del tubo al otro y un segundo puerto que libera el aire dentro del cilindro.

### 6.6.1. Criterios de diseño

El primer criterio es la elección de un pistón de simple efecto o doble efecto. Un cilindro de simple efecto es apropiado para casos en los que la gravedad apoya la tarea realizada tal como elevación de superficies como un elevador, el pistón solo efectúa fuerza para una dirección y requiere asistencia para retomar la posición original. El doble efecto es capaz de empujar y jalar, es apropiado para trabajar a favor o en contra de la gravedad [13].

El segundo factor es relacionado a las dimensiones que uno necesita del cilindro y las dimensiones se determinan según la carga que se desea mover. Según el área del pistón y la presión del aire se calcula la fuerza que ejerce el actuador, debido a pérdidas por fricción y presión del aire se recomienda aplicar un factor de escala a la fuerza necesaria para acomodar posibles pérdidas de fuerza[13]. La velocidad del movimiento del pistón también es de tomarse en cuenta, para una tarea que requiere alta velocidad la pérdida de presión también será mayor[13].

Las válvulas son un punto fácil de subestimar, la capacidad de flujo de aire de la válvula se convierte en el cuello de botella del sistema si no se calcula bien, o se puede elegir una válvula flujo si es necesario controlar la velocidad del sistema en una dirección y permitir flujo libre en otra[13].

## 6.7. Controlador Lógico Programable

El controlador lógico programable (PLC) es una unidad con micro procesador, memoria programable capaz de almacenar instrucciones e implementar funciones lógicas, secuencias,

sincrónico, conteo y otras operaciones aritméticas para controlar otros elementos electrónicos. El lenguaje de estos controladores está diseñado para que ingenieros sin estar especializados en el campo de sistemas de computación puedan programar secuencias complejas. El PLC trae las herramientas para crear los programas en base a condiciones lógicas que pueden provenir por sensores y otros elementos[14].

Una configuración típica de un PLC consiste en unidad de procesador, memoria RAM, memoria flash, unidad de suplemento de poder, unidad de I/O análogo/digital, unidad de comunicación, interfaz de programación[14].

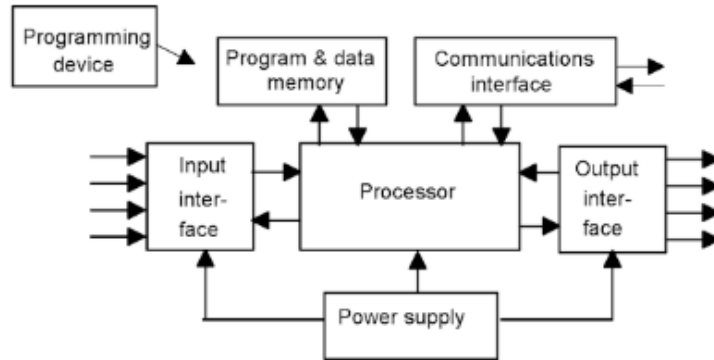


Figura 7: Sistemas que conforman el PLC [14].

### 6.7.1. Control de actuadores

Un ejemplo de los actuadores que se pueden operar es el de una válvula solenoide. Se utiliza para controlar la dirección del flujo de aire o un líquido para la operación de elementos neumáticos e hidráulicos[14].

La velocidad de rotación de un motor dc se puede controlar utilizando un circuito electrónico para controlar el ancho de los pulsos de voltaje. Utilizando un relay se puede controlar el encendido y apagado del motor[14].

## 6.8. Sistemas de control

Para entender el significado de un sistema de control primero hay que definir la palabra sistema. Un sistema se define como la combinación o conjunto de distintos componentes físicos que actúan juntos como una unidad para alcanzar cierto objetivo[15].

El control se describe como un medio para regular, actuar directamente o comandar. Entonces un sistema de control es un conjunto de distintos elementos físicos conectados de tal manera que puedan regular, comandar u actuar sobre ellos mismos u otro sistema[15].

Terminología usualmente utilizada al hablar de sistemas de control se comprende por:

1. **Planta:** La porción del sistema que se desea control o regular, además se le conoce

como proceso[15].

2. **Controlador:** Elemento, interno y externo, del sistema que controla la planta o proceso[15].
3. **Entrada:** Señal aplicada al sistema de control por una fuente de energía externa para producir una salida específica[15].
4. **Salida:** Señal de interés o respuesta, obtenida del sistema de control al aplicar la señal de entrada[15].
5. **Perturbación:** La perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de salida del sistema de control[15].

### 6.8.1. Sistema de control abierto

Se define como un sistema cuya salida es dependiente de la entrada pero la acción efectuada o entrada es independiente de la salida del sistema[15].

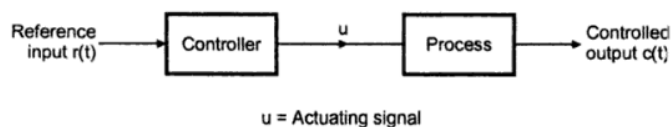


Figura 8: Sistema de control abierto [15].

#### Ventajas

Las ventajas de un sistema de control abierto son:

1. Son sistemas de construcción simple[15].
2. Convenientes cuando la salida del sistema es difícil de medir[15].
3. El mantenimiento de tales sistemas es fácil[15].
4. Generalmente estos sistemas no tienen problemáticas de estabilidad[15].
5. Son económicos debido a que son simples de diseñar[15].

#### Desventajas

Las desventajas de un sistema de control abierto son:

1. La exactitud de tales sistemas no es confiable debido a la dependencia de la precalibración del controlador[15].



2. No pueden sentir cambios en el entorno por lo que sus resultados son inexactos [15].
3. Tal como no pueden sentir cambios en el entorno, estos no pueden sentir perturbaciones dentro del sistema[15].
4. Para mantener calidad y exactitud hay que re-calibrar el controlador cada cierto tiempo[15].

Para superar las desventajas descritas, se utiliza el control de sistemas cerrado[15].

### 6.8.2. Sistema de control cerrado

Se define como un sistema cuya entrada es dependiente de la salida o cambia según la salida. Para tener dependencia de la salida estos sistemas utilizan un sistema de retroalimentación[15].

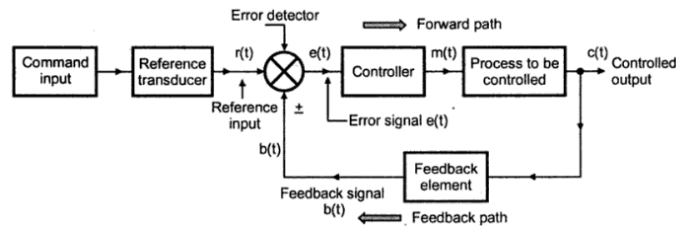


Figura 9: Sistema de control cerrado [15].

### Ventajas

Las ventajas de un sistema de control cerrado son:

1. La exactitud de tal sistema siempre es alta debido a la manipulación sobre el error, que siempre es 0.[15].
2. Siente cambios en el entorno y modifica el controlador acorde al error[15].
3. Hay un efecto reducido en distorsiones[15].
4. La frecuencia a la que trabaja el sistema bastante alta [15].

### Desventajas

Las desventajas de un sistema de control cerrado son:

1. Son sistemas complicados, consumen mucho tiempo y recursos computacionales y por lo tanto más costosos[15].
2. Debido a la retroalimentación el sistema trata de corregir el error cada cierto tiempo, esto crea un problema de estabilidad dentro del sistema [15].

## 6.9. Estándares del sistema de gestión de calidad (ISO 9000)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) proporciona guías para una comprensión de los conceptos, la intención y la aplicación de la familia ISO 9000 de estándares de sistemas de gestión de calidad. El uso de la guía se puede aplicar al enfoque de riesgo empresarial de salud y seguridad ocupacional. La guía, también conocida como un enfoque basado en procesos, explica el uso de la técnica de documentación de procesos para mejorar la efectividad y eficiencia en la consecución de objetivos específicos en una organización[16].

### 6.9.1. Ventajas de un enfoque basado en procesos

1. La integración y alineamiento de procesos logra obtener resultados deseados[16].
2. Habilidad para enfocar los esfuerzos en procesos con efectividad y eficacia[16].
3. Proveer con confianza a los consumidores, otros partidos interesados, acerca del desempeño consistente de la empresa[16].
4. Mostrar transparencia de las operaciones dentro de la empresa[16].
5. Costos más bajos y la creación de ciclos de tiempo más cortos, por medio del uso efectivo de los recursos[16].
6. Resultados consistentes y predecibles[16].
7. Proveer oportunidades para enfocar y priorizar iniciativas de mejoramiento[16].
8. Fomentar la participación de las personas y clarificar sus responsabilidades[16].

### 6.9.2. Comprender el enfoque del proceso

El método de enfoque de procesos es una herramienta poderosa para que una empresa u organización administre sus actividades y cree valor para el consumidor y otros partidos[16].

Empresas usualmente se estructuran en jerarquías por unidades funcionales. Las unidades funcionales se ven afectadas por la responsabilidad de los resultados dentro de la empresa, por lo tanto usualmente se administran verticalmente[16].

Al consumidor final o partido involucrado no siempre se involucra o es visibles dentro e los procesos de la organización, consecuentemente ocurren problemas que afectan la prioridad de los objetivos a corto plazo de una unidad. Esto implica poco o ningún mejoramiento a los partidos aliados[16].

El enfoque en procesos introduce administración horizontal, cruzando las barreras entre unidades funcionales y unificar los objetivos principales de la organización[16].

### 6.9.3. Implementar el enfoque del proceso

La siguiente metodología se puede aplicar para cualquier tipo de proceso, la secuencia de etapas es un método utilizado y no esta previsto como uso preceptivo[17].

#### Etapas para el enfoque de procesos

1. **Definir el propósito de la organización:** la organización debería identificar a sus consumidores y otras partidas interesadas, así mismo como sus requisitos, necesidades y expectativas para definir los resultados de la empresa[17].
2. **Definir objetivos de la organización:** En base a los requisitos, necesidades y expectativas establecer los objetivos de la empresa[17].
3. **Determinar los procesos dentro de la organización:** Determinar todos los procesos necesarios para producir los resultados previstos[17].
4. **Determinar la secuencia de procesos:** Determinar como los procesos interactúan entre ellos,tanto como el flujo y secuencia[17].
5. **Definir responsabilidades de procesos:** Asignar responsabilidades y autoridad a cada proceso[17].
6. **Definir el proceso de documentación:** Determinar los procesos que deben ser documentados y la forma en que se deben documentar[17].

#### Planificar el proceso de documentación

1. **Definir las actividades dentro del proceso:** Determinar las tareas que son necesarias para alcanzar los resultados previstos del proceso[17].
2. **Definir los requisitos de medición:** Determinar donde y como se aplicaran las herramientas de medición, tanto para controlar y mejorar los procesos para obtener resultados deseados[17].
3. **Definir los recursos necesarios:** Determinar que recursos se necesitan y la efectividad de operación para cada proceso[17].
4. **Verificar los procesos en contra de los objetivos planeados:** Confirmar que las características de los procesos son consistentes con el propósito de la organización[17].

#### Análisis del proceso

La información obtenida del proceso de documentación se utiliza para cuantificar el rendimiento del proceso, métodos estadísticas son recomendados para casos apropiados. Los resultados del rendimiento se comparan con los requisitos del proceso para confirmar la efectividad, eficiencia e identificar acciones correctivas[17].

## **Acciones correctivas**

Al identificar acciones correctivas los métodos para implementarlos deben de ser definidas, esto incluye la identificación y eliminación de la causa principal de los problemas. La efectividad de las acciones debe ser evaluada. Implementar una acción correctiva y verificar su efectividad de acuerdo al plan[17].

Herramientas de análisis de riesgos pueden ser utilizadas para identificar problemas potenciales o concurrentes, una problemática causada por un riesgo se identifica y elimina para prevenir la ocurrencia del riesgo en procesos similares[17].

### 7.1. Análisis de espesor en lámina de acero

El producto que se utiliza como materia prima para la creación de tubería y costanera es la bobina de lámina, tiene un peso de 9 a 10 toneladas. La bobina es colocada en un carro hidráulico que introduce la materia a la máquina desbobinadora. La tarea del desbobinador es de proveer un flujo constante de lámina a la máquina de corte, se forman las tiras de lámina y una máquina rebobinadora forma nuevos rollos para su futuro uso en las líneas de producción.

Para una bobina con D.E = 30" de 0.12" de espesor se realizó una medición en las primeras tiras que salen de la máquina cortadora, antes de iniciar un ciclo de corte y rebobinado, las tiras de lámina que se encuentran más cercanas al centro tienen un espesor que varia en un incremento del 1 por ciento a comparación de las tiras de lámina en los extremos.

Un ejemplo del efecto que tiene esta variación del espesor en la lámina.

Propiedades de lámina de acero	
Espesor	0.12"
No. vueltas	100
Diámetro tambor	18"

Cuadro 1: Datos de análisis de lámina de acero.

$$D.R = 18'' + 2 * (0.12'' * 50) = 42''$$

$$Circunferencia = \pi * D.R = \pi * 42'' = 131.95''$$

Las tiras de lámina que se forman en los extremos forman un rollo de 30" de diámetro externo con una circunferencia de 94.5".

Una diferencia del 1 por ciento en el espesor de lámina en el centro.

Propiedades de lámina de acero	
Espesor	0.1212"
No. vueltas	100
Diámetro tambor	18"

Cuadro 2: Datos de análisis de lámina de acero.

$$D.R = 18'' + 2 * (0.1212'' * 50) = 42.24''$$

$$Circunferencia = \pi * D.R = \pi * 42.24'' = 132.70''$$

La diferencia que se presenta entre los casos parece ser insignificante, solo 0.24 de pulgada en el diámetro de rollo y 0.75 de pulgada en la circunferencia. Este proceso presenta variables que no son constantes para cada ciclo de trabajo, se realizará el mismo análisis a una bobina de calibre 0.25" para ver el extremo.

Propiedades de lámina de acero	
Espesor	0.25"
No. vueltas	100
Diámetro tambor	18"

Cuadro 3: Datos de análisis de lámina de acero.

$$D.R = 18'' + 2 * (0.25'' * 100) = 68''$$

$$Circunferencia = \pi * D.R = \pi * 68'' = 213.63''$$

Las tiras de lámina que se forman en los extremos forman un rollo de 68" de diámetro externo con una circunferencia de 213.63" para una lámina de calibre de 0.25"

$$D.R = 18'' + 2 * (0.2525'' * 100) = 68.5''$$

$$Circunferencia = \pi * D.R = \pi * 68.5'' = 215.20''$$

Propiedades de lámina de acero	
Espesor	0.2525"
No. vueltas	100
Diámetro tambor	18"

Cuadro 4: Datos de análisis de lámina de acero.

Basado en un diferencia de 1 por ciento en espesor y el doble de número de vueltas la información muestra una diferencia de 0.5 pulgadas en el diámetro y 1.57 pulgadas en la circunferencia, ya no parece una diferencia insignificante y es de carácter aditivo, el incremento en el número de vueltas incrementa la diferencia de diámetro entre los rollos.

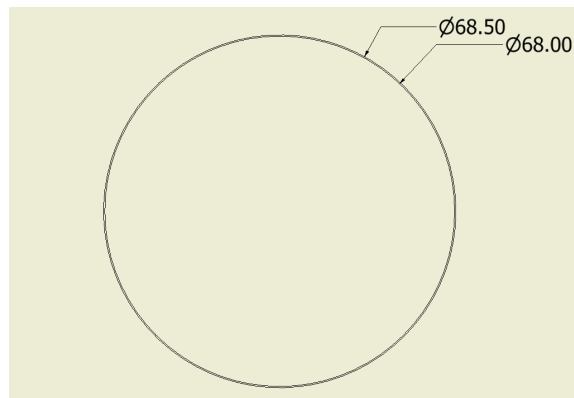


Figura 10: Diferencia de diámetro entre dos rollos de la misma bobina madre.

## 7.2. Análisis de tensión en proceso de rebobinado

Los rollos de acero que se forman en la máquina re-bobinadora son tensados por medio del torque ejercido por el motor de la máquina rebobinadora además de un cilindro que presiona la superficie de las tiras de lámina en contra del tambor respecto al que giran los rollos, cabe mencionar que inicialmente el cilindro no hace contacto con los segmentos de lámina sino conforme aumenta el diámetro de los rollos estos hacen contacto con el actuador hidráulico, creando una fuerza de tensión por medio de la fricción y presión. El cambio en espesor que se presenta entre tiras afecta la formación de rollos por un diferencial de tensión entre las tiras que presentan un cambio de espesor.

Por la naturaleza de la problemática el primer defecto que uno observa es el pandeo de las tiras, a lo cual se le atribuye a falta de fuerza de tensión por el actuador en el sistema. Según [18] se ha determinado un método para calcular la fuerza de tensión necesaria para un rebobinado correcto de lámina de acero.

$$Esfuerzoderebobinado = \frac{450}{\sqrt{espesor}} \quad (35)$$

Otra opción es el uso de el diagrama 7.3 el cual muestra una curva de esfuerzo-espesor.

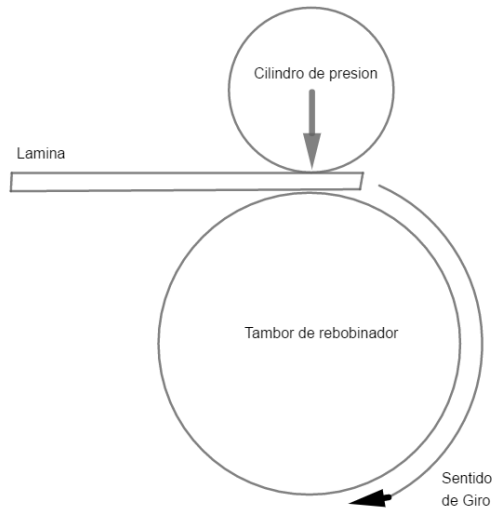


Figura 11: Diagrama de tensión en máquina rebobinadora.

La ecuación 7.1 es solamente válida para materiales que tienen un esfuerzo elástico de 40,000 psi exactos, de lo contrario se utiliza un factor de ajuste dado por:

$$Factordeajuste = 1 + \frac{(Esfuerzoelastico - 40,000)}{200,000} \quad (36)$$

Para determinar la fuerza se utiliza una ecuación que relaciona el esfuerzo de rebobinado con factores de la bobina.

$$FuerzaTensin = Factordeajuste * Esfuerzoderebobinado * anchodebobina * espesordelmina \quad (37)$$

Para relacionar la fuerza de tensión con la maquinaria actual de la planta se utilizarán valores conocidos del motor de la máquina rebobinadora y del material con el que se trabaja. Las especificaciones solo aplican bajo la suposición que la caja reductora permite los valores de torque y tensión calculados.

Utilizando herramientas adecuadas se midió el diámetro del rollo, diámetro del tambor de la máquina, revoluciones por minuto para el diámetro máximo, además especificaciones del motor y caja reductora. Con las revoluciones se puede calcular el torque que efectúa la máquina, con ese dato se puede evidenciar la fuerza de tensión que actúa sobre los segmentos de lámina.



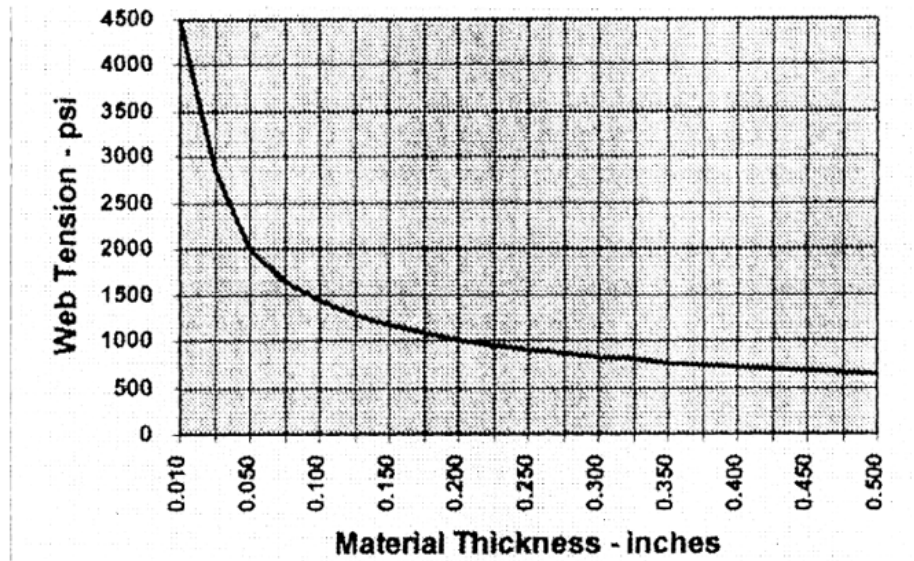


Figura 12: Diagrama de tensión de rebobinado [18].

Especificaciones de máquina rebobinadora	
Diámetro máximo de bobina	56"
Diámetro de tambor	36"
Revoluciones de motor máxima	2100rpm
Caballos de fuerza	75 HP
Factor de reducción	60:1
Revoluciones en diámetro máximo	35rpm
Longitud de bobina	222m
Ancho bobina	60"

Cuadro 5: Especificaciones de producción

$$Torque = \frac{HP * 63,023}{rpm} = \frac{75hp * 63,023}{35rpm} = 135,049.29lb * in \quad (38)$$

La ecuación 7.6 describe el torque máximo que es capaz de dar el motor dada las revoluciones por minuto mencionadas, en el instante donde el radio es máximo.

$$Fuerzaten\sin = \frac{torque}{radio} = \frac{135,049.29lb * in}{28''} = 4823.19lbf \quad (39)$$

Al resultado de la ecuación 7.5 la denominaremos como la tensión real en el sistema, utilizando las ecuaciones 7.1 , 7.2 y 7.3 obtenemos:

De 7.1,

$$Esfuerzo = \frac{450}{\sqrt{0.25}} = 900psi \quad (40)$$

Para el factor de ajuste se tratara al material con un esfuerzo elástico de 40,000 psi.

De 7.3,

$$Fuerzatensin = 1 * 900psi * 60'' * 0.25'' = 13,500lb \quad (41)$$

El resultado de la ecuación 7.7 lo denominaremos como la tensión teórica. Al comparar el valor teórico con el valor real se determina que la fuerza de tensión real no se encuentra en un rango cercano al valor teórico, se nota una diferencia alrededor a 9000lb. Para validar el análisis se utilizó un segundo método de cálculo para la tensión necesaria, por medio de la ecuación catenaria y el uso de una herramienta de cómputo se llego a los siguiente resultados:

Datos ingresados	valores
Largo	2m
Diámetro	6.35mm
Deformación aceptable	0.5mm
Resultados	valores
Fuerza de tensión	16,523.4528 lbf

Cuadro 6: Resultado de Ecuación Catenaria

El resultado de la ecuación catenaria mantiene un mismo rango que el valor teórico previamente calculado en la ecuación 39, teóricamente las especificaciones del motor, en conjunto al reductor, son apropiadas para realizar la tarea sin impedimentos, únicamente disminuye las revoluciones por minuto para aumentar el torque pero aumenta el tiempo de producción. Para mantener una producción diligente utilizan un actuador extra en forma del cilindro hidráulico, de la Figura 11, para compensar el déficit de fuerza.

Previamente se realizó un análisis en el espesor de los segmentos de lámina sin relacionar el fenómeno a las pérdidas de energía mecánica, ante la información del cilindro se puede relacionar el cambio de espesor con pérdida de fuerza de tensión, para que exista fuerza de tensión la superficie del cilindro debe de tener contacto con la superficie de cada segmento de lámina. Al tener segmentos de lámina con un espesor mayor al nominal se pierde tensión en las tiras de espesor nominal por el diferencial de radio que se forma en cada revolución, para mantener la tensión al nivel óptimo se a mantenido la práctica de ingresar cartón en el proceso de formación de rollos, con el fin de disminuir la diferencia diametral pero solo funciona momentáneamente antes de que aumente la diferencia y se repita el proceso.

### 7.2.1. Solución propuesta

Por lo previsto, un diferencial en el espesor es la causa primordial en los defectos de tensión, aunque se pueda aumentar el torque del motor esto ralentizaría el proceso y no cumplirían con las metas de producción. Para tratar con diferenciales de tensión se ha

utilizado lo que se conoce como un looping pit [18], el cual se puede describir como un pozo o espacio vacío en el cual las tiras de lámina se dejan al aire sin soportes de por medio. El trabajo que realiza el pozo es de acumular el diferencial de espesor aparente que presentan las tiras de lámina, las tiras de mayor espesor caen con mayor profundidad para permitir que tales tiras sean rebobinadas de último, se puede decir que la distancia lineal varía entre segmentos [18].

La línea de producción cuenta con tal pozo, el análisis demuestra el valor que posee en el proceso de rebobinado y el porqué se debe de utilizar. Además se debe utilizar una unidad o aparato de tensión inmediatamente tras las tiras salen del pozo con el sentido de variar la velocidad en la que se forman los rollos de tira en la máquina rebobinadora.



### 8.1. Diseño de estructura

Dado que el diseño de las estructuras es para una línea de producción existente se tiene que plantear los requisitos que debe de cumplir para un acople adecuado al resto de módulos del proyecto.

No.	Descripción
1	La estructura debe tener una dimensión de 200cm ancho * 200cm largo * 135cm alto
2	La estructura debe ser capaz de soportar una carga 188kg de lámina de acero
3	Debe de tener una geometría que permita el acceso fácil y rápido a la maquinaria
4	Se debe de poder instalar el sistema hidráulico
5	Se debe de poder instalar el dispositivo de tensión

Cuadro 7: Requisitos de estructura.

El primer requisito es el límite dimensional que ocupa la estructura, las medidas se obtuvieron del área de la línea de producción. El diseño de la estructura se realizó por medio del software asistido por computadora, Autodesk Inventor, este software se utiliza principalmente para el diseño y análisis de piezas mecánicas. Considerando los requisitos de diseño la estructura se realizó con perfiles de tubo cuadrado de 3"x 3"x 1/8" de norma ASTM A-500 grado A.

Propiedades físicas y mecánicas	
Densidad	7.86 kg/m <sup>3</sup>
Límite elástico	270 MPa
Resistencia a la tracción	310 MPa

Cuadro 8: Propiedades de acero A500 Grado A.

Utilizando el mismo software de diseño se simularon cargas continuas en las vigas de la estructura, con tal de simular el peso de las tiras de lámina de acero. En la línea de producción el calibre o espesor de lámina de acero varía y no es constante conforme avanza la jornada, la última bobina que procesan no necesariamente es del mismo calibre que la bobina con la que iniciaron el día. Con esa consideración, el diseño se realizó para el caso conservativo en el que se quiere procesar una bobina de espesor de lámina de 6,35mm.

La fuerza ejercida por el peso de una lámina con espesor de 6,35mm y con las medidas de 2m x 2m resulta en una magnitud aproximada a 2000N sobre el área que ocupa la estructura de acero.

$$Peso = 2.00m * 2.00m * 0.00635m * 201.2Kg/m^3 = 201Kg$$

$$Fuerza = Peso * Gravedad = 201Kg * 9.81m/s^2 = 1973.772N$$

$$DeformaciónMáximaPermisible = L/200 = 2076mm/200 = 10.38mm$$

Datos obtenidos de Autodesk Inventor	
Esfuerzo Normal Máximo	17Mpa
Deformación Máxima	0.13mm

Cuadro 9: Resultados de simulación de estructuras.

Los resultados comprueban la deformación de los perfiles y el esfuerzo máximo ejercido sobre el material al aplicar una carga distribuida de 2000N, la deformación se encuentra por debajo de la deformación máxima permisible así mismo el esfuerzo normal máximo no supera el esfuerzo de limite elástico del acero seleccionado.

### 8.1.1. Cálculo de soldaduras

Utilizando las herramientas design accelerator y frame analysis, que provee el software Autodesk Inventor, se determinó el grosor mínimo para el cordón de soldadura y así mismo la cantidad de material necesario para un electrodo de la familia E60XX.

Se utilizaron dos casos distintos para el cálculo de soldaduras, el primero para el cual la carga que soporta es axial y el segundo caso en el que la carga es radial.

Datos obtenidos de Autodesk Inventor	
Esfuerzo permisible	138Mpa
Esfuerzo cortante máximo	2Mpa
Largo mínimo	5.000mm
Espesor mínimo	0.100mm
Factor de seguridad	2.5

Cuadro 10: Resultados de soldadura bajo fuerza axial.

Datos obtenidos de Autodesk Inventor	
Esfuerzo permisible	138Mpa
Esfuerzo cortante máximo	5.144Mpa
Largo mínimo	80.570mm
Espesor mínimo	3.210mm
Factor de seguridad	2.5

Cuadro 11: Resultados de soldadura bajo fuerza radial.

Propiedades mecánicas	
Esfuerzo permisible	138MPa
Límite elástico	270 MPa
Resistencia a la tracción	310 MPa

Cuadro 12: Propiedades de electrodo E60XX.

Los esfuerzos que soportan las soldaduras se mantienen en el rango del esfuerzo permisible del electrodo seleccionado, además el factor de seguridad para ambos casos es de 2.5. El electrodo seleccionado es el E6013.

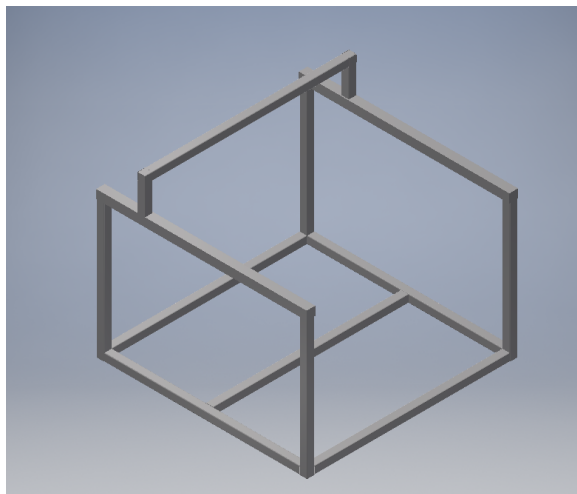


Figura 13: Vista isométrica del modelo de la estructura.



## 8.2. Diseño de unidad de tensión

El objetivo que realiza la unidad mencionada consiste en aplicar un a los segmentos de lámina que se dirigen a la máquina rebobinadora posterior al pozo, ya se discutió como afecta un diferencial de espesor entre segmentos este mismo diferencial se utilizará para ralentizar las tiras con un espesor mayor al nominal, al utilizar placas recubiertas de un material con bajo coeficiente de fricción en tándem con actuadores que ejercen una fuerza perpendicular a la superficie resulta en una fuerza de tensión en dirección del movimiento de la máquina rebobinadora, además crea una fuerza de fricción opuesta al movimiento lineal.

### 8.2.1. Análisis de fuerzas

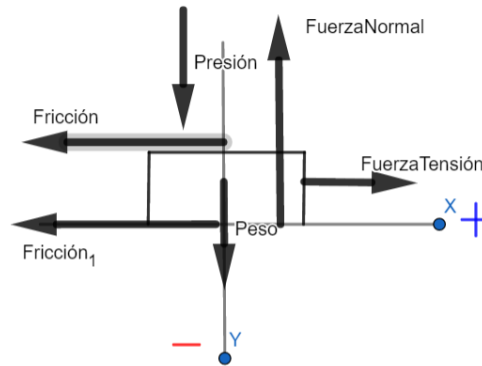


Figura 14: Diagrama de Cuerpo Libre de fuerzas que actúan sobre lámina.

$$\sum Fx = m * a = -P - W + N = 0 \quad (42)$$

$$\sum Fy = m * a = -2 * Fft + T = m * A \quad (43)$$

De la ecuación 42 se despeja la fuerza normal

$$FNormal = P + W \quad (44)$$

De la ecuación 43 se despeja la fuerza de tensión

$$FTension = m * A + 2 * uk * N = m * A + 2 * uk * (P + W) \quad (45)$$

Utilizando la ley de conservación de energía.

$$E.Ki + U.Gi = E.Kf + U.Gf + W \quad (46)$$

Desarrollamos como:

$$\frac{1}{2} * m * vi^2 = \frac{1}{2} * m * vf^2 + Ff * d$$

$$vf^2 = vi^2 + \frac{2 * Ff * d}{m}$$

$$vf = \sqrt{vi^2 + \frac{2 * Ff * d}{m}} \quad (47)$$

Por medio de la Fuerza Normal desarrollada de la ecuación 44 obtenemos que la fuerza de fricción es:

$$Ff = 2 * uk * FN = 2 * uk * P + W \quad (48)$$

En base a especificaciones del motor y el área que abarca la unidad de tensión se llego al calculo de :

$$vf = \sqrt{\left[\frac{rev}{min} * \frac{2 * \pi}{60s} * radio\right]^2 - 2 \frac{Ffd}{m}} \quad (49)$$

Utilizando el valor de 35 rpm se convierte a velocidad lineal, para ejemplificar el efecto en la velocidad lineal se utilizará una fuerza del actuador con magnitud de 100 N.

$$Ff = 2 * 0.22 * 160N = 70N \quad (50)$$

$$vf = \sqrt{\left(\frac{1.85m}{s}\right)^2 - 2 * \frac{70N * 0.406m}{6kg}} = \sqrt{\left(\frac{1.85m}{s}\right)^2 - \left(\frac{9.47m}{s}\right)^2} \quad (51)$$

$$FT = 2 * 0.22 * 160N = 70N \quad (52)$$

El análisis realizado por las ecuaciones es en un segmento de tira, asumiendo que la fuerza es distribuida sobre el área que ocupa el fieltro, la expresión en la ecuación 50 queda con un signo negativo y no se puede resolver la velocidad final, en otras palabras la velocidad del segmento disminuye considerablemente y el sistema pierde parte de la energía cinética final por el trabajo de la fuerza de fricción, aunque el análisis solo es válido si el segmento de tira mantiene contacto todo el tiempo con el fieltro de la placa superior.

La ecuación 52 mantiene la suposición de una aceleración despreciable y al considerar que el lapso de tiempo de un ciclo de producción es de 10 minutos, la fuerza de tensión resultante es igual a la fuerza de de fricción según las ecuaciones 50 y 52.

La tensión en el sistema es dependiente de la entrada P, la unidad de tensión es la herramienta utilizada para controlar la fuerza de entrada.

Por selección arbitraria

Propiedades de placa	
Largo	1914mm
Ancho	406mm
Espesor	20mm
Material	AISI 304

Cuadro 13: Placa para unidad de tensión

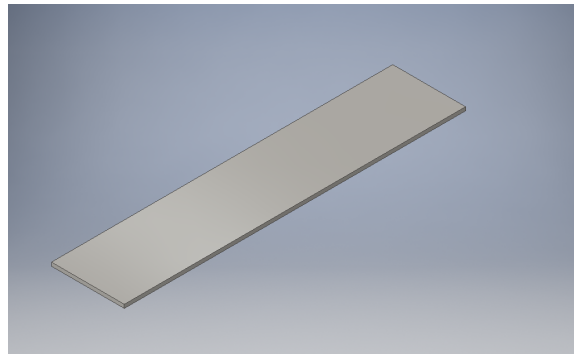


Figura 15: Vista isométrica: placa de acero 304.

La placa se utiliza para acomodar el material de fricción, soportar segmentos de lámina y crear una carga de presión uniforme.

Propiedades del fieltro
Protección de superficies
Absorción de aceite
Control de ruido

Cuadro 14: Material de fricción

Product Number	Width	Aluminum Brass Copper	Cold Rolled	Galvalume	Galvanized	Hot Rolled	Painted or Pre-Painted	Pickled & Oiled	Stainless
<b>FELT</b>									
.125 Medium	1/8"	■					■		
.250 Medium	1/4"		■		■			■	
.3125 Medium	5/16"		■		■			■	
.3125 Hard	5/16"		■		■			■	
.375 Very Soft	3/8"	■		■			■		■
.375 Soft	3/8"		■	■			■		■
.375 Medium/Soft	3/8"		■		■				■
.375 Medium	3/8"		■		■			■	
.375 Hard	3/8"		■			■		■	
.375 Very Hard	3/8"		■			■		■	
.500 Medium	1/2"		■		■	■		■	

Figura 16: Especificaciones de fieltro. Coil Equipment Processing Consultants.

En las especificaciones que provee la empresa con la que se realizó la cotización, se puede observar categorías que describen el tipo de lámina al que aplica cada variación de fieltro, se utilizará el fieltro "duro" de calibre 3/8".

### 8.2.2. Selección de actuador

En base a los resultados de las ecuaciones 42 y 43 se obtiene el valor requerido de fuerza externa para mantener un nivel de tensión apropiado.

No.	Descripción
1	Debe de proveer un carga mínima de 2000N.
2	El ancho debe ser menor a 101mm.
3	El pistón debe ser de doble efecto.
4	Soportar trabajo continuo por al menos 20 minutos.
5	El movimiento debe ser lineal.

Cuadro 15: Requisitos de actuador.

El actuador seleccionado puede ser hidráulico, neumático o electro-neumático, mejor conocidos como actuadores lineales. La selección en base a los requisitos elimina los cilindros lineales por tener un ciclo de trabajo bajo y necesitar un largo tiempo de descanso. La carga requerida no es para una aplicación en la que se necesiten una gran cantidad de fuerza por lo que el cilindro neumático es una mejor opción. Se selecciona un actuador neumático ADVC-80-25-A-P marca festo.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	80mm
Carrera	25mm
Fuerza Máxima	3000N
Presión Máxima	6bar
Peso	1.74kg
Conexión Neumática	G1/8
Rosca	M16×1.5

Cuadro 16: Actuador neumático ADVC-80-25-A-P.

## Método de sujeción

Se utilizaran 4 cilindros neumáticos para distribuir la fuerza, las bases se posicionan perpendicular respecto a una viga AISC - 4 x 4 x 1/8, del mismo material que la estructura discutida en la sección 8.1, como método de sujeción se utilizarán pernos ISO 4762 M10×180, arandelas y tuercas.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	10mm
Largo	180mm
Factor de seguridad	3
Límite elástico	420Mpa
Resistencia a la tracción	520Mpa

Cuadro 17: Perno ISO 4762 M10×1.5×180 ISO Grado 5.8

La sujeción del vástago a la placa de acero es por medio de un accesorio de sujeción acompañado de pernos ISO 4762 M10×35.



---

Sistema neumático: conexión de tiras

---

### 9.1. Diseño de estructura

El sistema neumático debe acoplarse a la estructura previamente mencionada en el capítulo 8, el objetivo de utilizar un sistema neumático es de esquematizar un mecanismo para guiar los segmentos de tira desde el punto en el que salen de la etapa de cortado hasta la máquina de tensión y por consiguiente guiarlos a la máquina de rebobinado únicamente con intervención humana en los controles eléctricos, además en la solución propuesta se mencionó el uso de un pozo que agrega el concepto de mantener las tiras de lámina al aire durante el proceso de rebobinado, para que el sistema automatizado de conexión de tiras se efectuó sin problemática se utiliza un puente con despliegue central que permite conectar lámina de un punto x1 a un punto x2 y así mismo al iniciar producción cada tira de lámina pueda colgar sobre el pozo.

No.	Descripción
1	Debe poder soportar una carga distribuida de 200kg
2	Poseer espacio disponible para instalar rodos guías
3	Sus dimensiones deben de mantenerse en el rango de 80cm ancho * 200cm largo y 135cm de alto
4	Debe tener un geometría apropiada para mantenimiento fácil y accesible de maquinaria alrededor y dentro de la estructura

Cuadro 18: Requisitos de diseño de estructura.

La estructura para la maquinaria y los mecanismos utiliza el mismo material del Cuadro 8 y con el mismo perfil de 3"x 3"x 1/8", además se utilizan perfiles AISC de barras planas de acero de 3"3/8"x 3"3/8", los cálculos de soldadura para la estructura son los mismo

realizados en la sección 8.1.1.

### 9.1.1. Diseño de rodillos

Para evitar que los operadores tengan que trasladar las tiras manualmente, se instalaran rodillos guías que encaminen segmentos de lámina a lo largo de la línea de producción.

Como parte de la estructura se realizara un puente neumático utilizando perfiles de acero personalizados. Para la elaboración del puente se utilizaran mediciones del pozo.

Para los rodillos guías se utilizará un material de aluminio 6061 T6

Propiedades físicas y mecánicas	
Densidad	2.7 g/cm <sup>3</sup>
Modulo de Elasticidad	70 GPa
Resistencia a la tracción	260 MPa
0.2% Tensión de prueba	240 MPa
Coefficiente de fricción con acero	0.47
T6	Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente

Cuadro 19: Propiedades de aluminio 6061 T6.

Al analizar las fuerzas que actúan sobre los rodillos solo se encuentran bajo una carga radial de peso de los segmentos de lámina, los resultados muestran que el esfuerzo máximo es menor al esfuerzo de resistencia a la tracción y la deformación del material cumple el mismo. Para evitar pérdidas de velocidad en el material de lámina los rodillos necesitan una capa de un lubricante para que el coeficiente de fricción entre los materiales se acerque lo mas posible a ser 0.

Propiedades físicas y mecánicas	
Esfuerzo de Von Mises	0.01057 MPa
Primer esfuerzo principal	0.01388 MPa
Tercer esfuerzo principal	0.00443 MPa
Deformación	$2.787 \times 10^{-6}$
Factor de seguridad	15
T6	Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente

Cuadro 20: Resultados de simulación.

### 9.1.2. Cálculo de cojinetes

Para permitir movimiento rotatorio en los rodillos se utilizan cojinetes o rodamientos en conjunto a una pieza mecánica conocida como chumaceras para eliminar el movimiento



traslacional. En lugar de varias chumaceras se utilizará una viga parte de la estructura para acomodar los cojinetes.

Descripción	Unidad
Vida útil esperada	10,000hrs
Confiabilidad	0.90
Velocidad de giro	55rpm
Diámetro interno	40mm
Diámetro externo	62mm
Carga radial	1000N

Cuadro 21: Datos otorgados.

Utilizando la herramienta de diseño de cojinetes en Autodesk Inventor en conjunto a los valores del Cuadro 21 el cojinete CSN 02 4645 B 71908, con una vida útil ajustada de 5,326,061 hrs. En caso de dificultad en encontrar el cojinete específico hay varias opciones en el mercado por ejemplo el NSK 79 serie estándar, debido a las bajas revoluciones por minuto del motor y la ausencia de una carga axial.

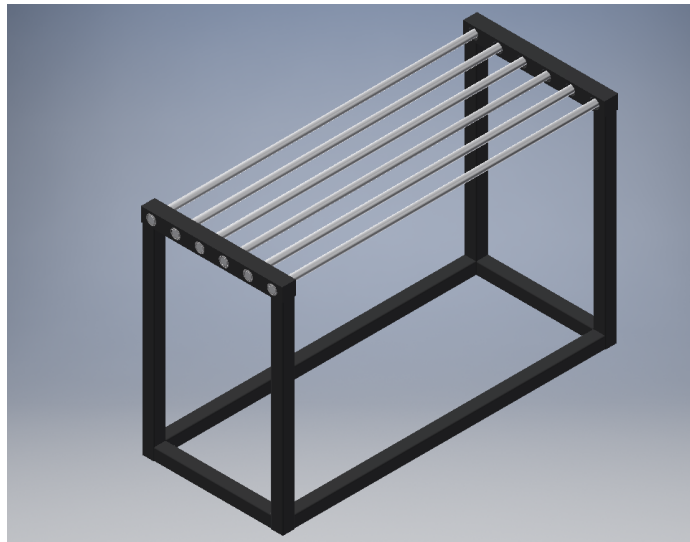


Figura 17: Vista isométrica de estructura.

## 9.2. Diseño de puente neumático

El puente que se menciona constará de 4 vigas, rodillos guía con sus respectivos cojinetes, las vigas abarcarán menos de la mitad del largo total del pozo para permitir una holgura y evitar interferencias. El material de las vigas es el mismo que los rodillos, un aluminio 6061 t6.

Descripción	Cantidad
Largo	130cm
Ancho	215cm
Profundidad	150cm

Cuadro 22: Medidas del pozo.

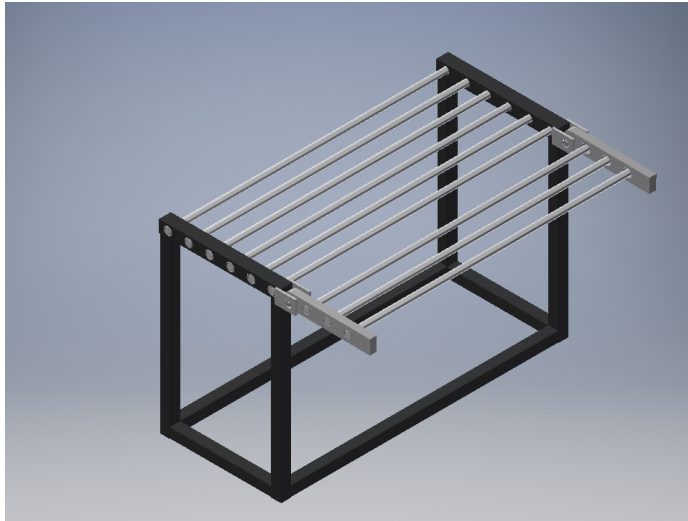


Figura 18: Vista isométrica de estructura.

### Selección de cilindro neumático

Se utilizaran dos cilindros neumáticos encargados de rotar las vigas para permitir el paso de lámina, por lo tanto deben de ser capaz de levantar el peso de las vigas, rodos y segmentos de lámina.

No.	Descripción
1	Una carrera de mas de 150mm.
2	El ancho de base debe ser menor a 89mm.
3	Permitir movimiento rotatorio.
4	Tener acople rotatorio para el vástago.
5	Proveer una fuerza mayor a 1000N

Cuadro 23: Requisitos de funcionamiento.

En base a los requisitos se selecciona un actuador neumático CRHD-80-200-PPV-A-MC marca festo.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	80mm
Carrera	200mm
Fuerza Máxima	3016N
Presión Máxima	6bar
Peso	6.1kg
Conexión Neumática	G3/8
Rosca	M16×1.5

Cuadro 24: Actuador neumático CRHD-80-200-PPV-A-M.

### Sujeción del cilindro neumático

Los cilindros se sujetan, con pernos, perpendiculares a la estructura y paralelo un cilindro de otro. Se requiere un accesorio de montura con pivote y un accesorio para el vástago con pivote para permitir la rotación, se utilizarán los accesorios que sugiere festo para sus actuadores.

La base del cilindro conlleva una montura CRLMC-80, cuyos pernos requieren soportar una carga tangencial igual al peso de las estructuras que soporta el cilindro, además requiere un pin ya que se trata de un pivote.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	10mm
Largo	120mm
Factor de seguridad	3
Limite elástico	420Mpa
Resistencia a la tracción	520Mpa

Cuadro 25: Perno ISO 4015 M10×1.5×120 ISO Grado 5.8

Propiedades	Dimensión
Diámetro	14mm
Largo	70mm
Factor de seguridad	2.359

Cuadro 26: Pin ISO 2340 B B -16×70.

El vástago utiliza un acople CRGSS-M14×1.5 que se instala en una montura de mismo diámetro con un pin para permitir rotación y pernos evitar traslación.

Los mismos actuadores, rodos, cojinetes y demás se utilizarán para la estructura 20.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	6mm
Largo	20mm
Factor de seguridad	3
Limite elástico	1100Mpa
Resistencia a la tracción	1300Mpa

Cuadro 27: Perno ISO 4762 M6×1.5×20 ISO Grado 12.9.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	14mm
Largo	70mm
Factor de seguridad	2.359

Cuadro 28: Pin ISO 2340 B B -16×70.

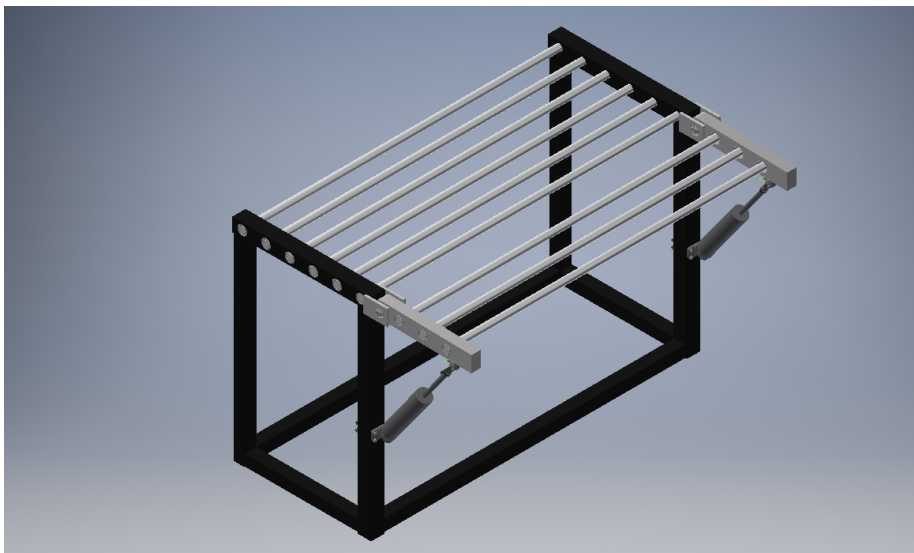


Figura 19: Estructura con actuadores neumáticos.

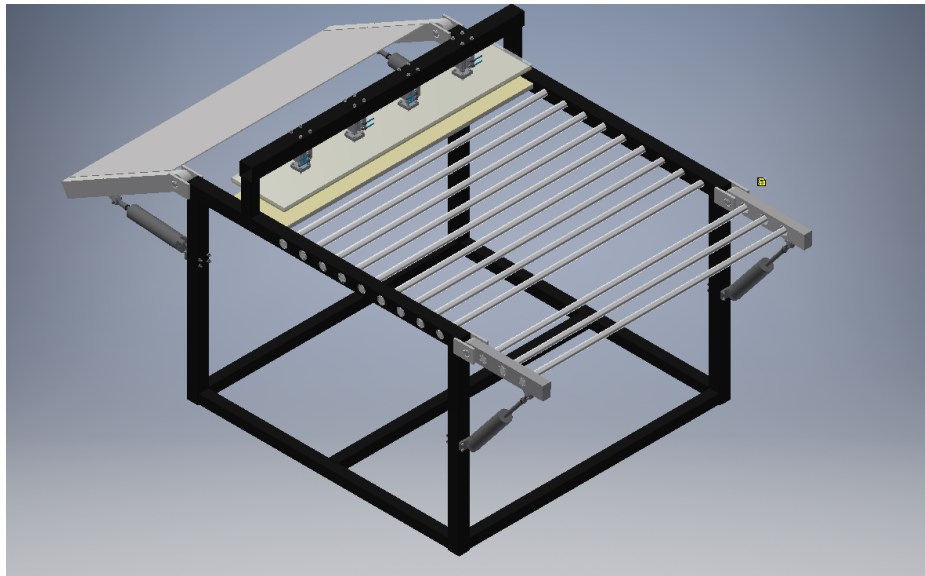


Figura 20: Estructura con actuadores neumáticos, unidad de tensión y rodos guía.



---

Automatización de recolección de rebaba.

---

### 10.1. Descripción del proceso

La tarea que realiza el operador en el proceso de recolección de rebaba es el control manual de un tornillo sin fin que mueve cilindros por el cual pasa el segmento de lámina sobrante, el operario tiene la responsabilidad de mover el tornillo sin fin por medio de una manija para recorrer de una forma uniforme el largo del mecanismo de recolección.

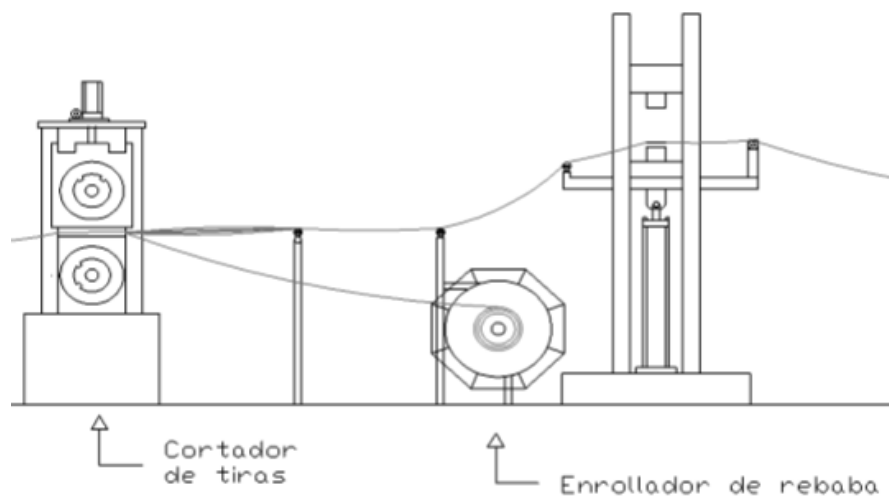


Figura 21: Recolector de rebaba [1].

## 10.2. Selección de actuador

Dado la tarea que se debe replicar describe un movimiento lineal, se puede utilizar el mecanismo de manivela corredera en conjunto a un motor, se desea una carrera de 15cm, ya que este es el ancho que mide el enrollador de rebaba.

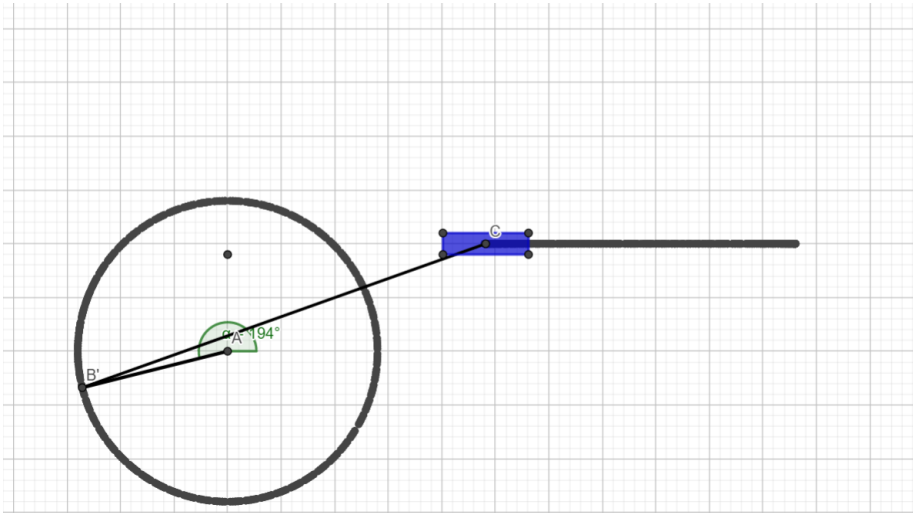


Figura 22: Mecanismo manivela corredera.

La Figura 60 muestra un punto A que representa un motor, el movimiento rotatorio del eje se convierte en un movimiento lineal por medio de dos barras.

Un motor dc 24v con mecanismo lineal recíproco con carrera de 150mm es apropiado para la tarea. Actualmente, el mecanismo que se utiliza esta montado sobre una placa de acero soldado a un tubo de acero, diámetro en pulgadas.

El montaje se realizará sobre el mismo tubo. solo se reemplaza la placa de acero, se necesitan nuevos pernos para sujeción y una soldadura nueva sobre el tubo.

### 10.2.1. Diseño de soldadura

La soldadura alrededor de la placa y el tubo puede ser afectada por un momento, en el caso que la rebaba por alguna razón se engranará con el anillo de sujeción resulta en un momento.

Los electrodos de la familia E60XX son apropiados para el caso mencionado, las fuerzas tangenciales que actúan sobre la soldadura no son vitales debido a la baja magnitud del peso del motor y el mecanismo, no existen fuerzas axiales actuando contra la soldadura, por lo que un momento puede ser el único factor crítico a considerar.



Datos obtenidos de Autodesk Inventor	
Esfuerzo permisible	138Mpa
Momento flexible máximo	5.144Mpa
Radio mínimo	12.7mm
Espesor mínimo	0.450mm
Factor de seguridad	2.5

Cuadro 29: Resultados de soldadura bajo fuerza radial.

### 10.2.2. Diseño de pernos

El tipo de perno seleccionado se realizó bajo las mismas consideraciones para las fuerzas axiales y tangenciales que a la soldadura.

Propiedades	Dimensión
Diámetro	10mm
Largo	25mm
Factor de seguridad	3
Límite elástico	420Mpa
Resistencia a la tracción	570Mpa

Cuadro 30: Perno ISO 4762 M10×1.5×25 ISO Grado 4.9.

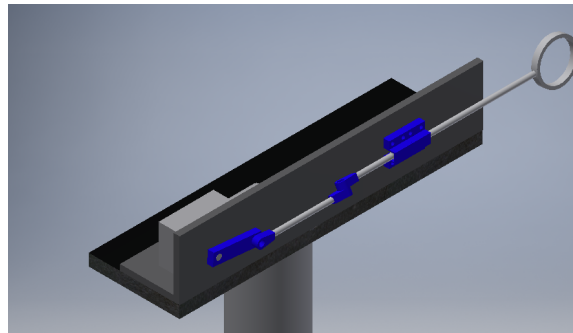


Figura 23: Estructura para montar mecanismo.



---

Sistema de control para máquina rebobinadora.

---

### 11.1. Selección motor ac

La máquina actual es controlada por un motor dc, debido al costo de mantenimiento se desea cambiar a un motor ac que como mínimo mantenga el mismo rendimiento del ciclo de producción. En 5 las rpm máximas del motor son 2100 y en el punto de diámetro de bobina máximo es 35.

$$Reducción = \frac{2100}{35} = 60$$

Se tiene una reducción de 60:1.

La primera opción para el motor es uno de mismo hp.

Propiedades	Dimensión
HP	75hp
RPM	1800rpm
V	460
F.L.Amps	87

Cuadro 31: Motor 365TSTDS16041.

$$Torque_{dc} = \frac{75 * 63023}{(2100rpm/60)} = 135049.3lb \cdot in$$

$$Torque_{ac} = \frac{75 * 63023}{(1800rpm/60)} = 157557.5lb \cdot in$$

Aunque parece que en términos de fuerza el motor no tiene problema, el tiempo de producción sin duda alguna disminuirá.

$$V_{dc} = 35rpm * 1.4 * 0.1472 * 60s = 156m/min$$

$$V_{ac} = 30rpm * 1.4 * 0.1472 * 60s = 134m/min$$

El motor ac seleccionado no cumple con el tiempo de producción actual, aunque los cálculos se hicieron suponiendo que la caja reductora es constante. En realidad la reducción que efectúan al motor de la línea de producción lo controlan con una caja de velocidades y un clutch, para el motor ac se puede disminuir la reducción para encontrar el punto en el que la velocidad angular mantiene un tiempo de producción similar al actual sin perder torque o fuerza de tensión.

Otra perspectiva es utilizando un motor con mayor caballos de fuerza, por ejemplo 100hp, lo cual permite mantener revoluciones más altas con un torque igual al necesario.

## 11.2. Diseño del control

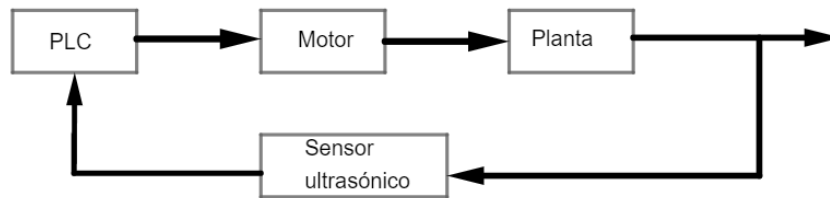


Figura 24: Lazo de control.

Se plantea un lazo de control abierto, un sensor análogo ultrasónico mide el cambio de diámetro de la bobina. Utilizando una relación de voltaje y revoluciones por minuto de la bobina se obtiene la pendiente de la función que describe el comportamiento.

### 11.2.1. Diseño del control

Utilizando un sensor programable para delimitar los valores de voltaje a un rango deseado en relación al diámetro de la bobina, es decir, el diámetro mínimo es conocido como el diámetro del tambor y el diámetro máximo también es conocido. El diámetro tiene una relación a la velocidad angular del motor, dado:

$$Torque = T * r \tag{53}$$

El objetivo de controlar el rebobinado es de mantener una fuerza de tensión constante en cualquier determinado momento de la producción. Para relacionar la tensión y velocidad angular se utiliza el torque.

$$rpm = hp * \frac{63,023}{Torque} \quad (54)$$

Con tales ecuaciones se puede determinar la velocidad de un momento dado para una bobina de radio determinado. De 5 se conoce la velocidad del motor es de 35rpm en el momento que el diámetro es máximo, para mantener una tensión constante dado el diámetro nominal de la máquina de 18 pulgadas la velocidad es de 109 rpm. Con los datos calculados el sensor ultrasónico debe de programarse para cumplir con el rango seleccionado, el sensor UB1000-18GM75-U-V15 tiene la propiedad de ser programable, análogo y entrega un voltaje en el rango de 0 a 10V. El sensor debe de ajustarse para recibir 0 voltios desde su posición ante el tambor y 10 voltios cuando se forma el rollo, quiere decir que el controlador arranca el motor con 109rpm y conforme cambia el diámetro y por lo tanto la señal de voltaje aumenta la velocidad debe disminuir hasta 35rpm.

### 11.2.2. Controlador lógico programable

La tarea del PLC es de recibir el voltaje que manda el sensor y procesar la información a un valor que pueda entender el driver del motor ac. Considerando que el valor que recibe es de carácter flotante se mueve el valor a una variable word, la variable entera se convierte en un double int y el double int se convierte en un real, el producto del valor real se ingresa al variador de frecuencia. Con la plataforma de simatic manager se puede utilizar un bloque de escala, FC 105, para convertir el valor del sensor en un dato que se puede ingresar en el variador de frecuencia.

Para comunicar el PLC con el motor el uso de un micromaster es el mas apropiado para la tarea, teniendo en cuenta el que el motor requiere 87 amperios para producir su carga máxima de 75hp el variador de frecuencia requiere entregar como mínimo esos valores, el micromaster 440 presenta 145 amperios con una potencia de 75kW para controlar el motor ac. Para utilizar el variador de frecuencia se debe de trabajar en rango de mínimo a máximo según siemens.

Network 2: Conversión de valor de sensor

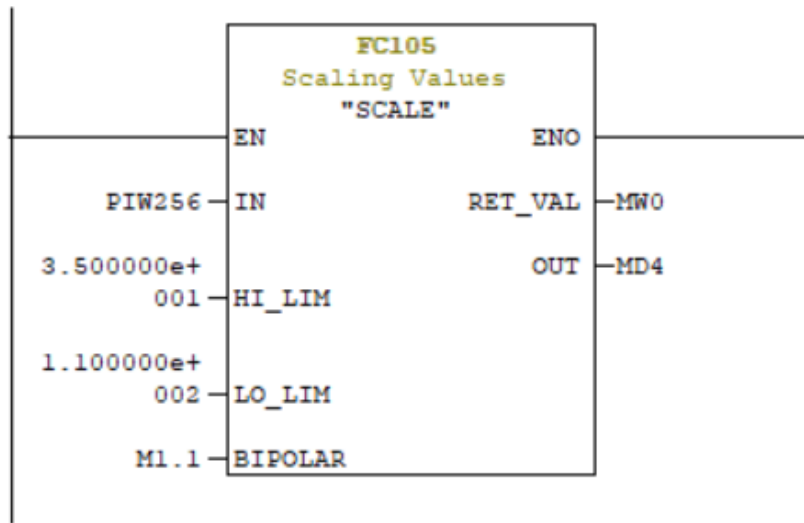


Figura 25: Bloque de escala en simatic manager.

```

AN   I    8.4           //paro de emergencia
ON   I    8.1           //boton apagado
JC   FIN              // saltar a fin si rlo =1

A    I    8.0           //boton encendido
JC   INI              //saltar a iniciar si rlo = 1

INI: L   W#16#47F       //arranque de vfd
     T   MW    20

     L   MD    4         //valor de FC105
     L   W#16#20E
     *I
     T   MW    22

     JU   TFR

FIN:  L   W#16#47F       //apagado de vfd
     T   MW    20
     JU   TFR

IFR:  L   MW    20       // decir a vfd si encender o apagar
     T   PQW  256       // por medio de la palabra de control
     L   MW    22       // transferir valor de frecuencia
     T   PQW  258       // set-point

```

Figura 26: Código stl de variador de frecuencia.

El proyecto surgió por la necesidad de eliminar un riesgo de atrapamiento, para determinar que se cumple el objetivo general se utilizará un cálculo de probabilidad del riesgo actual y así mismo una estimación del costo que representa ante la empresa un accidente por el riesgo.

Utilizando la guía del estándar ISO-9000 se realizó una estrategia para documentar el proceso.

### **12.1. Estrategia de documentación**

#### **12.1.1. Finalidad**

- Cuantificar la probabilidad de que el operador, en la máquina rebobinadora de lámina, sufra un accidente de atrapamiento.
- Determinar el costo asociado al accidente.

#### **12.1.2. Procedimientos**

- Determinar la jornada del operador.
- Calcular la cantidad de veces que efectúa la tarea de ingresar cartón, por medio de una pinza, a la formación de rollo de lámina.
- Calcular la distancia máxima de la mano del operario en relación al diámetro externo del rollo.

- Estimar el costo de un accidente en la tarea de ingresar cartón.

### 12.1.3. Indicadores

- Tiempo de exposición: 0.83h
- Distancia máxima: 2m
- Distancia mínima: 0.464m
- Severidad: Q334,000.00
- Probabilidad de accidente: 1.61 %.

### 12.1.4. Metodología

- Tomar vídeo del operario realizando tarea de ingresar cartón a rollo.
- El operador tiene una jornada 12 horas
- Determinar tiempo que tarda en efectuar la tarea.
  - $t = 10s$ , equivale a 0.002778 hora.
- Determinar repeticiones de la tarea a lo largo de la jornada.
  - 300 veces.
- Probabilidad =

$$\frac{tiempodetarea}{tiempojornada} = \frac{(300 * 0.002778h)}{12h} * 100 \% = 6.92 \%$$

- El indicador relacionado a la distancia requiere medir el largo total del área donde trabaja el operario.
  - $L_{max} = 2m$
- Calcular la distancia mínima de la mano del operario a la máquina rebobinadora.
  - $L_{min} = 0.464m$ .
- Indicador de distancia =

$$\frac{L_{min}}{L_{max}} = \frac{0.464}{2} = 0.232 * 100 \% = 23.2 \%$$

- Probabilidad de riesgo =  $I_{distancia} * P_{tiempo} = 1.61 \%$
- Estimar la severidad del riesgo, esto es, calcular el costo a la empresa del evento dado por el accidente.



- El peor caso para la empresa es la muerte del trabajador, este evento tiene costos relacionados tales como: salario de un empleado, deducible de seguro de vida, indemnización a la familia del trabajador (código de trabajo artículo 85), costos de producción y capacitación.
- El monto de severidad estimado es de Q334,000.00
- Determinar el valor esperado,

$$riesgo \times severidad = \text{valor esperado}$$

- Valor esperado = Q5377.4

### 12.1.5. Herramientas

- Observador, persona que mide los datos.
- Laptop o computadora
- Software para medición de distancias en imágenes.
- Metro.
- Cámara de vídeo.

Los indicadores resultantes se relacionan ante la seguridad ocupacional, el tiempo de exposición en conjunto a las distancias mencionadas proveen la probabilidad de un accidente ante el operador. Por el valor esperado, de Q5377.4, se requiere una acción correctiva, tal acción es la implementación de la unidad de tensión diseñada y el uso del pozo en el proceso post-corte.



## CAPÍTULO 13

---

### Cotización y listado de partes

---

El costo total previsto para la manufactura e implementación de los sistemas es de 180,164.13 Quetzales, varios elementos se cotizaron con empresas locales, tales como MarathonMotorsguatemala, Ferreteria Muneris, Grainger, Equipos y Servicios Industriales S.A., Aluminox.

El sistema de tensión y su estructura tienen un costo de 21,569.88 Quetzales, este valor está incluido en el total.

Descripción	Cantidad	Costo unitario en dolares	Costo unitario en Quetzales	Sub Total
Motor AC 365TSTDS16041	1	\$7,648.00	Q58,618.33	Q58,618.33
Motor DC con mecanismo	1	\$	Q809.56	Q809.56
Perfil de acero cuadrado 3 x 3 x 1/8	13		Q225.00	Q2,938.00
Perfil de acero cuadrado 3 1/2 x 3 1/2 x 1/8	6		Q245.00	Q1470.00
Perfil de acero cuadrado 4 x 4 x 1/8	1		Q315.00	Q315.00
Cojinetes NSK	54		Q170.00	Q9,180.00
Cilindro neumático circular	6	\$169.00	Q1,295.31	Q7,771.83
Cilindro neumático compacto	4	\$181.00	Q1,387.28	Q5,549.12
Accesorio para montaje de cilindro con pivote	6	\$58.00	Q444.54	Q2,667.26
Pin de sujeción	12	\$8.7500	Q67.065	Q804.78
Accesorio para montaje de vástago	6	\$34.40	Q263.66	Q1,581.96
Perno M10x120mm	25		Q7.00	Q175.00
Perno M10x180mm	16		Q9.40	Q150.40
Perno M6x20mm	16		Q1.23	Q150.40
Perno M10x35mm	16		Q0.95	Q15.22
Varilla de aluminio 6061 T6	27		Q386.12	Q10,425.24
Perfil rectangular de aluminio 6061 T6	2		Q547.05	Q1,094.10
Válvula electro-neumática 5/3 centro cerrado	4	\$96.00	Q735.79	Q2,943.18
Válvula electro-neumática 5/2	6	\$64.0000	Q490.53	Q2,943.18
Compresor	1		Q2,650.00	Q2,650.00
Sensor UB1000-18GM75-U-V15	1	\$94.5000	Q724.30	Q724.30
Válvula solenoide	4	\$12.00	Q91.97	Q367.90
Filtro industrial	10	\$15.00	Q114.97	Q1,149.68
Simatic outdoor load power sup	1	\$436.00	Q3,341.74	Q3,341.74
S7-300,CPU312,MPI,16KB	1	\$440.00	Q3,372.39	Q3,372.39
Digital input 16 PT 24VDC	1	\$215.00	Q1,647.87	Q1,647.87
Output module 16PTS relay 2A	1	\$445.00	Q3,410.72	Q3,410.72
Analog input,8CH,9/12/14 bits	1	\$830.00	Q6,361.56	Q6,361.56
Bus connector	1	\$13.00	Q99.64	Q99.64
Mounting rail, 2000mm	1	\$138.00	Q1,057.70	Q1,057.70
Connector to chassis shielded	1	\$19.00	Q145.63	Q145.63
S7300/400 Communication ML(G)	1	\$102.00	Q781.78	Q781.78
Micromaster 440 drive 0-650HZ 75 kW	1	\$5,930.00	Q45,450.66	Q45,450.66

Cuadro 32: Cotización y listado de partes. Tasa de conversión de dollar a quetzal utilizada 7.66453

Se determinó que el factor principal en los defectos de rebobinado se constituye al diferencial de espesor en lámina.

Se realizó el diseño de una máquina de tensión que ejerce una fuerza de tensión máxima de 2000N utilizando fieltro con un coeficiente de fricción cinético de 0.2, en conjunto a los planos mecánicos se realizó el circuito neumático.

Se diseñó un sistema neumático, utilizando actuadores neumáticos cilíndricos capaces de ejercer 3000N a 6bar, para guiar lámina a través de la línea de producción, así mismo se elaboró el circuito neumático conjunto al circuito eléctrico para controlarlo.

Se determinó el valor que tiene el pozo dentro de la línea para el proceso de producción, siendo este la principal solución para la problemática de tensión.

Invertir Q21,569.88 a la línea de producción aumenta el nivel de seguridad para los operarios, elimina la probabilidad de un accidente de atrapamiento en la máquina rebobinadora y elimina la severidad de Q334,000.00.



## CAPÍTULO 15

---

### Recomendaciones

---

Se recomienda investigar acerca de maquinaria que modifique el espesor de lámina de acero para nivelar la superficie como alternativa a la máquina de tensión.

Se recomienda realizar un análisis profundo entre las maquinarias que conforman la línea de producción para evaluar si un déficit en su tarea es el causante de problemas en toda la línea.

Se recomienda automatizar otras etapas, tal como el pre-alineado de lámina o el proceso de corte, para disminuir el riesgo de accidentes ante el personal.

Se recomienda evaluar el estado de los elementos mecánicos para un análisis de costeo beneficio del reemplazo de elementos o máquinas completas, el eje principal de la máquina rebobinadora es un ejemplo de esto.

Se recomienda realizar un sistema de control cerrado, tal incluye diseñar un mecanismo para medir tensión en lámina, un análisis de fuerzas en cada etapa de la línea de producción y diseñar el método de control.





- 
- [1] C. José, “Actualización de los perfiles de operación, funcionamiento técnico e historial de la maquinaria y equipos auxiliares de las líneas de producción en la planta Intupersa, para apoyo en la programación de su mantenimiento”, Tesis de maestría., Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2013.
  - [2] P. Hewitt, *Conceptual Physics*. Addison Wesley, 2002, ISBN: 9789702604471. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=1f-PUiU7w1gC>.
  - [3] V. Cabrera, *Física Fundamental*. Editorial Progreso, 1996, ISBN: 9789706410979. dirección: [https://books.google.com.gt/books?id=%5C\\_NG9v8h7-LIC](https://books.google.com.gt/books?id=%5C_NG9v8h7-LIC).
  - [4] H. Young, R. Freedman, F. Sears, V. Flores, A. Ford y M. Zemansky, *Física universitaria 01*, ép. Física universitaria v. 1. Addison-Wesley ; Pearson Educación, ISBN: 9786074422887. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=msJzQwAACAAJ>.
  - [5] R. Hibbeler, *Mecánica vectorial para ingenieros: estática*, ép. Mecánica vectorial para ingenieros. Pearson Educación, 2004, ISBN: 9789702605010. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=clxMnzCbgJkC>.
  - [6] R. Hibbeler y J. de la Cera Alonso, *Mecánica vectorial para ingenieros: dinámica*, ép. Mecánica vectorial para ingenieros. Pearson Educación, 2004, ISBN: 9789702605003. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=eopv-ycSy7MC>.
  - [7] J. Russell y R. Cohn, *Catenary*. Book on Demand, 2012, ISBN: 9785511600154. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=uf10MAEACAAJ>.
  - [8] E. Lockwood, *Book of Curves*, ép. A Book of Curves. Cambridge University Press, 2007, ISBN: 9780521044448. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=PSdWuoORYhEC>.
  - [9] R. Hibbeler, *Mecánica de materiales*. Pearson Educación, 2006, ISBN: 9789702606543. dirección: [https://books.google.com.gt/books?id=iCBye0%5C\\_1EXsC](https://books.google.com.gt/books?id=iCBye0%5C_1EXsC).
  - [10] *Ingeniería*, v. 19, no. 7. 1943. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=0ZrmAAAAMAAJ>.
  - [11] A. International, *Atlas of Stress-strain Curves*. ASM International, 2002, ISBN: 9780871707390. dirección: [https://books.google.com.gt/books?id=up5KS9fd%5C\\_pkC](https://books.google.com.gt/books?id=up5KS9fd%5C_pkC).

- [12] R. Budynas, *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 2014, ISBN: 9780077591670. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=4mxzCgAAQBAJ>.
- [13] A. Nicolás, *Neumática práctica*. Ediciones Paraninfo. S.A., 2010, ISBN: 9788428330336. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=-1UVsZSC6GsC>.
- [14] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, ép. Electronics & Electrical. Newnes, 2006, ISBN: 9780750681124. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=o7100Dj6jqQC>.
- [15] U. Bakshi y V. Bakshi, *Control System Engineering*. Technical Publications, 2008, ISBN: 9788184314632. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=Gq6T7Pqauk4C>.
- [16] I. Abuhav, *ISO 9001: 2015 - A Complete Guide to Quality Management Systems*. CRC Press, 2017, ISBN: 9781315352787. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=NmU1DgAAQBAJ>.
- [17] D. Hoyle, *ISO 9000 Quality Systems Handbook - Updated for the ISO 9001:2008 Standard*. Taylor & Francis, 2009, ISBN: 9781136438264. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=wN5Xm7pBqo4C>.
- [18] H. E. Theis, *Handbook of metalforming processes*. CRC Press, 1999.

## **17.1. Manuales**

### **17.1.1. Manual de ensamblaje**

#### **Equipo requerido**

1. Herramienta de corte para aceros.
2. Metro.
3. Marcador permanente.
4. Equipo para soldar, contemplar electrodo E60.
5. Herramienta para perforar acero
6. Destornilladores y llaves

#### **Estructura**

#### **Preparación**

1. Corte de tubo de acero cuadrado en base a las especificaciones en planos anexos.
2. Corte de barra de acero cuadrado en base a las especificaciones en planos anexos.
3. Asentir las varas de aluminio según las medidas del plano 4.
4. Perforación en los perfiles de acuerdo a los planos de las piezas.

Una vez los perfiles se han preparado de acuerdo a las especificaciones en los planos anexos, avanzar al ensamblaje.

## Ensamblaje

1. Insertar los cojinetes en las holuras de los perfiles, de forma que la cara del cojinete quede nivelado con la orilla del orificio. El proceso se repite para el segundo perfil.

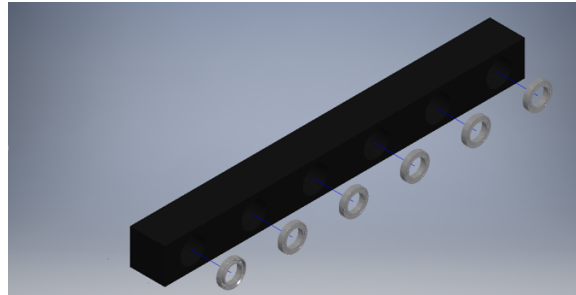


Figura 27: Inserción de cojinetes en perfil .

2. Insertar varas de aluminio hasta que la cara frontal del rodo se nivele con la cara frontal del perfil y del cojinete.

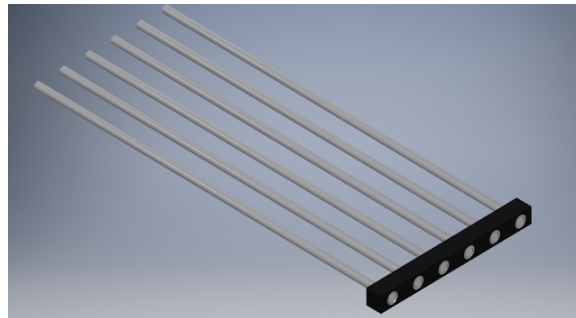


Figura 28: Inserción de rodos de aluminio en perfil.

3. Conectar el extremo de los rodos con los cojinetes del segundo perfil.

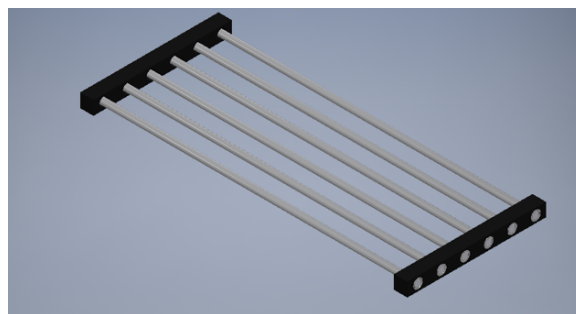


Figura 29: Estructura de rodos aluminio.

4. Soldar los perfiles 2, 3, 4 del listado de partes del anexo de estructura 1.

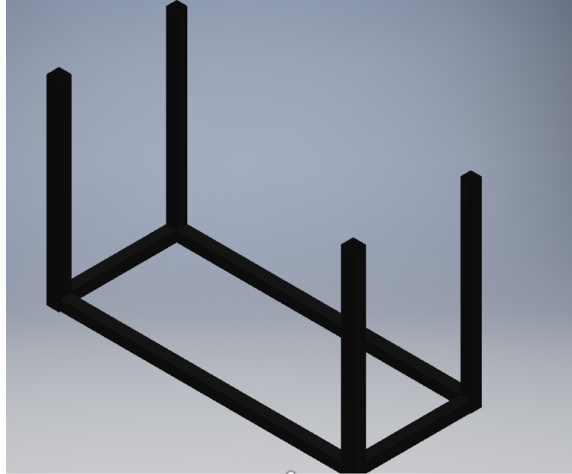


Figura 30: Perfiles de acero soldados

5. Soldar la estructura formada en el paso 3 a la estructura del paso 4.

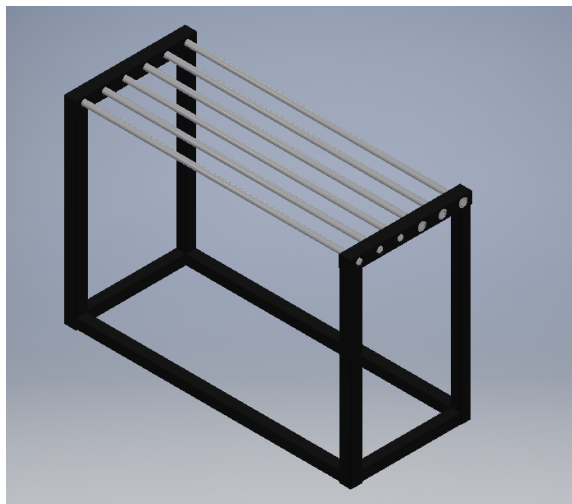


Figura 31: Montura de estructura.

6. Insertar cojinetes al perfil, para detalles de las medidas del perfil y unidades revisar plano 3. Repetir para el segundo perfil.

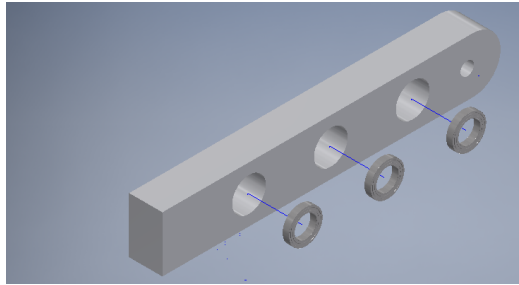


Figura 32: Inserción de cojinetes en perfil.

7. Insertar rodos en los cojinetes del perfil, asegurar que la cara frontal del rodo este nivelado a la cara frontal del perfil.

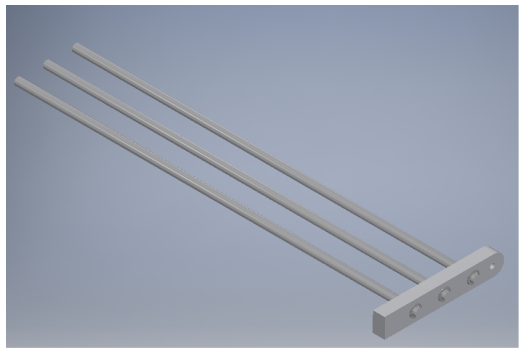


Figura 33: Inserción de rodos en cojinetes del perfil.

8. Insertar el extremo libre de los rodos a los cojinetes del segundo perfil.

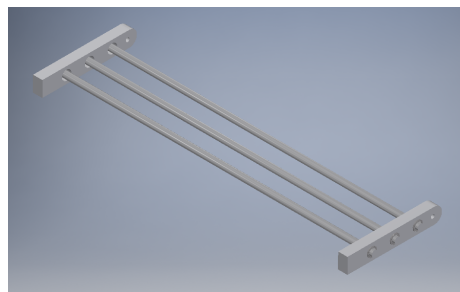


Figura 34: Estructura de rodos.

9. Soldar dos platinas en cada posición mostrada en la figura A.9, el plano 7 muestra las especificaciones de la placa y en el plano 13 la distancia del borde interno de la placa respecto al centro del cojinete.

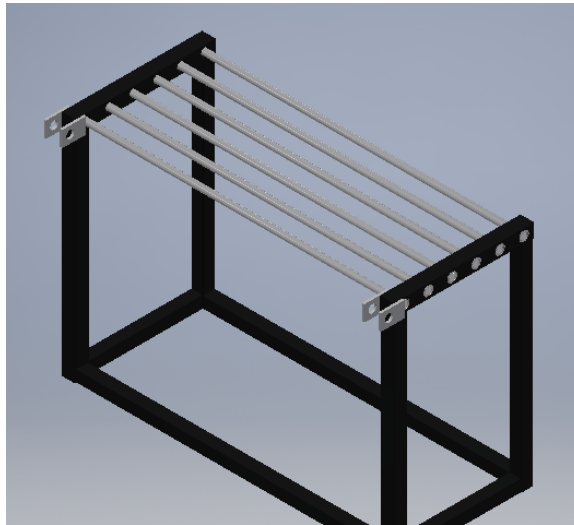


Figura 35: EStructura con placas soldadas.

10. Insertar el cojinete al orificio de la placa.

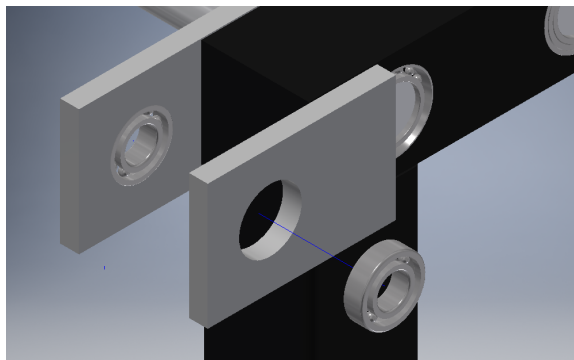


Figura 36: Inserción de cojinetes en placas.

11. Alinear la estructura de la Figura 34 con las placas la Figura 36 e insertar el eje puente cuyas especificaciones se encuentran en el plano 14.

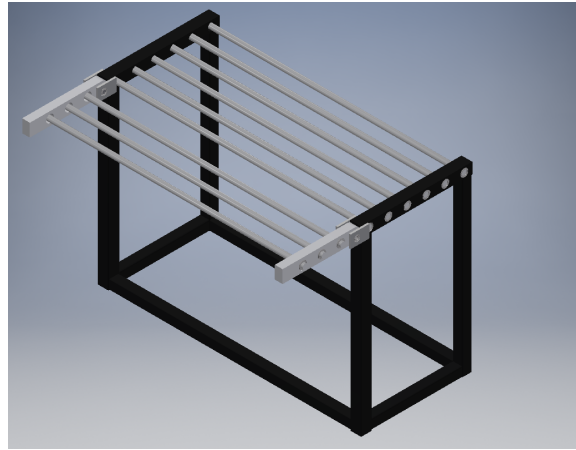


Figura 37: Instalación de rodos guía en estructura de soporte.

12. Instalar el accesorio de montura para el pistón, utilizar el plano 13 para ver referencias y medidas.

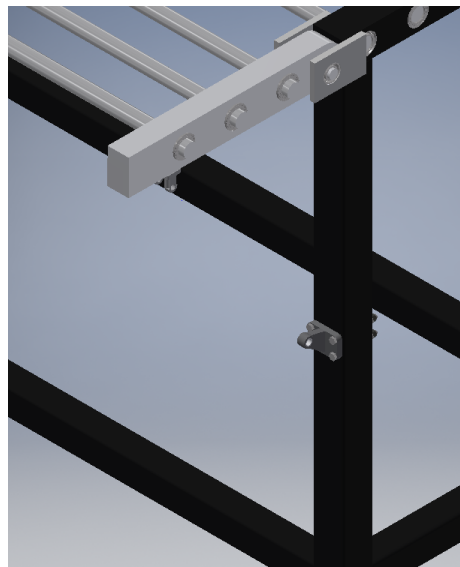


Figura 38: Instalación de montura para cilindros neumáticos.



13. Instalar los cilindros neumáticos en sus monturas, fijar cada cilindro con clavijas de los accesorios.

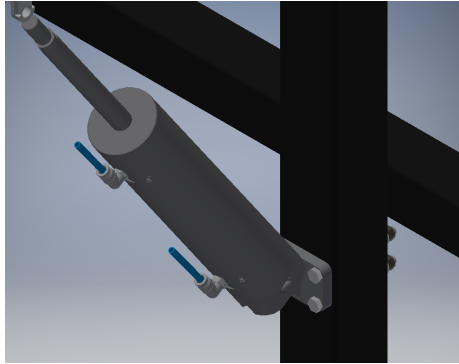


Figura 39: Instalación de cilindros neumáticos.

14. Al terminar los pasos descritos se debe llegar a lo que se muestra en la Figura 40, la estructura completada.

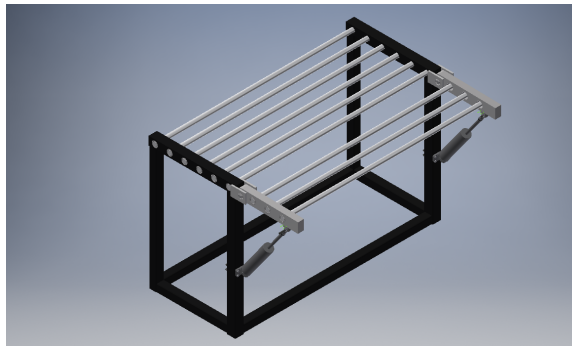


Figura 40: Estructura guía 1.

15. Se inicia el proceso para ensamblar la segunda estructura del proyecto, varios pasos se repetirán. Se inicia insertando cojinetes al perfil de acero y se repite para el segundo perfil.

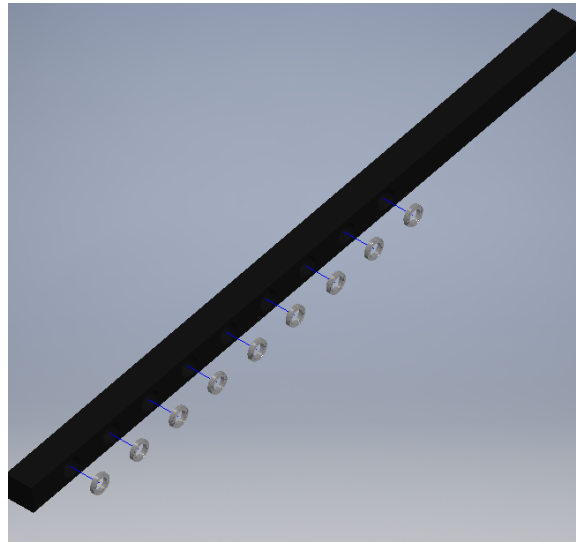


Figura 41: Posición de cojinetes en perfil de acero.

16. Insertar rodos guía en el espacio del cojinete.

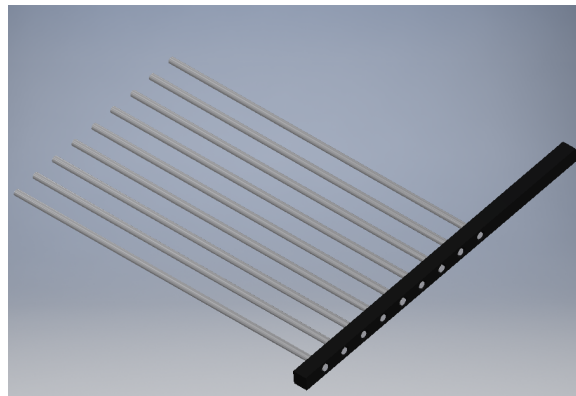


Figura 42: Unión de rodos con perfil de acero.

17. Adjuntar el extremo de los rodillos a los cojinetes del segundo perfil de acero.

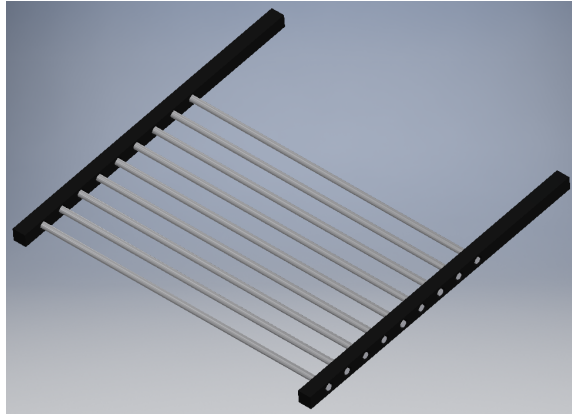


Figura 43: Estructura de rodillos guía.

18. Soldar los perfiles de acero, 1, 2, 3 del listado de partes anexado.

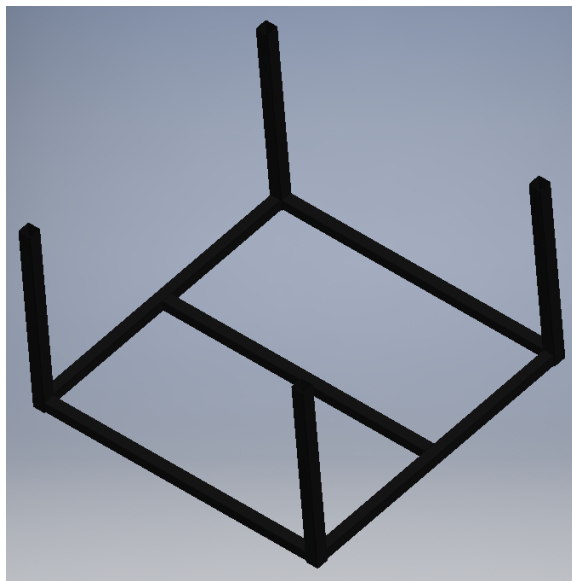


Figura 44: Estructura de rodillos guía.

19. Soldar la estructura de rodillos guía de la Figura 43 a la estructura de la Figura 44. Además se repiten los pasos 6 - 13 mencionados previamente. Lo que deja una estructura como la siguiente.

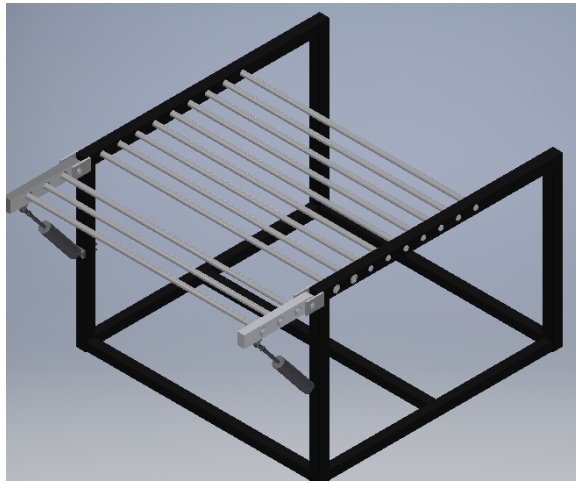


Figura 45: Estructura con rodos guía y cilindros neumáticos.

20. Soldar placa de acero con capa de material de fricción, revisar anexo 61.

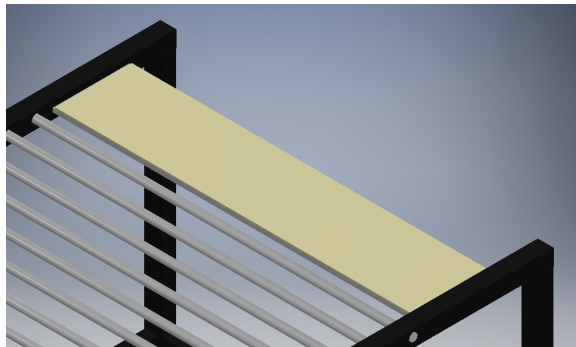


Figura 46: Estructura con placa de fricción.

21. Soldar perfiles de acero para acomodar los cilindros neumáticos compactos, revisar plano 6 para verificar dimensiones.

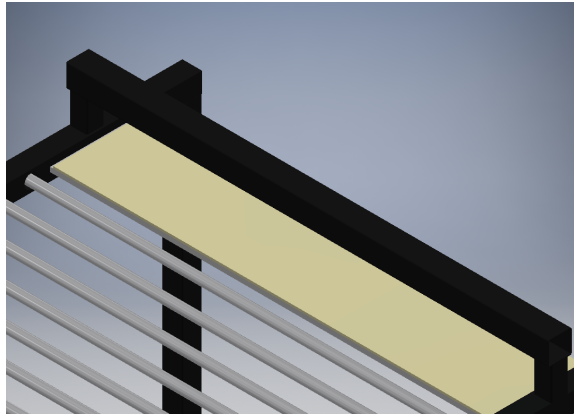


Figura 47: Perfiles de acero para cilindros compactos.

22. Instalar cilindros neumáticos compactos en conjunto de una placa de acero conectado a los vástagos por medio de accesorios de montaje.

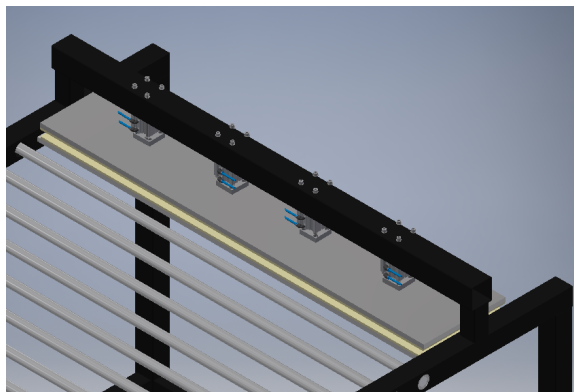


Figura 48: Montura de cilindros compactos.

23. Soldar platinas de acero en el extremo del perfil superior, además insertar sus respectivos cojinetes en los orificios que presentan, tal como se ve en la Figura 49.

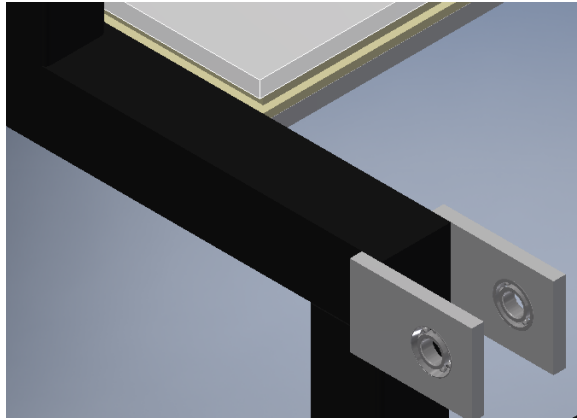


Figura 49: Montaje de platinas de acero.

24. Ensamblar estructura de puente neumático utilizando perfiles del plano 2, con una placa de acero soldado entre ellos.

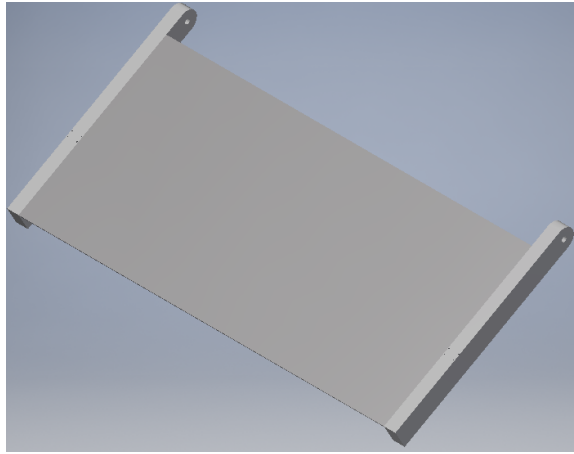


Figura 50: Montaje de estructura de puente.

25. Unir estructura del puente neumático a la estructura, alinear con los cojinetes en las placas de acero e insertar eje.

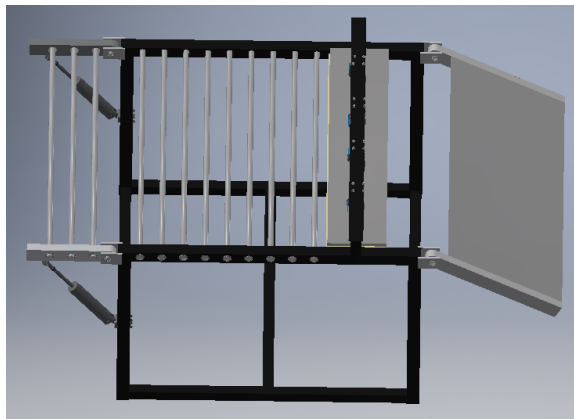


Figura 51: Estructura de rodos guía con puente neumático.

26. Instalar accesorios para montaje de los cilindros en los perfiles de acero y montar los cilindros.

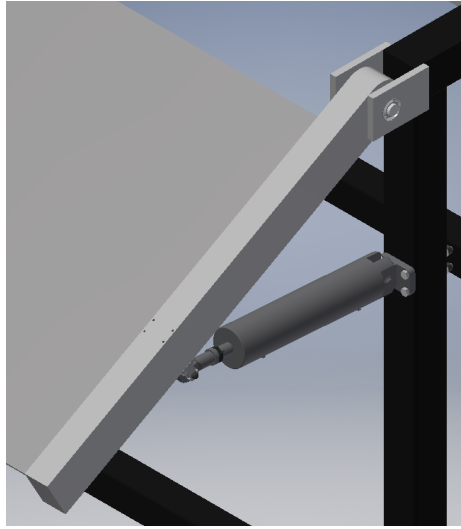


Figura 52: Instalación de cilindros neumáticos.

27. Al terminar los pasos descritos se debe llegar a lo que se muestra en la Figura 53, la segunda estructura del proyecto.

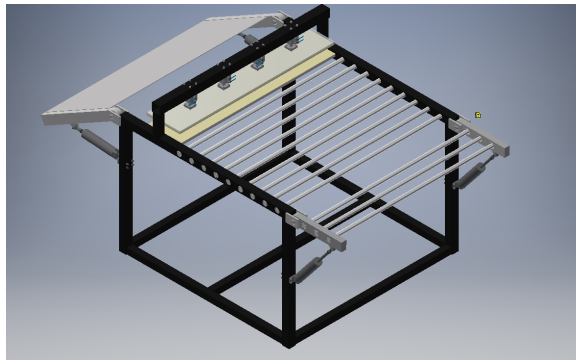


Figura 53: Segunda estructura de rodos guía.

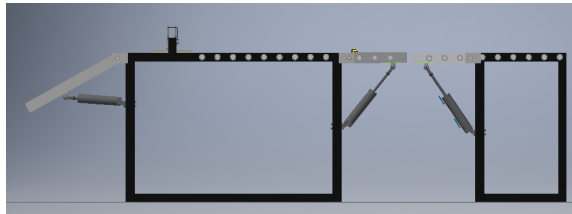


## 17.2. Manual de usuario

Los pasos descritos se enfocan en el uso de los rodos, rampa guía y de la unidad de tensión, maquinaria y procesos previos no se discuten en este manual.

1. Controlar el sistema neumático para posicionar los rodillos completamente horizontales, utilizar 54 la como referencia.

Figura 54: Posición neutra de rodillos.



[Elaboración propia]

2. Permitir que las tiras de acero que salen del proceso de corte avancen a través de la unidad de tensión hasta que el acero llegue al tambor de la máquina rebobinadora, es importante que los cilindros no estén activos y se encuentren con el vástago retraído.

Figura 55: Acero al salir de proceso de corte.



[Elaboración propia]

3. La rampa que se encuentra posteriormente a la unidad de tensión se utiliza para guiar el acero al rebobinador, utilizar los cilindros neumáticos para dirigir las tiras a la sección del tambor que prensa las tiras de acero para su conexión.
4. Con la conexión de las tiras de acero a la ranura del eje en el rebobinador asegurada, desactivar los 6 cilindros neumáticos, Figura 57 como referencia, de las rampas y permitir que el acero se acumule en el pozo entre las estructuras, la acumulación de tiras. Véase la Figura 56 de una ejemplificación de acumulación de acero en la línea de producción de la empresa Harsle.

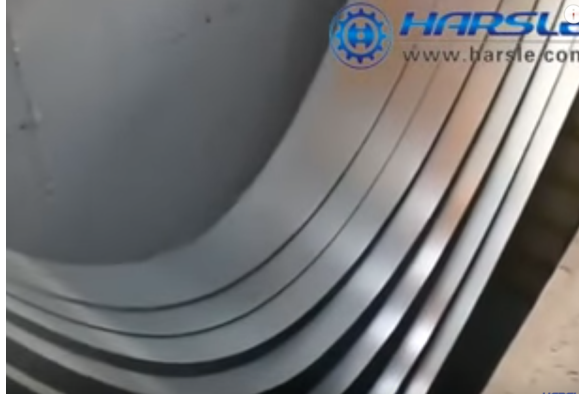


Figura 56: Pozo con acumulación de tiras de acero. HARSLE INDUSTRIAL UNLIMITED.

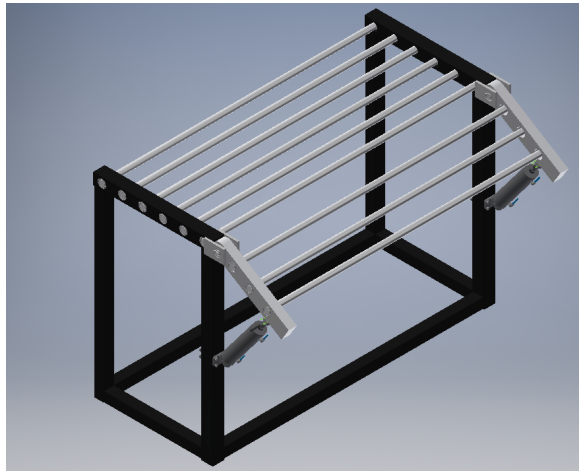
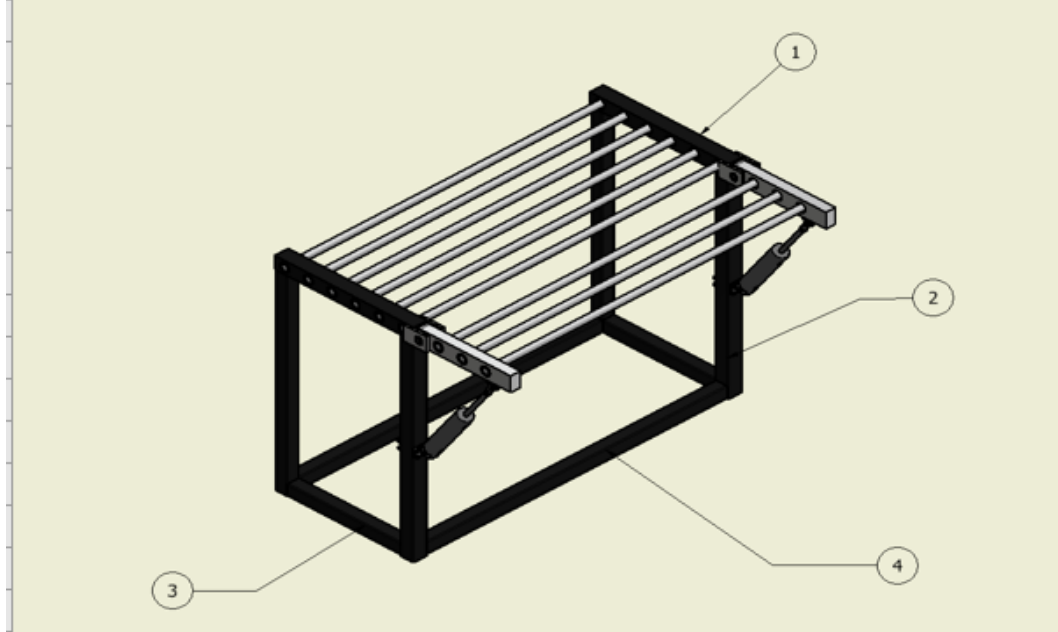


Figura 57: Vástago de cilindro retraído.

5. Activar cilindros de la unidad de tensión, el objetivo del operador en esta etapa consta de aplicar suficiente presión sobre el acero para evitar holgura en el proceso de rebobinado, visualmente el operador debe de ver que las tiras no presenten una curvatura en el proceso de rebobinado.
6. Al terminar con un ciclo de producción desactivar los cilindros de la unidad de tensión.

### 17.3. Listado de partes

Listado de partes			
Item	Cantidad	Nombre	Dimension Largo
1	2	Perfil de acero 3 3/8 x 3 3/8	882.550mm
2	4	Perfil de acero 3 1/2 x 3 1/2 x 1/8	1352.375 mm
3	2	Perfil de acero 3 x 3 x 1/8	717.450 mm
4	2	Perfil de acero 3 x 3 x 1/8	1911.100 mm



El diagrama muestra una estructura metálica compuesta por varios perfiles de acero. Se han etiquetado cuatro componentes principales con números circulares: 1 indica el perfil superior horizontal; 2 indica los perfiles laterales verticales; 3 indica el perfil inferior trasero horizontal; y 4 indica el perfil inferior delantero horizontal. La estructura parece ser un soporte para una serie de barras horizontales que se extienden desde el perfil superior.

Figura 58: Listado de partes para estructura.

Listado de partes			
Item	Cantidad	Nombre	Dimension Largo
1	4	Perfil de acero 3 x 3 x 1/8	1911.100 mm
2	1	Perfil de acero 3 x 3 x 1/8	1923.800 mm
3	4	Perfil de acero 3 1/2 x 3 1/2 x 1/8	1352.375 mm
4	2	Perfil de acero 3 3/8 x 3 3/8	2088.900 mm
5	2	Perfil de acero 3 x 3 x 1/8	140.000 mm
6	1	Barra de acero 4 x 4 x 1/8	2085.725 mm

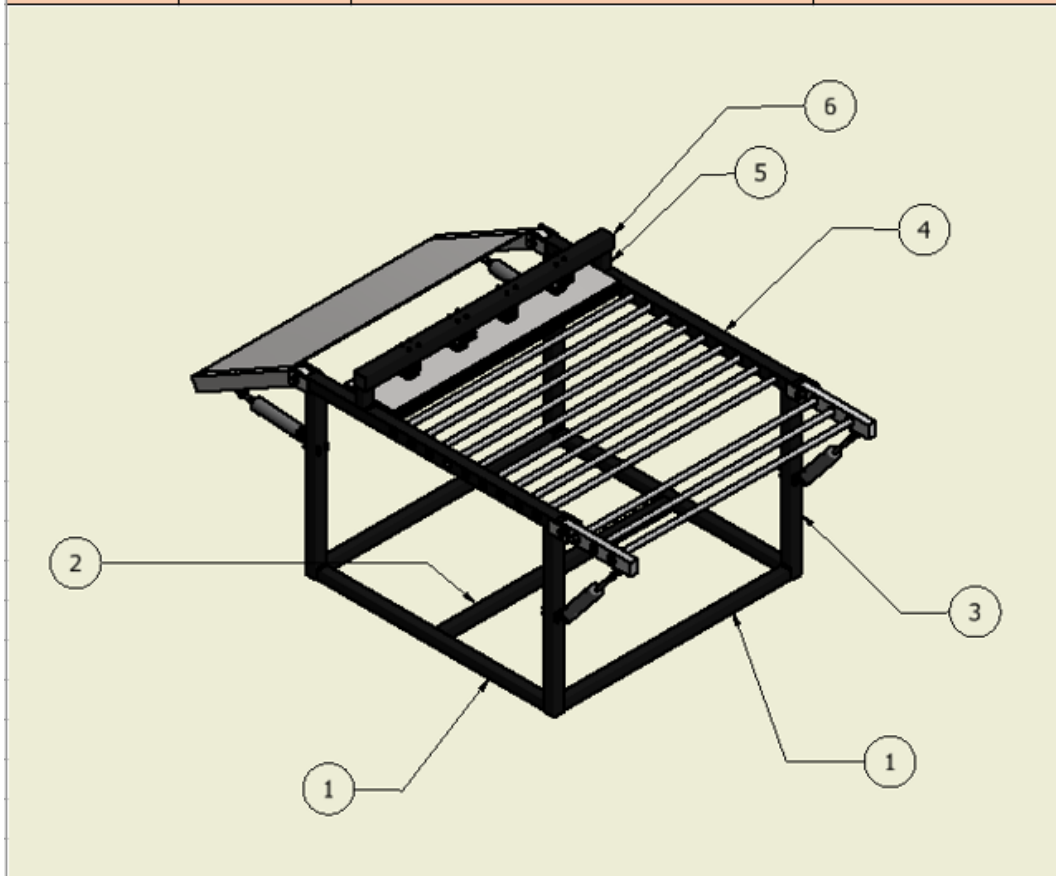


Figura 59: Listado de partes para estructura con doble puente guía.

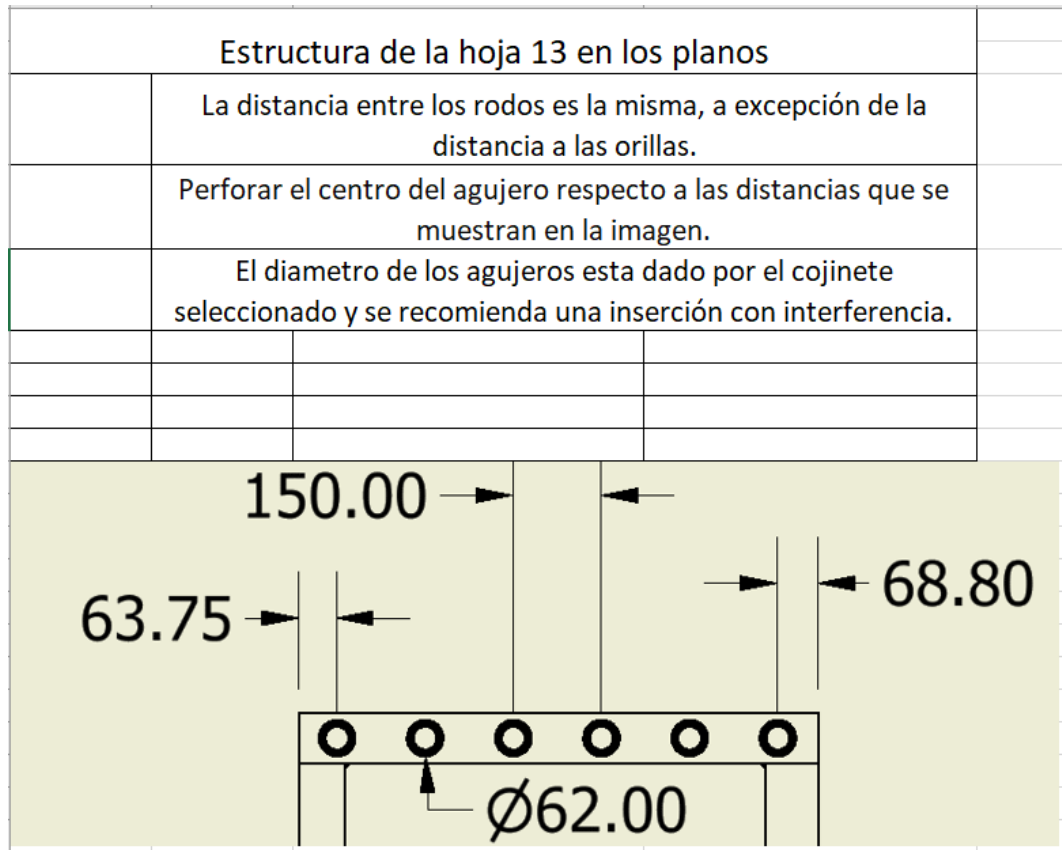


Figura 60: Anexo para plano 13 y manual de ensamble.

## Anexo a plano 6, ubicación de placa de fricción

La distancia se refiere a los extremos de los perfiles.

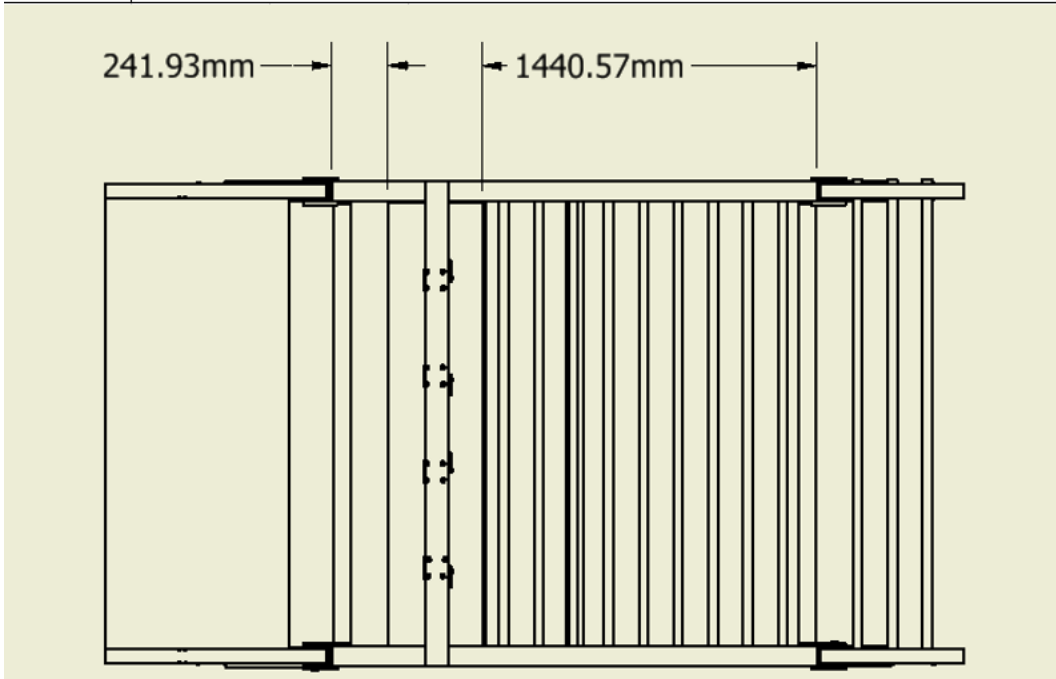
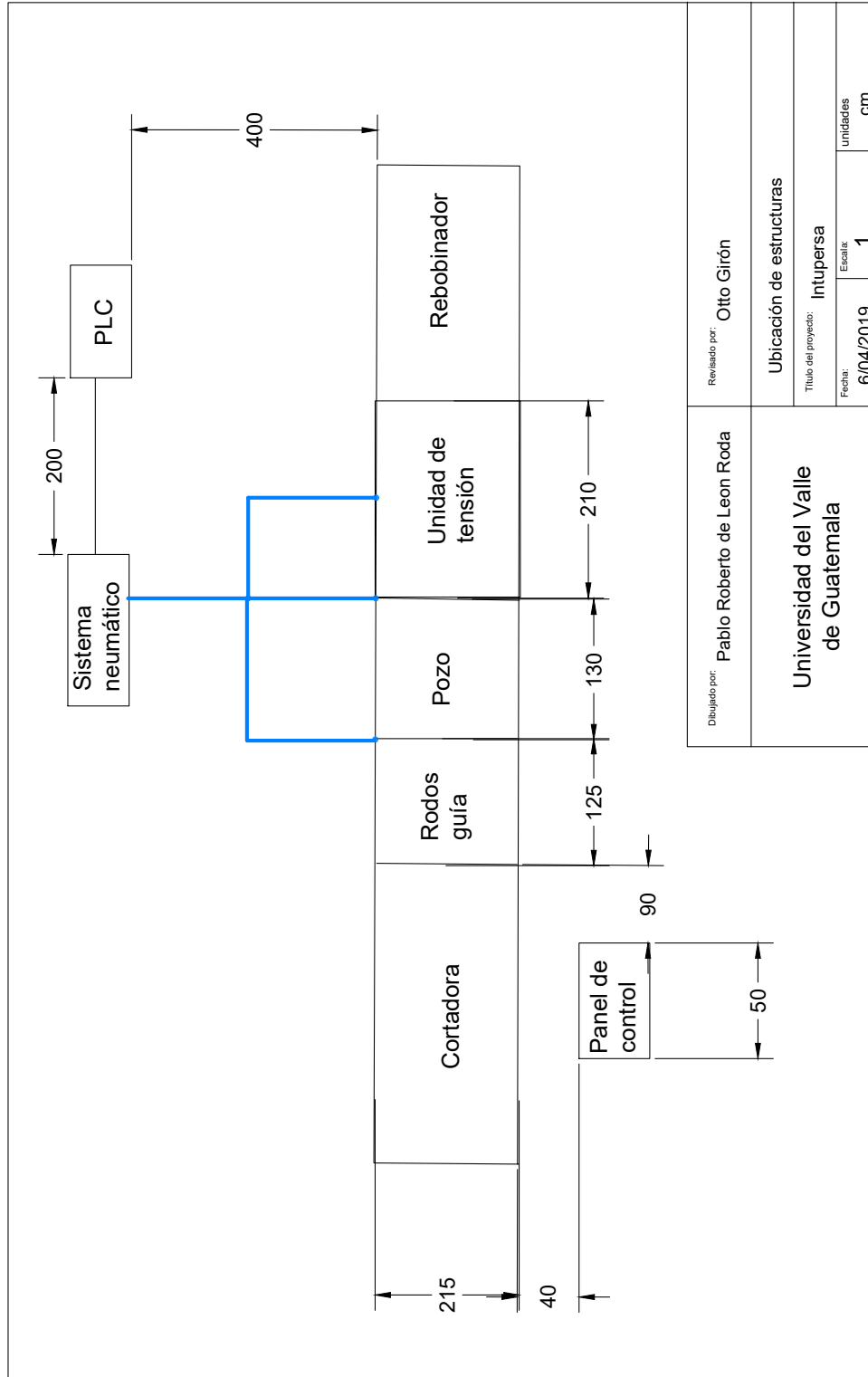


Figura 61: Anexo para plano 6 y manual de ensamble.



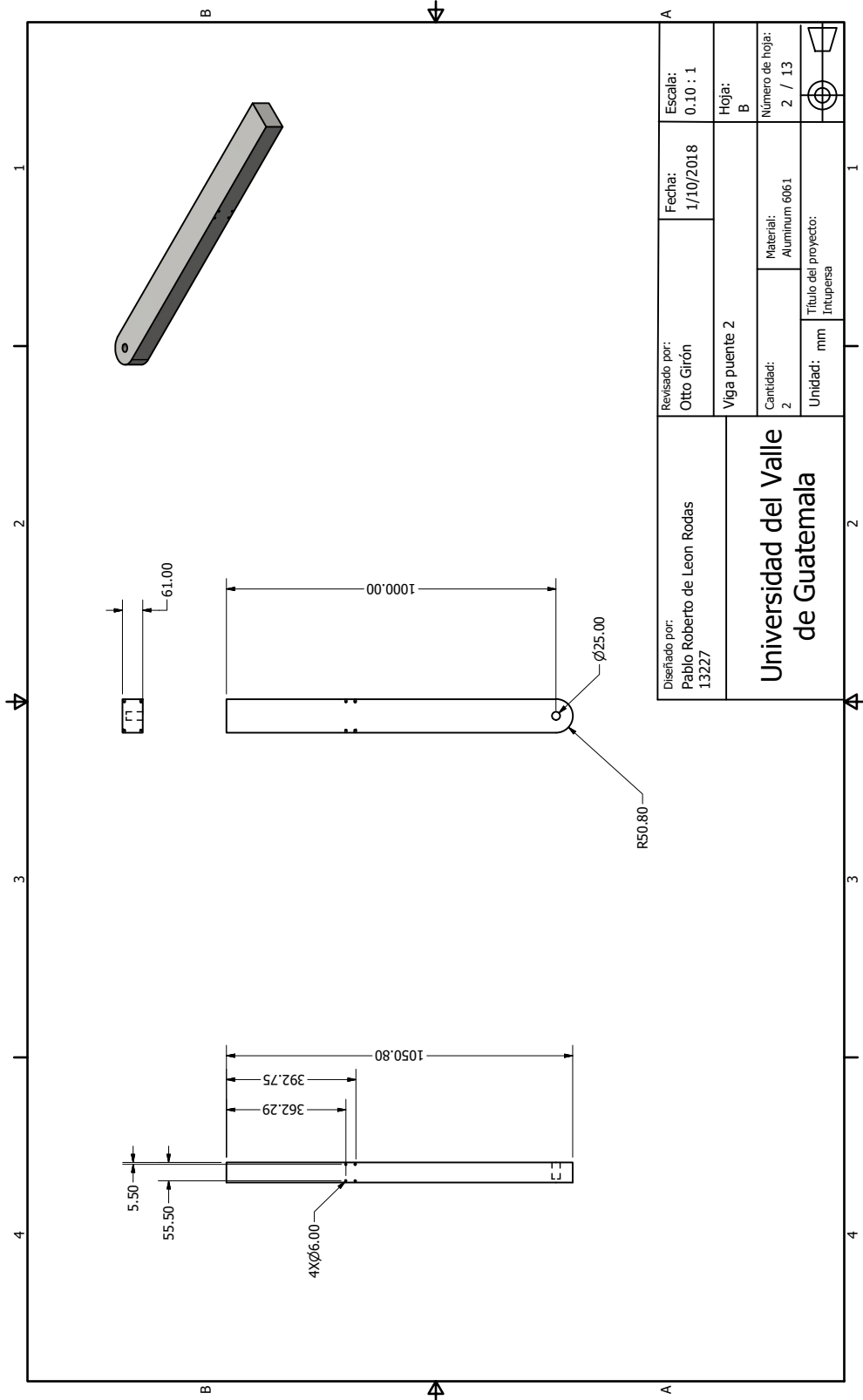
## 17.4. Plano de ubicaciones

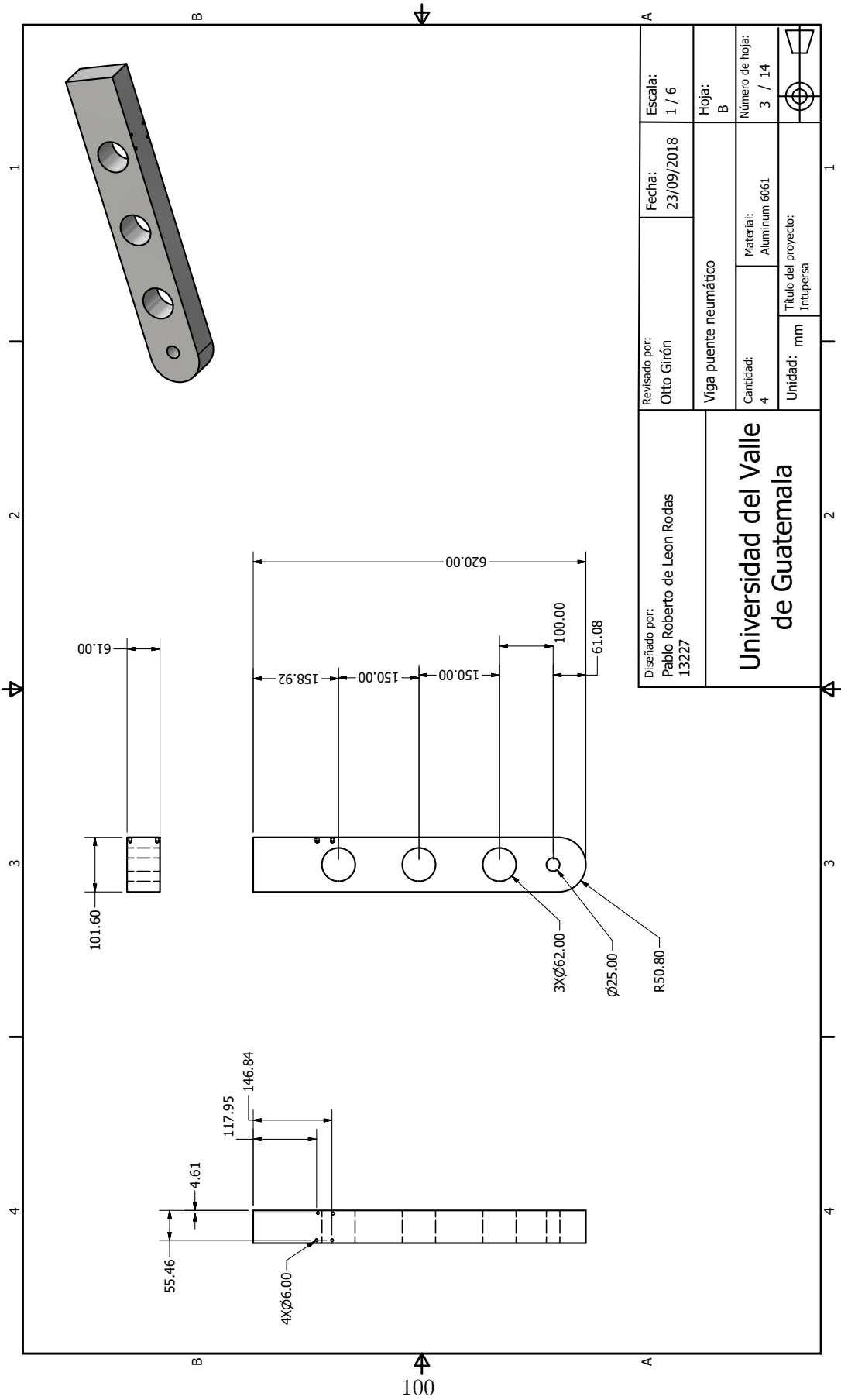


Revisado por:	Otto Girón
Diseñado por:	Pablo Roberto de Leon Roda
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>	
Ubicación de estructuras	
Titulo del proyecto: Intupersa	
Fecha:	6/04/2019
Escala:	1
	unidades
	cm

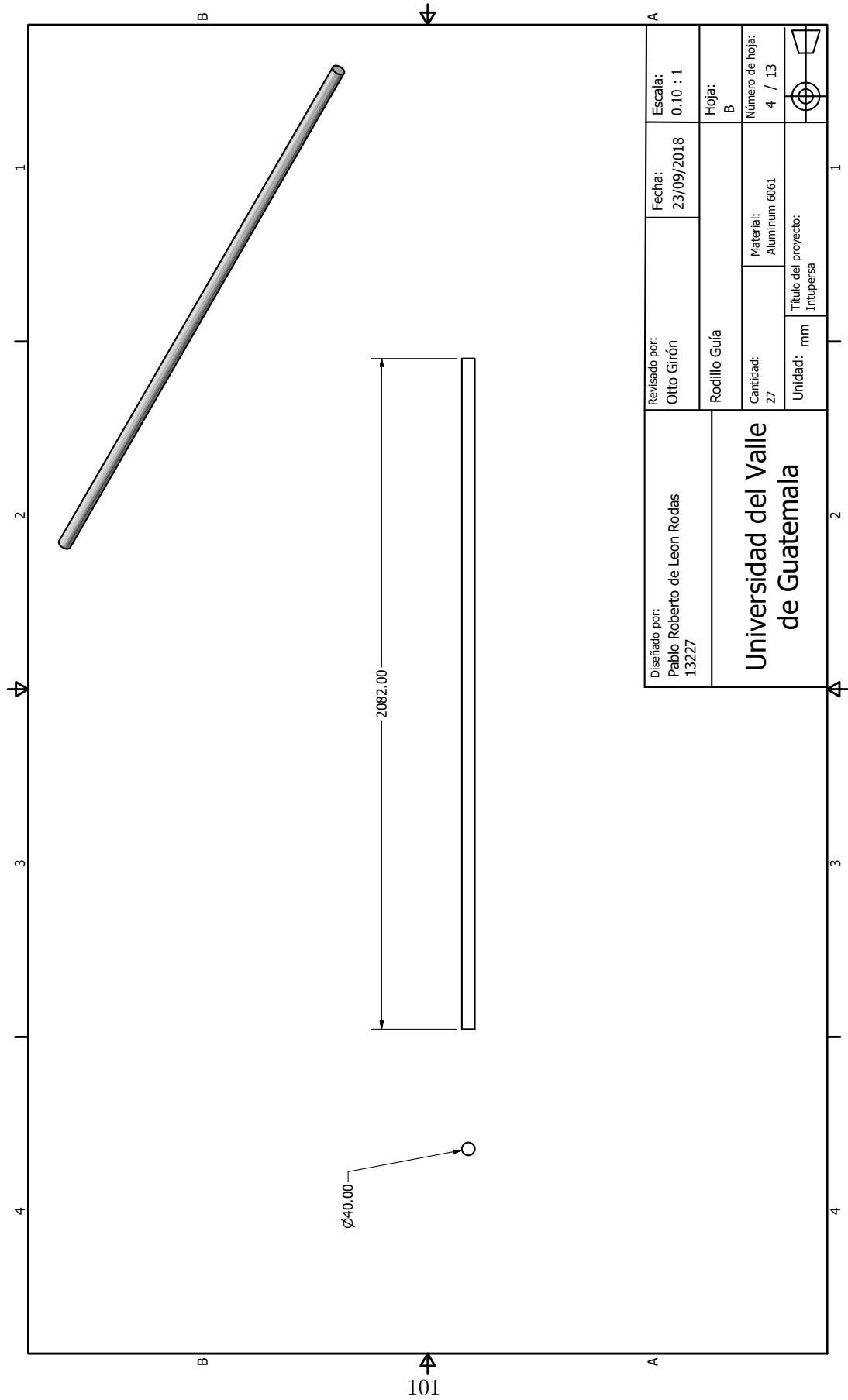


## 17.5. Planos



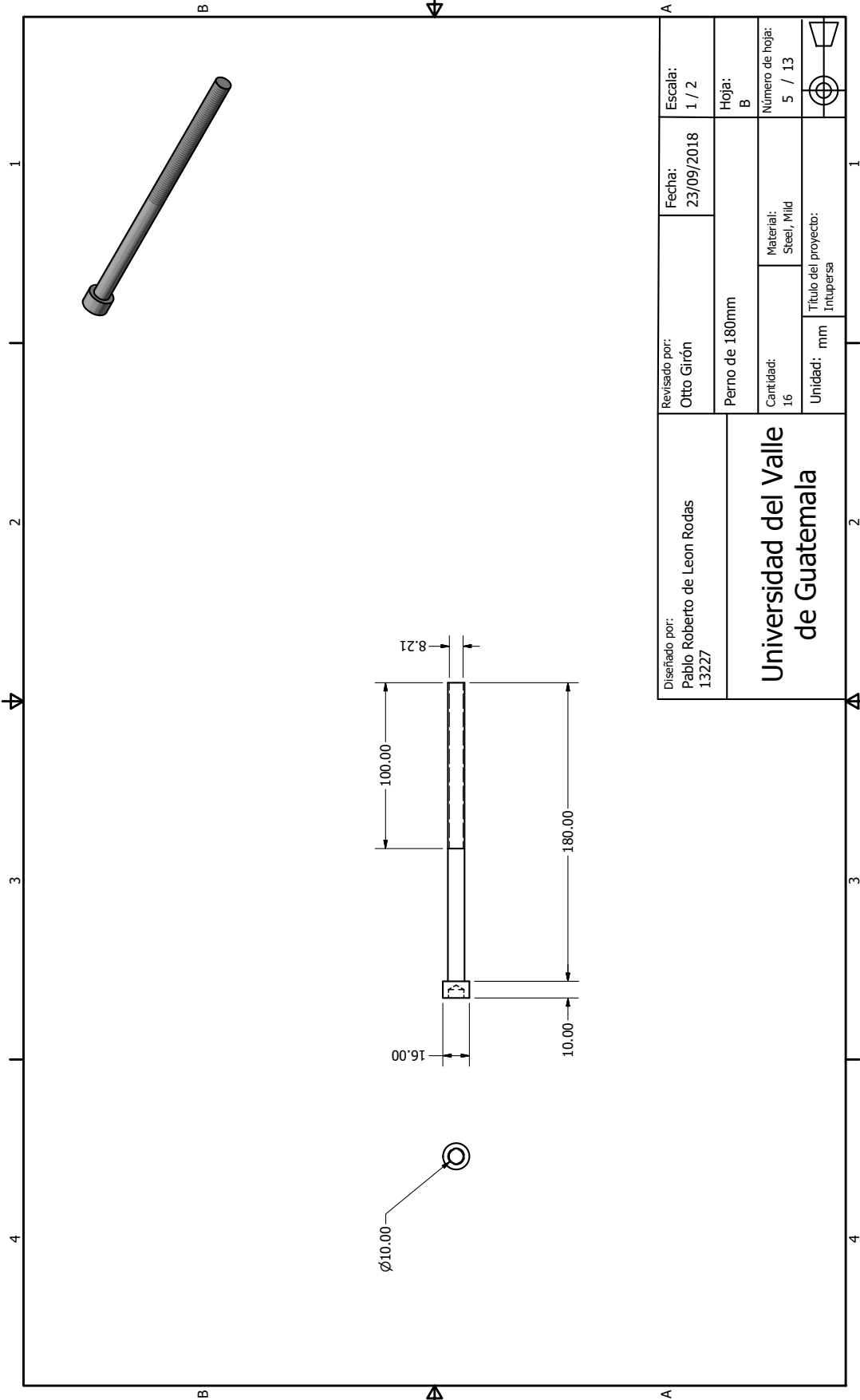


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227		Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 / 6
Viga puente neumático				
Cantidad: 4		Material: Aluminum 6061		Hoja: B
Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa		Número de hoja: 3 / 14
<b>Universidad del Valle</b> <b>de Guatemala</b>				

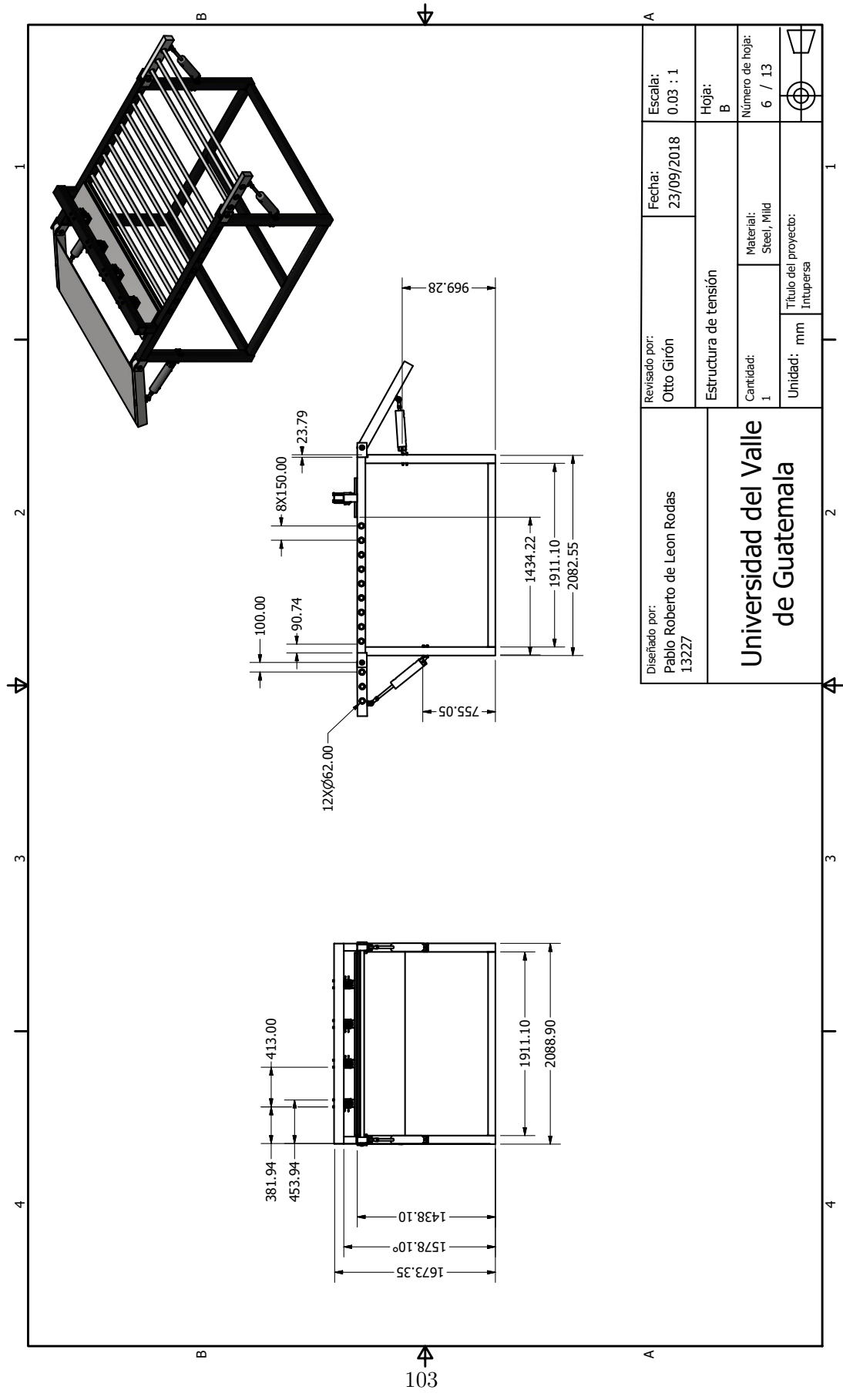


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227	Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 0.10 : 1
	Rodillo Guía		Hoja: B
Cantidad: 27		Material: Aluminum 6061	Número de hoja: 4 / 13
Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa	

Universidad del Valle  
de Guatemala

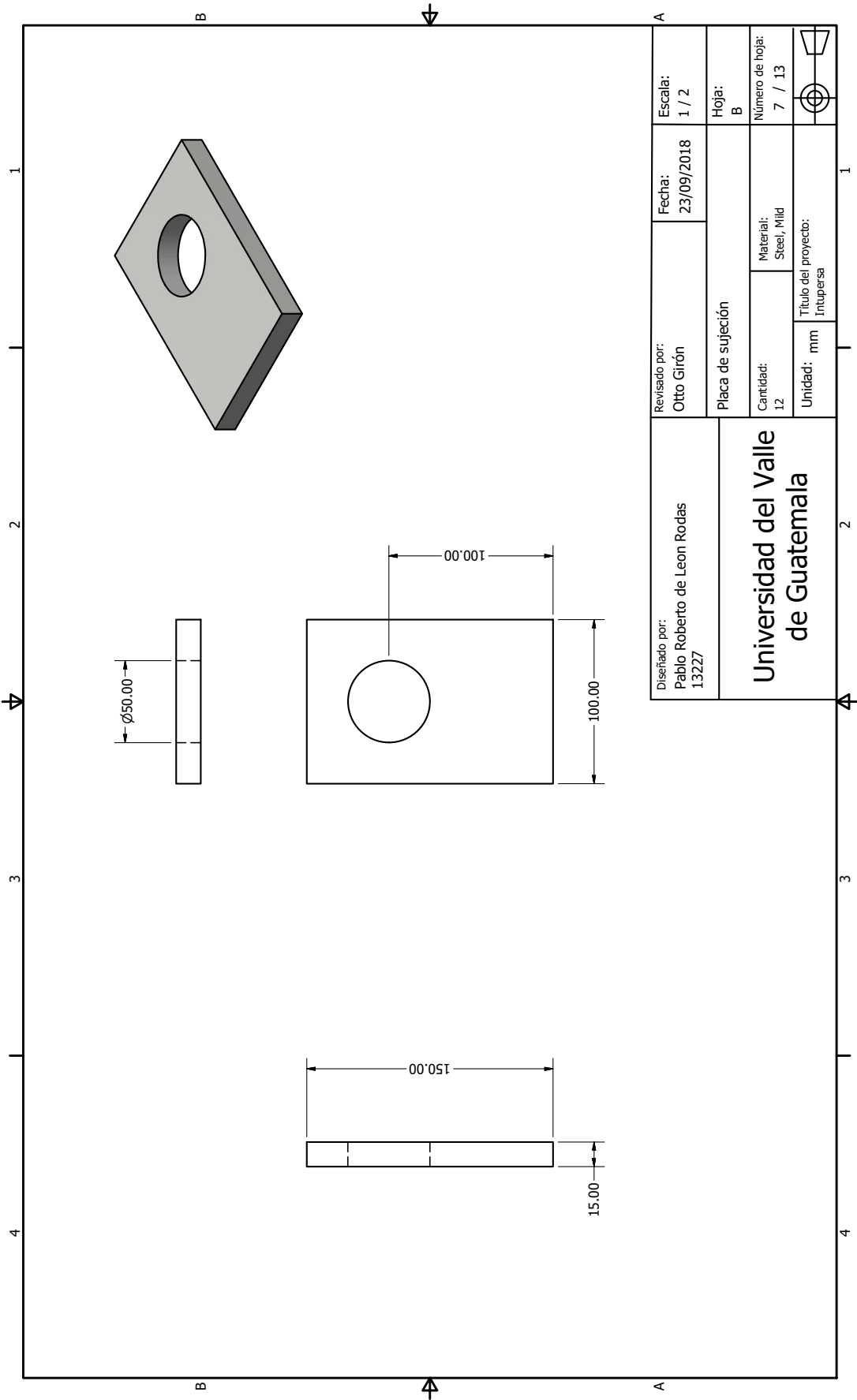


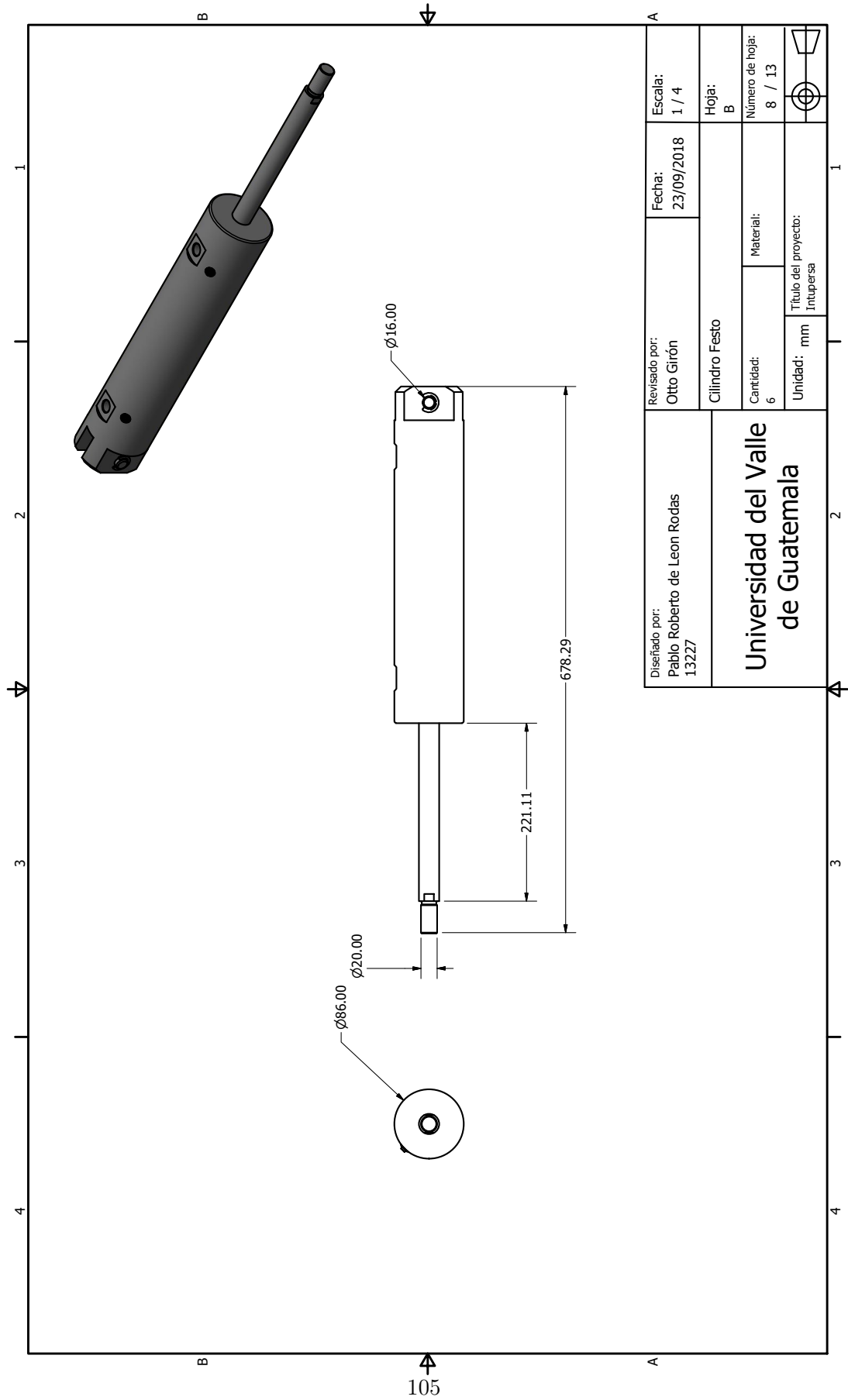
Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227		Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 / 2
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>		Perno de 180mm		
		Cantidad: 16	Material: Steel, Mild	Hoja: B
		Unidad: mm	Número de hoja: 5 / 13	
		Título del proyecto: Intupersa		



Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227	Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 0.03 : 1
	Estructura de tensión		Hoja: B
Cantidad: 1		Material: Steel, Mild	Número de hoja: 6 / 13
Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa	

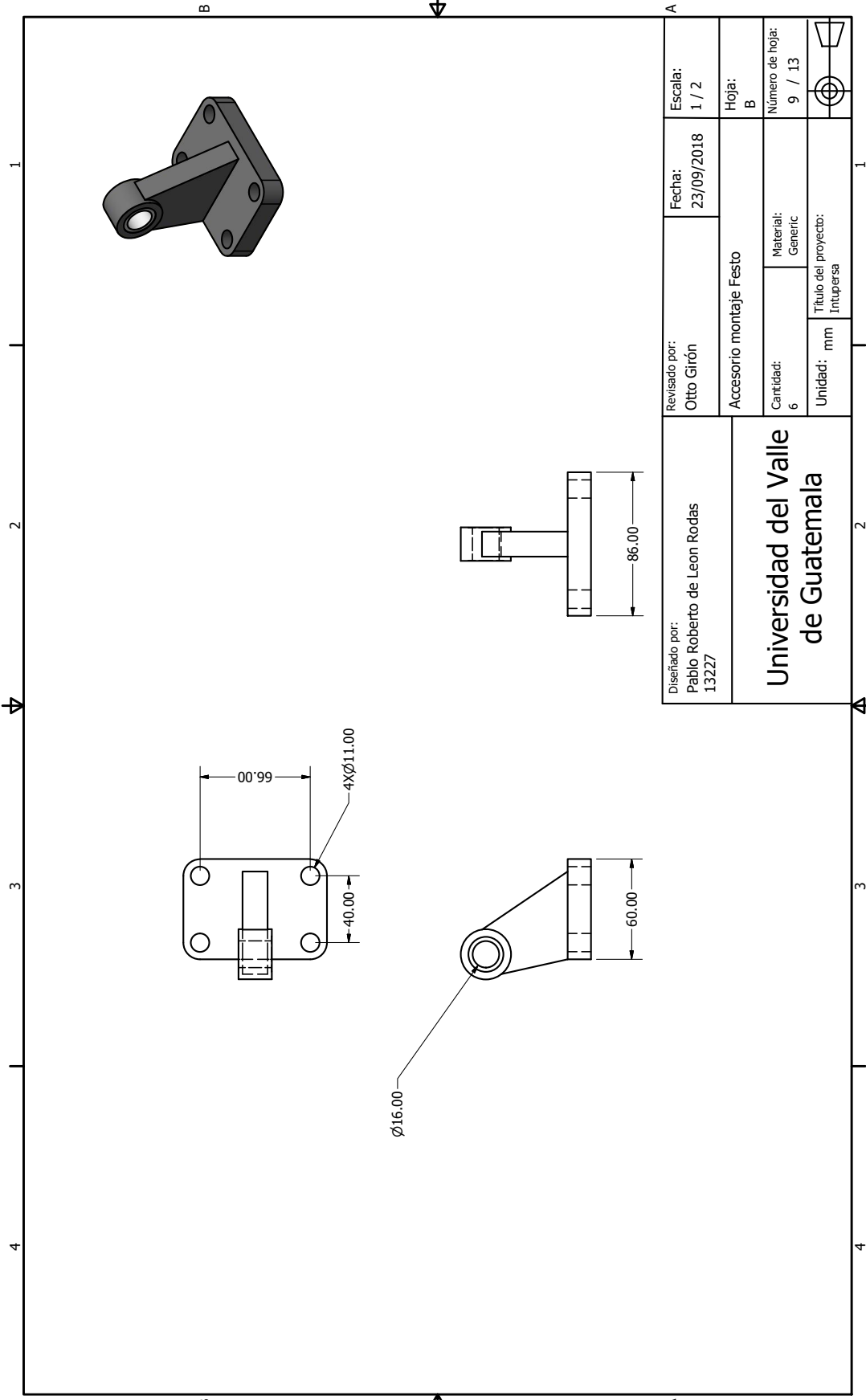
**Universidad del Valle  
de Guatemala**



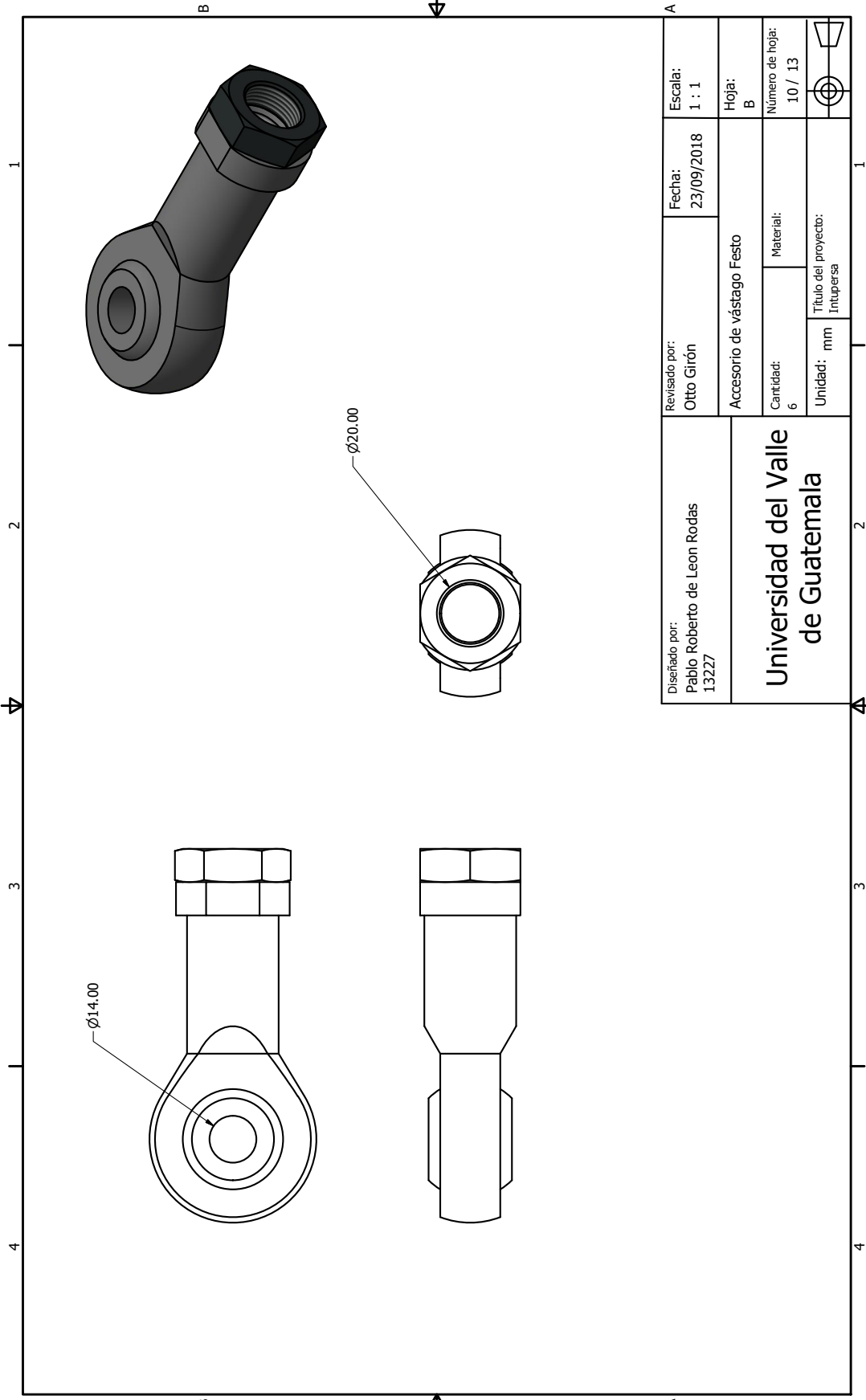


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227	Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 / 4
	Clindro Festo		Hoja: B
Cantidad: 6		Material:	Número de hoja: 8 / 13
Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa	

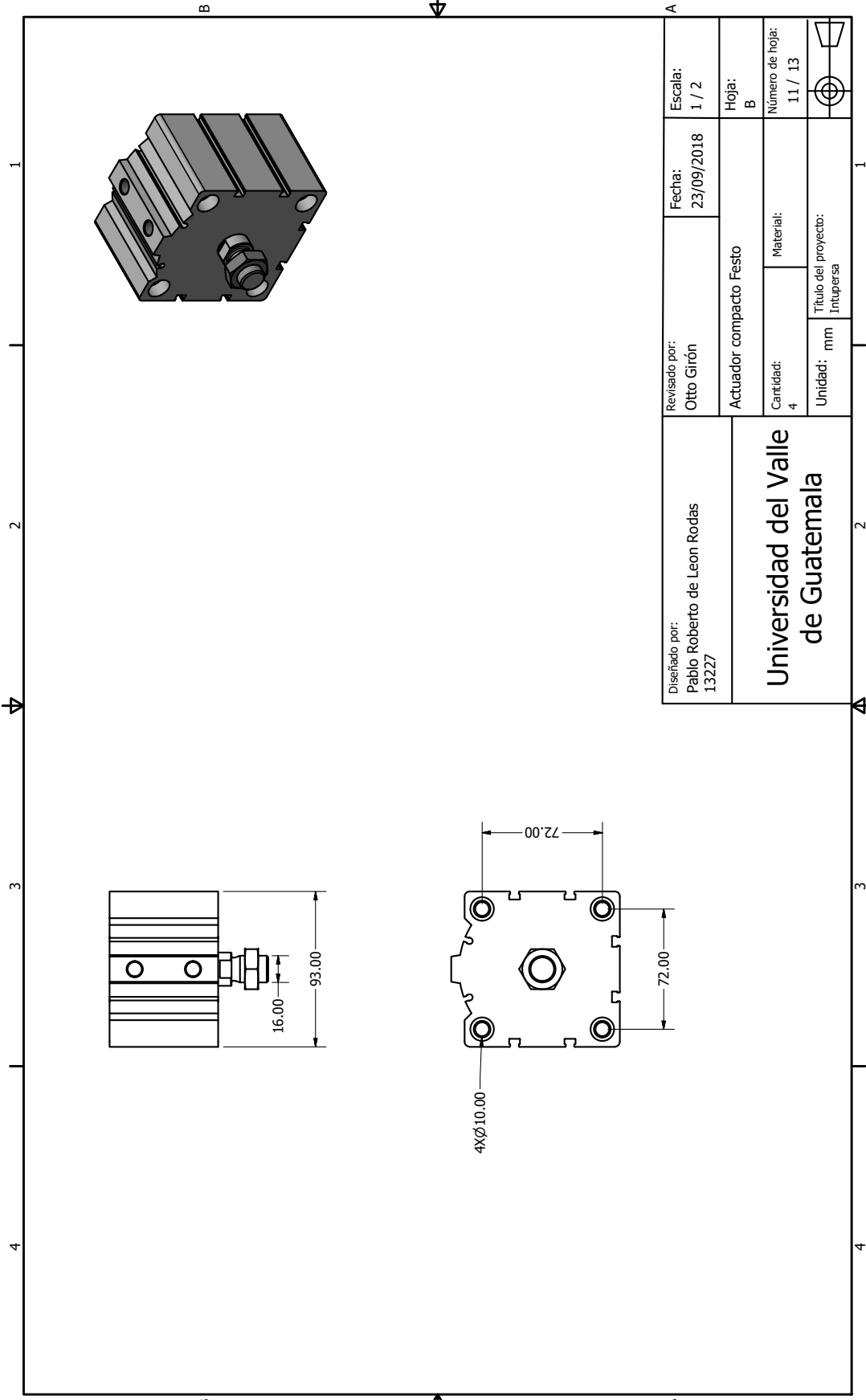
Universidad del Valle  
de Guatemala





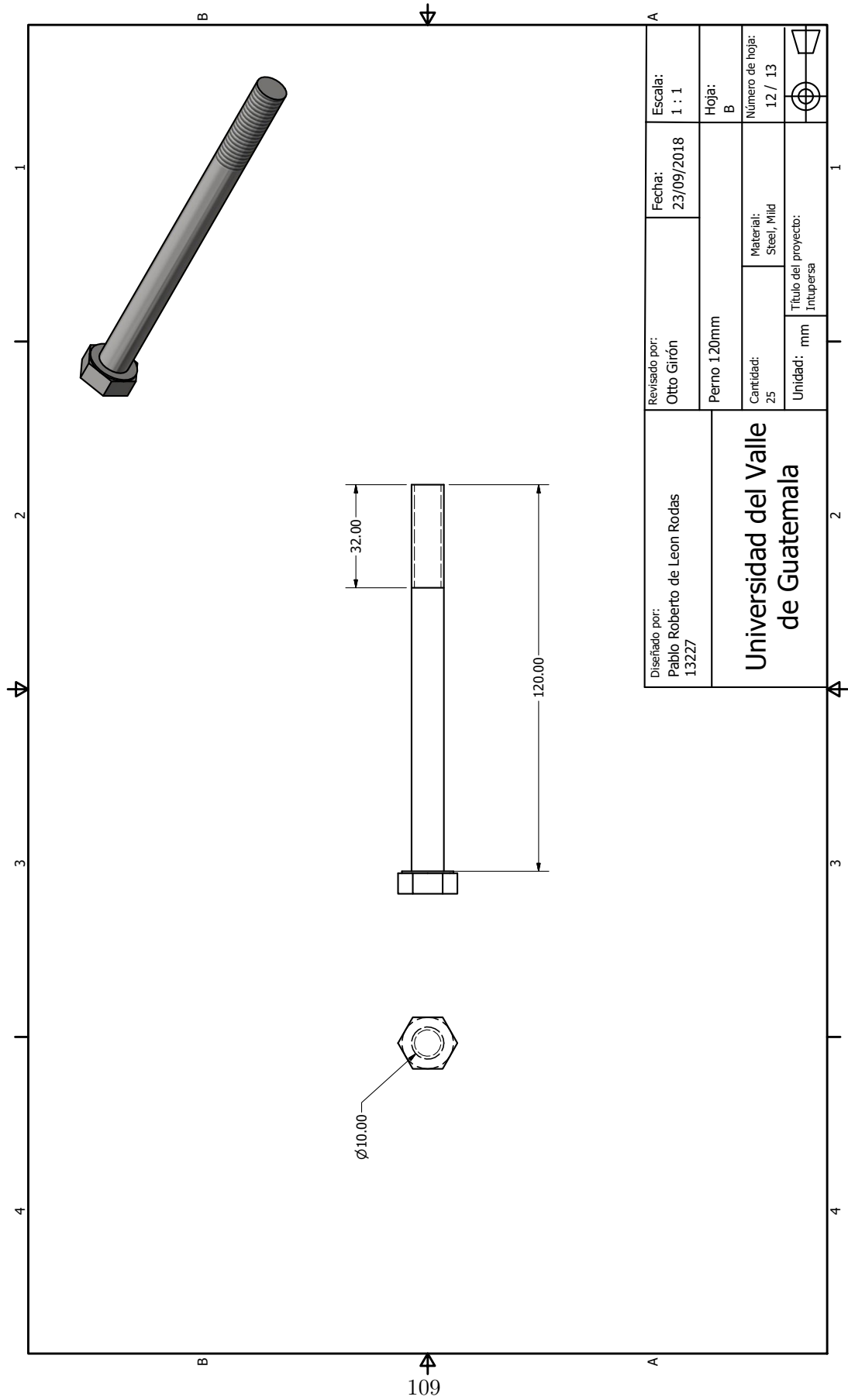


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227	Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 : 1
	Accesorio de vástago Festo		Hoja: B
Cantidad: 6		Material:	Número de hoja: 10 / 13
Unidad: mm		Título del proyecto: Intipera	

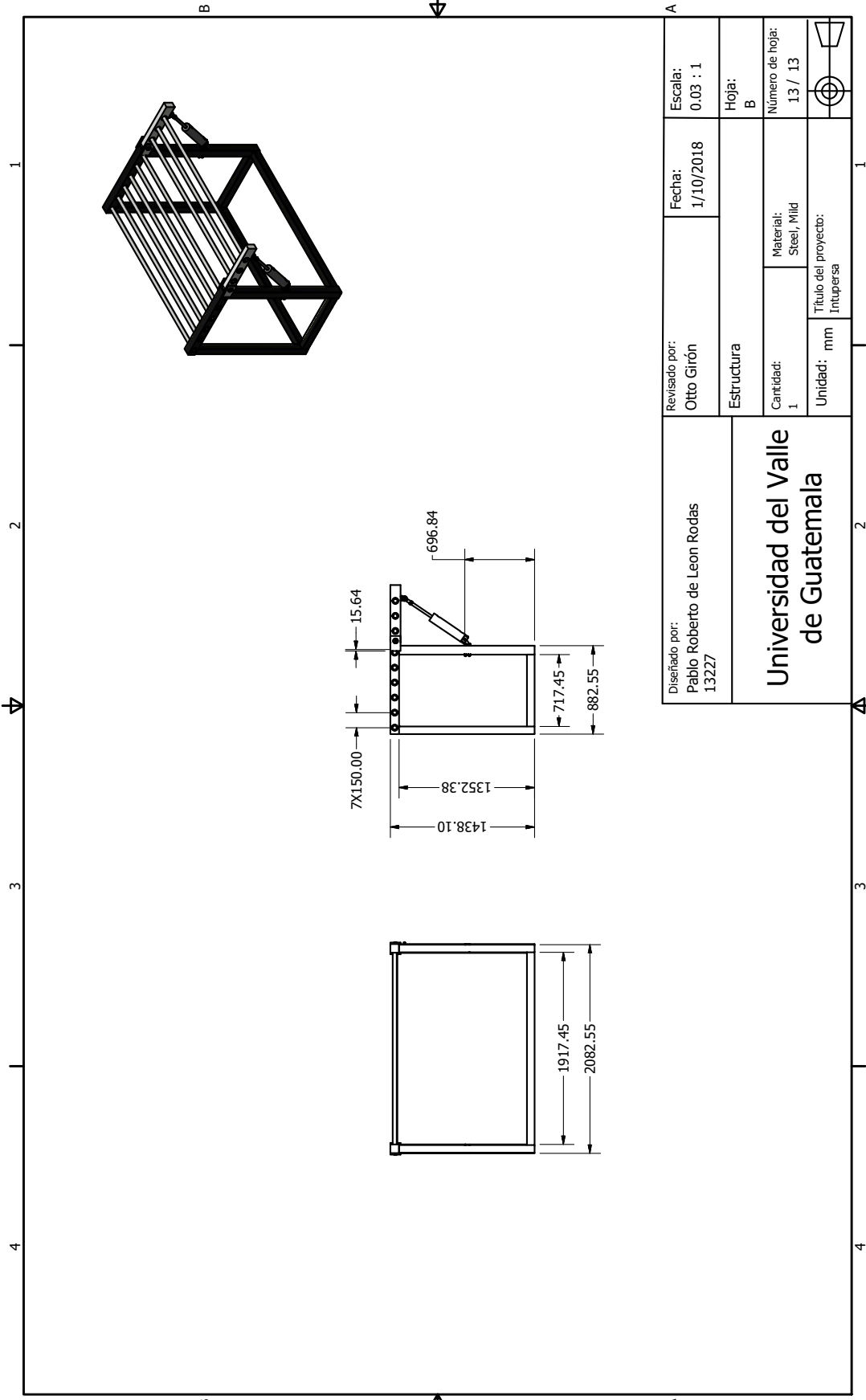


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227	Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 / 2
	Actuador compacto Festo		Hoja: B
Cantidad: 4		Material:	Número de hoja: 11 / 13
Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa	

**Universidad del Valle  
de Guatemala**

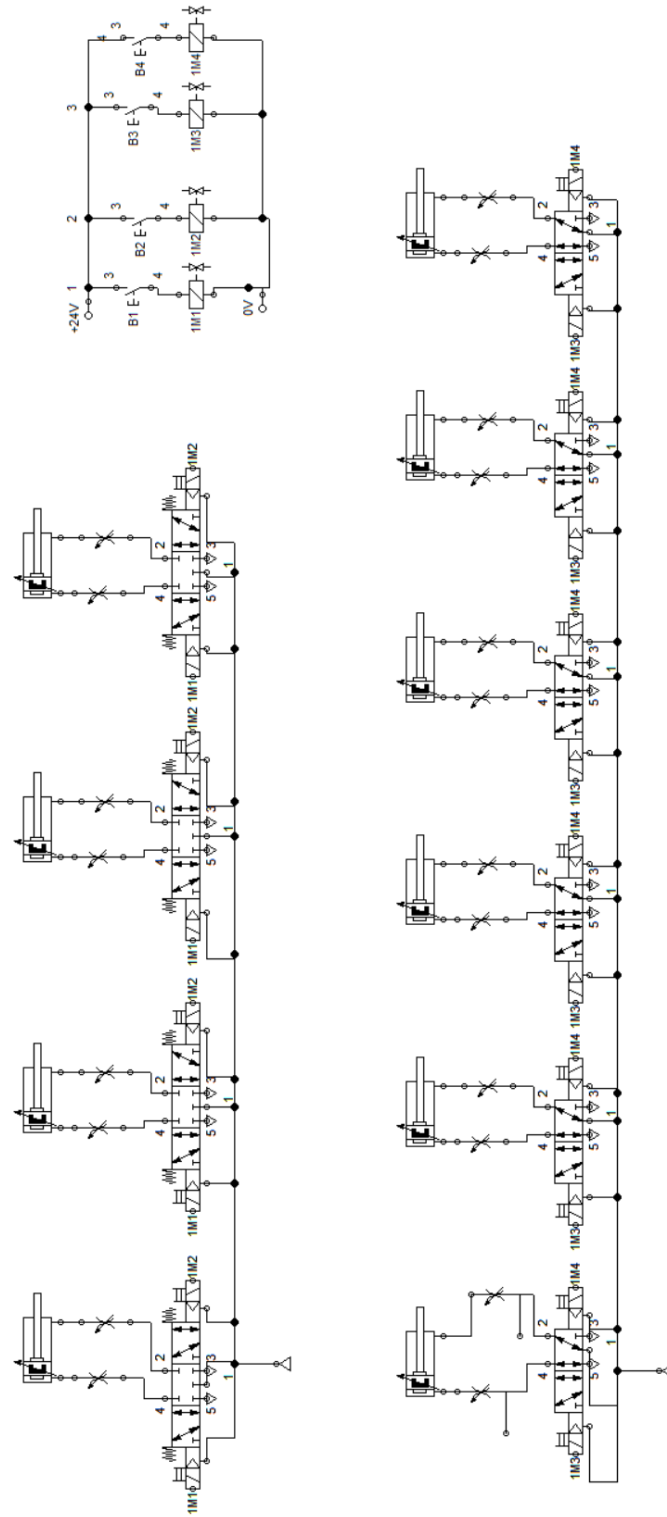


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227		Revisado por: Otto Girón	Fecha: 23/09/2018	Escala: 1 : 1
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>		Perno 120mm		Hoja: B
		Cantidad: 25	Material: Steel, Mild	Número de hoja: 12 / 13
		Unidad: mm	Título del proyecto: Intupersa	

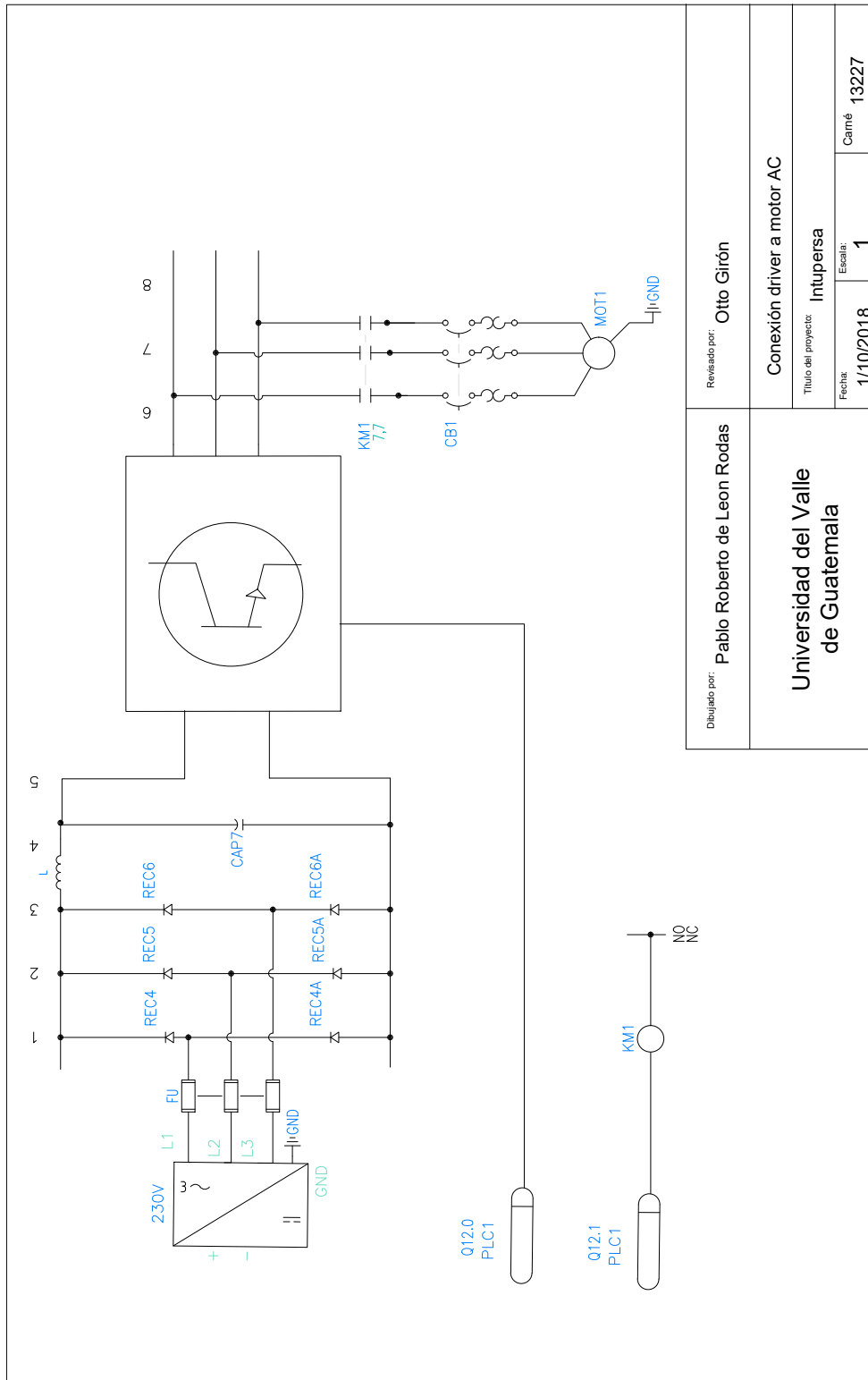


Diseñado por: Pablo Roberto de Leon Rodas 13227		Revisado por: Otto Girón	Fecha: 1/10/2018	Escala: 0.03 : 1
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>		Estructura		Hoja: B
		Cantidad: 1	Material: Steel, Mild	Número de hoja: 13 / 13
		Unidad: mm		Título del proyecto: Intupersa

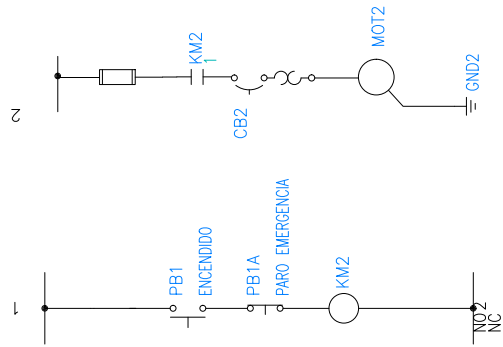
## 17.6. Circuito neumático



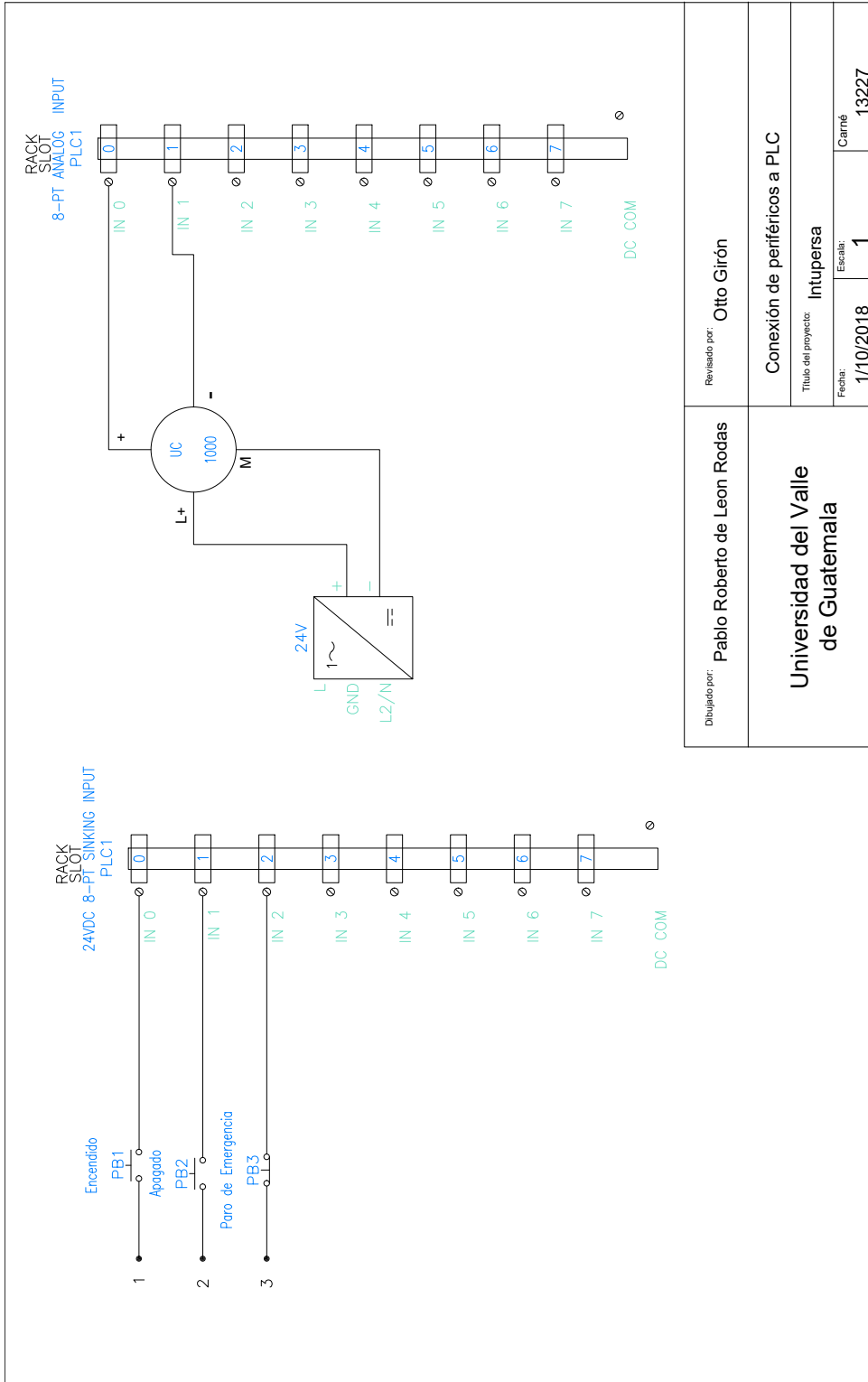
# 17.7. Diagrama eléctrico



Dibujado por:	Pablo Roberto de Leon Rodas		
Revisado por:	Otto Girón		
Título del proyecto:	Conexión driver a motor AC		
Fecha:	1/10/2018	Escala:	1
		Camé:	13227
Universidad del Valle de Guatemala			



Dibujado por: Pablo Roberto de Leon Rodas		Revisado por: Otto Girón	
Universidad del Valle de Guatemala		Diagrama motor dc	
Título del proyecto: Intupersa			
Fecha:	1/10/2018	Escala:	1
		Carné	13227





$\alpha$	Ángulo
$\mu_k$	Coefficiente de fricción cinética
$a$	Aceleración
$ac$	Corriente alterna
$AISI$	American Iron and Steel Institute
$ASTM$	American Society for Testing and Materials
$cm$	centímetros
$d$	Distancia
$dc$	Corriente directa
$dcl$	Diagrama de cuerpo libre
$DR$	Diámetro de rolo
$E$	Modulo de elasticidad
$E$	Módulo de elasticidad
$EK$	Energía cinética
$EK_f$	Energía cinética final
$EK_i$	Energía cinética inicial
$ER$	Esfuerzo de rebobinado
$F$	Fuerza
$F_H$	Fuerza horizontal
$F_V$	Fuerza vertical

<i>fa</i>	factor de ajuste
<i>Ff</i>	Fuerza fricción
<i>FN</i>	Fuerza normal
<i>g</i>	gravedad
<i>GPa</i>	Gigapascal
<i>hp</i>	Caballos de fuerza
<i>hrs</i>	horas
<i>in</i>	pulgadas
<i>J</i>	Joules
<i>kg</i>	kilogramos
<i>L</i>	Largo
<i>L<sub>min</sub></i>	Largo mínimo
<i>lbf</i>	Libras fuerza
<i>M</i>	Métrico
<i>m</i>	Masa
<i>min</i>	Minuto
<i>mm</i>	milímetros
<i>MPa</i>	Megapascuales
<i>N</i>	Newton
<i>Ns</i>	Factor de seguridad
<i>P</i>	Fuerza externa
<i>plc</i>	Control lógico programable
<i>psi</i>	presión por pulgada cuadrada
<i>rev</i>	Revoluciones
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>s<sup>2</sup></i>	segundos cuadrados
<i>S<sub>p</sub></i>	Esfuerzo permisible
<i>S<sub>s</sub></i>	Límite elástico
<i>S<sub>u</sub></i>	Resistencia a la tracción

$T$	Fuerza tensión
$u$	Energía
$UG$	Energía potencial
$UG_f$	Energía potencial final
$UG_i$	Energía potencial inicial
$v$	Velocidad lineal
$v_f$	Velocidad lineal final
$v_i$	Velocidad lineal inicial
$W$	Trabajo
$w$	Peso
$x$	Posición respecto al mismo eje cartesiano