



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA  
CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO DE UNA DOBLADORA DE TUBOS PARA POSTES DE  
SEMÁFOROS DE TIPO LÁTIGO

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: ADRIAN FRANCISCO ANDRADE VARGAS  
CHRISTIAN ADRIAN PICON ILLESCAS

TUTOR: ING. DIEGO RENÉ URGILÉS CONTRERAS, M.SC.

Cuenca - Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Adrian Francisco Andrade Vargas con documento de identificación N° 0350139408 y Christian Adrian Picon Illescas con documento de identificación N° 0105925192; manifestamos que:

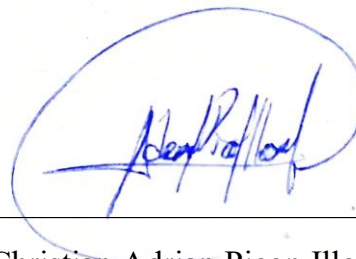
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 8 de marzo del 2023

Atentamente,



Adrian Francisco Andrade Vargas  
0350139408



Christian Adrian Picon Illescas  
0105925192

# CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Adrian Francisco Andrade Vargas con documento de identificación N° 0350139408 y Christian Adrian Picon Illescas con documento de identificación N° 0105925192, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: "Diseño de una dobladora de tubos para postes de semáforos de tipo látigo", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

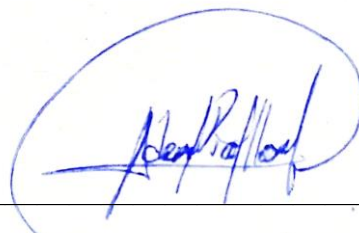
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de marzo del 2023

Atentamente,



Adrian Francisco Andrade Vargas  
0350139408



Christian Adrian Picon Illescas  
0105925192

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego René Urgilés Contreras con documento de identificación N° 0104431374, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA DOBLADORA DE TUBOS PARA POSTES DE SEMÁFOROS DE TIPO LÁTIGO, realizado por Adrian Francisco Andrade Vargas con documento de identificación N° 0350139408 y Christian Adrian Picon Illescas con documento de identificación N° 0105925192, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de marzo del 2023

Atentamente,



Ing. Diego René Urgilés Contreras, M.SC.

0104431374



# Dedicatoria

## ***Adrian Francisco Andrade Vargas***

El presente trabajo de titulación le dedico a mis queridos padres, Carlos y Azucena, quienes con su cariño y consejos me han permitido llegar a cumplir con una de mis metas.

A mis hermanos, Carlos y Valeria, ya que siempre me han ayudado desde muy pequeño y son para mi un ejemplo a seguir.

A mi tía Susana Vargas, quien siempre me han apoyado, aconsejado y me ha brindado su cariño incondicional desde que era un niño.

## ***Christian Adrian Picón Illescas***

Quiero dedicar el presente proyecto de titulación primeramente a Dios y a la Virgen, quienes han sido mi guía y fortaleza en lo largo de este caminar. Y sobretodo a mi abuelita Lucía Ortega, quien sé que se encuentra gozando de la vida eterna.

A mis padres Ivan Picón y Janeth Illescas; y mis hermanos Carlos Picón y Christopher Picón, quienes me han dado su apoyo incondicional para la realización del proyecto.

A Poleth Guachichullca quien ha estado siempre animándome y apoyándome durante todo este proceso.

# Agradecimientos

## ***Adrian Francisco Andrade Vargas***

Agradezco principalmente a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta y por brindarme salud, fuerza a lo largo del proceso; así también agradezco profundamente a mis padres, quienes, gracias al cariño, apoyo, paciencia y comprensión, han hecho posible alcanzar cada una de las metas que me he propuesto. Agradezco especialmente a mi madre por estar siempre dispuesta a acompañarme y apoyarme en cada larga jornada de estudio, y a mi padre por alentarme, aconsejarme y guiarme en cada etapa de mi vida.

De igual manera, quiero agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación, Ing. Diego Urgilés, por su esfuerzo y comprensión que nos brindó en el actual trabajo de titulación; sus orientaciones y conocimientos han sido esenciales para culminar con el proyecto de titulación.

También quiero agradecer a cada uno de mis amigos y compañeros de carrera, con quienes hemos vivido diferentes situaciones y experiencias durante nuestra formación académica, ya sea atravesando buenos o difíciles momentos a lo largo de este tiempo.

## ***Christian Adrian Picón Illescas***

Agradezco a Dios y a la Virgen por haberme dado la salud, por permitirme llegar a cumplir una meta más en mi vida.

Agradezco de manera muy especial a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en el proceso, que con su cariño, paciencia, comprensión y sobretodo apoyo han sabido guiarme y acompañarme durante este tiempo. A mis hermanos que a pesar de todo siempre han estado para apoyarme en todo momento

De la misma manera quisiera agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Diego Urgilés, por su esfuerzo, ayuda y dedicación que me ha sabido brindar para que el actual proyecto de titulación pudiese ser culminado. Es una persona grandiosa a quien admiro mucho y que pese a su rol de papá durante la elaboración de la tesis ha sabido darse el tiempo para apoyarme en el presente trabajo

Quiero agradecer a mis amigos, con quienes he compartido a lo largo de estos 4 años, y hermanos pasado por momentos buenos y malos, sin embargo hemos logrado llegar a la final de nuestra carrera. Y de manera especial a Poleth quien ha sido mi compañía y mi apoyo a lo largo de mi carrera y ha estado presente acompañándome en este proceso.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

|  |          |
|--|----------|
| Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación   | I        |
| Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad<br>Politécnica Salesiana | II       |
| Certificado de dirección del trabajo de titulación   | III      |
| Dedicatoria  | IV       |
| Agradecimientos  | V        |
| Resumen  | XV       |
| Abstract   | XVI      |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b> |
| <b>2. Problema</b>   | <b>2</b> |
| 2.1. Antecedentes . . . . .  | 2        |
| 2.2. Descripción del problema . . . . .  | 3        |
| 2.3. Importancia y alcances . . . . .  | 4        |
| 2.4. Delimitación . . . . .  | 4        |
| 2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .   | 4        |
| 2.4.2. Temporal . . . . .  | 4        |
| 2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .   | 5        |
| 2.5. Problema General . . . . .  | 5        |
| 2.6. Problemas Específicos . . . . .   | 5        |
| <b>3. Objetivos</b>  | <b>5</b> |
| 3.1. Objetivo General . . . . .  | 5        |
| 3.2. Objetivos Específicos . . . . .   | 5        |
| <b>4. Hipótesis</b>  | <b>6</b> |
| 4.1. Hipótesis General . . . . .   | 6        |
| 4.2. Hipótesis Específicas . . . . .   | 6        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. Marco Teórico</b>  | <b>6</b>  |
| 5.1. Doblado de tubos . . . . .  | 8         |
| 5.2. Defectos del doblado de un tubo . . . . .   | 9         |
| 5.2.1. Deformación y adelgazamiento de la pared transversal del tubo . . . . .                                   | 9         |
| 5.2.2. Arrugas de la pared interior . . . . .  | 11        |
| 5.2.3. Recuperación Elástica . . . . .   | 12        |
| 5.3. Proceso para el doblado de tubos . . . . .  | 13        |
| 5.4. Métodos para el doblado de tubos . . . . .  | 14        |
| 5.4.1. Doblado de tubos en frío . . . . .  | 14        |
| 5.4.2. Doblado de tubos en caliente . . . . .  | 18        |
| 5.4.3. Calentamiento por inducción . . . . .   | 20        |
| 5.5. Diferencias entre doblados . . . . .  | 23        |
| <br>   |           |
| <b>6. Marco metodológico</b>   | <b>24</b> |
| 6.1. Propuesta del diseño mecánico . . . . .   | 24        |
| 6.1.1. Parámetros dimensionales e iniciales para el diseño de la dobladora de postes de tipo látigo . . . . .    | 24        |
| 6.1.2. Propuesta del diseño de la dobladora de tubos para postes de semáforos de tipo látigo. . . . .            | 28        |
| 6.1.3. Matriz de decisión . . . . .  | 32        |
| 6.1.4. Diseño de la maquinaria . . . . .   | 33        |
| 6.1.5. Módulo 1: Caballete para la tubería . . . . .   | 35        |
| 6.1.6. Módulo 2: Matriz de Doblado . . . . .   | 49        |
| 6.2. Propuesta eléctrica . . . . .   | 60        |
| 6.2.1. Módulo 3: Sistema de Inducción . . . . .  | 60        |
| 6.2.2. Dimensionamiento de motor . . . . .   | 76        |
| 6.2.3. Sistema de control del motor . . . . .  | 83        |
| 6.3. Análisis de costos de construcción de la máquina dobladora de tubos para semáforos de tipo látigo . . . . . | 87        |
| 6.3.1. Costos de Insumos . . . . .   | 87        |
| 6.3.2. Costo de obra de mano técnica . . . . .   | 89        |
| 6.3.3. Costos Indirectos . . . . .   | 89        |
| 6.3.4. Costo total de construcción de la dobladora de tubos de semáforos de tipo látigo . . . . .                | 90        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>7. Resultados</b>   | <b>91</b>  |
| <b>8. Conclusiones</b>   | <b>102</b> |
| <b>9. Recomendaciones</b>  | <b>103</b> |
| <b>Referencias</b>   | <b>107</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>108</b> |
| <b>A. Matriz de Consistencia Lógica</b>  | <b>109</b> |
| <b>B. Tabla de valores calculados para el Calentamiento por secciones de tubo cónico</b> | <b>110</b> |

# Lista de Tablas

- 1. Diferencia entre doblados . . . . . 24
- 2. Matriz de Decisión. . . . . 33
- 3. Módulo 1: Caballete para la tubería. . . . . 33
- 4. Módulo 2: Matriz de Doblado. . . . . 34
- 5. Módulo 3: Sistema de Inducción. Sistema de Inducción. . . . . 34
- 6. Materia Prima e Insumos. . . . . 88
- 7. Costo de mano de obra técnica. . . . . 89
- 8. Costos indirectos del sistema propuesto. . . . . 90
- 9. Costo total de construcción de la dobladora de tubos de semáforos de tipo látigo. 90
- 10. Matriz de consistencia . . . . . 109



## Lista de Figuras

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Poste de semáforo tipo látigo <i>Seyse - señalamiento vial</i> (s.f.) . . . . .                                    | 2  |
| 2.  | Semáforo vehicular. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012) . . . . .  | 7  |
| 3.  | Esfuerzos de doblado MIPS A (2021) . . . . .   | 8  |
| 4.  | Ovalización tubular OMNI-X (2020) . . . . .  | 10 |
| 5.  | Arrugas pared tubular J. Ruiz (2013) . . . . .   | 11 |
| 6.  | Tolerancia de arrugas sugerida Mohinder L Nayyar (2000) . . . . .  | 12 |
| 7.  | Recuperación elástica J. Hurtado (2012) . . . . .  | 13 |
| 8.  | Curvatura de tubo MIPS A (2021) . . . . .  | 14 |
| 9.  | Dobladora de tubos Rotatoria M. Groover (2007) . . . . .   | 15 |
| 10. | Dobladora de tubos por Rodillos M. Groover (2007) . . . . .  | 16 |
| 11. | Dobladora de tubos por Presión Mohinder L Nayyar (2000) . . . . .  | 17 |
| 12. | Dobladora de tubos por Arrastre Carlos E. Chávez (2016) . . . . .  | 18 |
| 13. | Diagrama de flexión por inducción. Anup Kumar Dey (2020) . . . . .   | 20 |
| 14. | Muelle helicoidal de varias espiras. Ambrela Induction Heating Solutions (2018)                                    | 21 |
| 15. | Muelle de una espira. Ambrela Induction Heating Solutions (2018) . . . . .   | 22 |
| 16. | Muelle de placa concentradora. Ambrela Induction Heating Solutions (2018)  | 22 |
| 17. | Poste cónico de tipo látigo. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012) .                                       | 25 |
| 18. | Dimensiones del poste cónico referente a su eje neutro. Instituto Ecuatoriano<br>de Normalización (2012) . . . . . | 26 |
| 19. | Zona de calentamiento para realizar el doblado. . . . .  | 28 |
| 20. | Árbol de decisión. . . . .   | 29 |
| 21. | Propuesta 1. Norton (2014) . . . . .   | 30 |
| 22. | Propuesta 2. M. Groover (2007) . . . . .   | 31 |
| 23. | Propuesta 3. Mohinder L Nayyar (2000) . . . . .  | 32 |
| 24. | Carro guía. . . . .  | 35 |
| 25. | Diagrama de cuerpo libre. . . . .  | 36 |
| 26. | Momento del apoyo b. . . . .   | 37 |
| 27. | Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones a - b. . . . .   | 38 |
| 28. | Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones b - c. . . . .   | 40 |
| 29. | Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones resultantes. . . . .   | 41 |
| 30. | Datos de la tubería estructural cuadrada. IPAC Acero (2023) . . . . .  | 43 |
| 31. | Caballote estructural. IPAC Acero (2023) . . . . .   | 44 |
| 32. | Diagrama de cuerpo libre de fuerzas. IPAC Acero (2023) . . . . .   | 45 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 33. | Abrazadera/Empujador. . . . .  | 47 |
| 34. | Abrazadera/Empujador Externo. . . . .  | 48 |
| 35. | Abrazadera/Empujador Interno. . . . .  | 48 |
| 36. | Tornillo de ajuste. . . . .  | 49 |
| 37. | Mordaza Externa. . . . .   | 50 |
| 38. | Mordaza Interna. . . . .   | 51 |
| 39. | Tornillo de Ajuste. . . . .  | 52 |
| 40. | Datos de la tubería estructural redonda. . . . .   | 53 |
| 41. | Platina de sujeción. . . . .   | 54 |
| 42. | Mordaza lateral izquierda. . . . .   | 57 |
| 43. | Mordaza lateral derecha. . . . .   | 58 |
| 44. | Carro transversal. . . . .   | 59 |
| 45. | Base matriz doblado. . . . .   | 60 |
| 46. | Parámetros iniciales a considerar del medio cono. . . . .  | 63 |
| 47. | Distancias de secciones analizar. . . . .  | 65 |
| 48. | Dimensiones de la sección a. . . . .   | 66 |
| 49. | Dimensiones de la sección b. . . . .   | 67 |
| 50. | Dimensiones de la sección c. . . . .   | 68 |
| 51. | Zonas de volúmenes analizar. . . . .   | 69 |
| 52. | Calculo de las distancias para la interpolación. . . . .   | 73 |
| 53. | Interpolación volumen en relación a la distancia. . . . .  | 74 |
| 54. | Cálculo de las masas a partir de su volumen y densidad. . . . .  | 74 |
| 55. | Cálculo del calor necesario para el calentamiento . . . . .  | 75 |
| 56. | Cálculo Potencia requerida. . . . .  | 76 |
| 57. | Motoreductor de eje coaxial SIEMENS (2008). . . . .  | 82 |
| 58. | Tabla de parámetros de Moto-reductor SIEMENS (2008). . . . .   | 83 |
| 59. | MICOMASTER 440 SIEMENS (2007). . . . .   | 84 |
| 60. | PLC S7-1200 SIEMENS (2018). . . . .  | 84 |
| 61. | Final de carrera QBprofe Academic (s.f.). . . . .  | 85 |
| 62. | Pulsantes y conmutadores de accionamiento <i>ISA INDUSTRIAL – Equipamiento eléctrico</i> (2023). . . . . | 86 |
| 63. | Luminarias <i>ROBOTICS ECUADOR – Electrónica y Robótica</i> (2023). . . . .                              | 86 |
| 64. | Reacción $R_a$ sobre la viga puente inicial. . . . .   | 91 |
| 65. | Diagrama de momento flector. . . . .   | 92 |
| 66. | Diagrama de fuerza cortante. . . . .   | 92 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 67. | Deformación Total viga punte inicial. . . . .          | 93  |
| 68. | Máximo Esfuerzo Cortante viga puente inicial. . . . .  | 94  |
| 69. | Reacción $R_b$ sobre la viga puente final. . . . .     | 95  |
| 70. | Diagrama de momento flector viga puente final. . . . . | 96  |
| 71. | Diagrama de fuerza cortante. . . . .                   | 96  |
| 72. | Deformación Total viga punte final. . . . .            | 97  |
| 73. | Máximo Esfuerzo Cortante viga puente final. . . . .    | 98  |
| 74. | Deformación Total Del caballete. . . . .               | 99  |
| 75. | Máximo Esfuerzo Cortante del caballete. . . . .        | 100 |
| 76. | Esfuerzo cortante en los pernos de la unión. . . . .   | 101 |
| 77. | Deformación en los pernos de la unión. . . . .         | 102 |

## Resumen

**E**l presente Trabajo de Titulación tiene como principal objetivo realizar el diseño de una dobladora de tubos para semáforos de tipo látigo, el cual será realizado para la empresa HITRAFIC S.A.S.

Para el diseño, como primer punto se ha evaluado los parámetros dimensionales de los postes de tipo látigo; de la misma manera se ha establecido los parámetros iniciales del proceso de doblado de los tubos.

Una vez con los parámetros ya mencionados se ha realizado un análisis de los métodos de doblado tanto en frío como en caliente, teniendo presente todas las características del tubo a doblar y, mediante una matriz de decisión se ha elegido cómo mejor propuesta el método de inducción.

Además, se ha propuesto un diseño para que el doblado de los postes sea automático, mediante el control de potencia que se debe generar por el calentamiento del tubo y la velocidad del motor del brazo de doblado a la que debe seguir para un correcto doblado.

Finalmente se realiza un análisis de costos de construcción de la maquinaria.

**Palabras clave:** Dobladora de tubos, Poste de tipo látigo, Inducción, Fuerza, Potencia, Matriz de decisión.

## **Abstract**

**T**he main objective of this Degree Project is to design a tube bender for whip type traffic lights, which will be carried out for HITRAFIC S.A.S. company.

For the design, as a first point, the dimensional parameters of the whip type poles have been evaluated; in the same way, the initial parameters of the tube bending process have been established.

Once the aforementioned parameters were established, an analysis of the hot and cold bending methods was carried out, taking into account all the characteristics of the tube to be bent and, by means of a decision matrix, the induction method was chosen as the best proposal.

In addition, a design has been proposed to make the bending of the poles automatic, by controlling the power to be generated for the heating of the pipe and the speed of the motor of the bending arm to be followed for a correct bending.

Finally, a cost analysis of the machinery construction is performed.

**Keywords:** Pipe bender, Whip-type post, Induction, Force, Power, Decision matrix.

# 1. Introducción

**E**n los talleres metal-mecánicos de Ecuador se puede encontrar diversos métodos de doblados empleados para el curvado de perfiles metálicos, generalmente se utilizan métodos de doblado en frío, tales como las dobladoras de tubos rotatorias, dobladoras por rodillos, como nos indica el libro de M. Groover (2007), así también doblados por presión o incluso dobladoras por arrastre indicado por Mohinder L Nayyar (2000), siendo estos métodos los más utilizados para el doblado de los perfiles cilíndricos dentro de los talleres.

Dentro de los métodos para el curvado también podemos encontrar los doblados por caliente, los mismos que son los más utilizados para el doblado de perfiles cilíndricos de diámetros grandes y radios de curvado extensos, como lo menciona Mohinder L Nayyar (2000) dentro de su libro "*Piping Handbook*", estos métodos son el doblado por calentamiento en hornos y los doblados por inducción, siendo estos los más óptimos ya que no generan defectos, como arrugas o adelgazamiento de sus paredes generadas por el esfuerzo de doblado, en la superficie del perfil cónico.

Motivo por el cual en el presente proyecto se ha llevado a cabo un diseño utilizando un método de doblado por inducción, siguiendo una serie de procesos descritos en el mismo para la selección de cada uno de los elementos y componentes a utilizar. Finalizando con un análisis de costos de construcción de la maquinaria.

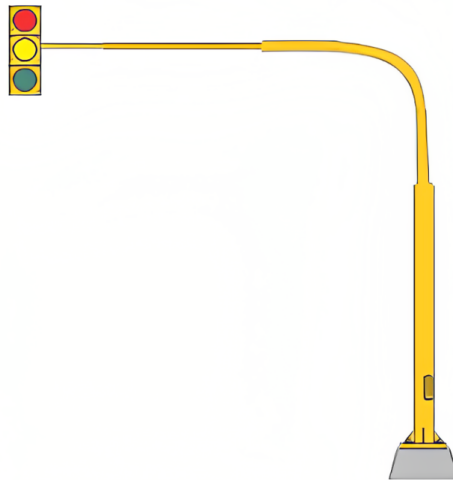
## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

La industria dedicada a la manufacturación de postes para semáforos de la ciudad de Cuenca no cuenta con maquinaria capaz de realizar el doblado de los tubos para elaborar los "postes de semáforos de tipo látigo", como se puede observar en la figura 1, actualmente el proceso se lleva a cabo de manera manual realizando una serie de cortes al poste y luego se procede a doblarlo; finalmente se aplica soldadura para unir las partes previamente cortadas.

#### Figura 1

*Poste de semáforo tipo látigo.*



**Nota:** Se puede observar un modelo del tipo de poste que utiliza el modelo de semáforo de tipo látigo *Seyse - señalamiento vial* (s.f.).

Al ser el proceso de fabricación de una forma artesanal presenta un posible riesgo al personal debido que se debe aplicar una fuerza para realizar el doblado del tubo.

Para calcular cuanta fuerza es necesaria aplicar se tomó en cuenta el peso promedio del ser humano en América latina, es de 65 kg, esto indica que posee alrededor de 637.65 kgf, de la cual se puede alcanzar hasta un 17% de esta fuerza, sabiendo que una persona puede generar

dicha fuerza, por medio la ecuación 1 se puede calcular la fuerza necesaria para doblar un tubo de acero galvanizado. Chávez Bonito (2016)

$$F > \frac{\sigma_y * \pi * (D^4 - d^4)}{8 * L * D} \quad (1)$$

Donde:

- D= Diámetro externo del tubo
- d=Diámetro interno del tubo
- L= Distancia entre apoyos
- F= Fuerza necesaria para doblar la tubería
- $\sigma_y$  = Límite de fluencia

Entonces de acuerdo con los datos del tubo para semáforo según la norma obtenemos que:

$$F > 250 \times 10^6 \frac{N}{m^2} * \pi * \frac{(0,125)^4 - (0,119)^4}{8 * (10)(0,125)}$$

$$F > 3\,424,862\, N$$

$$F > 349,238\, Kgf$$

De esta forma se comprueba que es necesario de 3 operadores mínimo para poder dar la forma curva deseada al poste, ya que una persona puede aplicar una fuerza igual a 108,401 *Kgf* y la fuerza mínima requerida es de 349,2387 *Kgf*. Además, tomando en cuenta el acabado de este, se presentan irregularidades en la superficie del objeto por los cordones de suelda aplicados al momento de unirlos, generando algunos problemas al momento de ensamblar y colocar los semáforos.

## 2.2. Descripción del problema

El proceso del doblado de los postes para los tubos semáforos de tipo látigo se realizan de una manera manual, el operario realiza una serie de 4 cortes en una sección determinada del tubo para poder darle su curvatura al momento de doblar el mismo, una vez completado



este proceso de doblado, se procede a colocar cordones de suelda en cada una de las secciones previamente cortadas y unidas para finalmente mantener la curvatura del tubo deseado.

Debido a que el desarrollo de este tipo de postes se realiza de manera artesanal el tiempo mínimo requerido es de alrededor de unas 4 a 5 horas por poste, además, al requerir realizar una curvatura al tubo metálico es necesario aplicar una fuerza de  $349,2387 \text{ Kgf}$ , motivo por el cual se requiere la intervención de al menos 2 operarios para su fabricación, pudiendo generar, además, algún tipo de lesión al personal, ya sea durante la elaboración o incluso llegar a tener problemas a futuro.

### **2.3. Importancia y alcances**

Por medio del diseño de una dobladora de tubos cónicos para semáforos, se plantea una alternativa para la prevención de lesiones laborales.

Además, se pretende cambiar la forma de manufactura actual del producto, pasando de una forma artesanal a un enfoque más industrial.

### **2.4. Delimitación**

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

- Dimensiones de los tubos de semáforos de tipo látigo.
- Tiempos de fabricación de los tubos de semáforos de tipo látigo.
- Costos de fabricación de los tubos de semáforos de tipo látigo.

#### **2.4.1. Espacial o geográfica**

Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

#### **2.4.2. Temporal**

Se trabajará un total de 240 horas en base al total de tiempo requerido de la asignatura de Integración Curricular.

### **2.4.3. Sectorial o institucional**

El presente trabajo de titulación será realizando en la empresa **HITRAFFIC S.A.S.**

## **2.5. Problema General**

- ¿Es posible realizar el diseño de una dobladora de tubos cónicos para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Es factible evaluar los parámetros dimensionales de los postes tipo látigo para el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos?
- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales para el proceso de doblado de tubos para la elaboración de postes cónicos tipo látigo para semáforos?
- ¿Es posible proponer un diseño para el doblado automático de tubos cónicos para semáforos?

# **3. Objetivos**

## **3.1. Objetivo General**

- Diseñar una dobladora de tubos cónicos para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo, con la finalidad de reducir posibles riesgos o afectaciones a los operarios.

## **3.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar los parámetros dimensionales de los postes de tipo látigo para el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos.
- Establecer los parámetros iniciales del proceso de doblado de tubos para la elaboración de postes cónicos tipo látigo para semáforos.
- Proponer un diseño para el doblado automático de los tubos cónicos para semáforos tipo látigo.

- Realizar el análisis de costos de construcción de la maquinaria.

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis General**

- Se diseñará una dobladora de tubos cónicos automática para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo, con la finalidad de minimizar los posibles riesgos o afectaciones a los operarios al momento de su manufactura.

### **4.2. Hipótesis Específicas**

- Los parámetros dimensionales del tipo de poste determinarán el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos.
- Los parámetros iniciales del proceso de doblado de tubos cónicos establecerán las dimensiones del poste cónico tipo látigo para semáforos.
- Diseño para el doblado automático de los tubos cónicos para semáforos tipo látigo.
- Análisis de costos de construcción de la maquinaria.

## **5. Marco Teórico**

A medida de que las ciudades crecen, es necesario la construcción de la infraestructura necesaria donde la población se asentará, siendo las vías la base de la expansión de una ciudad, de igual manera al incrementar la densidad poblacional directamente incrementarán los medios de transporte dentro de la urbe, motivo por el cual cada una de estas vías de acceso a los distintos puntos de una ciudad deben encontrarse correctamente señalizadas para la prevención de accidentes de tránsito, siendo los semáforos un instrumento de señalización vial muy importante, el mismo que permitirá la circulación de vehículos, bicicletas e incluso peatones dentro de las vías.

En Londres de 1868 se colocó el primer semáforo del mundo, este se colocó utilizando como referencia las señales del ferrocarril, este diseño consistía en dos brazos verticales con dos lámparas de gas.

La elaboración de estos postes verticales ha ido evolucionando a lo largo de los tiempos, y de acuerdo con las diferentes normativas que han ido adquiriendo cada país, son de vital importancia ya que permite la correcta colocación de los semáforos tomando en cuenta distancia del vehículo, altura máxima de los vehículos e incluso llegaron a depender del clima y de la zona geográfica para determinar el material para su elaboración dependiendo del tipo.

De acuerdo con esta evolución se han ido creando maquinarias que ayuden a elaborar este tipo de postes; realizar el doblado de tubos es una parte fundamental ya que actualmente existen varias técnicas.

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012), los semáforos sirven para la regulación tanto para el flujo vehicular como peatonal, separando en tiempo y espacio cada uno de estos movimientos dependiendo de la trayectoria de viaje de los usuarios viales como observamos en la figura 2.

## Figura 2

*Semáforo vehicular.*



**Nota:** Representación de un semáforo vehicular según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012).

## 5.1. Doblado de tubos

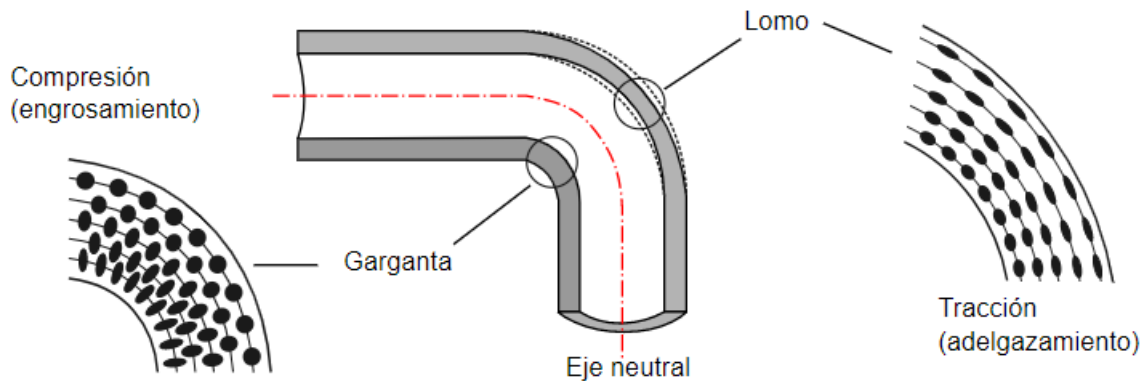
En la actualidad existen varias formas en la cuales se pueden unir tubos, ya sean mediante conexiones por sus esquinas o por medio de una unión por soldadura, pero a su vez, existe un método más económico el cual es el doblado del objeto.

Según De La Cruz y Quispe (2016), para poder realizar el doblado es necesario contar con la herramienta adecuada, la cual permite aplicar un par torsor y dar la forma curva que se desee; razón por el cual el diseño del instrumento debe estar directamente relacionada con el radio de curvatura y las dimensiones del tubo.

En el proceso del doblado de tubos se presentan dos tipos de esfuerzos, los cuales ocurren de manera simultánea, en donde el material de la curva interior, conocido como **garganta**, se comprime y a su vez la parte exterior del tubo, él se denomina **lomo**, se tensa, como se puede observar en la figura 3.

### Figura 3

*Esfuerzos de doblado.*



**Nota:** Se puede observar los esfuerzos presentes al momento de realizar el doblado de un tubo. MIPS A (2021).

MIPSA (2021) indica que la combinación de estos dos tipos de esfuerzos, generan una tracción en la zona exterior del tubo doblado produciendo su alargamiento, mientras tanto, en la zona interior del tubo doblado se produce una compresión.

## **5.2. Defectos del doblado de un tubo**

Para poder obtener un doblado con una curvatura exacta, es necesario conocer sobre las distintas fallas que se pueden generar durante el proceso, para considerar los parámetros apropiados para un correcto diseño, de igual manera conocer sobre los límites de la deformación del material a doblar. A continuación, se describen algunos defectos básicos en el doblado de los tubos.

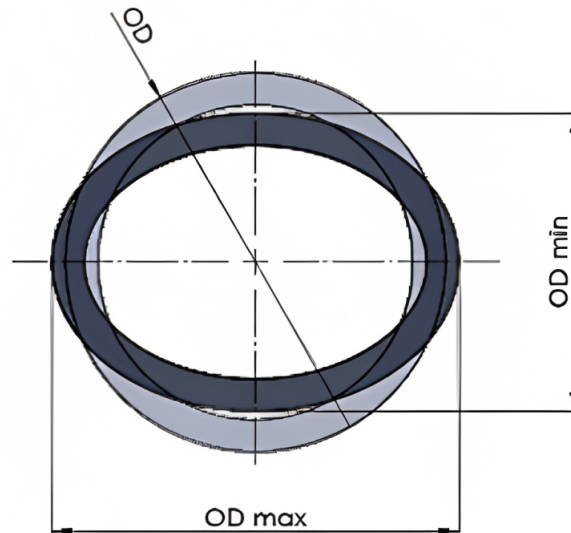
### **5.2.1. Deformación y adelgazamiento de la pared transversal del tubo**

Al momento de realizar el doblado existen una serie de manifestaciones de deformación, las cuales son inevitables de generar, tales como el adelgazamiento de la pared exterior y el engrosamiento de la pared interior del tubo doblado.

De igual manera existe otro tipo de deformación al momento de realizar el doblado de un tubo, el cual es la ovalización, este fenómeno es causado por la distribución de las fuerzas en la zona de convexidad del tubo al momento de realizar la curvatura deseada, en donde, tiende a cambiar su geometría de una circular a una ovalada como se puede observar en la figura 4, donde OD es el diámetro exterior del tubo. OMNI-X (2020)

#### Figura 4

*Ovalización tubular.*



**Nota:** Ovalización de la sección transversal del tubo durante el proceso de doblado. OMNI-X (2020).

Tanto los grados de ovalización de la sección tubular como adelgazamiento de la pared exterior deben evitarse ya que pueden llegar a generar el agrietamiento de la sección transversal del tubo. Para ello se utiliza el criterio de aceptación de adelgazamiento y ovalización.

El criterio para la aceptación del adelgazamiento de la pared tubular está dado por el código ASEM B31.4, indica que el adelgazamiento de la pared exterior debe ser igual al grosor mínimo de la pared requerida del tubo recto, mientras que el criterio de ovalización está dado por la ecuación 2:

$$Ovalidad = \frac{OD_{max} - OD_{min}}{OD_{nominal}} * 100\% \quad (2)$$

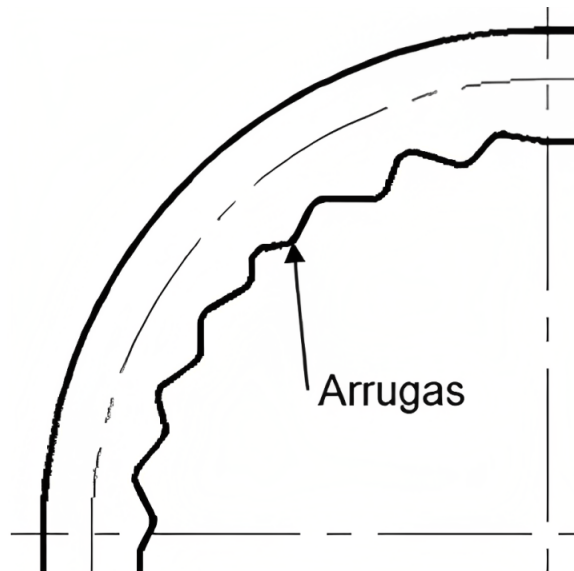
Donde es aceptable el 8% de presión interna y un 3% de presión externa. Mohinder L Nayyar (2000)

### 5.2.2. Arrugas de la pared interior

Durante el proceso del doblado, en la pared interior se genera un esfuerzo de compresión, el cual puede llegar a ser perjudicial debido a que pueden generarse arrugas por las tensiones compresivas generadas, este fenómeno puede reducir la resistencia, rigidez y fatiga del tubo, de igual manera determina el límite de deformación que este posee y la calidad del doblado realizado. Mohinder L Nayyar (2000)

#### Figura 5

*Arrugas pared tubular.*



**Nota:** Arrugas en la pared interior del tubo. J. Ruiz (2013)

Las arrugas pueden formarse dependiendo de tres factores importantes, el ángulo de curvado deseado, el espesor de la pared del tubo y el proceso aplicado. En el caso de presentarse este fenómeno se puede tomar en consideración el siguiente criterio donde la relación entre las distancias de dos crestas dividida por la profundidad de la cresta promedio al valle es igual o mayor que 12, este criterio se encuentra expresado mediante la ecuación 3 y la ecuación 4. Mohinder L Nayyar (2000)

$$Profundidad = \frac{OD_1 + OD_3}{2} - OD_2 \quad (3)$$

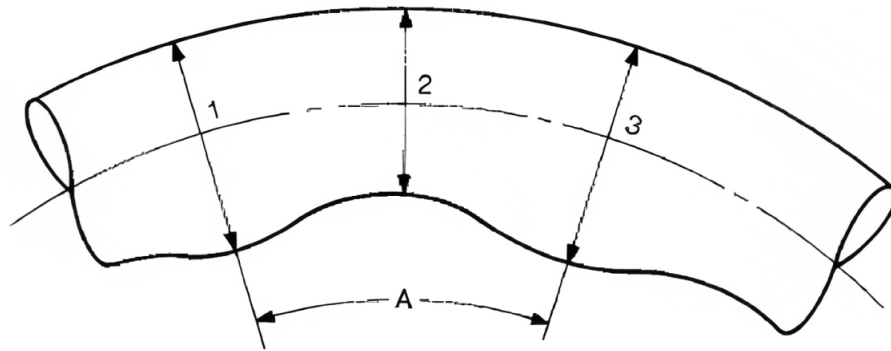


$$\frac{12}{1} \leq \frac{A}{Profundidad} \quad (4)$$

Mediante la figura 6 se puede observar las variables analizar con relación a las ecuaciones 3 y 4.

### Figura 6

*Tolerancia de arrugas sugerida.*



**Nota:** Delimitación gráfica de las variables a considerar para el cálculo de la Tolerancia de arrugas en la pared interior del tubo. Mohinder L Nayyar (2000)

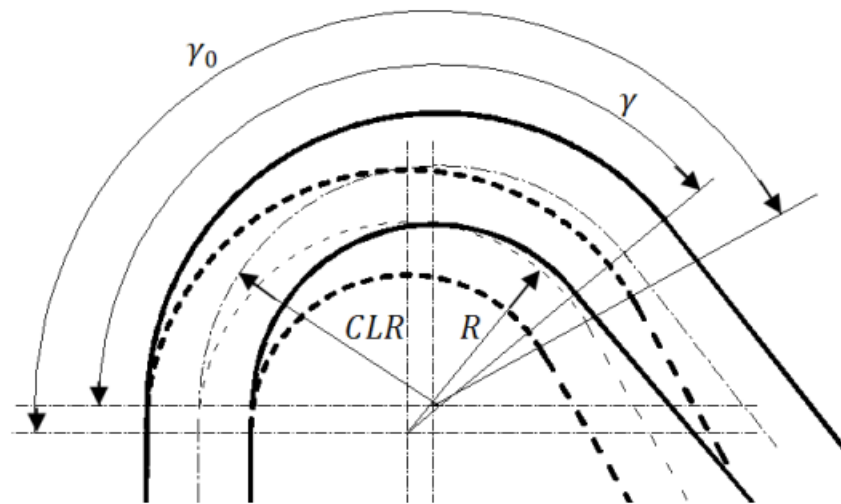
### 5.2.3. Recuperación Elástica

La recuperación elástica es otro factor que puede afectar al correcto doblado del tubo, debido a que el material metálico tiende a recuperarse elásticamente una vez retiradas las cargas aplicadas durante el proceso de doblado, en donde el radio del doblado aumenta, aun que en otros casos el ángulo final de doblado sea menor al original, a eso se lo conoce como recuperación elástica negativa.

Por medio de la figura 7 se puede observar el proceso de recuperación elástica de una tubería doblada, donde  $\gamma_0$  es el ángulo requerido y el ángulo generado por la recuperación elástica es  $\gamma$ .

**Figura 7**

*Recuperación elástica.*



**Nota:** Ejemplificación de la recuperación elástica y asignación de las variables  $\gamma_0$ ,  $\gamma$ . J. Hurtado (2012)

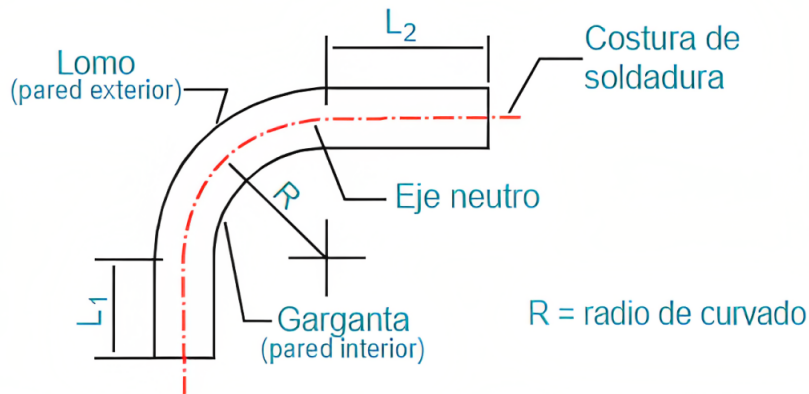
El efecto de la recuperación elástica interfiere directamente en la precisión geométrica que se desea obtener al momento de dar un radio de curvatura al tubo. Este dependerá del espesor de las paredes del tubo.

### **5.3. Proceso para el doblado de tubos**

Dentro del proceso del doblado es necesario la presencia de una fuerza mecánica, la cual pueda empujar el material de las paredes tubulares y de esta manera obligándolo a formar una curvatura con un radio específico; para un correcto doblado es necesario tomar en cuenta el espesor y diámetro del tubo de igual manera es importante saber el tipo de material y la forma de este, con el fin de poder determinar el método adecuado para emplear.

## Figura 8

Curvatura de tubo.



**Nota:** Factores a considerar para realizar la curvatura de una sección tubular. MIPSAs (2021)

Para realizar el curvado, se debe tomar como referencia el eje neutro como se puede observar en la figura 8, con relación a este eje se toma como referencia para realizar radio de curvado, además, la longitud del tubo curvado debe ser igual a la longitud de su eje neutro, este se puede calcular por medio de la ecuación 5.

$$Longitud = L_1 + \frac{\pi * R * \alpha}{180} + L_2 \quad (5)$$

### 5.4. Métodos para el doblado de tubos

En la actualidad existen diversos métodos para realizar el doblado de tubos, ya sean utilizando herramientas manuales o máquinas que faciliten el doblado de este, además existen métodos de doblado en frío o doblado en caliente, cada uno de estos procedimientos a utilizar dependerá de las propiedades de los materiales, dimensiones de la tubería, el radio de curvatura deseada.

#### 5.4.1. Doblado de tubos en frío

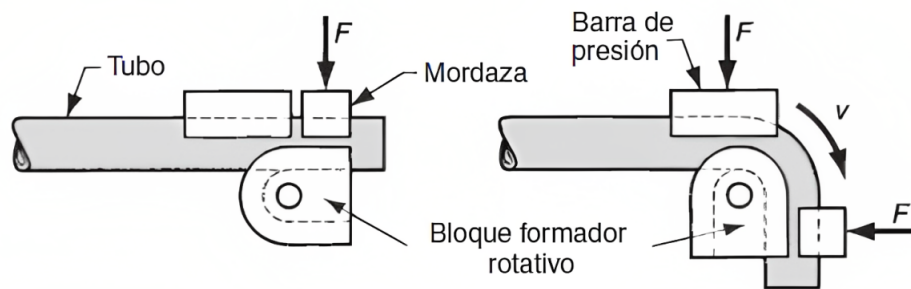
El doblado de la tubería en frío hace referencia a los procesos de doblado realizados a temperatura ambiente, por medio de este método de doblado existen diversos tipos de máquinas herramientas que pueden facilitar este proceso, entre se encuentran:

## ■ Doblado Rotatorio

En este método se dobla por medio de una matriz, la cual ayudará a dar la forma de la curvatura, y un mandril donde se sujeta el tubo, además, en el doblado rotatorio la pared exterior del tubo comienza a estirarse y adelgazarse a medida que se dobla tubo, como se muestra en la figura 8, de igual manera, la pared interna del tubo se vuelve más gruesa y comprimida.

### Figura 9

*Dobladora de tubos Rotatoria.*



**Nota:** Doblado en frío por medio del método por doblado rotatorio. M. Groover (2007)

Es importante tomar en cuenta el control de los grados de deformación física el momento de realizar el doblado, ya que al momento de hacer un alargamiento del tubo este puede llegar a sufrir una falla estructural o agrietamiento. Este tipo de doblado es mayoritariamente utilizado para doblados que requieran un radio de curvatura más pequeños y las paredes tubulares delgadas. M. Groover (2007)

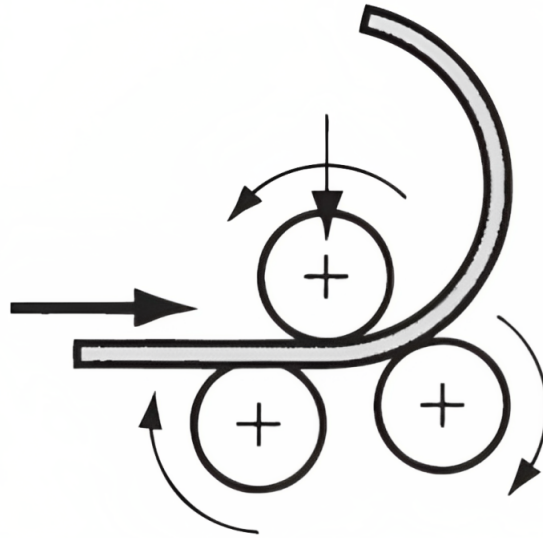
## ■ Doblado por Rodillos

En este tipo de doblado los tubos pasan a través de tres rodillos configurados en una pirámide, donde cada rodillo aplicará una cantidad variable de presión, para que de esta

forma dar la curvatura deseada al tubo. Este método es generalmente utilizado para tubos de radios grandes, rollos y curvas de radio grande. W. M. (2019)

### Figura 10

*Dobladora de tubos por Rodillos.*



**Nota:** Método de doblado por rodillos para tubos en frío. M. Groover (2007)

El doblado con rodillos puede brindar diversas curvaturas, esto depende de la forma en la que se ajustan las distancias entre los tres rodillos, como se puede observar en la figura 10, además el doblado por este método es considerado flexible, ya que posee la capacidad de adaptarse al tipo de material, geometría y dimensiones del objeto a doblar, ya que el radio de curvatura y su ángulo no dependen de una matriz de radio fijo. S. Kalpakjian (2014)

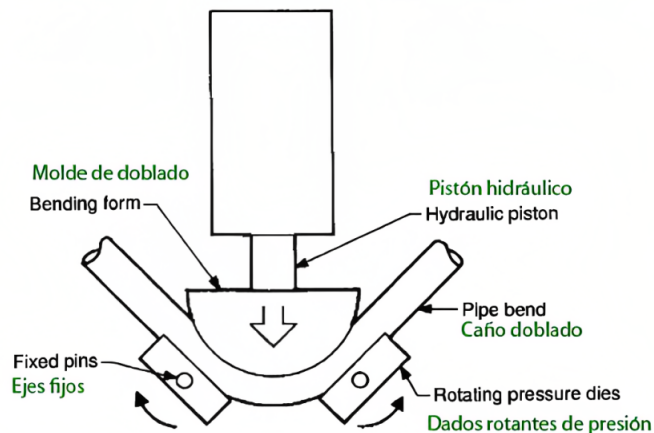
#### ■ **Doblado por Presión**

El doblado por presión está compuesto por dos partes importantes, una matriz punzón o pistón y unas matrices opuestas, la matriz punzón es la parte más importante de este método ya que esta herramienta posee el radio del doblado, mientras que las

matrices opuestas funcionan como soportes. Al momento de aplicar presión con la matriz esta forzará el doblado del tubo, este método puede ser accionada de forma manual o mediante una fuente hidráulica como se puede observar en la figura 11. D. H. (2014)

**Figura 11**

*Dobladora de tubos por Presión.*



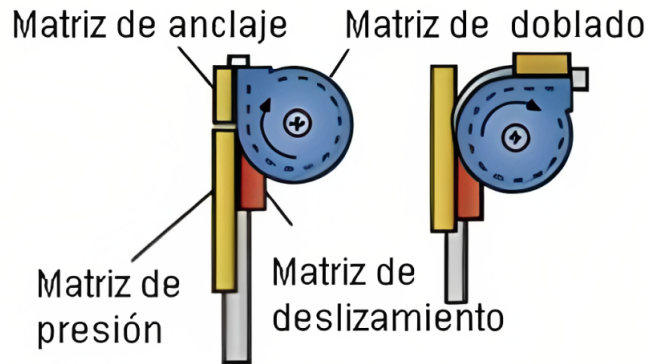
**Nota:** Método de doblado por presión para tubos en frío. Mohinder L Nayyar (2000)

- **Doblado por Arrastre**

El doblado por arrastre es un método el cual puede hacer el doblado con mandril, la cual es una herramienta sólida de metal insertada en el tubo antes del doblado para dar un soporte interno. Por medio de este método permite crear dobleces de alta calidad y crear radios estrechos. Este tipo de doblado posee cuatro matrices, matriz de anclaje, matriz de presión, matriz de deslizamiento y la matriz de doblado, en donde la matriz de anclaje sujeta al tubo al matiz de doblado y estas rotan simultáneamente para dar la curvatura, además, la matriz de deslizamiento arrastra el resto del tubo mediante el doblado de este para evitar la formación de irregularidades como rugosidades en la zona curva del tubo como se puede observar en la figura 12.

## Figura 12

*Dobladora de tubos por Arrastre.*



### **Doblado por arrastre**

**Nota:** Método de doblado por arrastre para tubos en frío. Carlos E. Chávez (2016)

#### **5.4.2. Doblado de tubos en caliente**

El doblado de tubos en caliente es un proceso donde se calienta la tubería a temperaturas entre el rango de 954 °C a 1121 °C, dependiendo del material ferroso utilizado o aleaciones de esta, este método de doblado es utilizado cuando no se dispone de la máquina o el equipo adecuado para el doblado en frío. Mohinder L Nayyar (2000)

- **Doblado por calentamiento en hornos**

Para realizar este tipo de doblado es primordial rellenar la tubería con arena previo a su calentamiento, cuando la sección tubular se encuentra llena de arena se procede a calentar por medio de hornos especiales para este proceso, los cuales poseen un control de temperatura seteado para el tipo de material de la tubería, una vez llegado a la temperatura requerida en todo su espesor, el tubo es trasladado a una mesa de doblado donde se sujeta uno de los extremos y el otro se arrastra mediante un bloque o matriz hasta conseguir la curvatura deseada. Mohinder L Nayyar (2000)

El método de rellenado de arena en el tubo se utiliza cuando la relación entre el diámetro y espesor es diez a uno o cuando el radio de curvatura es cinco veces mayor al diámetro del tubo; además se debe tomar en cuenta que la efectividad del utilizar arena se ve reducida cuando la relación diámetro y espesor se aproxima treinta a uno, ya que pueden aparecer las arrugas al momento de realizar el doblado. Mohinder L Nayyar (2000)

#### ■ **Doblado por Inducción**

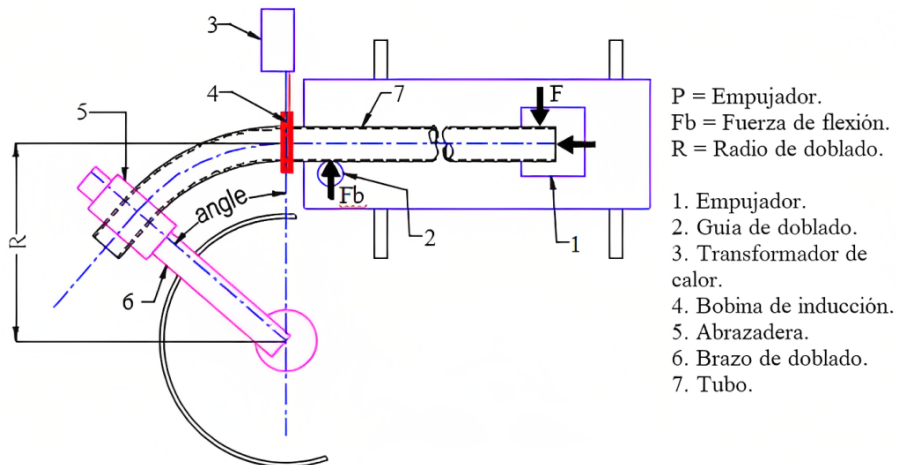
El método de doblado por inducción es una técnica de curvado eficiente y controlada con precisión, este tipo de proceso consiste en aplicar calor en la sección tubular por medio de energía eléctrica inducida por un muelle, la misma que se calienta en un rango de 850 °C a 1100 °C, este método es generalmente utilizado para diámetros de tubería grandes y cuando los métodos de doblado en frío son limitados. Anup Kumar Dey (2020)

El doblado por inducción normalmente se produce en ángulos de doblez estándar, mediante los requisitos se pueden personalizar los ángulos de curvatura específico, de igual manera, los radios de curvatura para la flexión por inducción se especifica en función del diámetro nominal de la tubería, por medio de la figura 13 se observa un diagrama esquemático del mecanismo de flexión por inducción. Anup Kumar Dey (2020)



**Figura 13**

*Diagrama de flexión por inducción.*



**Nota:** Representación simplificada de una dobladora por inducción. Anup Kumar Dey (2020)

### 5.4.3. Calentamiento por inducción

El calentamiento por inducción es un proceso utilizado para unir, endurecer o ablandar materiales conductivos, de esta manera permitiendo diversos procesos modernos de fabricación como menciona GH Electrotermia (2021).

Según González (2013), el generar calor mediante la inducción electromagnética es un método eficiente y sin contacto, el control preciso de este permite suministrar de un incremento de temperatura oportuno y localizado determinando una eficiencia al momento de calentar un objeto conductor, además, la versatilidad de este sistema permite una relación con diversas formas y volúmenes de los materiales que pueden ser tratados térmicamente bajo su acción.

La empresa Ambrela Induction Heating Solutions (2018), indica que geometrías de los muelles de inducción pueden variar según su aplicación, la cual determinará la eficacia y la eficiencia de cualquier proceso de calentamiento por inducción, dentro de las geometrías más comunes se encuentran las:

- **Muelle helicoidal de varias espiras:**

Es el tipo de muelle más común y eficiente, según su número de espiras de determinará el patrón de calentamiento, donde, la pieza de trabajo puede mantenerse estacionaria

y de esta forma proporcionar una franja de calentamiento definida, o la pieza puede atravesar por ella y obtener un patrón de calentamiento uniforme alrededor de toda la pieza, como se observa en la figura 14.

**Figura 14**

*Muelle helicoidal de varias espiras.*



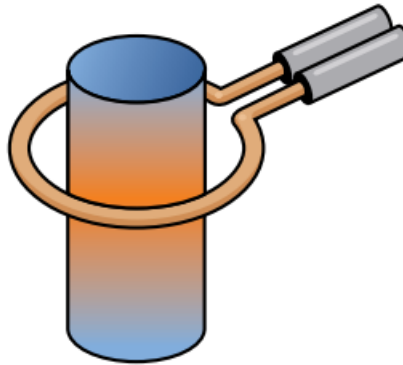
**Nota:** Representación gráfica de un muelle helicoidal de varias espiras. Ambrela Induction Heating Solutions (2018)

■ **Muelle de una espira:**

Este tipo de muelles de una espira son ideales para calentar una franja estrecha de una pieza lo que permite proporcionar un patrón de calentamiento exacto el cual se puede observar representada en la figura 15

### Figura 15

*Muelle de una espira.*



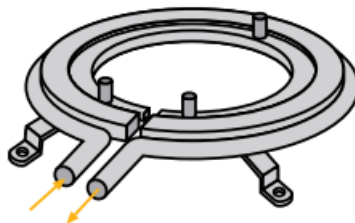
**Nota:** Ejemplificación de un Muelle de una espira. Ambrela Induction Heating Solutions (2018)

- **Muelle de placa concentradora:**

Las placas concentradoras se utilizan en los muelles de una o varias espiras para concentrar la corriente del muelle y producir un efecto de calentamiento definido en la pieza de trabajo como se observa en la figura 16

### Figura 16

*Muelle de placa concentradora.*



**Nota:** Representación de un muelle de placa concentradora. Ambrela Induction Heating Solutions (2018)

Cada uno de estos tipos de muelles permiten transferir la energía desde una fuente de

alimentación para permitir el calentamiento por inducción, el cual es producido mediante un campo electromagnético, como explica González (2013), donde este campo electromagnético genera una corriente la cual fluye por la pieza de trabajo, esta corriente establecida en el interior del material se denomina corriente de Foucault ( $i_f$ ) y esta es responsable del calentamiento por efecto Joule representado por la ecuación 6

$$P = i_f^2 * R_{eq} \quad (6)$$

Para el valor de la corriente obtenemos:

$$i_f = \sqrt{\frac{P}{R_{eq}}}$$

Donde  $P$  es la potencia disipada en la resistencia equivalente de la pieza a calentar  $R_{eq}$ , la cual es de 15 a 20  $\mu\Omega \times cm$ . mientras que  $i_f$  es la corriente que circula a través del material conductor.

## 5.5. Diferencias entre doblados

Por medio de la tabla 1 se exponen las principales diferencias entre el doblado en frío y doblado en caliente por inducción.

**Tabla 1***Diferencia entre doblados*

| <b>DOBLADO EN CALIENTE</b>   | <b>DOBLADO EN FRÍO</b>  |
|--|---|
| La presencia de calor es un factor importante en este método de doblado                        | Este método de doblado se puede realizar a temperatura ambiente.                          |
| El doblado en caliente es proceso lento.   | El doblado en frío es un proceso rápido ya que no requiere calentamiento ni enfriamiento. |
| Permite un mejor control del doblado de la tubería.  | El doblado en frío no proporciona un control preciso y puede presentarse defectos.        |
| Para el doblado en caliente se utiliza tipos complejos de maquinaria altamente eficientes.     | El proceso de doblado en frío utiliza máquinas simples, dependiendo el diámetro del tubo. |
| El proceso de doblado en caliente es eficiente para diámetros de tubería más grande.           | El doblado en frío se limita únicamente a tuberías de diámetro más pequeños.              |
| En el doblado en caliente, por lo general no se forman arrugas en la superficie de la tubería. | Existe una alta probabilidad de que se formen defectos en la superficie de la tubería.    |
| La fuerza requerida en el doblado en caliente es normalmente menor.                            | El requisito de fuerza física en el doblado en frío es comparativamente mayor.            |

## **6. Marco metodológico**

### **6.1. Propuesta del diseño mecánico**

#### **6.1.1. Parámetros dimensionales e iniciales para el diseño de la dobladora de postes de tipo látigo**

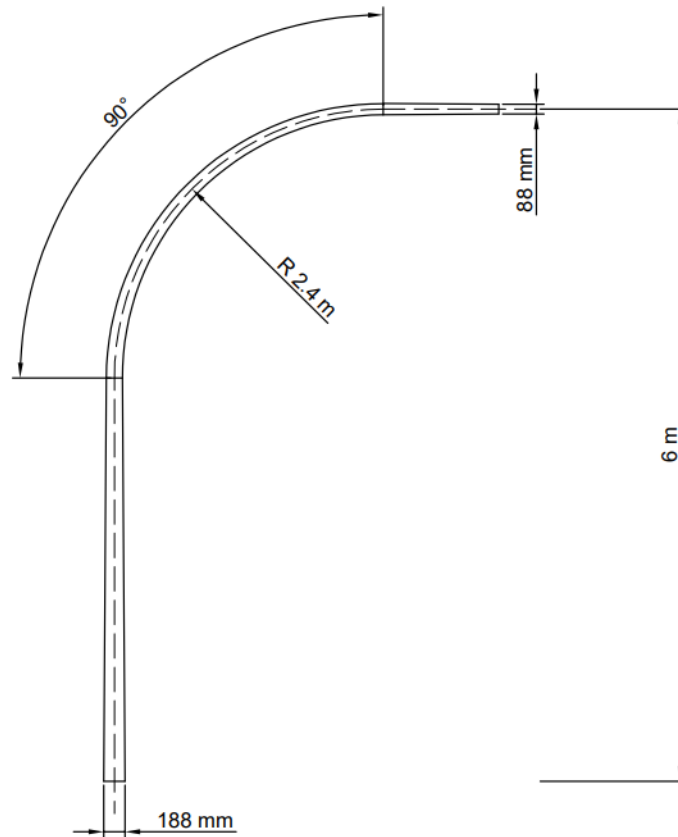
Para iniciar con la propuesta del diseño mecánico del dispositivo es necesario establecer los parámetros iniciales a tomar en cuenta para poder realizar el correcto doblado de los tubos, iniciando por la geometría del tubo a doblar ya que según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012), como se puede observar en la figura 17, además nos indica que la tubería para los postes de semáforos curvos debe ser de tipo cónica y debe presentar las siguientes dimensiones:

- Diámetro de la base del poste: 188 milímetros.
- Diámetro del extremo del poste: 88 milímetros.
- Espesor mínimo de la tubería: 4 milímetros.

- Radio de curvatura: 2.40 metros.
- Ángulo de doblado:  $90^\circ$
- Altura del poste doblado: 6 metros.

**Figura 17**

*Poste cónico de tipo látigo.*

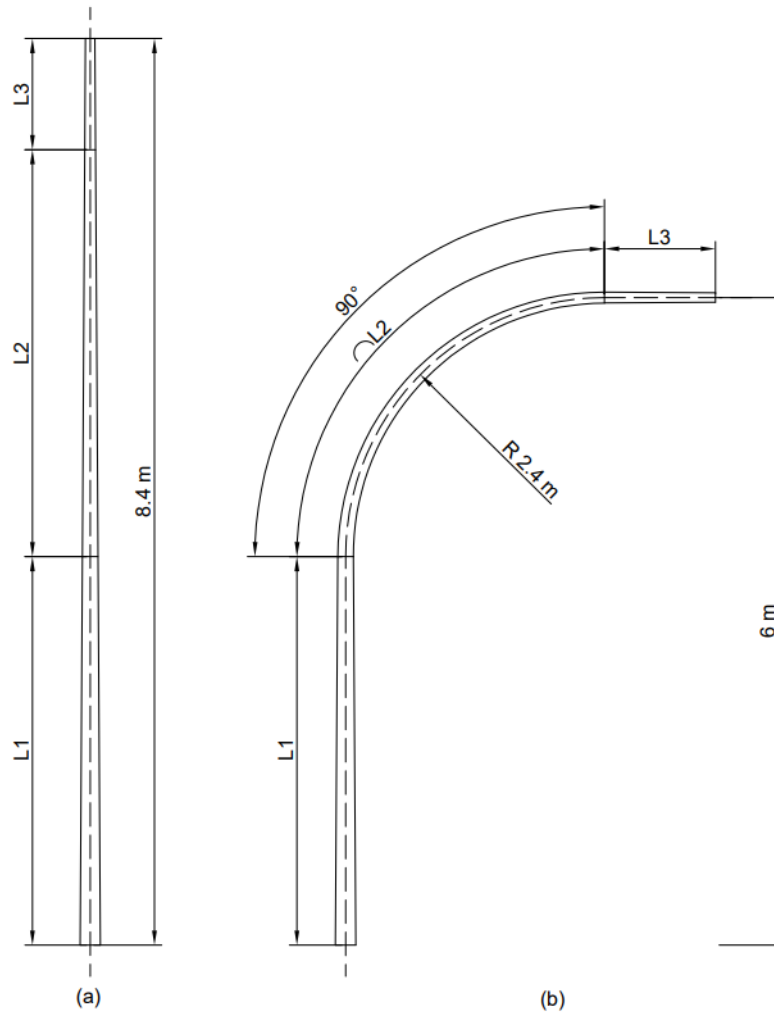


**Nota:** Dimensiones finales que debe poseer el poste cónico de tipo látigo. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012)

Conociendo cada uno de los datos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012), podemos establecer cada una de las dimensiones correspondientes a la tubería cónica, tanto como en su forma original como una vez doblada, en la cual se establecen las siguientes incógnitas, como se observa en la figura 18.

## Figura 18

Dimensiones del poste cónico referente a su eje neutro.



**Nota:** en figura 18.a corresponde a la tubería original y en la figura 18.b a la tubería doblada.

Donde se puede plantear que:

$$\text{Altura del tubo curvo} = L_1 + R \quad (7)$$

Despejando el valor de  $L_1$  de la ecuación 7 obtenemos:

$$6 \text{ m} = L_1 + 2,4 \text{ m}$$

$$L_1 = (6 - 2,4) \text{ m}$$

$$L_1 = 3,6 \text{ m}$$

Además se puede definir a la longitud de arco como:

$$\text{Longitud de arco} = L_2 = \pi \times R \times \frac{\alpha}{180} \quad (8)$$

$$L_2 = \pi \times 2,4 \text{ m} \times \frac{90}{180}$$

$$L_2 = 1,2\pi \text{ m}$$

$$L_2 \approx 3,77 \text{ m}$$

Para calcular la longitud  $L_3$  podemos despejar la ecuación 5 donde:

$$\text{Longitud del tubo} = L_1 + \frac{\pi \times R \times \alpha}{180} + L_3$$

$$8,4 \text{ m} = 3,6 \text{ m} + \frac{\pi \times 2,4 \text{ m} \times 90}{180} + L_3$$

$$L_3 = 8,4 \text{ m} - 3,6 \text{ m} - 1,2 \times \pi \text{ m}$$

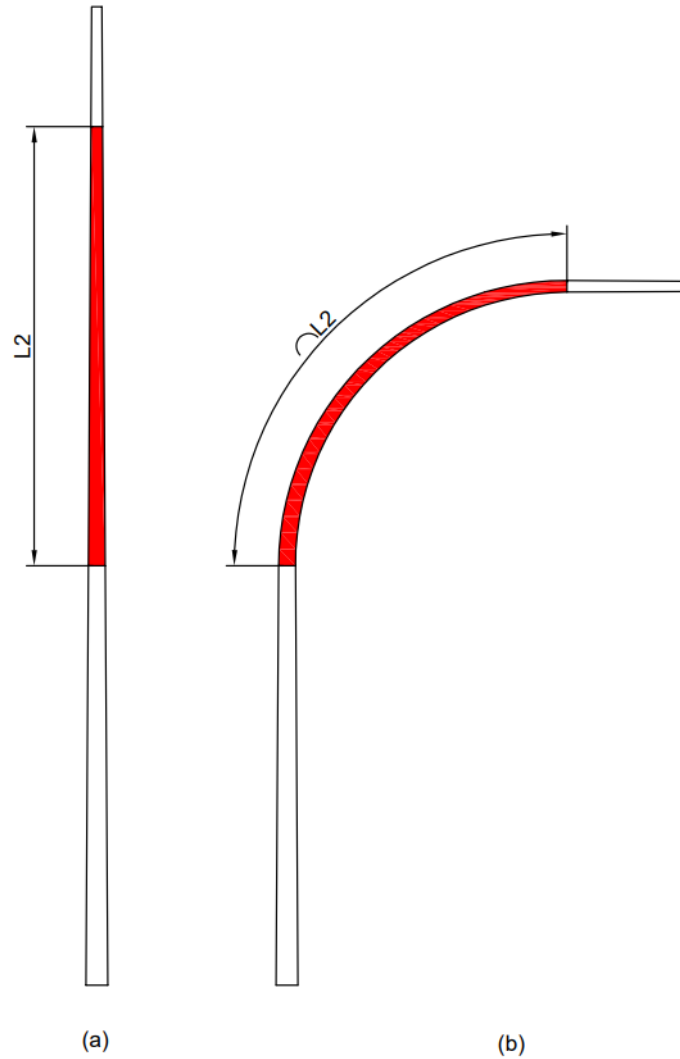
$$L_3 = 1,03 \text{ m}$$

De esta manera se determina que la zona a calentar para poder realizar el doblado de la tubería corresponde aproximadamente  $3,77 \text{ m}$  correspondiente al valor de  $L_2$ , como se observa en la figura 19.



## Figura 19

*Zona de calentamiento para realizar el doblado.*



**Nota:** Tanto en la figura 19.a y en la figura 19.b podemos observar la zona donde es necesaria aplicar el calentamiento para realizar su doblado.

### 6.1.2. Propuesta del diseño de la dobladora de tubos para postes de semáforos de tipo látigo.

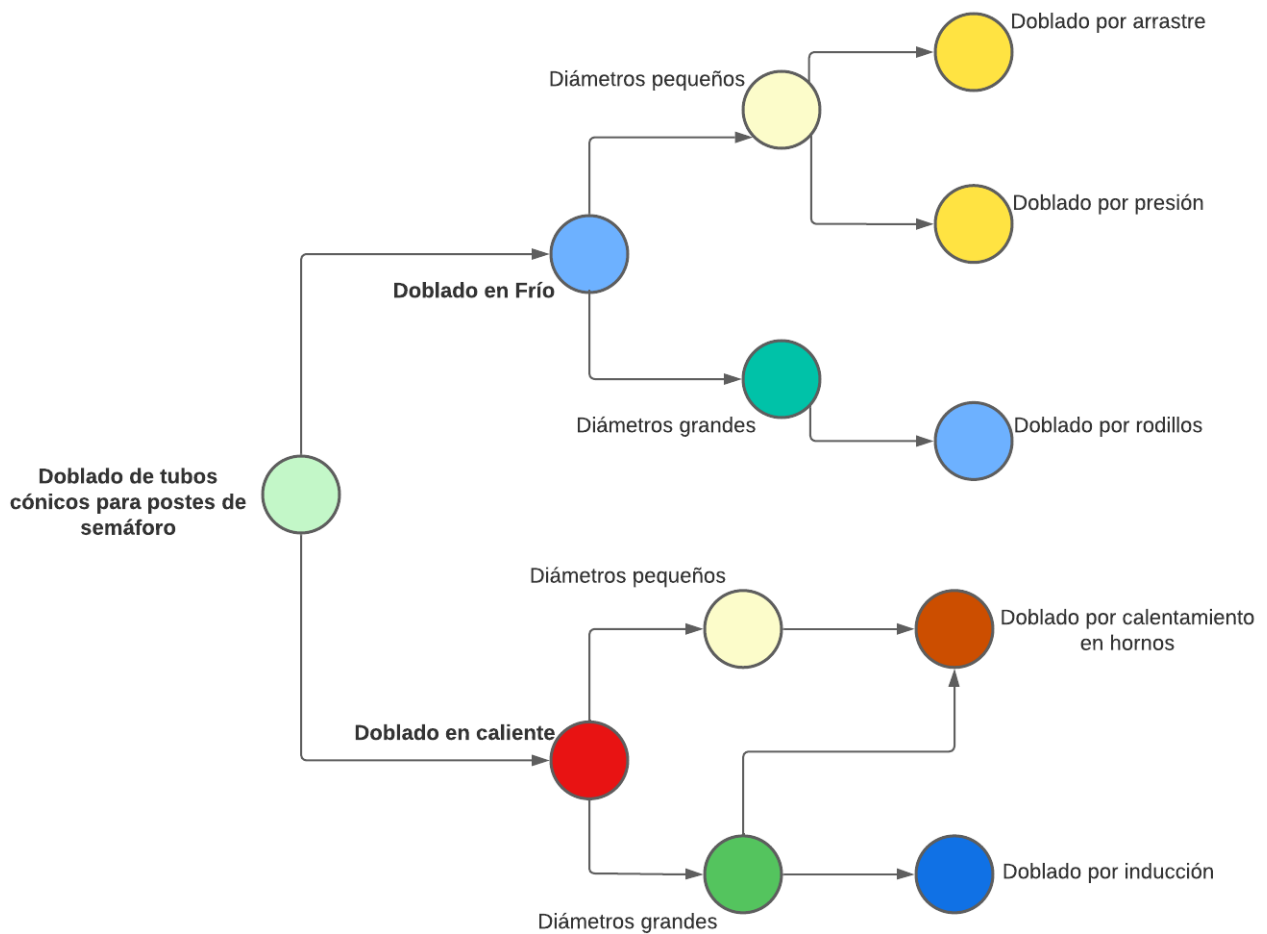
#### ■ Planteamiento sobre los métodos de doblado

Dentro del ámbito del doblado de tubos existen diversos métodos por los cuales se puede

realizar el doblado del mismo, cada uno con características propias o combinación de estas, por medio de la figura 20 se exponen los posibles métodos de doblado a utilizar en el diseño de la maquinaria.

**Figura 20**

*Árbol de decisión.*



**Nota:** Árbol de decisión referente a los métodos de doblado existentes para tuberías.

■ **Análisis**

Se propone 3 diferentes diseños para realizar el doblado de tubos de semáforos de tipo látigo, de los cuales se realizará un análisis de rendimiento y eficiencia en el doblado de

los tubos. Además, se precisará los costos, seguridad, desempeño y confiabilidad, de los cuales se construirá una matriz de decisión para identificar la opción más factible.

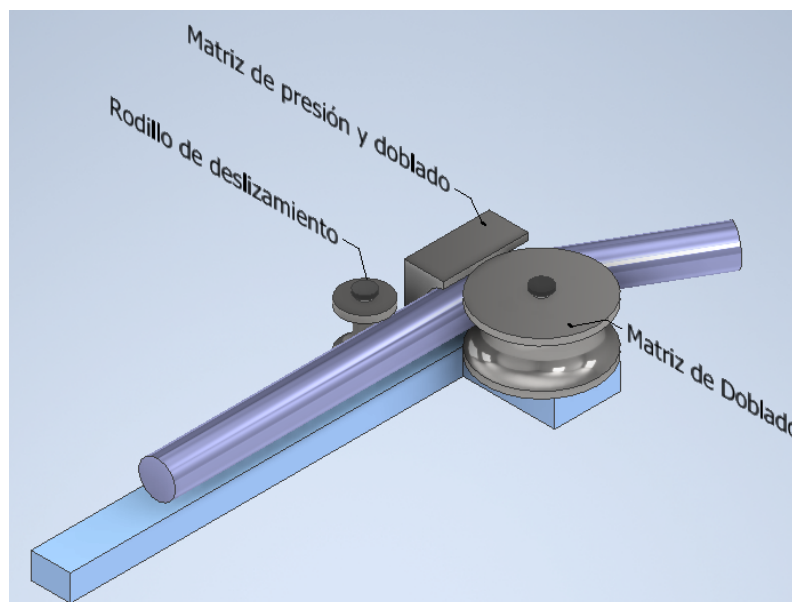
- **Selección de prototipos**

### **Diseño 1**

Para el doblado se presenta 4 matrices: matriz de anclaje, matriz de presión, matriz de deslizamiento y matriz de doblado. El proceso de doblado consiste en que la matriz de anclaje sujeta al tubo contra la matriz de doblado, y estas rotan simultáneamente para dar la curvatura, además, la matriz de deslizamiento es la encargada de arrastrar el resto del tubo mientras se produce el doblado con el fin de evitar irregularidades como rugosidades en la zona curva del tubo. Ver Figura 21.

**Figura 21**

*Propuesta 1.*



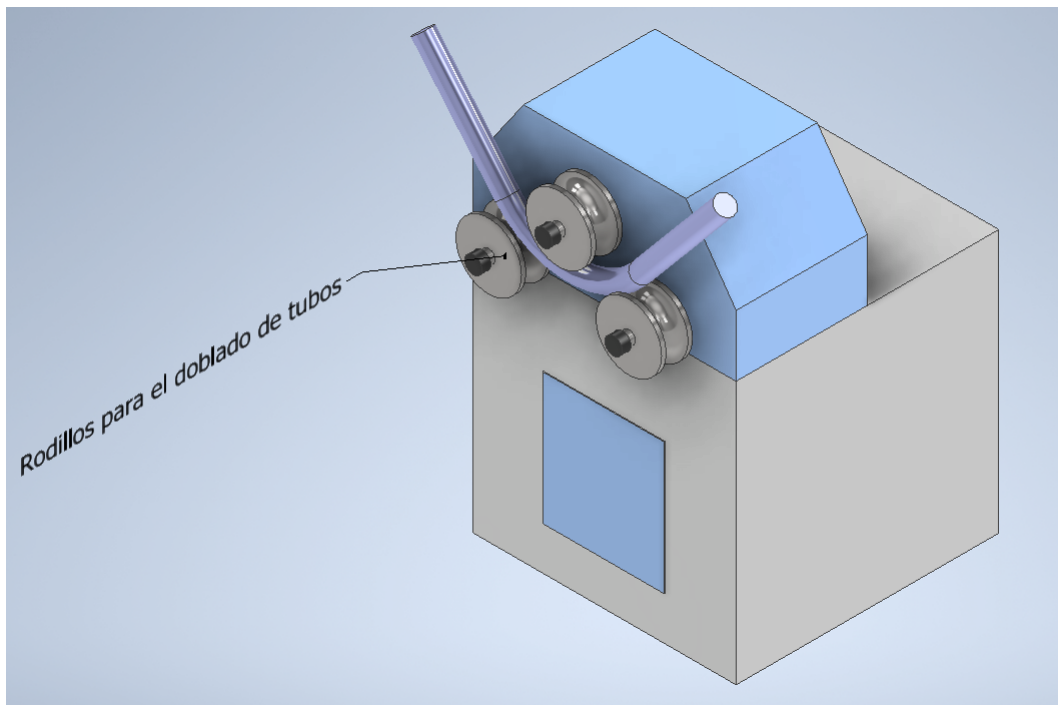
**Nota:** Doblado de tubos por arrastre. Norton (2014)

### **Diseño 2**

Este diseño consiste en un mecanismo de 3 rodillos ubicados en forma de pirámide, el funcionamiento consiste en que cada rodillo aplicará una cantidad variable de presión para de esta forma dar la curvatura deseada al tubo. Cabe recalcar que para conseguir el doblado deseado y para una mejor precisión se debe realizar varias pasadas, dependiendo del radio deseado, el material y el espesor del tubo. Ver Figura 22.

**Figura 22**

*Propuesta 2.*



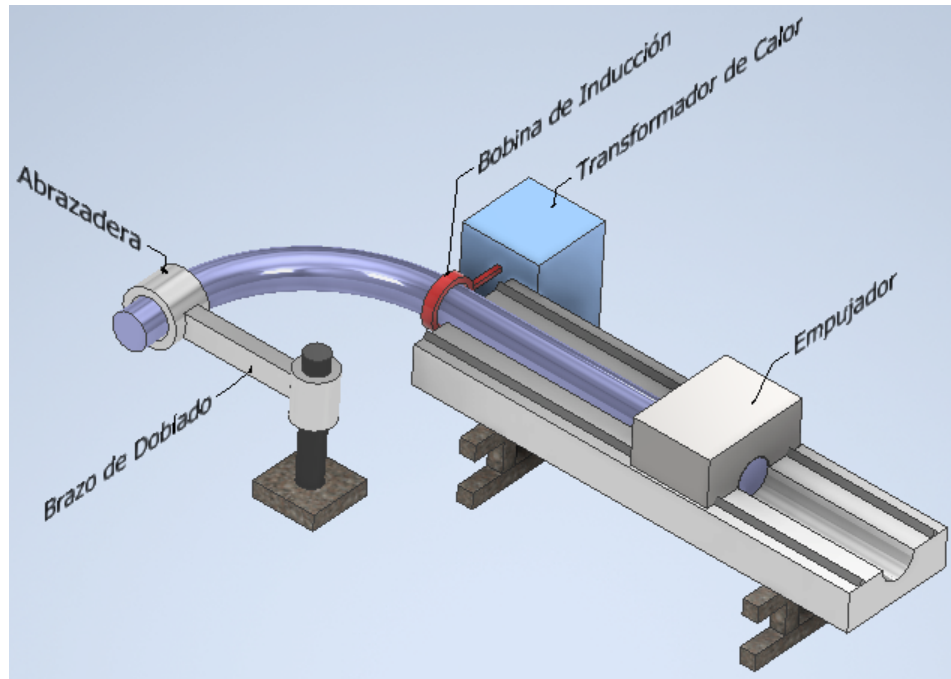
**Nota:** Doblado de tubos por rodillos. M. Groover (2007)

**Diseño 3**

Para este diseño se aplica calor en la sección tubular mediante una muelle inductor, esta se calienta en un rango de 850°C a 1100°C. Con la ayuda de una brazo de doblado y una abrazadera se ajusta el ángulo que se desea del tubo, para de esta forma, mediante el empujador proceder a deslizar el tubo conforme el brazo va dando el radio. Ver Figura 23.

## Figura 23

Propuesta 3.



**Nota:** Doblado de tubos por inducción. Mohinder L Nayyar (2000)

### 6.1.3. Matriz de decisión

La construcción de la matriz de decisión se lleva a cabo mediante una numeración en la cual se clasifica cada diseño en una escala, la cual varía entre 1 y 10, siendo 1 menos conveniente y 10 lo óptimo. Hay que tener presente que esta es una calificación subjetiva.

Una vez examinados todos los diseños se debe elegir una calificación para cada uno. Para obtener un rango general de cada diseño; de esta manera poder elegir el óptimo para nuestro sistema. A continuación en la tabla 2 observamos la matriz de decisión realizada.

**Tabla 2***Matriz de Decisión.*

|                              | <b>Costo</b> | <b>Seguridad</b> | <b>Desempeño</b> | <b>Confiabilidad</b> | <b>Rango</b> |
|------------------------------|--------------|------------------|------------------|----------------------|--------------|
| <b>Factor de Ponderación</b> | 35           | 30               | 15               | 20                   | 1,0          |
| <b>Propuesta 1</b>           | 3<br>1,05    | 5<br>1,5         | 7<br>1,05        | 7<br>1,40            | 5,00         |
| <b>Propuesta 2</b>           | 5<br>1,75    | 6<br>1,8         | 6<br>0,9         | 8<br>1,6             | 6,05         |
| <b>Propuesta 3</b>           | 5<br>1,75    | 7<br>2,1         | 9<br>1,35        | 9<br>1,8             | 7,00         |

Por medio de los resultados obtenidos en la tabla 2, podemos observar que la propuesta 3 para el diseño mecánico de la maquinaria alcanza un rango de 7, un valor superior con relación a las otras propuestas de diseño. De esta manera se toma en cuenta en desarrollar un diseño para la máquina dobladora de tubos en base a la propuesta 3, la misma que consiste en una dobladora por inducción como podemos observar en la figura 18.

#### 6.1.4. Diseño de la maquinaria

Para iniciar con el el proceso de diseño de la maquinaria es necesario identificar los diferentes componentes del mecanismo, tomando como referencia la figura 13, en donde se ha optado por dividir en 3 diferentes módulos, como se pueden observar en las siguientes tablas:

**Tabla 3***Módulo 1: Caballete para la tubería.*

| <b>COMPONENTE</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|-------------------|--|
| Caballete         | Es una estructura metálica la cual permite el soporte y guía del perfil tubular hacia muelle inductor y la abrazadera de perfil. |
| Carro guía        | Esta sistema permite el movimiento del perfil tubular sobre el caballete a la misma velocidad de motor de brazo de doblado.      |

**Tabla 4***Módulo 2: Matriz de Doblado.*

| <b>COMPONENTE</b>              | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|--------------------------------|--|
| Abrazadera de perfil           | Realiza la sujeción de uno de los extremos del perfil tubular hacia la matriz de doblado, para que permita realizar el respectivo doblado del tubo cónico.   |
| Brazo de doblado               | Permite transmitir el movimiento de rotación generado por el motor hacia el extremo del perfil tubular previamente sujetado por la abrazadera.   |
| Abrazadera de brazo de doblado | Este componente permite la sujeción del brazo de doblado y se encuentra acoplado sobre el motor, además permite su regulación con relación al radio de doblado deseado.                                  |
| Motor de doblado               | Elemento el cual genera aun fuerza para realizar el doblado conjunto con el brazo de doblado y la abrazadera, de igual permite determinar el ángulo de doblado que se desea realizar.                    |
| Carro transversal              | Elemento en el cual se encuentra montado el motor, el brazo de doblado y la abrazadera, el cual permite un movimiento transversal con relación el eje neutro, permitiendo regular el radio de curvatura. |
| Base de matriz de doblado      | Permite el movimiento lineal del Carro transversal según el radio de curvatura a realizar. Siendo este el soporte general de toda la matriz de doblado.  |

**Tabla 5***Módulo 3: Sistema de Inducción.*

| <b>COMPONENTE</b>         | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|---------------------------|---|
| Muelle Inductor           | Permite realizar el calentamiento sobre la superficie tubular para facilitar el doblado. Esta debe generar una temperatura adecuada según el tipo de material a doblar. |
| Gabinete de calentamiento | Dentro de este elemento se encuentra los componentes y circuitos necesarios para el control del muelle inductor.  |

Una vez establecido los diferentes módulos necesarios para el funcionamiento de la maquinaria, se inicia con el diseño de cada una de estas iniciando por el módulo 1.

### 6.1.5. Módulo 1: Caballete para la tubería

- **Carro guía:**

Para realizar el diseño del carro guía que permite el movimiento de traslación de la tubería, se realizaron los respectivos cálculos estáticos referentes a las reacciones generadas por la tubería a doblar como se puede observar en la figura 24.

**Figura 24**

*Carro guía.*



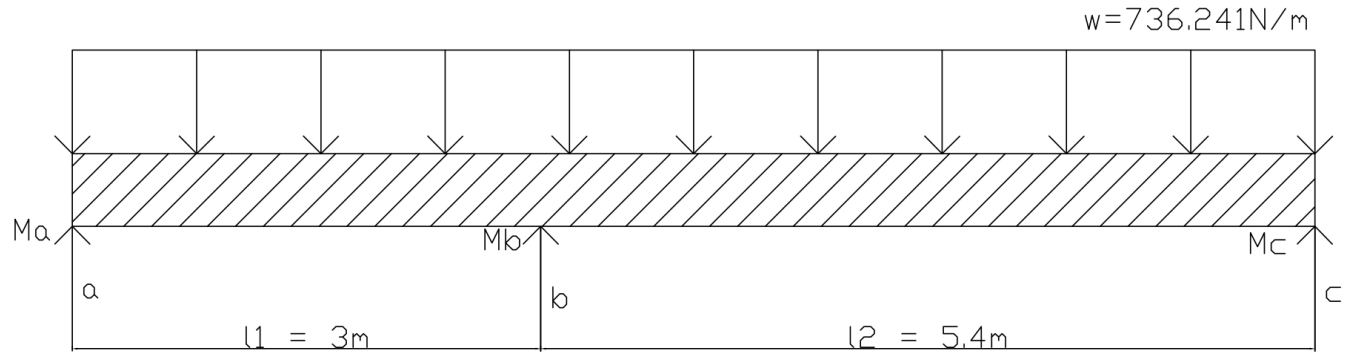
**Nota:** Modelado del carro guía utilizado para el movimiento del tubo cónico.

Tomando en cuenta estos aspectos se procede a realizar el cálculo de las reacciones de apoyo de la tubería como se puede observar en la figura 25.



**Figura 25**

*Diagrama de cuerpo libre.*



**Nota:** Diagrama de cuerpo libre, componentes y datos necesarios para realizar el cálculo.

Para poder realizar el cálculo se aplicó la ecuación general de los 3 momentos como se menciona en el libro de mecánica de materiales de Ferdinand P. Beer (2010), donde se dice que:

$$M_a \times l_1 + 2 \times M_b (l_1 + l_2) + M_c \times l_2 = -R - L \quad (9)$$

Tomando en cuenta que:

$$R = L \rightarrow \text{para carga distribuida} \rightarrow \frac{1}{4} \times w \times l^3 \quad (10)$$

Según como establece la teoría de este método de solución se toma en consideración que tanto  $M_a$  y  $M_c$  son igual a cero, definido esto se proceder a realizar al cálculo por medio de dicha ecuación, sustituyendo los datos conocidos dentro de la ecuación 9.

$$0 * (3) + 2 * M_b (3 + 5,4) + 0 * (5,4) = -\frac{1}{4} - (736,241 * 3^3) - \frac{1}{4}(736,241 * 5,4^3)$$

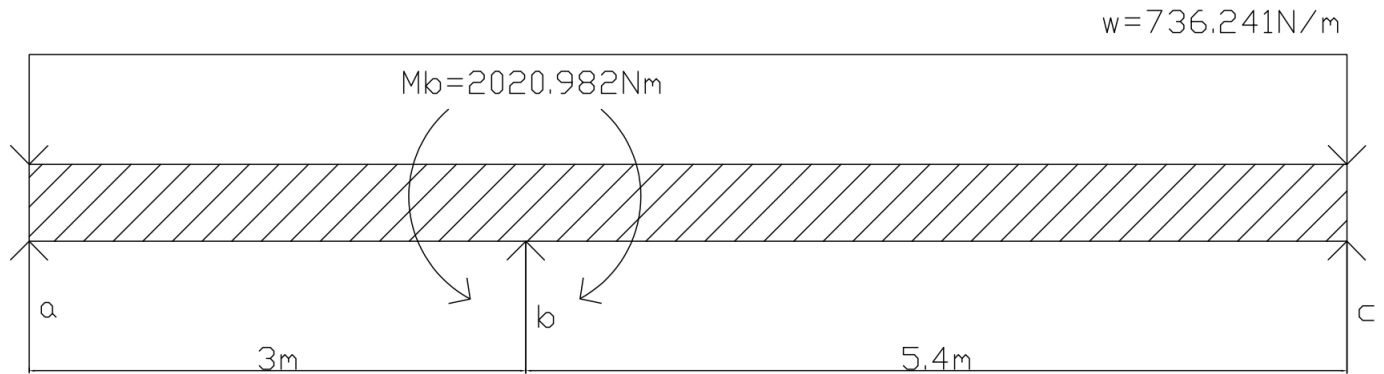
$$16,8 * M_b = -4\,969,627 - 28\,982,863$$

$$M_b = -2\,020,982 \text{ Nm}$$

De esta manera se logra calcular el valor del Momento que existe en el apoyo b, el mismo que es de  $-2\ 020,982\ N * m$  como se puede observar en la figura 26

**Figura 26**

*Momento del apoyo b.*

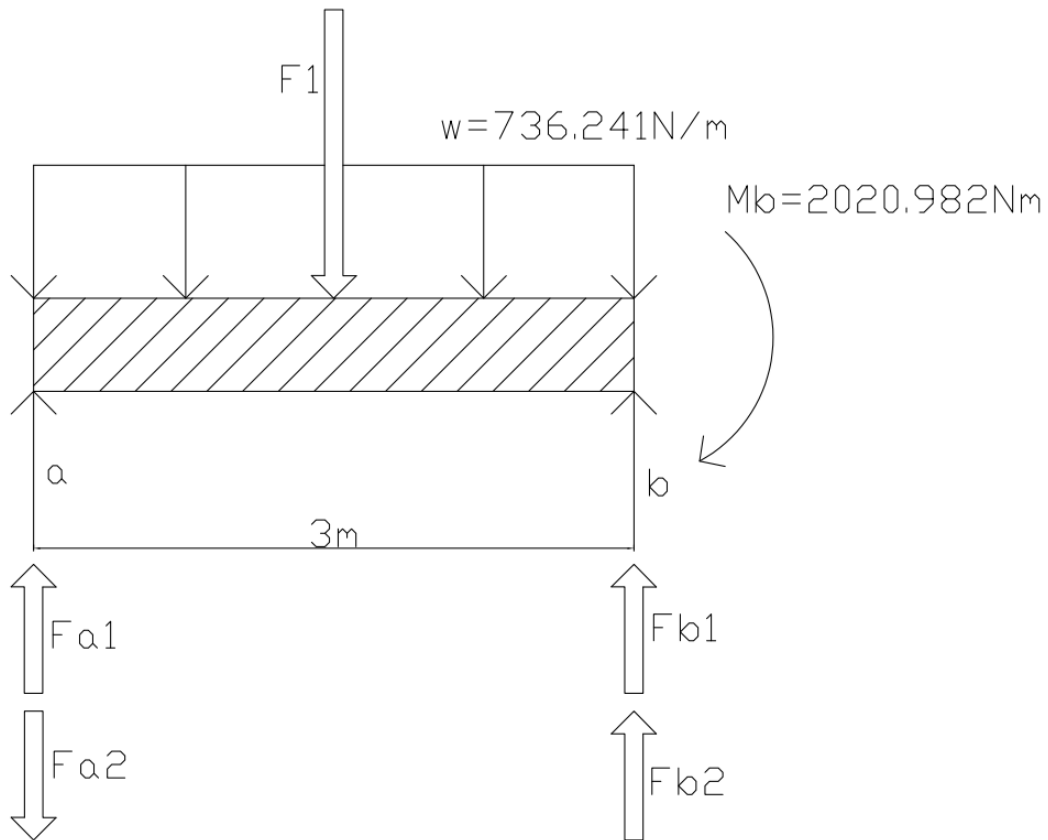


**Nota:** Dentro del diagrama de cuerpo libre se puede observar representada el momento que se genera en el apoyo b

Conociendo el valor de este momento, se puede realizar un cálculo el cual permitirá encontrar las fuerzas generadas por los apoyos a - b, para ello tomamos en cuenta el siguiente diagrama de cuerpo libre como se observa en la figura 27.

**Figura 27**

*Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones a - b.*



**Nota:** Diagrama de cuerpo libre de una sección de la tubería que va desde el apoyo a hasta el apoyo b

Ya establecidas las direcciones de las fuerzas generadas en los apoyos se procede a cuantificar el valor que deben poseer cada una de estas.

$$F_1 = w \times l_1 \quad (11)$$

$$F_1 = 736,241 \times 3$$

$$F_1 = 2\,208,723 \text{ N}$$

$$F_{a1} = \frac{F_1}{2} \quad (12)$$

$$F_{a1} = \frac{2\,208,723}{2}$$

$$F_{a1} = 1\,104,362 \text{ N}$$

$$F_{b1} = \frac{F_1}{2} \quad (13)$$

$$F_{b1} = \frac{2\,208,723}{2}$$

$$F_{b1} = 1\,104,362 \text{ N}$$

$$F_{b2} = \frac{M_b}{l_1} = F_{a2} \quad (14)$$

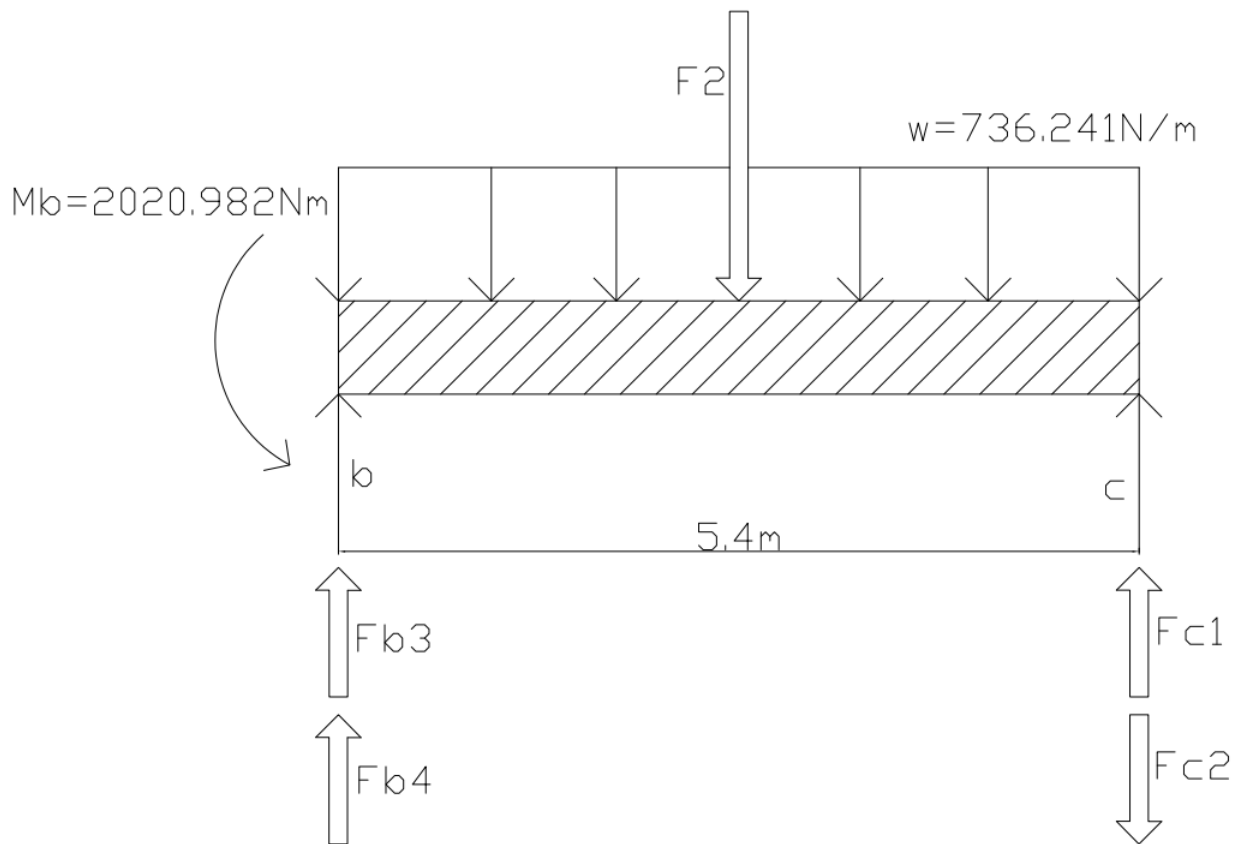
$$F_{b2} = \frac{2\,020,982}{3}$$

$$F_{b2} = 673,661 \text{ N} = F_{a2}$$

Se repite nuevamente este proceso para el caso de la sección de tubería faltante, esto sería desde el apoyo b hasta el apoyo c como se puede observar en la figura 28

**Figura 28**

*Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones b - c.*



**Nota:** Diagrama de cuerpo libre de una sección de la tubería que va desde el apoyo b hasta el apoyo c

Ya establecidas las direcciones de las fuerzas generadas en los apoyos se procede a cuantificar el valor que deben poseer cada una de estas.

$$F_2 = w \times l_2 \quad (15)$$

$$F_2 = 736,241 \times 5,4$$

$$F_2 = 3\,975,701 \text{ N}$$

$$F_{b3} = \frac{F_2}{2} = F_{c1} \quad (16)$$

$$F_{b3} = \frac{3975,701}{2}$$

$$F_{b3} = 1\,987,851 \text{ N} = F_{c1}$$

$$F_{b4} = \frac{M_b}{l_2} = F_{c2} \quad (17)$$

$$F_{b4} = \frac{2\,020,982}{5,4}$$

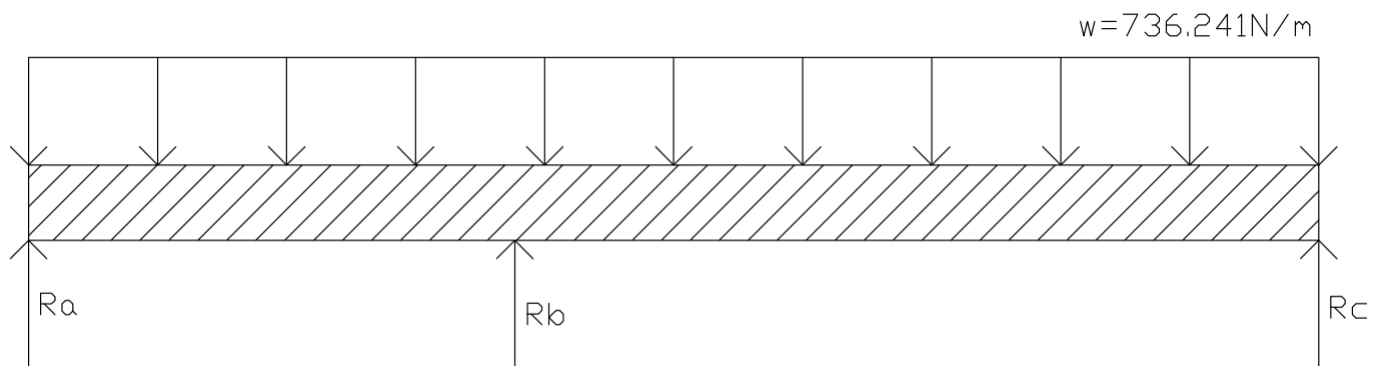
$$F_{b4} = 374,256 \text{ N}$$

$$F_{c2} = 374,256 \text{ N}$$

Una vez cuantificados los valores de las fuerzas generadas en los apoyos se proceden a operar para poder obtener los valores de cada una de sus reacciones como se puede observar en la figura 29.

### Figura 29

*Diagrama de cuerpo libre entre las reacciones resultantes.*



**Nota:** Diagrama de cuerpo libre de las reacciones resultantes necesarias para el equilibrio estático.

Siendo la ecuación 18 las reacciones generadas en el apoyo a, la ecuación 19 las reacciones en b y la ecuación 20 las reacciones del apoyo c.

$$R_a = F_{a1} - F_{a2} \quad (18)$$

$$R_a = 1\,104,362 - 673,661$$

$$R_a = 430,701 \text{ N}$$

$$R_b = F_{b1} + F_{b2} + F_{b3} + F_{b4} \quad (19)$$

$$R_b = 1\,104,362 + 673,661 + 1\,987,851 + 374,256$$

$$R_b = 4\,140,13 \text{ N}$$

$$R_c = F_{c1} - F_{c2} \quad (20)$$

$$R_c = 1\,987,851 - 374,256$$

$$R_c = 1\,613,595 \text{ N}$$

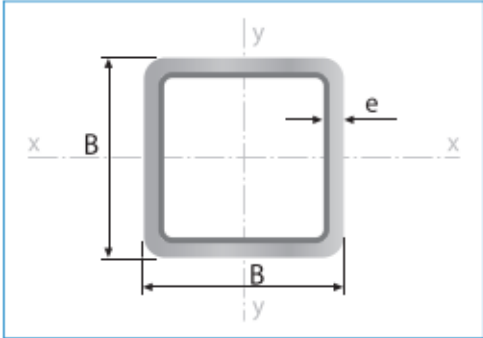
Conociendo las reacciones generadas por los puntos de apoyo para sostener la tubería se procede a realizar el análisis de la deformación total generada por la tubería sobre la estructura cuadrada correspondiente al carro guía. Las medidas y características de esta tubería están tomadas del catálogo de productos y servicios de la empresa IPAC Acero (2023) como se puede observar en la figura 30.

**Figura 30**

*Datos de la tubería estructural cuadrada.*

| Designaciones | Área | Peso            | Propiedades Estáticas |                       |                 |      |
|---------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|------|
|               |      |                 | Eje x-x = y-y         |                       |                 |      |
|               |      |                 | Momento de inercia    | Módulo de resistencia | Radio de giro   |      |
| B             | e    | A               | P                     | I                     | W               | i    |
| mm            | mm   | cm <sup>2</sup> | kg/m                  | cm <sup>4</sup>       | cm <sup>3</sup> | cm   |
| 70            | 1,50 | 4,05            | 3,18                  | 31,46                 | 8,99            | 2,79 |
|               | 1,80 | 4,83            | 3,79                  | 37,09                 | 10,60           | 2,77 |
|               | 2,00 | 5,34            | 4,19                  | 40,73                 | 11,64           | 2,76 |
|               | 2,50 | 6,59            | 5,17                  | 49,43                 | 14,12           | 2,74 |
|               | 3,00 | 7,81            | 6,13                  | 57,56                 | 16,45           | 2,72 |
|               | 4,00 | 10,15           | 7,97                  | 72,22                 | 20,64           | 2,67 |



**Largo Normal:**  
6 metros

**Recubrimiento:**  
Negro o Galvanizado

**Norma de Calidad:**  
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50

**Norma de Fabricación:**  
ASTM A 500/ NTE INEN 2415

**Espesores:**  
Desde 1,40 a 6,00 mm

**Observaciones:**  
Otras dimensiones y largos, previa consulta

**Nota:** Datos de la tubería estructural cuadrada, de las cuales se seleccionó la tubería con un espesor de 2 mm. IPAC Acero (2023)

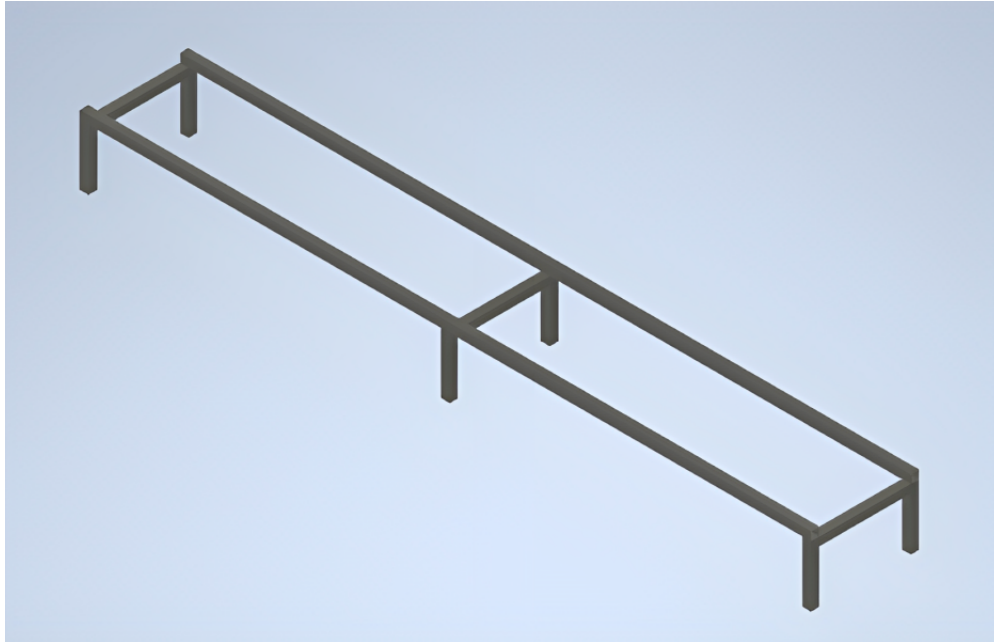
■ **Caballote:**

Este elemento es una estructura metálica diseñada para soportar las cargas generadas por el carro guía y el perfil tubular cónico. Ver figura 31.



### Figura 31

*Caballete estructural.*



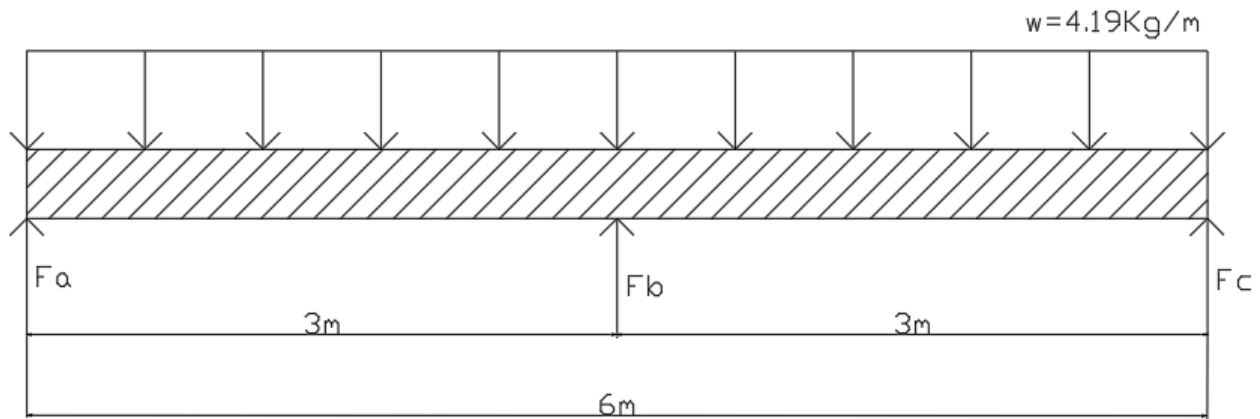
**Nota:** Modelado de la estructura de soporte principal de la tubería cónica. IPAC Acero (2023)

Para el modelado y análisis de este elemento se utilizó el perfil estructural cuadrado de 70 *mm* de lado y un espesor de 2 *mm* como se puede observar en la figura 30.

A continuación se realiza el cálculo de equilibrio de fuerzas de la estructura, tomando como referencia el diagrama de la figura 32.

**Figura 32**

*Diagrama de cuerpo libre de fuerzas.*



**Nota:** Diagrama de cuerpo libre del equilibrio estático de fuerzas del caballete estructural.

Para ello se tomará en cuenta los pesos que se encuentran soportando, como primer punto el peso de la viga.

$$m_{viga} = 6 \text{ m} \times 4,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m_{viga} = 25,15 \text{ kg}$$

$$P_{viga} = 25,15 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{viga} = 246,6234 \text{ N}$$

Procedemos a calcular el valor del peso generado por el carro guía y del tubo a soportar.

$$m_{carro \text{ guía}} = 3,64 \text{ m} \times 4,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 0,75 \text{ m} \times 4,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m_{carro \text{ guía}} = 15,252 \text{ kg} + 3,143 \text{ kg}$$

$$m_{carro \text{ guía}} = 18,394 \text{ kg}$$

$$P_{\text{carro guía}} = 18,394 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{carro guía}} = 180,446 \text{ N}$$

$$P_{\text{tubería}} = 75,05 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{tubería}} = 736,2405 \text{ N}$$

Procedemos a realizar la sumatorias de fuerzas para conocer el valor de sus resultantes, además, se debe tomar en cuenta que el valor del peso del carro guía y de la tubería de deben dividir a la mitad, ya que se asienta sobre estas dos estructuras.

$$F_T = P_{\text{viga}} + \frac{P_{\text{carro guía}}}{2} + \frac{P_{\text{tubería}}}{2}$$
$$F_T = 246,6234 \text{ N} + \frac{180,446}{2} \text{ N} + \frac{736,2405}{2} \text{ N}$$

$$F_T = 704,966 \text{ N}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_a + F_b + F_c = F_T$$

Donde:

$$F_a = F_b = F_c$$

$$F_a = \frac{F_T}{3}$$

$$F_a = \frac{704,966}{3} \text{ N}$$

$$F_a = 234,988 \text{ N} = F_b = F_c$$

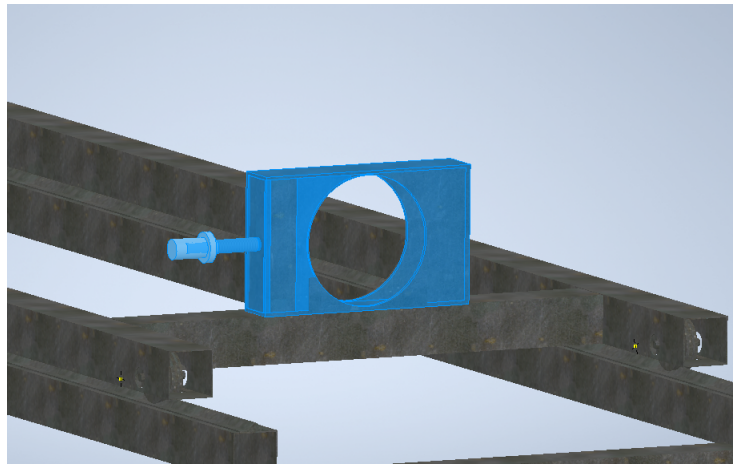
Siendo el valor de  $F_a$ ,  $F_b$  y  $F_c$  las fuerzas generadas por la reacciones de apoyo de la viga principal de la estructura, donde se desplaza el carro guía conjunto con la tubería cónica a doblar.

- **Abrazadera / Empujador:**

Este elemento será el encargado de la sujeción del tubo para el empuje, el mismo está ubicado al final del carro móvil, como se puede observar en la figura 33.

**Figura 33**

*Abrazadera/Empujador.*



**Nota:** Abrazadera / Empujador ubicado al final del carro móvil para la sujeción del tubo.

Este elemento está conformado por 3 partes, una abrazadera externa (Figura 34) que va a estar como su nombre lo indica en la parte exterior, la siguiente es una abrazadera (Figura 35) que va a estar en la parte interna de la abrazadera externa, y mediante un tornillo (Figura 36) el cual realiza el ajuste de esta al tubo.

**Figura 34**

*Abrazadera/Empujador Externo.*



**Nota:** Abrazadera / Empujador parte externa del conjunto.

**Figura 35**

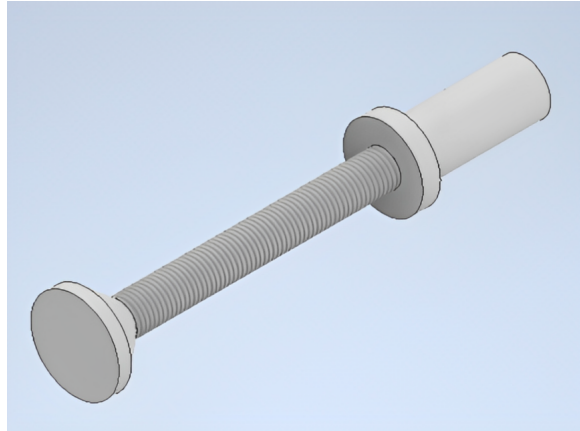
*Abrazadera/Empujador Interno.*



**Nota:** Abrazadera / Empujador parte interna del conjunto

### Figura 36

*Tornillo de ajuste.*



**Nota:** Tornillo para el ajuste de la abrazadera hacia el tubo.

El método utilizado para la fabricación de estos elementos es en fundición aleada con 7% de aluminio.

#### 6.1.6. Módulo 2: Matriz de Doblado

Dentro del segundo módulo, correspondiente a la matriz de doblado, se encuentran componentes tales como:

- **Abrazadera de perfil cónico:**

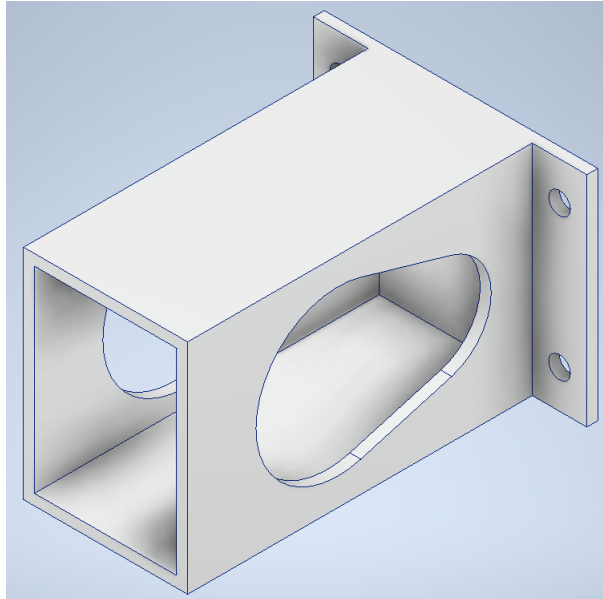
La abrazadera está compuesta por 4 componentes:

- **Mordaza externa:**

Es la encargada de soportar a la mordaza interna; la mordaza externa está diseñada para ajustar diámetros desde los 75 mm hasta 150 mm. El método a utilizar para la elaboración es fundición aleada con 7% de aluminio. Ver figura 37.

### **Figura 37**

*Mordaza Externa.*



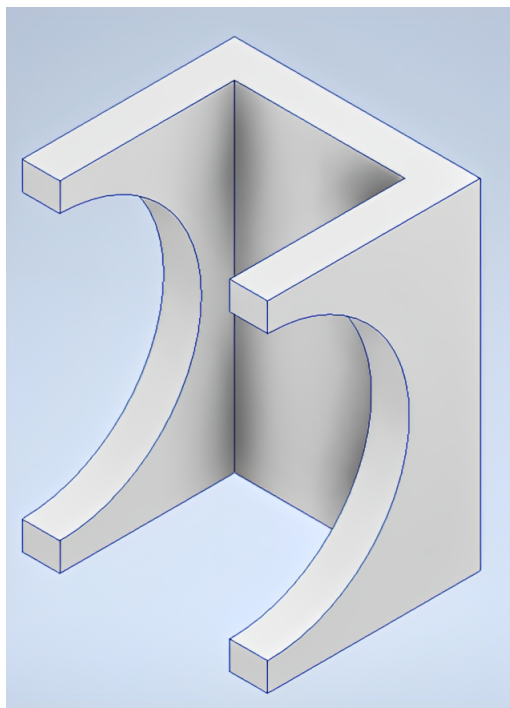
**Nota:** Modelado de la mordaza externa en Inventor.

- **Mordaza interna:**

Este componente será el que complementa a la mordaza externa para la sujeción del perfil cónico, la misma será elaborada mediante el método de fundición aleada con 7% de aluminio. Ver figura 38.

### Figura 38

*Mordaza Interna.*



**Nota:** Modelado de la mordaza interna en Inventor.

Además, en el interior de las mordazas, tanto interna como externa, se procederá a colocar cojinetes en forma de media luna con el fin de evitar desgaste en las mordazas, también para evitar que el perfil cónico sufra alteraciones en el material ya sea rayaduras, deformaciones, etc. debido al ajuste.

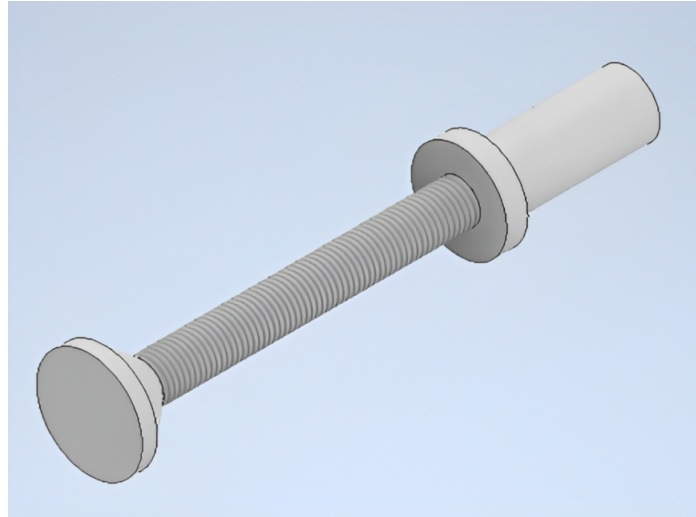
- **Tornillos de Ajuste:**

Los tornillos de ajuste serán 2, los cuales son los encargados del apriete de la mordaza interna hacia la mordaza externa, para poder fijar el perfil cónico. Se utilizará procesos CAV para la elaboración de los tornillos de ajuste y el material será en Aluminio 6061. Ver figura 39.



### Figura 39

*Tornillo de Ajuste.*



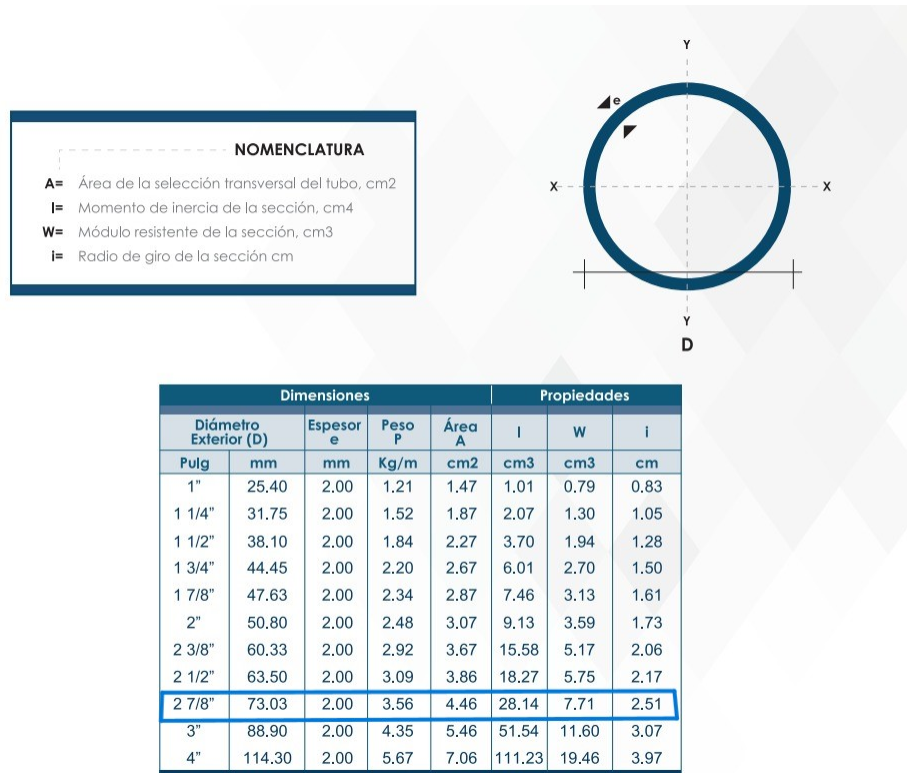
**Nota:** Modelado del tornillo de ajuste en Inventor.

- **Brazo de doblado:**

Para el brazo de doblado, se ha procedido a elegir una tubería estructural redonda, conforme a las dimensiones de la matriz, las medidas y características de la tubería están tomadas del catálogo de productos y servicios de la empresa DIPAC (2022) como se puede ver en la figura 40.

## Figura 40

Datos de la tubería estructural redonda.

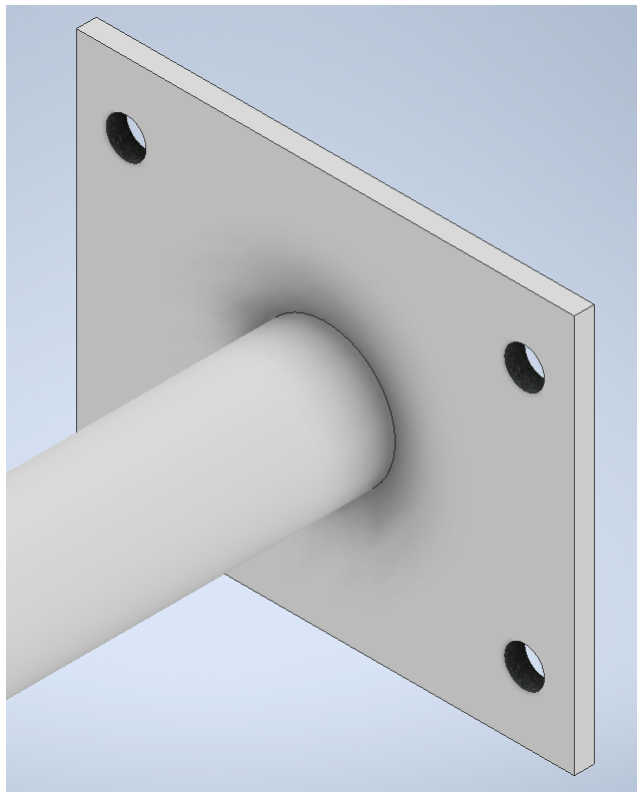


**Nota:** Datos de la tubería estructural redonda, de las cuales se seleccionó la tubería con un diámetro de 73.03 mm y un espesor de 2 mm. DIPAC (2022)

A un extremo de la tubería se procederá a soldar una platina de acero estructural de dimensiones  $250 \times 200 \times 10 \text{ mm}$  la cual tendría una serie de 6 agujeros para poder realizar la unión entre la abrazadera de perfil cónico y el brazo de doblado. Ver figura 41.

### Figura 41

*Platina de sujeción.*



**Nota:** Platina de 6 agujeros para la sujeción de la abrazadera de perfil cónico.

En conjunto de este componente se acopla la abrazadera de perfil cónico por medio de 6 pernos, los mismos que se encuentran sometidos a un esfuerzo cortante, para ello se realiza su respectivo cálculo como lo surgiere Joseph E. Shigley (2008), donde de se tomar en cuenta la distancia de zona de agarre, la cual es de 20 *cm* y el tipo de perno a utilizar es un perno M20.

Además se debe considerar la carga que van a soportar, siendo estas la carga generada por el tubo cónico y la abrazadera del perfil, de esta manera se obtiene:

$$Pesor_T = 83,071 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Pesor_T = 814,93 \text{ N}$$

A continuación procedemos a dimensionar el tipo de perno tomando como referencia la tabla 8.2 del libro de Joseph E. Shigley (2008).

- Longitud de Perno:

$$50 \text{ mm} \rightarrow \text{Fraccionado} = 50 \text{ mm}$$

- Longitud de Rosca:

$$L_T = 2 \times d + 6 = 2 \times (20) + 6 = 46 \text{ mm}$$

- Diámetro nominal

$$I_d = 50 - 46 = 4 \text{ mm}$$

- Área esfuerzo tensión

$$A_t = 245 \text{ mm}^2$$

- Paso

$$2,5 \text{ mm}$$

- Área diámetro mayor

$$A_d = \pi \times \frac{dn^2}{4}$$

$$A_d = \pi \times \frac{20^2}{4} \rightarrow 314,159 \text{ mm}^2$$

Una vez obtenidos estos datos se procede a realizar el cálculo de la rigidez del perno tomando como referencia la ecuación 21.

$$K_b = \frac{Ad \times At \times E}{(Ad \times lt) + (At \times ld)} \quad (21)$$

$$K_b = \frac{314,159 \times 245 \times 207}{(314,129 \times 46) + (245 \times 4)}$$

$$K_b = 1,125 \text{ MPa}$$

Una vez conociendo el valor de la rigidez del perno a utilizar, se procede a calcular su esfuerzo cortante aplicado sobre el mismo, conociendo que:

$$Esfuerzo\ cortante = \frac{Fuerza\ Cortante}{Área\ del\ perno} \quad (22)$$

Donde:

- Fuerza cortante: es la magnitud de la fuerza que actúa sobre el perno.
- Área del perno: es el área de la sección transversal del perno.

$$Esfuerzo\ cortante = \frac{814,93\ N}{314,159\ mm^2}$$

$$Esfuerzo\ cortante = 2,59\ \frac{N}{mm^2}$$

$$Esfuerzo\ cortante = 2,59\ MPa$$

Ahora se procede a calcular el número de pernos a utilizar para que resista al esfuerzo cortante calculado

$$K_b \times \text{número de pernos} > Esfuerzo\ Cortante$$

$$1,125\ MPa \times 4 > 2,59\ MPa$$

$$4,5\ MPa > 2,59\ MPa$$

Para este caso se utilizan 4 pernos para poder soportar la carga aplicada sobre los mismos.

■ **Abrazadera brazo de doblado:**

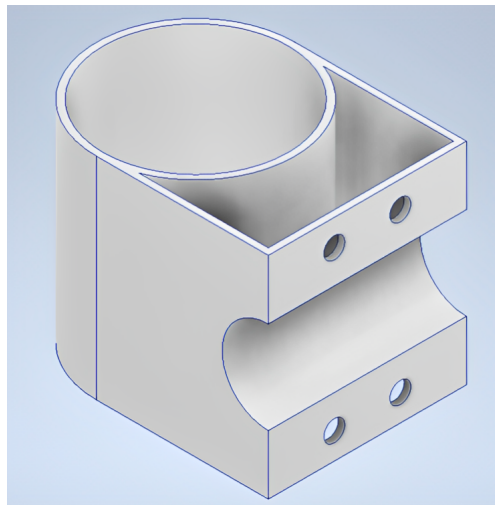
Esta abrazadera es la encargada de sujetar al brazo de doblado, teniendo presente que se dividirá en dos partes: la primera sería la que se sujeta al carro transversal o mordaza

lateral izquierda (Ver figura 42); y la segunda parte el complemento de la abrazadera, para realizar la sujeción del brazo de doblado (Ver figura 43).

Para la construcción de los 2 componentes se utilizará el método de fundición aleada con 7% de aluminio.

**Figura 42**

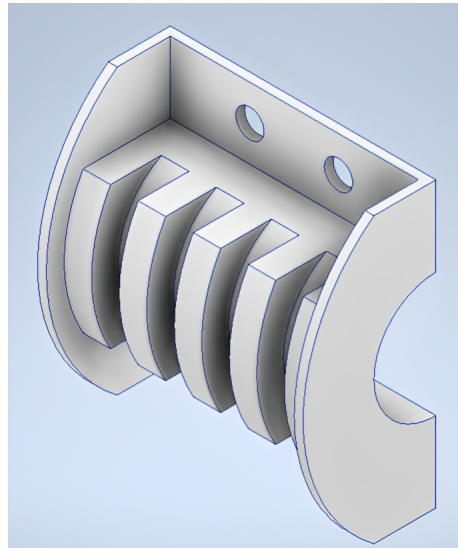
*Mordaza lateral izquierda.*



**Nota:** Mordaza lateral izquierda para sujeción del brazo de doblado.

### Figura 43

*Mordaza lateral derecha.*



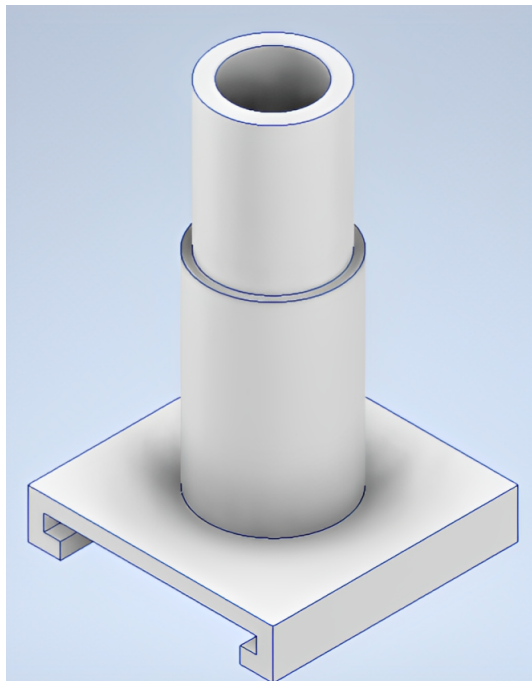
**Nota:** Mordaza lateral derecha para sujeción del brazo de doblado.

#### ■ Carro transversal:

Para el carro transversal de la misma manera se utilizará el método de fundición aleada con 7% de aluminio. Este componente se encargará de dar el radio de curvatura para el poste, varía de 800 mm a 2400 mm. Ver figura 44.

## Figura 44

*Carro transversal.*



**Nota:** Carro transversal encargado del radio de curvatura del poste.

El movimiento transversal del carro se lo realiza mediante un eje roscado, el cual está situado en la base de la matriz de doblado. Ver figura 45.

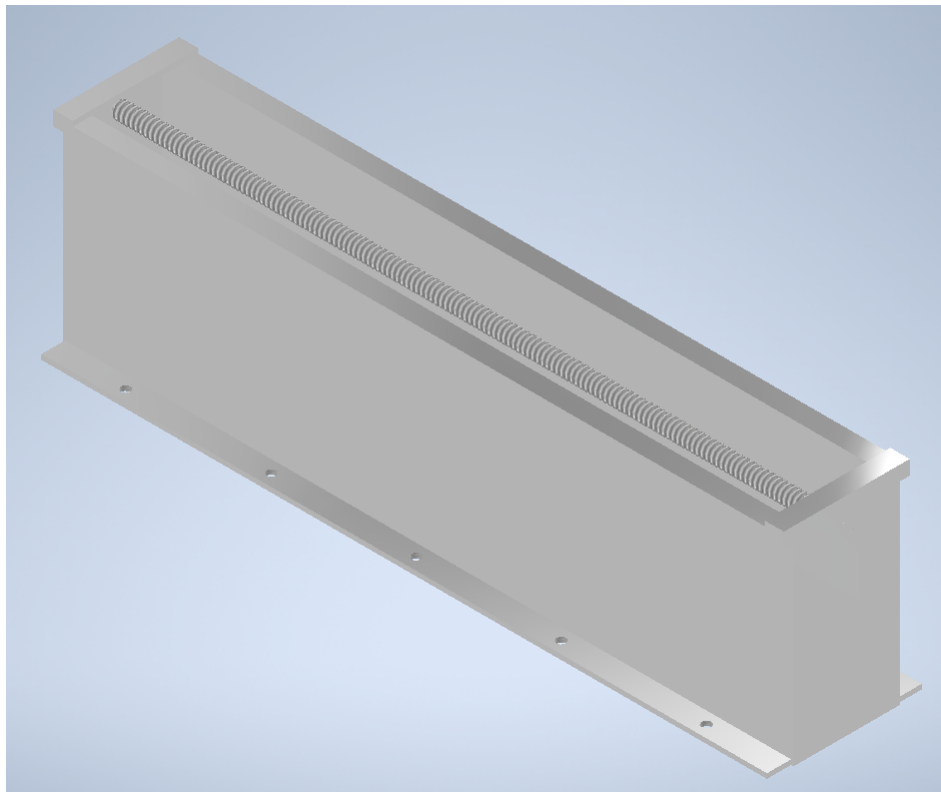
### ■ Base matriz doblado:

La base de matriz de doblado es un elemento muy importante ya que en este se va a colocar todos los componentes acoplados y descritos anteriormente, el material de la misma será construida mediante el método de fundición aleada con 7% de aluminio. En esta estará el eje roscado el cual dará el movimiento transversal al carro. Ver figura 45.



## Figura 45

*Base matriz doblado.*



**Nota:** Base para la matriz o módulo de doblado.

## 6.2. Propuesta eléctrica

Dentro de la Propuesta eléctrica a plantear se tomara en cuenta el Módulo 3 correspondiente al sistema de inducción que se necesitará emplear. Así también el dimensionamiento y selección del motor que se necesitará emplear para el funcionamiento de la máquina.

### 6.2.1. Módulo 3: Sistema de Inducción

En el sistema de inducción se encuentra uno de los componentes más importantes de la máquina la cual nos permitirá el calentamiento de las determinadas zonas del perfil cónico previo al su doblado, el mismo es:

■ **Muelle Inductor:**

Para poder realizar el doblado en caliente de un material es necesario determinar la cantidad de energía en forma de calor ( $Q$ ) la cual se debe transferir a un cuerpo con una masa ( $m$ ), además, es necesario conocer la capacidad calorífica ( $c$ ) del material para poder aumentar su temperatura inicial a una temperatura final como podemos observar en la ecuación 23.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (23)$$

Para poder resolver la ecuación planteada es necesario conocer que el tubo cónico es de acero galvanizado y posee una capacidad calorífica de  $482,5 \text{ J/kg} \times ^\circ \text{C}$ , la variación de la temperatura a realizar, en este caso pasa de una temperatura ambiente, de  $17 \text{ }^\circ \text{C}$ , a  $165 \text{ }^\circ \text{C}$  temperatura necesaria para poder realizar doblado.

Además, de debe tomar en cuenta la masa  $m$  a calcular, ya que al ser un perfil cónico la masa a calentar varia en función de su radio, los respectivos cálculos se los describirá a continuación, donde es necesario que el componente, muelle, genere una variación de calor de  $18,352 \text{ kJ}$  a  $26,850 \text{ kJ}$ , desde la zona más delgada hasta la zona más gruesa.

• **Cálculo de la masa total de la tubería cónica:**

Para realizar este cálculo es necesario conocer el radio mayor ( $r = 44 \text{ mm}$ ) y el radio menor ( $R = 94 \text{ mm}$ ) de los extremos de la tubería, conociendo estos datos se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{3} \pi \times h(R^2 + r^2 + R + r) \quad (24)$$

De esta manera se obtiene:

$$V_{ext} = \frac{1}{3} \pi \times 8\,400(94^2 + 44^2 + 94 + 44)$$

$$V_{ext} = 95\,969\,372,38 \text{ mm}^3$$

Ahora, se calcula el valor del volumen para los radios interiores de la tubería los

cuales poseen 4 mm de diferencia con los radios exteriores, de esta forma la fórmula 24 nos quedaría:

$$V_{int} = \frac{1}{3}\pi \times 8\,400(90^2 + 40^2 + 90 + 40)$$

$$V_{int} = 86\,469\,196,2 \text{ mm}^3$$

Una vez cuantificado estos valores de volúmenes, se procede a realizar una resta entre los mimos ya que la tubería cónica es hueca, como se observa en la ecuación 25.

$$V_{T \text{ hueca}} = V_{ext} - V_{int} \quad (25)$$

$$V_{T.hueca} = (95\,969\,372,38 - 86\,469\,196,2) \text{ mm}^3$$

$$V_{T.hueca} = 9\,500\,176,183 \text{ mm}^3$$

$$V_{T.hueca} \approx 0,009\,500\,176\,183 \text{ m}^3$$

Ahora podemos calcular su masa por medio de la fórmula 26:

$$m = v \times \rho \quad (26)$$

Donde estas variables corresponden a:

- $m$  = Masa.
- $v$  = Volumen.
- $\rho$  = Densidad.

Conociendo que la densidad del Acero Galvanizado, material del que está conformado la tubería cónica, es de  $7,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , de esta manera obtenemos que la masa total de la tubería es igual a:

$$m_{Tub} = V_{T.hueca} \times \rho \quad (27)$$

$$m_{Tub} = 0,009\,500\,176\,183 \text{ m}^3 \times 7,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{Tub} = 75,051 \text{ kg}$$

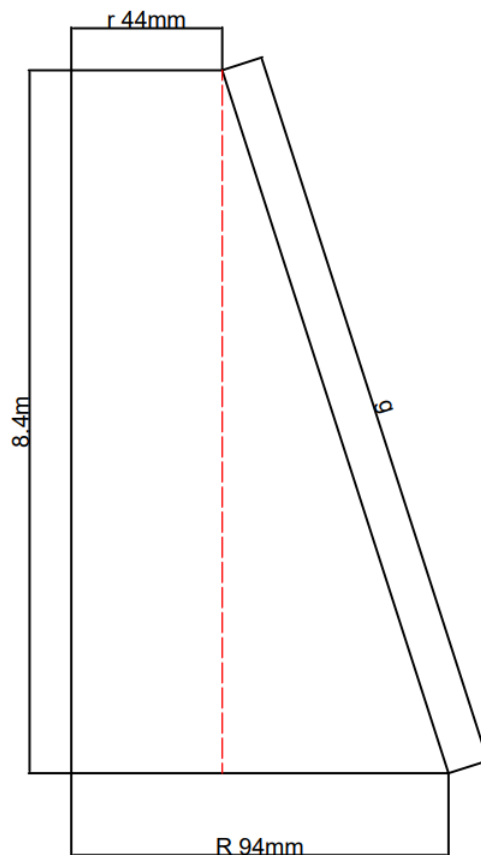
- **Cálculo de masa por secciones de la tubería cónica**

El cálculo por secciones de la tubería es realizado con el fin de conocer la cantidad de calor necesaria para poder realizar el doblado del tubo a lo largo de la longitud  $L_2$ , para esto a dicha distancia se la dividirá en 33 secciones, para ello se realizará un interpolación proporcionados por un valor inicial, un valor medio y un valor final.

Para iniciar con los cálculos se deben tomar en cuenta el dato del valor de ángulo del cono y el valor de su hipotenusa, como se puede observar en la figura 46.

**Figura 46**

*Parámetros iniciales a considerar del medio cono.*



**Nota:** Delimitación de los galores de la hipotenusa  $g$  y el valor de  $R - r$ .

Donde:

$$R - r = (94 - 44) \text{ mm}$$

$$R - r = 50 \text{ mm} \rightarrow 0,05 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{0,05}{8,4} \right)$$

$$\alpha = 0,341^\circ$$

$$g^2 = 8,4^2 + 0,05^2$$

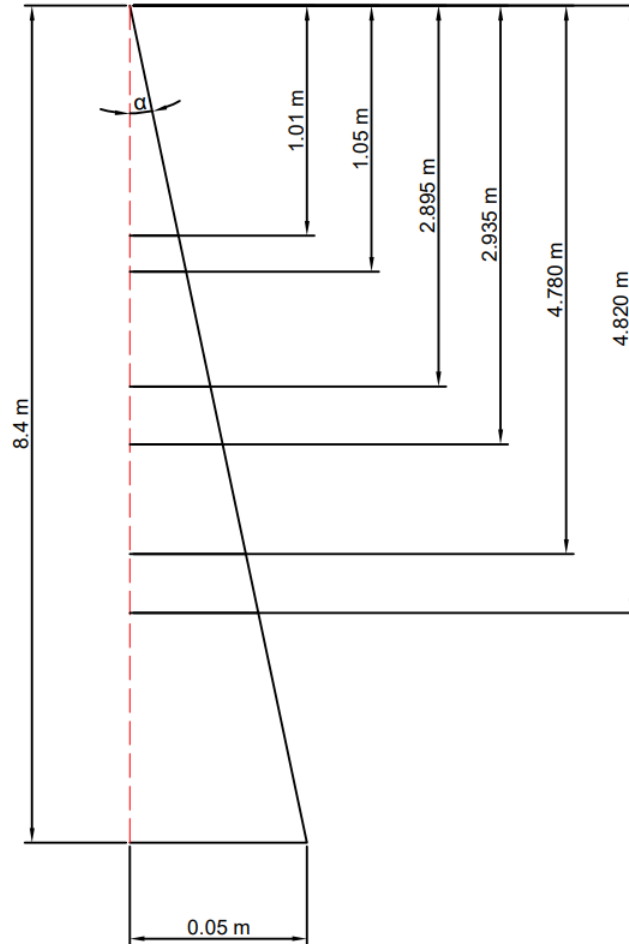
$$g = \sqrt{70,563}$$

$$g = 8,400 \text{ 148 m}$$

Se procede a dividir la sección tubular a analizar, en este caso se había mencionado que la zona correspondiente de calentamiento es en  $L_2$ , como se observa en la figura 47, para ello se realizaron los siguientes cálculos en base a las siguientes figuras.

**Figura 47**

*Distancias de secciones analizar.*

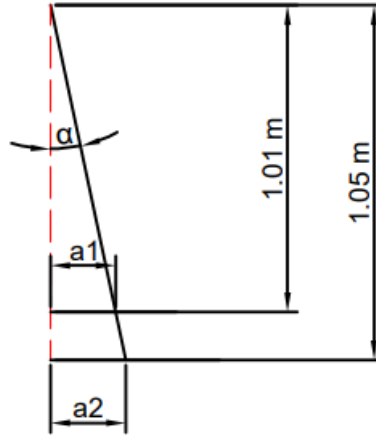


**Nota:** Secciones de análisis a realizar a lo largo de L2.

Se inicia el cálculo con referencia a la parte más delgada del tubo, donde se desea que parta el calentamiento de este, para ello se toma como referencia a la figura 48 para realizar su análisis.

## Figura 48

*Dimensiones de la sección a.*



**Nota:** Secciones de análisis a realizar en la sección a.

$$a_1 = 1\,010\text{ mm} \times \tan \alpha$$

$$a_1 = 1\,010\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 6,011\text{ mm}$$

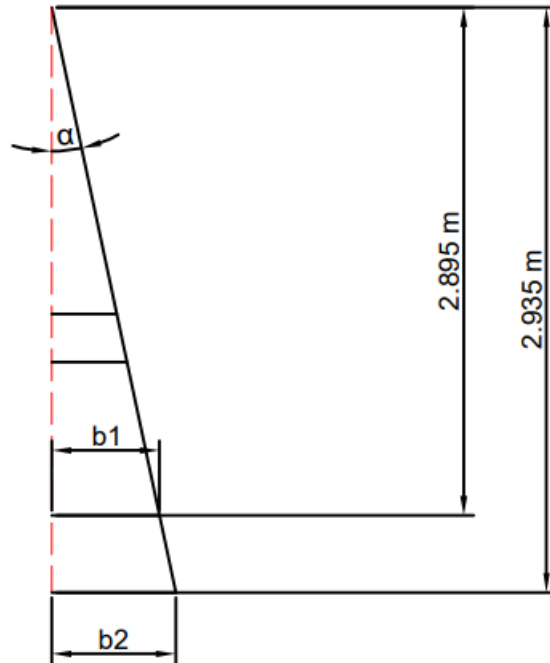
$$a_2 = 1\,050\text{ mm} \times \tan \alpha$$

$$a_2 = 1\,050\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 6,249\text{ mm}$$

Continuando con los cálculos para la zona media del tubo, podemos tomar como referencia la figura 49.

**Figura 49**

*Dimensiones de la sección b.*



**Nota:** Secciones de análisis a realizar en la sección b.

$$b_1 = 2\,895\text{ mm} \times \tan \alpha$$

$$b_1 = 2\,895\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 17,23\text{ mm}$$

$$b_2 = 2\,935\text{ mm} \times \tan \alpha$$

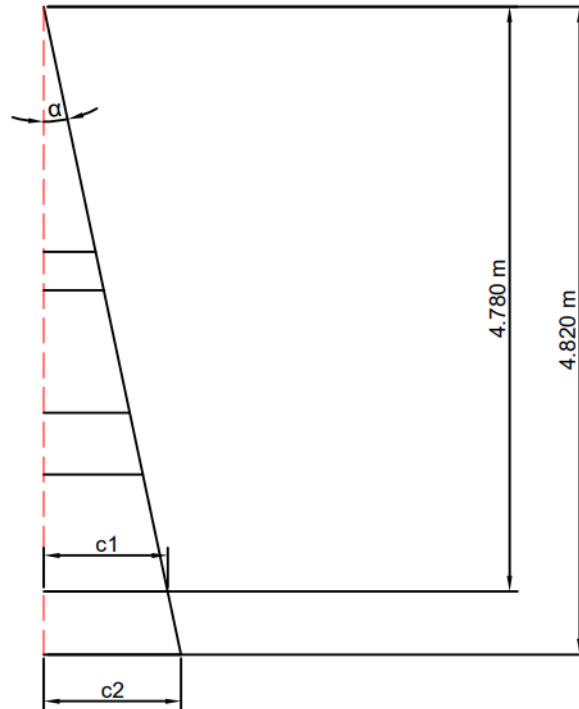
$$b_2 = 2\,935\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 17,468\text{ mm}$$

Para finalizar se dimensiona el valor de la zona final donde se va a realizar el calentamiento, para esto se toma en referencia la figura 50.



## Figura 50

*Dimensiones de la sección c.*



**Nota:** Secciones de análisis a realizar en la sección c.

$$c_1 = 4\,780\text{ mm} \times \tan \alpha$$

$$c_1 = 4\,780\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 28,448\text{ mm}$$

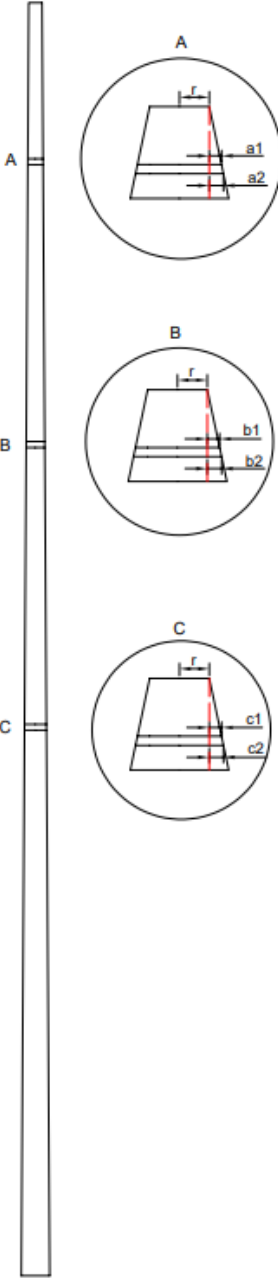
$$c_2 = 4\,820\text{ mm} \times \tan \alpha$$

$$c_2 = 4\,820\text{ mm} \times \tan 0,341 \rightarrow 28,686\text{ mm}$$

Una vez obtenidos los valores respectivos para a, b y c se proceden a realizar los cálculos de volúmenes de la tubería, como se puede observar en la figura 51

**Figura 51**

*Zonas de volúmenes analizar.*



**Nota:** Conociendo los valores de las secciones a, b y c es posible calcular sus volúmenes.

Donde se obtiene los siguientes valores para **calcular el volumen de la zona A**:

Para  $r$  igual a 44  $mm$ :

$$A_{1,1} = r + a1 = 44 + 6,011 = 50,011 \text{ mm}$$

$$A_{1,2} = r + a2 = 44 + 6,249 = 50,249 \text{ mm}$$

Para  $r$  igual a 40  $mm$  (4 milímetros de espesor de la tubería):

$$A_{2,1} = r + a1 = 40 + 6,011 = 46,04 \text{ mm}$$

$$A_{2,2} = r + a2 = 40 + 6,249 = 46,249 \text{ mm}$$

Una vez obtenido estos valores se procede a realizar el cálculo de la sección de volumen a calentar del tubo, conociendo que  $h = 8400 \text{ mm}$ .

$$V_1 = V_{A_1} - V_{A_2} \quad (28)$$

$$V_{A_1} = \frac{1}{3}\pi \times h(50,011^2 + 50,249^2 + 50,011 + 50,249)$$

$$V_{A_2} = \frac{1}{3}\pi \times h(46,04^2 + 46,249^2 + 46,04 + 46,249)$$

$$V_1 = 32\,592,139 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = 0,000\,032\,592\,139 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de volumen para la Zona B:**

Para  $r$  igual a 44  $mm$ :

$$B_{1,1} = r + b1 = 44 + 17,23 = 61,23 \text{ mm}$$

$$B_{1,2} = r + b2 = 44 + 17,468 = 61,468 \text{ mm}$$

Para  $r$  igual a 40  $mm$  (4 milímetros de espesor de la tubería):

$$B_{2.1} = r + b1 = 40 + 17,23 = 57,23 \text{ mm}$$

$$B_{2.2} = r + b2 = 40 + 17,468 = 57,468 \text{ mm}$$

Una vez cuantificados estos valores se procede a realizar el cálculo de la sección de volumen a calentar del tubo, donde el volumen es igual a:

$$V_2 = V_{B_1} - V_{B_2} \quad (29)$$

$$V_{B_1} = \frac{1}{3}\pi \times h(61,23^2 + 61,468^2 + 61,23 + 61,468)$$

$$V_{B_2} = \frac{1}{3}\pi \times h(57,23^2 + 57,468^2 + 57,23 + 57,468)$$

$$V_2 = 40 \ 111,185 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = 0,000 \ 040 \ 111 \ 185 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de volumen para la Zona C:**

Para  $r$  igual a 44  $mm$ :

$$C_{1.1} = r + c1 = 44 + 28,448 = 72,448 \text{ mm}$$

$$C_{1.2} = r + c2 = 44 + 28,686 = 72,686 \text{ mm}$$

Para  $r$  igual a 40  $mm$  (4 milímetros de espesor de la tubería):

$$C_{2.1} = r + c1 = 40 + 28,448 = 68,448 \text{ mm}$$

$$C_{2.2} = r + c2 = 40 + 28,686 = 68,686 \text{ mm}$$

Una vez obtenido estos valores se procede a realizar el cálculo de la sección de volumen a calentar del tubo, donde el volumen es igual a:

$$V_3 = V_{C_1} - V_{C_2} \quad (30)$$

$$V_{C_1} = \frac{1}{3}\pi \times h(72,448^2 + 72,686^2 + 72,448 + 72,686)$$

$$V_{C_2} = \frac{1}{3}\pi \times h(68,448^2 + 68,686^2 + 68,448 + 68,686)$$

$$V_3 = 47\,629,561 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = 0,000\,047\,629\,561 \text{ m}^3$$

Conociendo los valores de los volúmenes de las secciones a calentar, se procede a calcular el valor del calor necesario para poder realizar el doblado del tubo, conociendo como dato del material su capacidad calorífica, su masa y se determina el valor del cambio de temperatura que va a sufrir el material, donde:

- Capacidad calorífica del acero galvanizado es de  $482,5 \text{ J/kg} \times ^\circ \text{C}$ .
- Masa de la sección de tubo analizar.
- La variación de temperatura a realizar es de los  $17^\circ \text{C}$  a  $165^\circ \text{C}$ .
- La densidad ( $\rho$ ) del acero galvanizado es de  $7,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Sustituyendo estos datos en la ecuación 23 calculamos la cantidad de **calor necesaria** para realizar el doblado iniciando **en la zona A**:

$$Q_1 = \left(0,000\,032\,592\,139 \text{ m}^3 \times 7,9 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 482,5 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times ^\circ \text{C}} \times (165 - 17) ^\circ \text{C}$$

$$Q_1 = 18,352 \text{ kJ}$$

**Calor necesario dentro de la zona B:**

$$Q_2 = \left(0,000\,040\,111\,185 \text{ m}^3 \times 7,9 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 482,5 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times ^\circ \text{C}} \times (165 - 17) ^\circ \text{C}$$

$$Q_2 = 22,636 \text{ kJ}$$

**Calor necesario dentro de la zona C:**

$$Q_3 = \left(0,000\,047\,629\,561 \text{ m}^3 \times 7,9 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 482,5 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times ^\circ \text{C}} \times (165 - 17) ^\circ \text{C}$$

$$Q_3 = 26,850 \text{ kJ}$$

Para realizar el doblado de los tubos es necesario aplicar una cantidad de calor inicial de  $18,352 \text{ kJ}$ , en la zona cónica más delgada, hasta  $26,850 \text{ kJ}$ , en la zona cónica más gruesa de la zona a doblar.

Para poder tener una mayor exactitud con relación a los datos de calor necesario para realizar el doblado en la longitud  $L_2$  se realiza un interpolación entre las distancias en las que se encuentran los diámetros calculados y los datos ya obtenidos de los volúmenes, tomando en cuenta que se realizan 33 divisiones desde la distancia 1030 mm hasta la distancia 4800 mm, como se puede observar en la figura 47

Para ello se realizará un código dentro del Software MatLab el cual permita obtener el valor del calor necesario ( $Q$ ) para las 33 divisiones establecidas, como se puede observar en la figura 52.

## Figura 52

*Calculo de las distancias para la interpolación.*

```
%% Calculo de las distancias para la interpolacion

% Valores inicial y final
distancia_inicial = 1030;
distancia_final = 4800;

% Vector columna vacío para almacenar los resultados
distancias = zeros(distancia_final - distancia_inicial + 1, 1);

% Inicializar una variable auxiliar para guardar el resultado actual
resultado_actual = distancia_inicial;

% Índice para rastrear la posición en el vector resultados
indice_resultados = 1;

% Realizar las sumas iterativas y guardar los resultados en el vector
while resultado_actual <= distancia_final
    distancias(indice_resultados) = resultado_actual;
    resultado_actual = resultado_actual + 117.8125;
    indice_resultados = indice_resultados + 1;
end

% Redimensionar el vector resultados con los datos actuales
distancias = distancias(1:indice_resultados - 1)
```

**Nota:** En el presente código de MatLab el bucle While realiza las sumas entre el valor inicial (1030) y 117.8125 y almacenando los valores de cada suma dentro de un vector hasta que se alcance el valor de 4800.

Una vez generado nuestro vector **distancia** con los 33 datos propuestos, procedemos a realizar la interpolación para calcular el valor de los nuevos volúmenes, como de observa en el código de la figura 53.

### Figura 53

*Interpolación volumen en relación a la distancia.*

---

```
%% Interpolacion volumen en relacion a la distancia

d=[1030;2915;4800]; % distancia en (mm)
v=[0.0000325921388;0.0000401111848;0.00004762956055]; % volumen (m^3)

volumenes=interp1(d,v,distancias) %valor en m^3
```

**Nota:** En el presente código de MatLab se realiza una interpolación utilizando el vector de variables independientes (d), el vector de variables dependiente (v) y el vector **distancias** para calcular los volúmenes con respecto a dichas distancias

A continuación se realizará el cálculo de las masas con relación a nuestro nuevo vector **volúmenes** obtenido por medio de la interpolación, conociendo que la densidad del Acero Galvanizado es de  $7,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , como se observa el código de MatLab de la figura 54.

### Figura 54

*Cálculo de las masas a partir de su volumen y densidad.*

---

```
%% Calculo de las masas a partir de su volumen y densidad

m=volumenes*7900 % Masa en kg
```

**Nota:** En el presente código de MatLab se realiza el cálculo de las masas utilizando el vector **volumenes** y la densidad del material de la tubería

Conociendo el valor de los masas de cada una de las 33 secciones definidas se procede a realizar el cálculo del calor necesario para poder realizar su doblado, para ello se ocupa el siguiente código como se observa en la figura 55.

## Figura 55

*Cálculo del calor necesario para el calentamiento*

```
%% Calculo del calor necesario para el calentamiento

% Sabiendo que su formula es:
% Calor = Masa * Capacidad calorifica * Cambio de temperatura, es decir:
% Q = m*c*deltaT

c=482.5; % Capacidad calorifica en J/(kg*°C)
deltaT= (165-17); % Temperatura en °C

Q=m*c*deltaT; % Calor en J
```

**Nota:** En el presente código de MatLab se realiza el cálculo de las del calor necesario para cada una de las 33 secciones establecidas para el control del doblado de la tubería cónica.

Una vez obtenido el valor de la cantidad de calor necesario se procede a calcular la potencia para el calentamiento requerido conociendo que:

$$P = \frac{Q}{t} \quad (31)$$

Siendo  $Q$  el calor necesario para para el calentamiento y  $t$  el tiempo requerido para dicho calentamiento.

Por medio del siguiente código desarrollado en Maltlab se puede cuantificar el valor de cada una de las potencias requeridas, como se puede observar en la figura 56.



## Figura 56

*Cálculo Potencia requerida.*

```
%% Calculo de la potencia de calentamiento requerida  
  
% La potencia de calentamiento requerida se puede definir como el calor  
% necesario sobre el tiempo requerido para calentar dicha seccion.  
  
% P = Q/t  
  
Q_kJ = Q/1000; % conversion de J a kJ (J/(J/kJ))  
t_h = 15/3600; % tiempo requerido para el calentamiento en segundos  
  
P = Q_kJ/t_h
```

**Nota:** En el presente código de MatLab se realiza el cálculo de la potencia requerida

Cada uno de estos datos los podremos observar por medio de la tabla que se encuentra dentro del Anexo B.

La finalidad de de la obtención de estos datos para para poder tener un mayor control del calor necesario aplicar en cada zona del material para permitir un mejor doblado de la tubería, además este es un dato importante al momento de realizar el diseño del controlador de el muelle inductor a diseñar.

### 6.2.2. Dimensionamiento de motor

Para poder realizar el correcto dimensionamiento del motor es necesario conocer la ubicación de donde se encuentra este y el trabajo que ese debe realizar, dentro de nuestra maquinaria diseñada, la ubicación del motor está en el modulo del brazo de doblado, el cual permite el doblado y desplazamiento de la tubería cónica sobre su estructura metálica y dentro del muelle inductor de calentamiento. para ello se inicia con el con el cálculo de la fuerza necesaria para poder realizar el doblado de la tubería.

- **Cálculo de la fuerza necesaria para el doblado:**

Tomando en cuenta que para poder curvar el perfil se necesita realizar una flexión del mismo, se aplica el concepto de *Tensión máxima*, tomada del libro de Ferdinand P. Beer (2010), en donde define que:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} \quad (32)$$

Donde:

- $\sigma_{max}$  : Tensión máxima  $\sigma_{max} = 395 \text{ MPa}$ .
- $M$ : Momento aplicado para realizar la flexión.
- $W$ : Módulo resistente elástico.

Además se puede definir al Módulo resistente elástico como:

$$W = \frac{I}{y_{max}} \quad (33)$$

Donde:

- $I$ : Momento de Inercia de la sección analizar.
- $y_{max}$  : Distancia máxima entre el eje neutro del perfil y la pared exterior de esta.

Conociendo los conceptos analizados previamente por la ecuación 32 y ecuación 33 se realiza el cálculo tomando como referencia la ultima zona en donde se aplica el calentamiento del material, siendo esta a una distancia de de 3,6 m medida desde el diámetro mayor de la tubería, es decir donde inicia la longitud  $L_2$  correspondiente a la zona de calentamiento del tubo calculado, siendo el valor de este diámetro  $D_1$  igual a:

$$D_{ext1} = 145,143 \text{ mm}$$

$$D_{int1} = 137,143 \text{ mm}$$

De esta manera procedemos a calcular su momento de inercia donde:

$$I = \frac{\pi \times R^4}{4} \quad (34)$$

$$I_{D_{ext1}} = \frac{\pi \times (145,143/2)}{4}$$

$$I_{D_{ext1}} = 21\,734\,775,23 \text{ mm}^4$$

$$I_{D_{int1}} = \frac{\pi \times (137,143/2)}{4}$$

$$I_{D_{int1}} = 17\,364\,537,23 \text{ mm}^4$$

De esta manera podemos definir un valor total de la Inercia en la sección de la tubería analizada como lo podemos observar por medio de la ecuación 35.

$$I_{D_1} = I_{D_{ext1}} - I_{D_{int1}} \quad (35)$$

$$I_{D_1} = 21\,734\,775,23 \text{ mm}^4 - 17\,364\,537,23 \text{ mm}^4$$

$$I_{D_1} = 4\,420\,238,002 \text{ mm}^4 \rightarrow 4,4\,202\,388\,002 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \approx$$

Para definir el valor del  $y_{max}$  tomamos como referencia el valor del radio del diámetro exterior de la zona analizada, siendo este:

$$y_{max} = \frac{D_{ext1}}{2}$$

$$y_{max} = 0,072\,571 \text{ m}$$

Conociendo el valor de estos datos se puede despejar el valor del Módulo resistente elástico el cual:

$$W = \frac{I_{D_1}}{y_{max}}$$

$$W = \frac{4,4\,202\,388\,002 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{0,072\,571 \text{ m}} \rightarrow 0,609\,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Ya conseguido el valor de  $W$  despejamos la ecuación 32 para poder calcular el valor del Momento aplicado, conociendo que el valor para el  $\sigma_{max}$  es el valor del límite elástico del material, en el caso del Acero inoxidable corresponde a un valor de  $395 \text{ MPa}$

$$M = \sigma_{max} \times W \quad (36)$$

$$M = 395 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,609\,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = 24\,059,114\,67 \text{ Nm}^2$$

Una vez calculado el Momento que debe ser aplicado al perfil para poder realizar su doblado se procede calcular el valor de la fuerza necesaria para realizar el doblado por medio de la ecuación 37.

$$F = \frac{M}{d} \quad (37)$$

Donde:

- $F$ : Fuerza aplicada para realizar el doblado.
- $M$ : Momento aplicado calculado para el doblado de la tubería.
- $d$ : Distancia desde donde se aplica la fuerza para el doblado, esta es igual al radio de doblado de 2,4 m.

Entonces despejando los valores de la ecuación 37 se obtiene:

$$F = \frac{24\,059,114\,67\text{ Nm}^2}{2,4\text{ m}} \rightarrow 10,024\text{ kN}$$

Además, dentro del dimensionamiento del motor es necesario el calcular el tiempo total que se requiere para que la maquinaria termine de realizar el doblado del perfil cónico.

#### ■ Cálculo del tiempo de doblado.

Para poder realizar el calculo del tiempo de doblado se realiza como primer punto cálculo de la velocidad a la cual se desplaza la tubería la cual la se puede definir por medio de la siguiente ecuación.

$$v_d = \frac{s_c}{t_c} \quad (38)$$

Donde:

- $v_d$ : Velocidad de desplazamiento.
- $s_c$ : Sección de calentamiento de 4 cm.
- $t_c$ : Tiempo de calentamiento de 15 s

Reemplazando estos valores dentro de la ecuación 38 se obtiene.

$$v_d = \frac{0,04\text{ m}}{15\text{ s}} \rightarrow 0,003\text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Conociendo el dato de la velocidad de desplazamiento se calcula el valor que le toma a toda la tubería desplazarse a lo largo de la longitud de  $L_2$ , para ello se dice que:

$$t_r = \frac{L_2}{v_d} \quad (39)$$

Donde:

- $t_r$ : Tiempo requerido para completar el doblado.
- $L_2$ : Longitud que se desea realizar el doblado.

Resolviendo la ecuación 39 para los datos previamente calculados se obtiene:

$$t_r = \frac{3,77 \text{ m}}{0,0027 \text{ m/s}} \rightarrow 1,4138 \times 10^3 \text{ s}$$

Convirtiendo el valor de  $t_r$  de segundo a minutos, se obtiene que el tiempo requerido para el doblado es de alrededor de 23,563 *min* aproximadamente.

Conociendo el cada uno de estos valores se procede al calculo de la potencia mecánica que se realiza para poder doblar el tubo, para ello definimos que:

$$PW = \frac{WT}{t_r} \quad (40)$$

Donde:

- $PW$ : Potencia mecánica realizada en Watts.
- $WT$ : En este caso nos referimos al trabajo realizado.
- $t_r$ : Tiempo requerido para completar el doblado.

Además, podemos definir al trabajo como la fuerza necesaria para poder realizar el desplazamiento de la tubería a una cierta distancia, como observamos en la ecuación 41

$$WT = FT \times r \quad (41)$$

Para poder calcular la fuerza total  $FT$  se realiza una sumatoria de todos los pesos que debe mover nuestro motor, así también la fuerza de doblado que debe realizar.

$$FT = F + P_t + P_b \quad (42)$$

Siendo:

- $F$ : Fuerza aplicada para realizar el doblado.
- $P_t$ : Peso de la tubería.
- $P_b$ : Peso del brazo de doblado.

Al realiza la sumatoria de fuerzas planteada en la ecuación 42 obtenemos la fuerza total requerida.

$$FT = 10024 N + (75,051 39 kg \times 9,81 \frac{m}{s^2}) + (19 kg \times 9,81 \frac{m}{s^2})$$

$$FT = 11,932 kN$$

Una vez conociendo el valor de la fuerza  $FT$  procedemos a reemplazar estos valores para la ecuación 41.

$$WT = 11 932 N \times 2,4 m \rightarrow 28,637 kJ$$

Resolvemos la ecuación 40 para el calculo de la potencia obtenemos:

$$PW = \frac{28 637 J}{1 413,8 s} \rightarrow 20,256 W$$

Transformando la potencia obtenida en Watts a caballos de fuerza se calcula un valor de:

$$P_{HP} = \frac{PW}{745,7}$$

$$P_{HP} = \frac{20,256}{745,7} \rightarrow 0,027 HP$$

Ahora es necesario definir a que velocidad en  $RPM$  se debe mover nuestro motor, para ello transformaremos nuestra velocidad de desplazamiento, conociendo que:

$$v_a = \frac{vd}{r} \tag{43}$$

$$v_a = \frac{0,003 (m/s)}{2,4 m} \rightarrow 1,125 \times 10^{-3} \frac{rad}{s}$$

Una vez se obtiene el valor de la velocidad angular, la procedemos a transformar en la unidad que necesitamos  $RPM$  por medio de la ecuación 44

$$RPM = v_a \times \frac{1 rev}{2 \times \pi \times rad} \times \frac{60s}{min} \tag{44}$$

$$RPM = 1,125 \times 10^{-3} \frac{rad}{s} \times \frac{1 rev}{2 \times \pi \times rad} \times \frac{60s}{min}$$

$$RPM = 0,011 \text{ revoluciones por minuto}$$

Debido a que comercialmente no existen motores con tales caballos de fuerza teórico calculado ya las RPM necesarias, se opta por dimensionar un moto-reductor comercial el cual

que pueda satisfacer dicha potencia mecánica a las revoluciones necesarias, de esta manera realizamos el dimensionamiento motor-reductor por medio del catálogo de motoredutores del fabricante SIEMENS (2008) como lo podemos observar en la figura 57, además, este motoreductor posee un motor trifásico acoplado, el cual por medio de un variado de frecuencia nos permite regular las RPM de salida deseada.

**Figura 57**

*Motoreductor de eje coaxial.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el motoreductor con su respectivo motor trifásico acoplado a su eje, sistema perteneciente a la marca SIEMENS (2008).

El mismo que posee las siguientes características como se puede observar en la siguiente figura 58.

**Figura 58**

*Tabla de parámetros de Moto-reductor.*

| Potencia<br>$P_{Motor}$<br>kW (50 Hz)             | Velocidad de salida<br>$n_2$ (50 Hz)<br>1 / min | Par<br>$T_2$<br>Nm    | Índice de reducción<br>$i_{tot}$ | Información detallada<br>en la página |
|---|---|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Motorreductores de ejes coaxiales E, D y Z</b> |   |                       |                                  |                                       |
| 0,09  | 3,00 ... 6,6                                    | 285 ... 130,0         | 208,77 ... 133,57                | 2/8                                   |
| 0,12  | 0,05 ... 302,0                                  | 16 373 ... 3,8        | 28 260,00 ... 4,47               | 2/8 ... 2/11                          |
| 0,18  | 0,05 ... 377,0                                  | 24 136 ... 4,6        | 24 996,00 ... 3,58               | 2/11 ... 2/15                         |
| <b>0,25</b>                                       | <b>0,08 ... 486,0</b>                           | <b>23 171 ... 5,1</b> | <b>16 361,00 ... 3,33</b>        | <b>2/15 ... 2/19</b>                  |
| 0,37  | 0,12 ... 383,0                                  | 24 391 ... 9,2        | 11 066,00 ... 3,58               | 2/19 ... 2/22                         |

**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar una tabla referente a los datos y parámetros de funcionamiento del Moto-reductor a utilizar SIEMENS (2008).

### 6.2.3. Sistema de control del motor

Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos con el cual permite controlar la velocidad y el par de un motor eléctrico de corriente alterna, para la aplicación de este dispositivo en nuestra maquinaria se a propuesto el utilizar el variador de frecuencia Micromaster 440 en conjunto con el PLC S7 1200 con una CPU 1214C, como se pueden observar en la figura 59 y la figura 60 respectivamente.



**Figura 59**

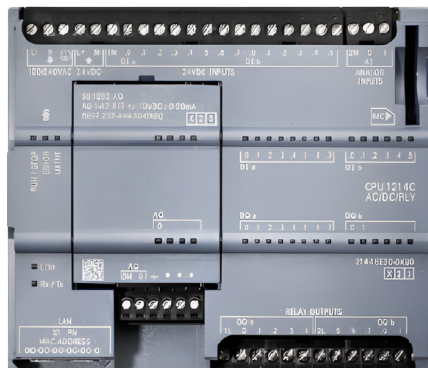
*MICROMASTER 440.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el variador de frecuencia a utilizar, siendo este de la marca SIEMENS (2007).

**Figura 60**

*PLC S7-1200*

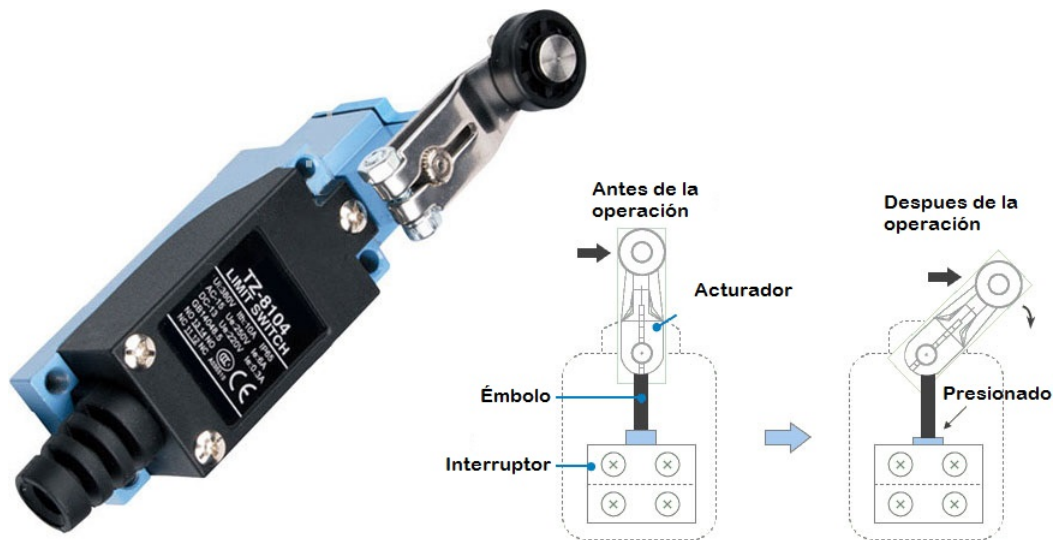


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el Controlador Lógico Programable (PLC) a utilizar, siendo este de la marca SIEMENS (2018).

Además, se implementa dos finales de carrera como se observa en la figura 61 con el objetivo de poder enviar una señal a nuestro PLC de que la tubería termina su proceso de doblado, de esta manera apagando nuestro variador de frecuencia; mientras que nuestro segundo final de carrera es implementado con el fin de conocer el retorno del brazo de doblado a su posición inicial de funcionamiento.

**Figura 61**

*Final de carrera*



**Nota:** En la presente figura se puede apreciar el final de carrera a utilizar y su forma de funcionamiento.

Los accionamientos como pulsantes, conmutadores y boto de emergencia es necesario al momento de realizar la automatización de una maquinaria, para nuestro caso se dispone de un conmutador, el cual nos permitirá accionar nuestro motor, para que inicie el doblado y para que regrese a su posición inicial de trabajo, esto se acciona a la par que pulsamos nuestro botón de inicio. El botón de emergencia detiene todo el proceso hasta que se desactive, estos componentes los podemos observar en la figura 62

### Figura 62

*Pulsantes y conmutadores de accionamiento.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar los pulsantes y conmutador a utilizar en la maquinaria.

De igual manera se dispone de la luminaria necesaria para la indicación del estado de trabajo de nuestra maquina.

### Figura 63

*Luminarias.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar los colores de luminarias a utilizar en el tablero de la maquinaria.

Con relación a su funcionamiento, la luz piloto de color rojo nos indica que el brazo de doblado llega a su posición final de trabajo ( $90^{\circ}$ ), la luz piloto verde nos indica que nuestro motor y brazo de doblado se encuentran en movimiento hasta llegar a su posición final, mientras que la luz piloto de color amarilla nos indica que el brazo de doblado se encuentra en un retorno a su posición inicial y esta se queda encendida hasta dar un nuevo pulso de inicio de funcionamiento.

### **6.3. Análisis de costos de construcción de la máquina dobladora de tubos para semáforos de tipo látigo**

En este apartado se expondrá los costos de construcción de la máquina dobladora de tubos para postes de semáforos de tipo látigo, en el cual se toma en cuenta los costos de materia prima necesarias para la construcción de la maquinaria. Además, se consideran los costos de mano de obra y extras, para aproximar un alcance real del costo de esta.

#### **6.3.1. Costos de Insumos**

En la tabla 6 se indican los costos de la materia prima y elementos necesarios para la construcción de la dobladora de tubos de semáforos de tipo látigo.

**Tabla 6***Materia Prima Insumos.*

| <b>INSUMOS</b> |   |                 |               |                        |                    |
|----------------|---|-----------------|---------------|------------------------|--------------------|
| <b>N°</b>      | <b>Descripción</b>  | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Total</b>       |
| <b>1</b>       | Tubo cuadrado – 6 metros<br>(ASTM A36)                    | 5               | u             | \$36,00                | \$180,00           |
| <b>2</b>       | Motor eléctrico trifásico<br>0,55 kW/0,75 CV, 1 000 RPM   | 1               | u             | \$150,00               | \$150,00           |
| <b>3</b>       | Reductor MOTOX de 0,55 kW/<br>Velocidad de Salida 0,2 RPM | 1               | u             | \$450,00               | \$450,00           |
| <b>4</b>       | Variador de frecuencia<br>Siemens Micromaster 440         | 1               | u             | \$578,50               | \$578,50           |
| <b>5</b>       | SIMATIC PLC-1200 Siemens,<br>CPU 1214C                    | 1               | u             | \$550,00               | \$550,00           |
| <b>6</b>       | Sensor final de carrera                                   | 1               | u             | \$37,00                | \$37,00            |
| <b>7</b>       | Suelda Alambre Mig<br>0,9 mm 5 Kg                         | 1               | Kg            | \$30,00                | \$30,00            |
| <b>8</b>       | Sistema eléctrico (Cableado,<br>cabinas, etc.)            | 1               | u             | \$300,00               | \$300,00           |
| <b>9</b>       | Tubo circular – 2 metros<br>(ASTM A36)                    | 1               | u             | \$22,00                | \$22,00            |
| <b>10</b>      | Juego de Pernos M20x2,5                                   | 14              | u             | \$4,30                 | \$60,20            |
| <b>11</b>      | Juego de Pernos M16x2,5                                   | 4               | u             | \$3,80                 | \$15,20            |
| <b>12</b>      | Juego de Pernos M10x2,5                                   | 12              | u             | \$2.30                 | \$27,60            |
| <b>13</b>      | Perfil en V (ASTM A36)                                    | 2               | u             | \$18,60                | \$18,60            |
| <b>14</b>      | Llantas con ranuras en V                                  | 4               | u             | \$28,50                | \$114,00           |
| <b>15</b>      | Rodamientos de diámetro<br>mayor 30 mm                    | 4               | u             | \$14,50                | \$58               |
| <b>16</b>      | Varios (cinta aislante,<br>terminales, borneras, etc)     | 1               | u             | \$150,00               | \$150,00           |
| <b>17</b>      | Sistema de Calentamiento<br>Inductivo                     | 1               | u             | \$8 500,00             | \$8 500,00         |
|                | <b>TOTAL</b>  |                 |               |                        | <b>\$11 241,10</b> |

### 6.3.2. Costo de obra de mano técnica

Dentro del análisis de costos de la maquinaria, es importante tener en cuenta el costo de la obra técnica donde el contrato se da por servicios prestados que incluyen metalmecánica, matricería e instalaciones eléctricas, esto se lo ha realizado estimando el mes de trabajo tomando en cuenta que se necesita 4 obreros, tres en construcción de estructura y uno en instalaciones eléctricas y programación. Ver tabla 7.

**Tabla 7**

*Costo de mano de obra técnica.*

| <b>COSTO DE MANO DE OBRA TÉCNICA</b>                            |                   |
|---|-------------------|
| <b>PROCESOS (Equipos + Mano de obra)</b>                        | <b>Valor</b>      |
| Construcción del caballete.                                     | \$750,00          |
| Construcción del carro móvil y colocación de elementos.         | \$450,00          |
| Instalación del sistema eléctrico-electrónico.                  | \$150,00          |
| Programación del controlador.                                   | \$100,00          |
| Construcción y armado de los elementos de la matriz de doblado. | \$2 500,00        |
| <b>TOTAL:</b>   | <b>\$3 950,00</b> |

### 6.3.3. Costos Indirectos

Por otra parte, en la tabla 8 se presenta los costos indirectos de construcción de la maquinaria, donde se incluyen costos de software, viáticos, servicios básicos, entre otros. Este análisis se lo realiza para un año, recomendado por Chan S Park (2018)

**Tabla 8***Costos indirectos del sistema propuesto.*

| <b>COSTOS INDIRECTOS DEL SISTEMA PROPUESTO</b> |                 |                       |                   |
|--|-----------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Denominación</b>                            | <b>Cantidad</b> | <b>Costo Unitario</b> | <b>Costo</b>      |
| Software para diseño (Inventor, AutoCAD)       | 7               | \$364,16              | \$2 549,12        |
| Software para simulación.                      | 5               | \$200                 | \$1 000,00        |
| Internet                                       | 12              | \$35                  | \$420,00          |
| Transporte                                     | 960             | \$0,60                | \$576,00          |
| Alimentación                                   | 480             | \$2,50                | \$1 200,00        |
| Servicios Básicos                              | 12              | \$30                  | \$360,00          |
| Varios   | 2               | \$200                 | \$100,00          |
| <b>TOTAL</b>                                   |                 |                       | <b>\$6 205,12</b> |

**6.3.4. Costo total de construcción de la dobladora de tubos de semáforos de tipo látigo**

Para este apartado se realiza la suma total de los valores por rubros de: insumos, costos directos e indirectos. A continuación se muestra en la tabla 9. el precio total del costo de construcción de la maquinaria. Cabe mencionar que los imprevistos se extraen de los costos directos e indirectos que son los valores que fluctúan en el mercado, transporte u otros, además, los rubros de re-ingeniería son servicios prestados de valor fijo.

**Tabla 9***Costo total de construcción de la dobladora de tubos de semáforos de tipo látigo.*

| <b>COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINARIA</b>      |                    |
|--|--------------------|
| <b>Denominación</b>                                      | <b>Costo total</b> |
| Costos directos (Insumos, costo de mano de obra técnica) | \$6 691,10         |
| Indirectos   | \$6 205,12         |
| Re-ingeniería (Servicios prestados)                      | \$5 400,00         |
| Imprevistos  | \$1 160,70         |
| <b>TOTAL:</b>  | <b>\$19 456,92</b> |

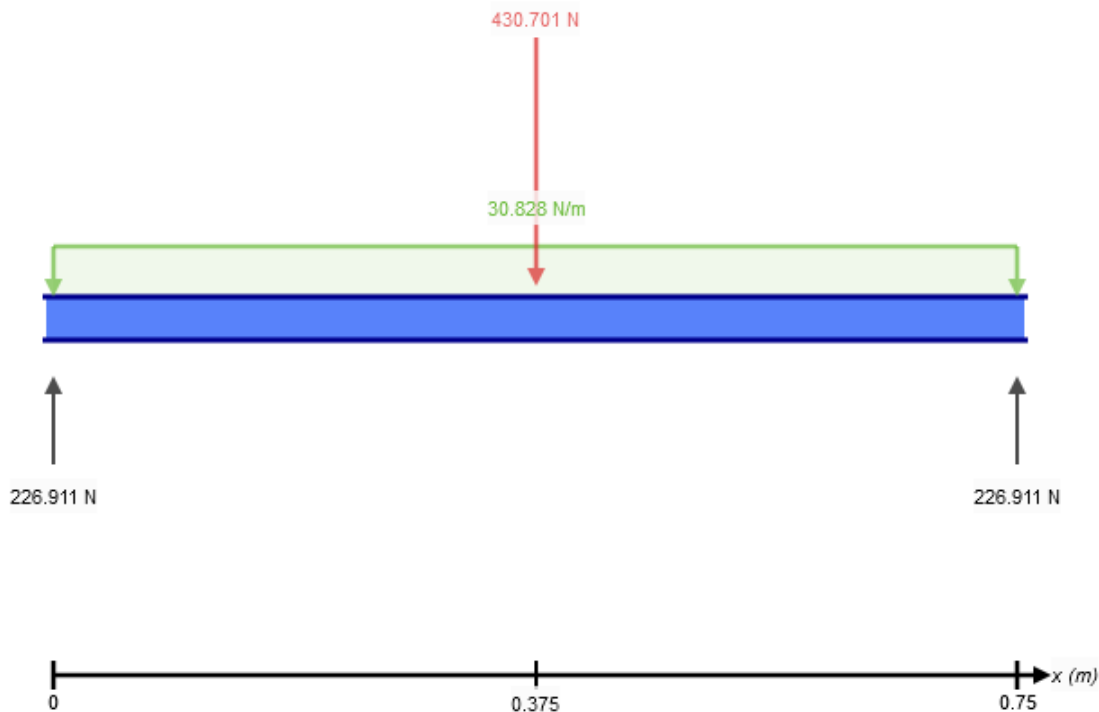
## 7. Resultados

Una vez definida la tubería estructural a utilizar, para el caso del carro guía, se procede a realizar el análisis computacional con relación a la deformación total y el máximo esfuerzo cortante que sufrirán estas dos componentes del carro transversal.

Para ello se analiza primero la carga que este soportar, siendo  $R_a$ , y la obtención de sus respectivas reacciones, como se observa en la figura 64

**Figura 64**

*Reacción  $R_a$  sobre la viga puente inicial.*



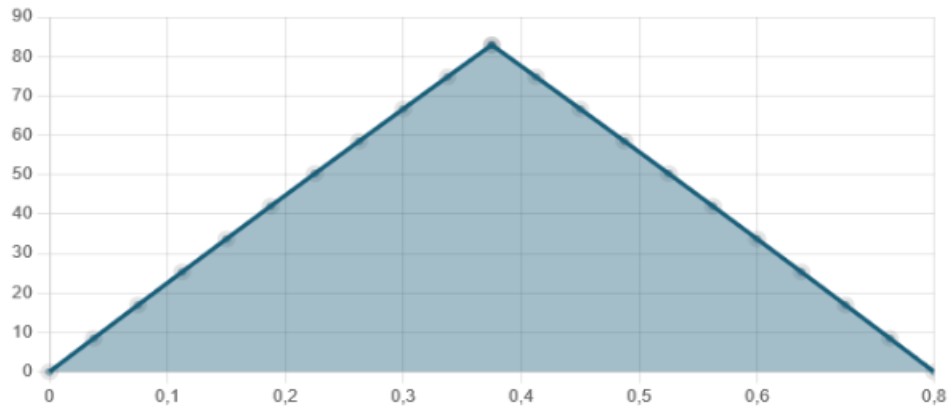
**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar la reacción  $R_a$  sobre la primera viga puente del carro guía.

De igual manera podemos observar el diagrama de momento flector que la reacción  $R_a$  genera sobre nuestra viga puente en la figura 65 y el diagrama de fuerza cortante en la figura 66



### Figura 65

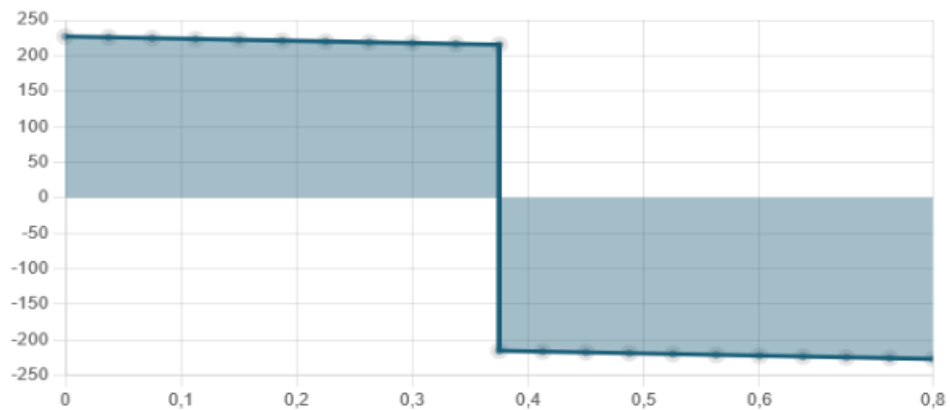
*Diagrama de momento flector.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el Diagrama de momento flector generado por la reacción  $R_a$  sobre la primera viga puente del carro guía.

### Figura 66

*Diagrama de fuerza cortante.*



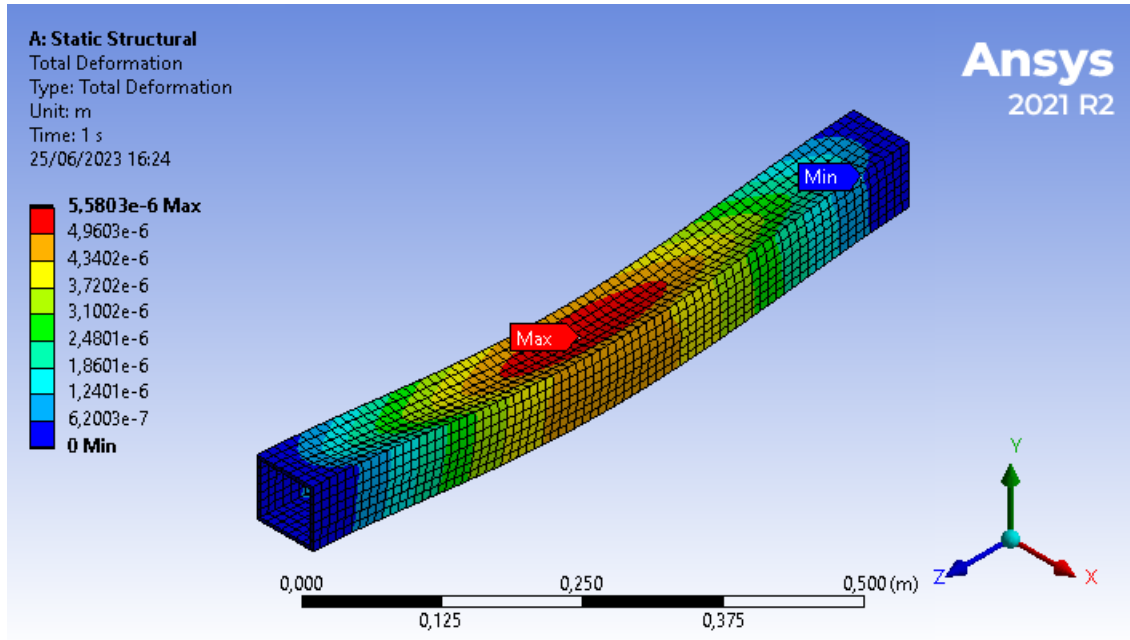
**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el Diagrama de fuerza cortante generado por la reacción  $R_a$  sobre la primera viga puente del carro guía.

De esta manera se obtuvo que la deformación total máxima que sufre la primera viga

puede, con la carga de la reacción  $R_a$ , esta carga genera una deformación máxima en el material de  $5,580 \times 10^{-6} m$ , como podemos observar en la figura 67 y su máximo esfuerzo cortante es de  $1,264 MPa$  como se puede observar en la figura 68.

**Figura 67**

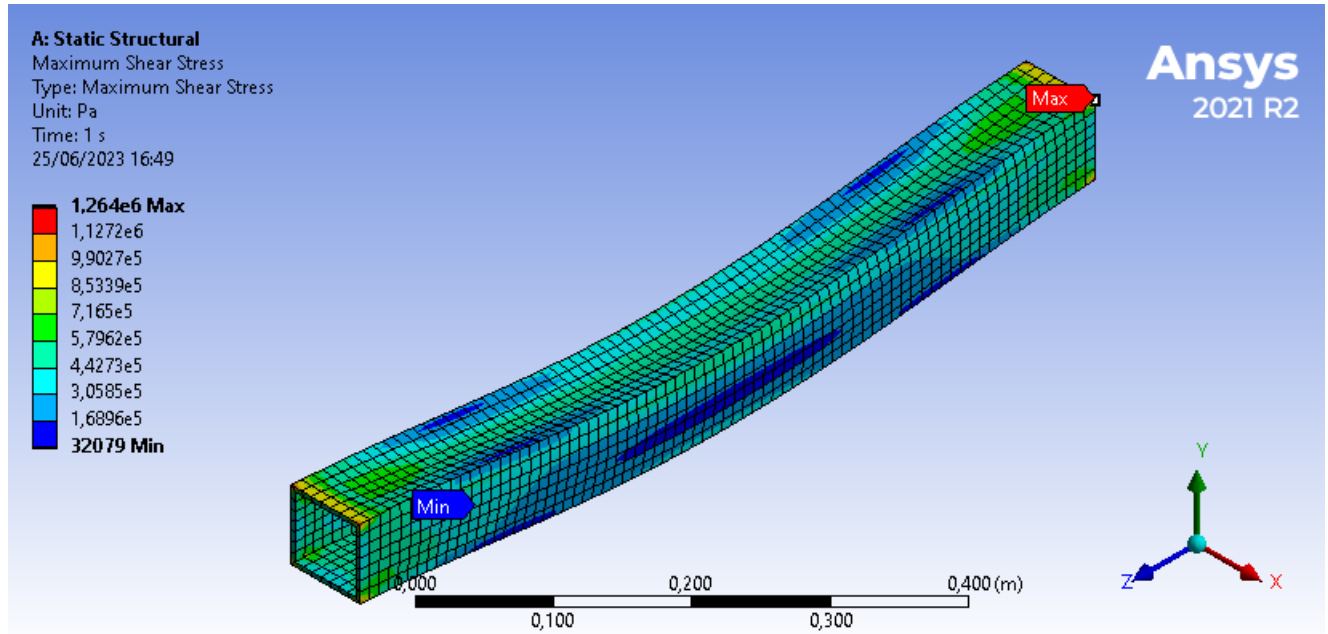
*Deformación Total viga punte inicial.*



**Nota:** En la presente figura se puede apreciar la deformación, tanto mínima como máxima que se produce por la carga de la reacción  $R_a$  sobre la primera viga puente del carro guía.

**Figura 68**

*Máximo Esfuerzo Cortante viga puente inicial.*

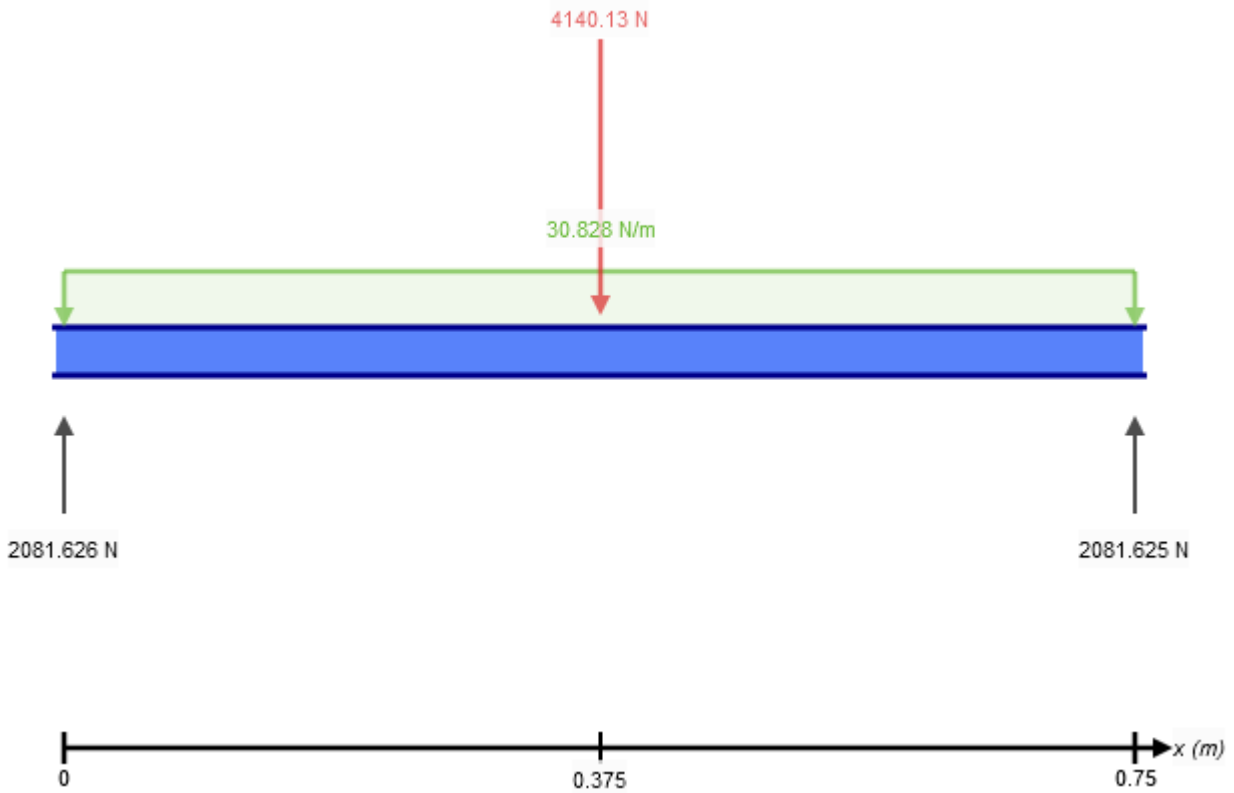


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar los esfuerzos mínimos y máximos que se produce por la carga de la reacción  $R_a$  sobre la primera viga puente del carro guía.

De igual manera se realizó el mismo análisis referente a la segunda viga puente, donde la carga que esta recibe es referente a la reacción  $R_b$  como se observa en la figura 69

### Figura 69

Reacción  $R_b$  sobre la viga puente final.

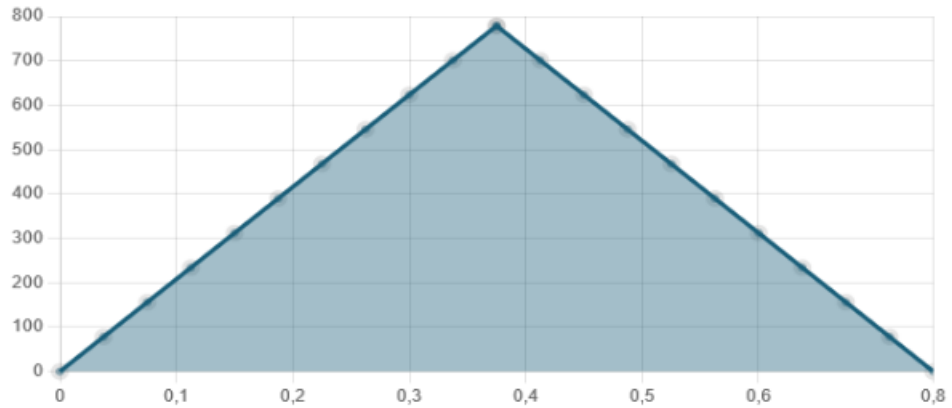


**Nota:** En la presente figura se puede apreciar la reacción  $R_b$  sobre la primera viga puente del carro guía.

Además, podemos observar el diagrama de momento flector que la reacción  $R_b$  genera sobre nuestra viga puente en la figura 70 y el diagrama de fuerza cortante en la figura 71

**Figura 70**

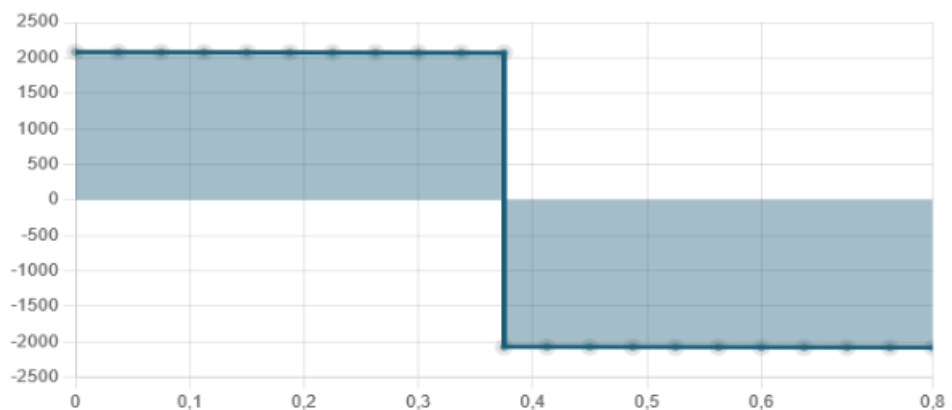
*Diagrama de momento flector viga puente final.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el Diagrama de momento flector generado por la reacción  $R_b$  sobre la segunda viga puente del carro guía.

**Figura 71**

*Diagrama de fuerza cortante.*

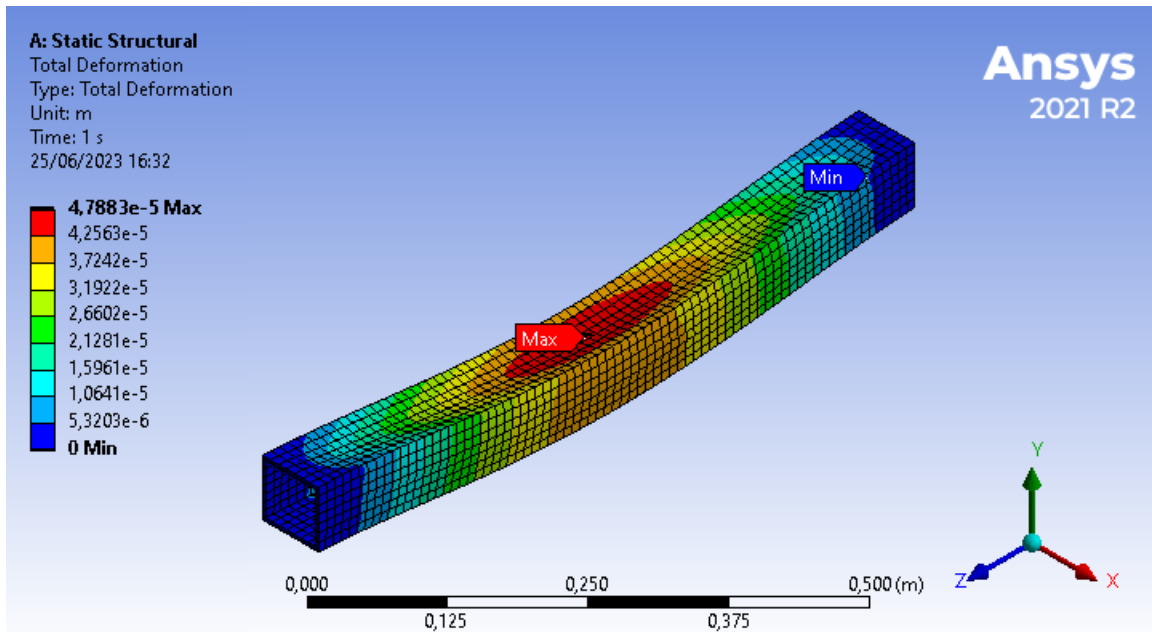


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar el Diagrama de fuerza cortante generado por la reacción  $R_b$  sobre la segunda viga puente del carro guía.

Dicha reacción  $R_b$  genera una deformación máxima de  $4,788 \times 10^{-5} m$  como se observa en la figura 72 y su máximo esfuerzo cortante es de  $10,846 MPa$  como se puede observar en la figura 73.

### Figura 72

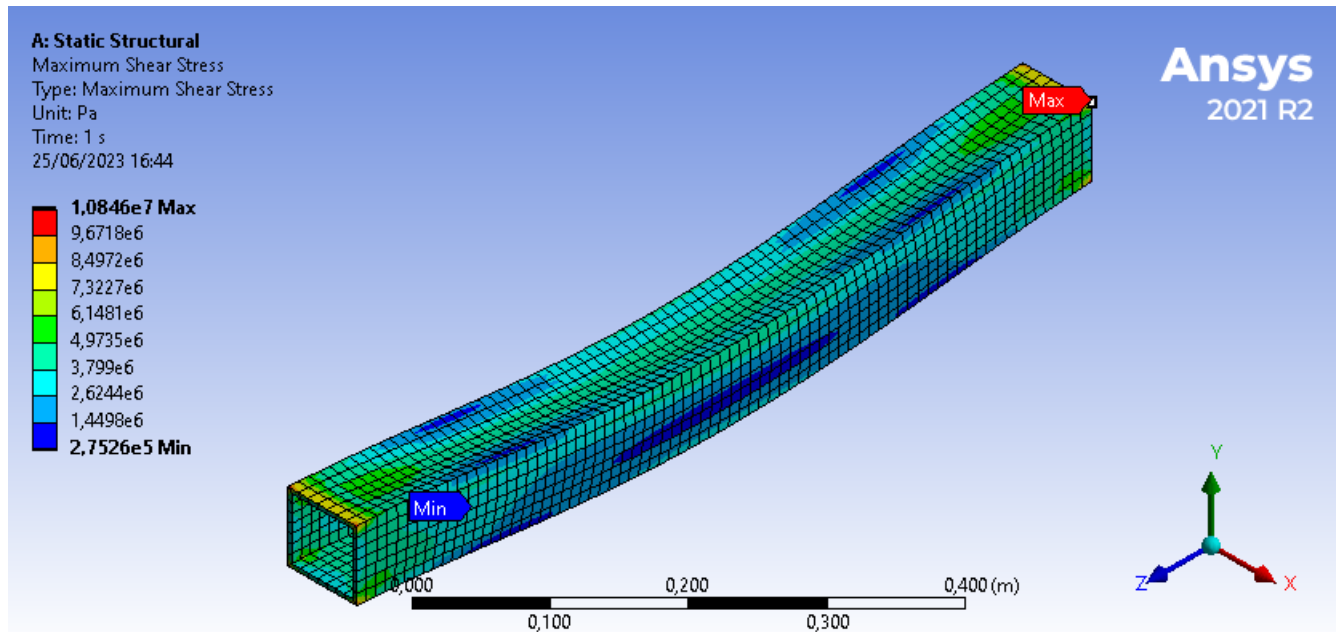
*Deformación Total viga punte final.*



**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar la deformación, tanto mínima como máxima que se produce por la carga de la reacción  $R_b$  sobre la segunda viga puente del carro guía.

**Figura 73**

*Máximo Esfuerzo Cortante viga puente media viga puente final.*

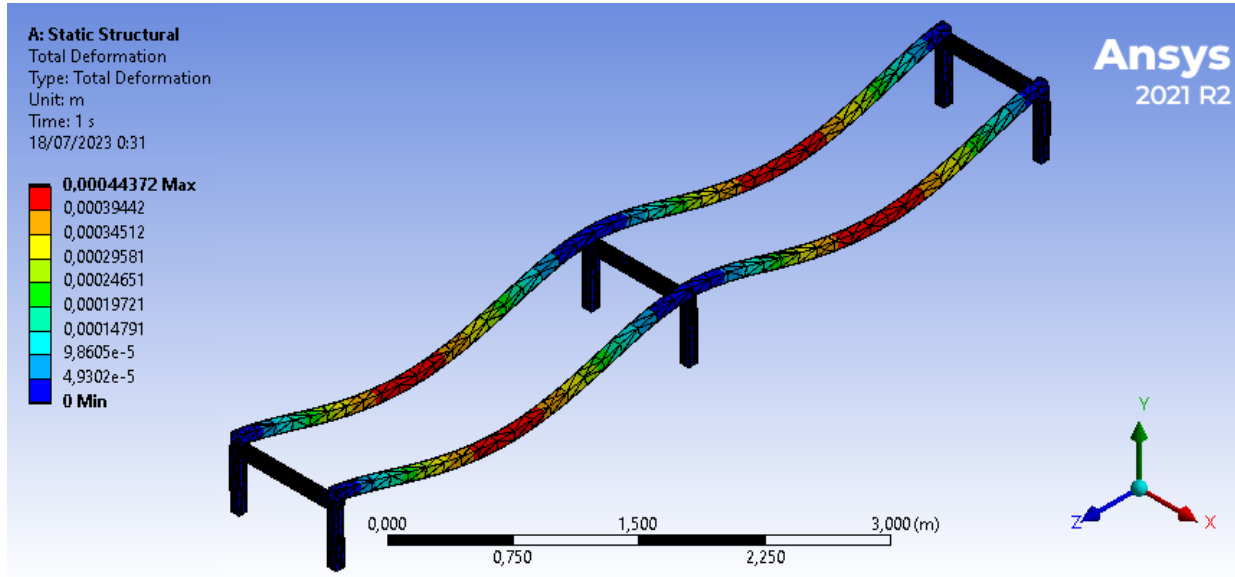


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar los esfuerzos mínimos y máximos que se produce por la carga de la reacción  $R_b$  sobre la segunda viga puente del carro guía.

De igual manera se realiza el análisis estructural del componente del caballete, el mismo que soporta las cargas referentes al carro guía y el perfil estructural, del cual se obtuvo los resultados de la deformación total de  $0,000\ 443\ 72\ m$  y un máximo esfuerzo cortante de  $7,605\ MPa$  como se puede observar en las siguientes figuras.

**Figura 74**

*Deformación Total Del caballete.*

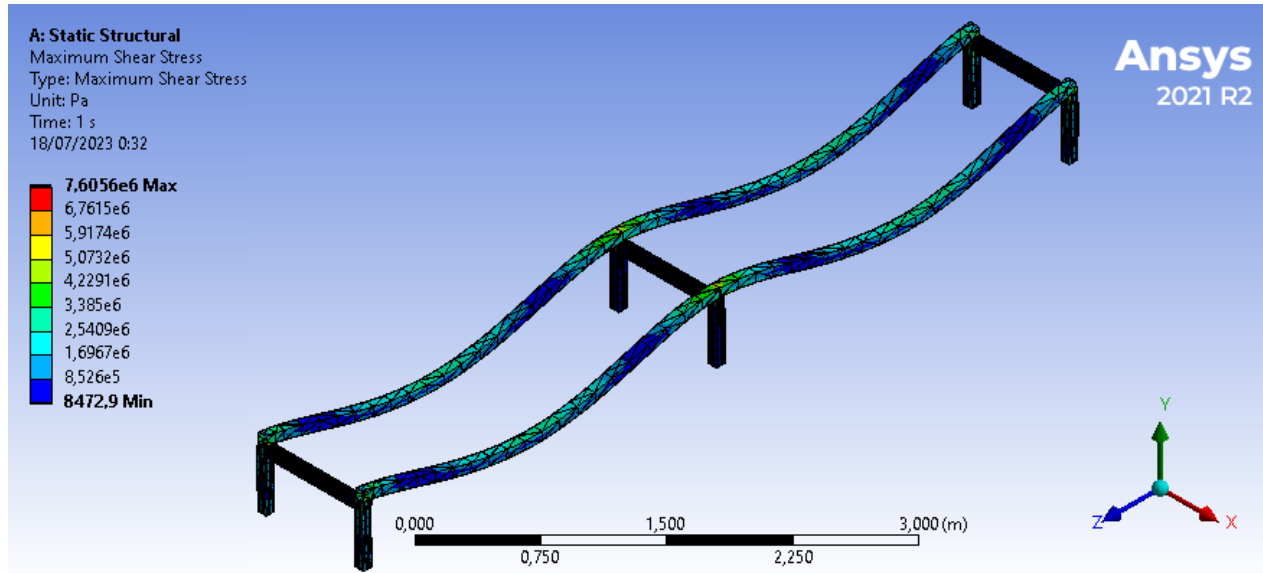


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar la deformación, tanto mínima como máxima que se produce por la carga generada por los elementos a soportar de esta.



**Figura 75**

*Máximo Esfuerzo Cortante del caballete.*

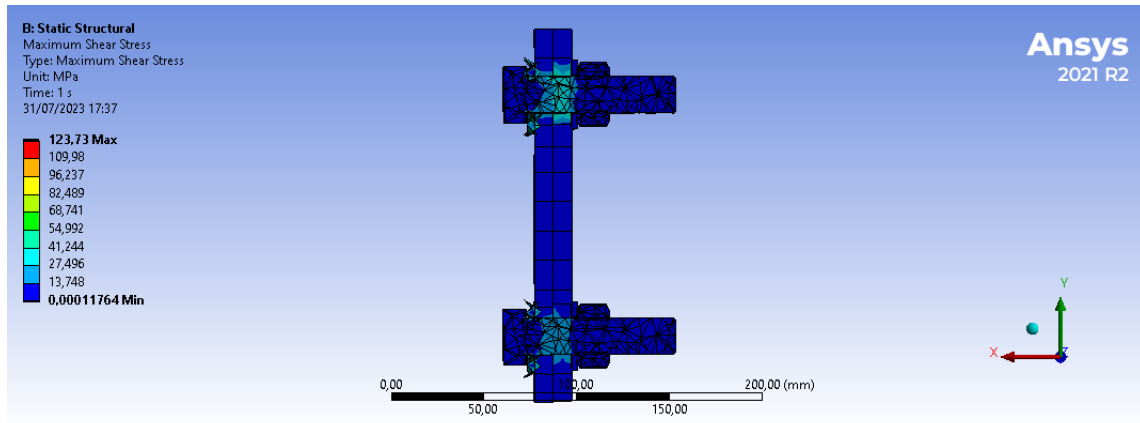


**Nota:** En la presenta figura se puede apreciar los esfuerzos mínimos y máximos que se produce por la carga generada por los elementos a soportar de esta.

Además, se ha realizado el análisis de esfuerzo cortante en los pernos utilizados para la unión de la platina del brazo de doblado con la abrazadera del tubo a doblar, obteniendo los siguientes resultados:

**Figura 76**

*Esfuerzo cortante en los pernos de la unión.*



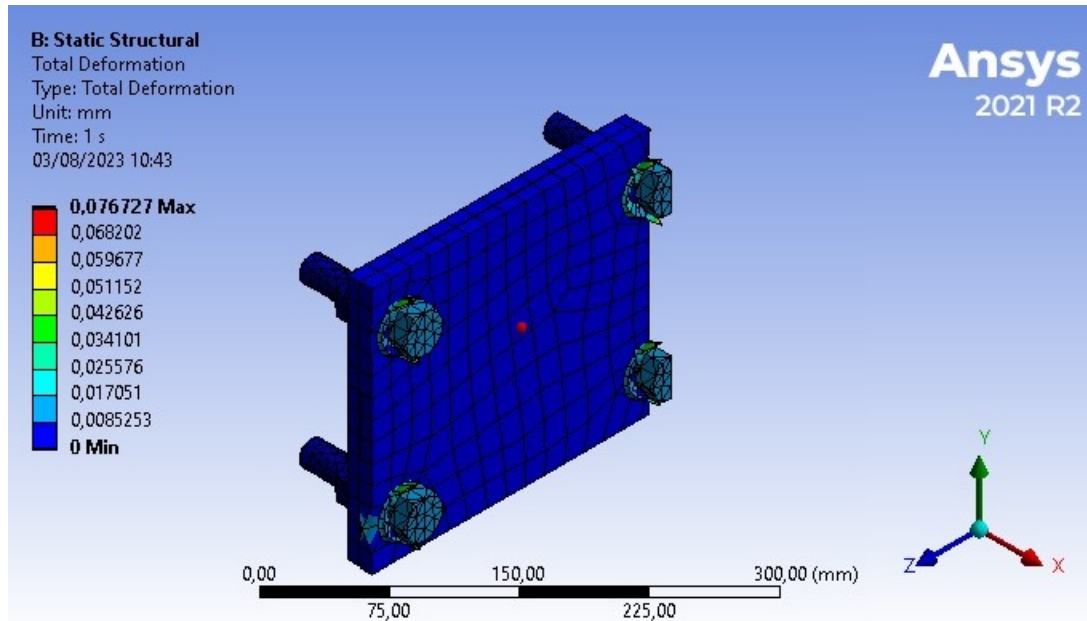
**Nota:** En la figura se puede observar el esfuerzo cortante máximo que soportan los pernos

Como se puede observar en la figura 76, tenemos que el esfuerzo máximo a soportar por los pernos es de 123,73 *MPa*.

De la misma manera, se puede observar en la figura 77, que los pernos pueden tener una deformación de 0,076 mm, la cual no es una deformación significativa, indicando que los pernos utilizados para la unión cumplen con su función.

**Figura 77**

*Deformación en los pernos de la unión.*



**Nota:** En la figura se puede observar la deformación existente en los pernos frente al esfuerzo cortante.

## 8. Conclusiones

- Con base a los requerimientos necesarios para el doblado del tubo, se ha realizado un análisis de los parámetros dimensionales del tubo a doblar y mediante estos se han analizado los parámetros iniciales mediante los cuales se ha llevado el proceso de diseño de la maquinaria. Usando una matriz de decisión se ha permitido establecer que el modelo más eficaz para nuestros requerimiento un doblado por inducción.
- Considerando el tamaño de la máquina, al igual que la complejidad de la estructura se define como mejor opción un diseño modular, mismo que presenta una serie de ventajas como lo son: flexibilidad, facilidad de mantenimiento, facilidad al transporte y montaje, facilidad para realizar actualizaciones y mejoras al diseño, reducción de costos; para lo cual el presente diseño se divide en 3 módulos, de los cuales tenemos: Caballete para la tubería, Matriz de Doblado y Sistema de Inducción, que se los ha desarrollado uno por

uno con el objetivo de optimizar el trabajo para cada uno de estos.

- Para el primer módulo correspondiente al caballete, en el cual se han seleccionado el material de acero ASTM 36 el cual es capaz de soportar toda la carga distribuida de  $1\,162,819\text{ N}$ , al realizar los respectivos análisis llega a tener una deformación de  $0,000\,443\,72\text{ m}$ , la misma que no representa un riesgo para la estructura, considerando que el material puede soportar una carga de deformación de  $212\text{ GPa}$ , comparada con la carga generada por el análisis de  $1,2\text{ MPa}$ .
- Para el segundo módulo se tiene la matriz de doblado, que consta de varios elementos, de los cuales se ha trabajado con los materiales: acero ASTM 36 y Aluminio 6061. Además, para las uniones se ha escogido pernos de clase 4,6 de acero de bajo o medio carbono el cual tiene una resistencia de prueba mínima de  $225\text{ MPa}$ , ideales para soportar el esfuerzo máximo generado por la unión de  $123,73\text{ MPa}$ .
- Para el tercer módulo de acuerdo con los estudios realizados acerca del doblado por inducción demuestran que existe una relación directa entre la potencia necesaria para el calentamiento del tubo y la velocidad del doblado. Los cálculos realizados en el presente documento se muestra que a mayor velocidad mayor potencia necesaria para el calentamiento de la sección del tubo a doblar, en el presente caso para una velocidad de doblado de  $0,003\text{ m/s}$  se requiere una potencia de  $6,45\text{ kW}$  de energía calorífica.
- Se puede mencionar que los cálculos y análisis realizados en el presente documento han sido fundamentales para la selección del motor junto con un reductor, con características de salida de velocidad de  $0,2\text{ RPM}$  y una potencia de  $0,55\text{ kW}$ .

## 9. Recomendaciones

Como principal recomendación sobre el presente proyecto realizado, es el mejorar el control del doblado, mejorando el sensor, con la posibilidad de añadir un encoder, que envíe datos precisos sobre el desplazamiento de la tubería y ya no depender únicamente de los finales de carrera que solo nos indican las posiciones de inicio y cuando este llegue a su final.

Como segunda recomendación es el tomar en cuenta las pérdidas caloríficas generadas por el muelle inductor ya que inducirán a un gasto innecesario de energía por ende este se vera reflejado en los costos de consume energético.

Se debe tomar muy en cuenta el utilizar un soporte que nos sirva de apoyo al momento que se realiza el doblado, ya que esta longitud es de  $3,77\text{ m}$  y este puede generar momentos de fuerza no deseados durante el proceso.

Por último, se puede proponer un análisis AMEF para la identificación y mitigación de los posibles fallos y riesgos que se puede presentar en el producto final, para de esta manera poder realizar un correcto plan de mantenimiento para cada uno de los módulos.

## Referencias

- Ambrela Induction Heating Solutions. (2018). *Bobinas de trabajo de calentamiento por inducción*. Descargado de [https://www.ambrell.com/hubfs/Ambrell\\_PDFs/411-0168-16.pdf](https://www.ambrell.com/hubfs/Ambrell_PDFs/411-0168-16.pdf)
- Anup Kumar Dey. (2020). Introduction to induction bending. Descargado de <https://whatispiping.com/induction-bending/>
- Carlos E. Chávez. (2016). *Universidad técnica de ambato facultad de ingeniería civil y mecánica carrera de ingeniería mecánica - pdf descargar libre*. Descargado de <https://docplayer.es/75120917-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-carrera-de-ingenieria-mecanica.html>
- Chan S Park. (2018, 1). Fundamentos de Ingenieria Economica - Chan S Park 2da.pdf. *www.academia.edu*. Descargado de [https://www.academia.edu/35739419/Fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_economica\\_Chan\\_S\\_Park\\_2da\\_pdf](https://www.academia.edu/35739419/Fundamentos_de_ingenieria_economica_Chan_S_Park_2da_pdf)
- Chávez Bonito, C. E. (2016). *Diseño y construcción de una máquina hidráulica para doblar tubería redonda de acero al carbono de tres y cuatro pulgadas cédula 40 con ángulos de 0 a 90*. Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica.
- D. H. (2014). ¿qué son las dobladoras de caño o tubo? Descargado de <https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/dobladoras-de-cano-o-tubo#:~:text=Doblado%20por%20presi%C3%B3n%20en%20prensa,-Este%20m%C3%A9todo%20difiere&text=La%20matriz%20punz%C3%B3n%20tiene%20el,alrededor%20de%20la%20matriz%20punz%C3%B3n>
- De La Cruz, E. S., y Quispe, V. P. (2016). Dobladora de tubos. *Industrial Data*, 1(2), 31–36.
- DIPAC. (2022, 7). CATÁLOGO GENERAL DE PRODUCTOS. Descargado de <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>
- Ferdinand P. Beer. (2010). *Mecánica de materiales* (5.ª ed.).
- GH Electrotermia, S. (2021). *Sobre calentamiento por inducción*. Descargado de <https://www.ghinduction.com/sobre-calentamiento-por-induccion/?lang=es#:~:text=El%20calentamiento%20por%20inducci%C3%B3n%20es,consistencia%2C%20control%20y%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.>
- González, W. (2013, 3). *Diseño y construcción de bobinas de calentamiento para hornos de inducción electromagnética*. Descargado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212013000100004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212013000100004)

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Señalización vial. parte 5. semaforización. Descargado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-004-5.pdf>
- IPAC Acero. (2023, 5). CATÁLOGO IPAC. Descargado de <https://ipac-acero.com/wp-content/uploads/2023/05/CATALOGO-IPAC-NACIONAL.pdf>
- ISA INDUSTRIAL – Equipamiento eléctrico. (2023). Descargado de <https://isaindustrial.com/>
- J. Ruiz. (2013). Defectos tipicos en el doblado de tubos por arrastre. Descargado de [https://www.researchgate.net/figure/Defectos-tipicos-en-el-doblado-de-tubos-por-arrastre-Fuente-Strano-2005-Wang-y-col\\_fig5\\_271830824](https://www.researchgate.net/figure/Defectos-tipicos-en-el-doblado-de-tubos-por-arrastre-Fuente-Strano-2005-Wang-y-col_fig5_271830824)
- J. Hurtado, S. S., R. Milán. (2012). Estudio del comportamiento elastoplástico en el proceso de doblado de tubos por arrastre. Descargado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702012000100003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702012000100003)
- Joseph E. Shigley, R. G. B. y. J. K. N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley* (8va ed.). McGraw Hill.
- M. Groover. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3.<sup>a</sup> ed.).
- MIPSA. (2021). Metales industriales. Descargado de <https://www.mipsa.com.mx/procesos/doblez-de-tubo/>
- Mohinder L Nayyar. (2000). *Piping handbook* (7.<sup>a</sup> ed.).
- Norton, R. L. (2014). *Diseño de máquinas*. Pearson.
- OMNI-X. (2020). Tube Bending Tools | OMNI-X. Descargado de <https://www.omni-x.com/mx/es/defects-while-tube-bending>
- QBprofe Academic. (s.f.). *Interruptores de Posición Finales de Carrera*. Descargado de <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/interruptores-de-posicion-finales-de-carrera/>
- ROBOTICS ECUADOR – Electrónica y Robótica. (2023). Descargado de <https://roboticsec.com/>
- S. Kalpakjian. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (5.<sup>a</sup> ed.).
- Seyse - señalamiento vial. (s.f.). <https://www.seyse.com.mx/semaforo.html>. (Accessed: 2023-3-16)
- SIEMENS. (2007, 1). MicroMaster Instrucciones de Uso. *SIEMENS*. Descargado de <https://docs.rs-online.com/3ed6/0900766b80f658ef.pdf>
- SIEMENS. (2008). *Motorrrreductores*. Descargado de <http://rodesprex.com/catalogos/moto/sie01es.pdf>
- SIEMENS. (2018). *S7 1200 - Product details - Industry Mall - Siemens Ecuador*. Descarga-

do de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/EC/Catalog/Product/?mlfb=6ES7214-1BG40-0XB0&SiepCountryCode=EC>

W. M. (2019). *Métodos básicos de doblado de tubos*. Descargado de <https://censaindustrial.com/metodos-basicos-de-doblado-de-tubos/>



# **ANEXOS**

## A. Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 10

*Matriz de consistencia.*

| MATRIZ DE CONSISTENCIA  |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
| PROBLEMA GENERAL  | OBJETIVO GENERAL  | HIPÓTESIS GENERAL  | VARIABLES  | MARCO TEÓRICO  |
| ¿Es posible realizar el diseño de una dobladora de tubos cónicos para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo?            | Diseñar una dobladora de tubos cónicos para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo.                        | Se diseñará una dobladora de tubos cónicos automática para el proceso de elaboración de postes para semáforos de tipo látigo.              | <b>-VI:</b> Diseño.<br><b>-VD:</b> Postes de semáforos.      | Diseño mecánico<br>Postes de semáforo                                    |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS   | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS  | VARIABLES  | MARCO TEÓRICO  |
| ¿Es factible evaluar los parámetros dimensionales de los postes tipo látigo para el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos?         | Evaluar los parámetros dimensionales de los postes de tipo látigo para el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos.     | Los parámetros dimensionales del tipo de poste determinarán el diseño de la dobladora de tubos cónicos para semáforos.                     | <b>-VI:</b> Diseño.<br><b>-VD:</b> Parámetros dimensionales. | Tipos de postes para semáforos y sus dimensiones.                        |
| ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales para el proceso de doblado de tubos para la elaboración de postes cónicos tipo látigo para semáforos? | Establecer los parámetros iniciales del proceso de doblado de tubos para la elaboración de postes cónicos tipo látigo para semáforos. | Los parámetros iniciales del proceso de doblado de tubos cónicos establecerán las dimensiones del poste cónico tipo látigo para semáforos. | <b>-VI:</b> Parámetros.<br><b>-VD:</b> Dimensiones.          | Parámetros dimensionales del tipo de poste para el diseño de la máquina. |
| ¿Es posible proponer un diseño para el doblado automático de tubos cónicos para semáforos?  | Proponer un diseño para el doblado automático de los tubos cónicos para semáforos tipo látigo.  | Diseño para el doblado automático de los tubos cónicos para semáforos tipo látigo.   | <b>-VI:</b> Diseño.<br><b>-VD:</b> Doblado de tubos cónicos. | Diseño de dobladora automática.  |

## B. Tabla de valores calculados para el Calentamiento por secciones de tubo cónico

| DISTANCIAS ( <i>mm</i> ) | VOLÚMENES ( $m^3$ ) | MASA ( <i>kg</i> ) | CALOR ( <i>kJ</i> ) | POTENCIA ( <i>kW</i> ) |
|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| 1030                     | 3,259 E-05          | 0,257              | 18,386              | 4,412                  |
| 1 147,812                | 3,306 E-05          | 0,261              | 18,651              | 4,476                  |
| 1 265,625                | 3,353 E-05          | 0,264              | 18,916              | 4,540                  |
| 1 383,437                | 3,400 1 E-05        | 0,268              | 19,181              | 4,603                  |
| 1 501,250                | 3,447 E-05          | 0,272              | 19,446              | 4,667                  |
| 1 619,062                | 3,494 E-05          | 0,276              | 19,712              | 4,731                  |
| 1 736,875                | 3,541 E-05          | 0,279              | 19,977              | 4,795                  |
| 1 854,687                | 3,588 E-05          | 0,283              | 20,242              | 4,858                  |
| 1 972,5                  | 3,635 E-05          | 0,287              | 20,507              | 4,922                  |
| 2 090,312                | 3,682 E-05          | 0,291              | 20,772              | 4,985                  |
| 2 208,125                | 3,729 E-05          | 0,295              | 21,037              | 5,049                  |
| 2 325,937                | 3,776 E-05          | 0,298              | 21,302              | 5,113                  |
| 2 443,75                 | 3,823 E-05          | 0,302              | 21,567              | 5,176                  |
| 2 561,562                | 3,87 E-05           | 0,305              | 21,832              | 5,239                  |
| 2 679,375                | 3,917 E-05          | 0,309              | 22,098              | 5,304                  |
| 2 797,187                | 3,964 E-05          | 0,313              | 22,363              | 5,367                  |
| 2 915                    | 4,011 E-05          | 0,317              | 22,628              | 5,431                  |
| 3 032,812                | 4,058 E-05          | 0,321              | 22,893              | 5,494                  |
| 3 150,625                | 4,105 E-05          | 0,324              | 23,158              | 5,558                  |
| 3 268,437                | 4,152 E-05          | 0,328              | 23,423              | 5,622                  |
| 3 386,250                | 4,199 E-05          | 0,332              | 23,688              | 5,685                  |
| 3 504,062                | 4,246 E-05          | 0,335              | 23,953              | 5,749                  |
| 3 621,875                | 4,293 E-05          | 0,339              | 24,218              | 5,813                  |
| 3 739,687                | 4,34 E-05           | 0,343              | 24,483              | 5,876                  |
| 3 857,500                | 4,387 E-05          | 0,347              | 24,748              | 5,939                  |
| 3 975,312                | 4,434 E-05          | 0,35               | 25,014              | 6,003                  |
| 4 093,125                | 4,481 E-05          | 0,354              | 25,279              | 6,067                  |
| 4 210,937                | 4,528 E-05          | 0,358              | 25,544              | 6,131                  |
| 4 328,750                | 4,575 E-05          | 0,361              | 25,809              | 6,194                  |
| 4 446,562                | 4,622 E-05          | 0,365              | 26,074              | 6,258                  |
| 4 564,375                | 4,669 E-05          | 0,369              | 26,339              | 6,322                  |
| 4 682,187                | 4,716 E-05          | 0,373              | 26,604              | 6,385                  |
| 4 800                    | 4,763 E-05          | 0,376              | 26,869              | 6,449                  |

# ANEXO C



DIBUJADO POR:  
REVISADO POR:

|                         |   |            |
|-------------------------|---|------------|
| Est. Super.<br>DIN 140  |   | FECHA      |
| ESCALA<br>0,05:1        |   |            |
| Tol.gen.<br>0,05:1      | DIB.  | 07/07/2023 |
| Tol.dimen.<br>ISO2768-f | REV.  | 07/07/2023 |
| ISO1101                 | APRO.   | 07/07/2023 |
| ISO286-1                | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |            |

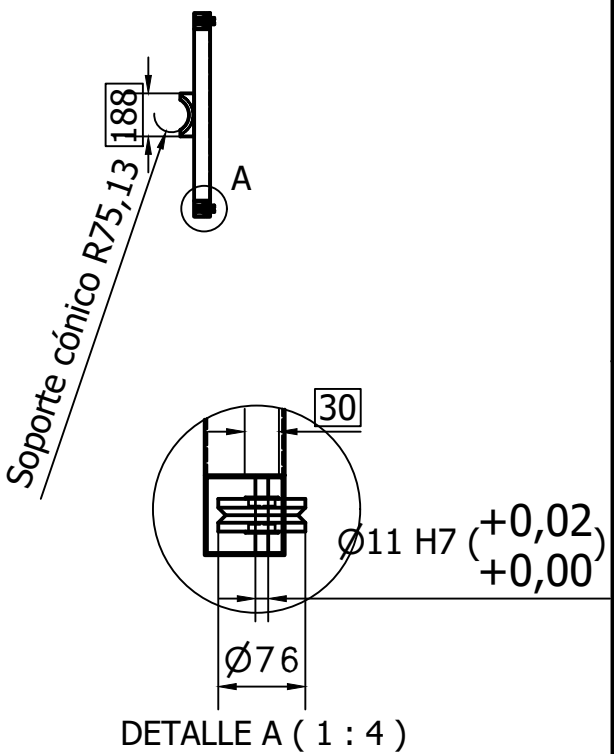
CARRO GUÍA

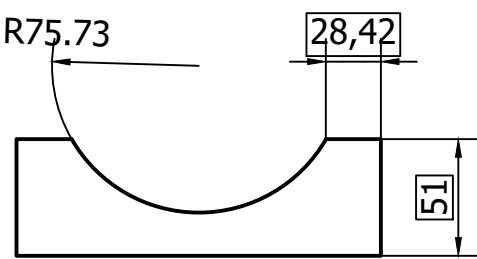
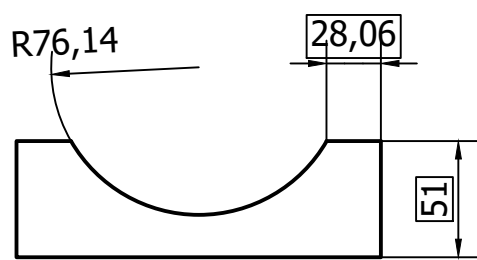
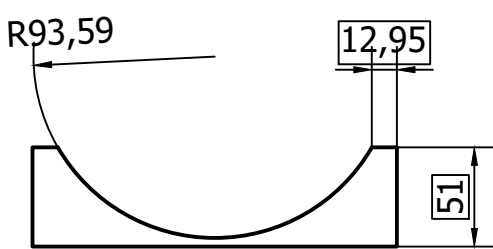
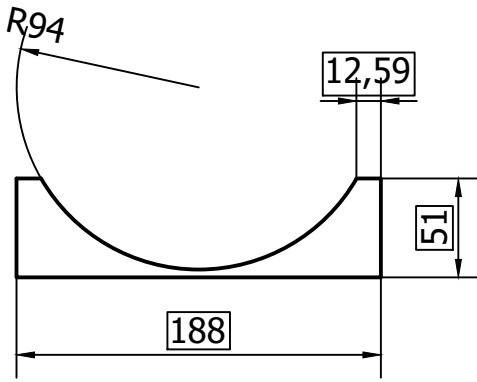
UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA


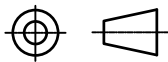
EDICIÓN  
1

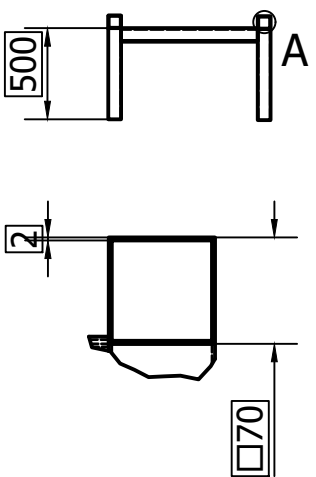
HOJA N°  
1

N° HOJAS  
16

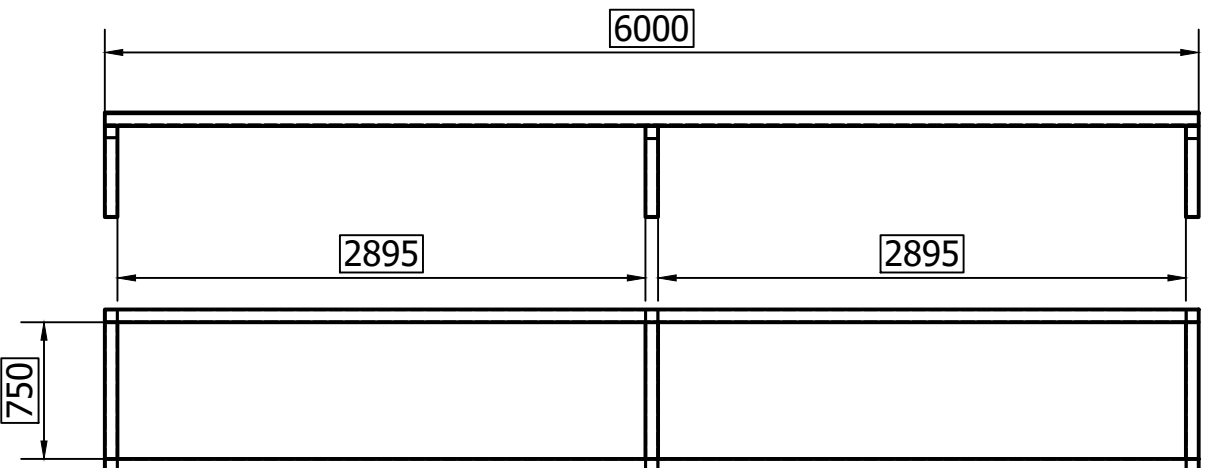






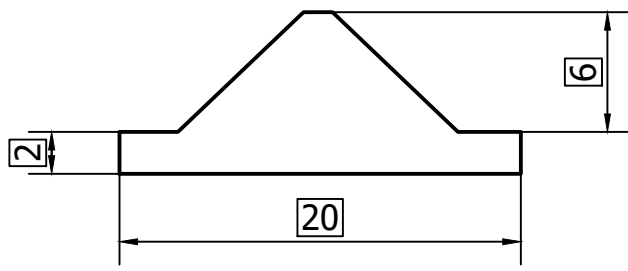
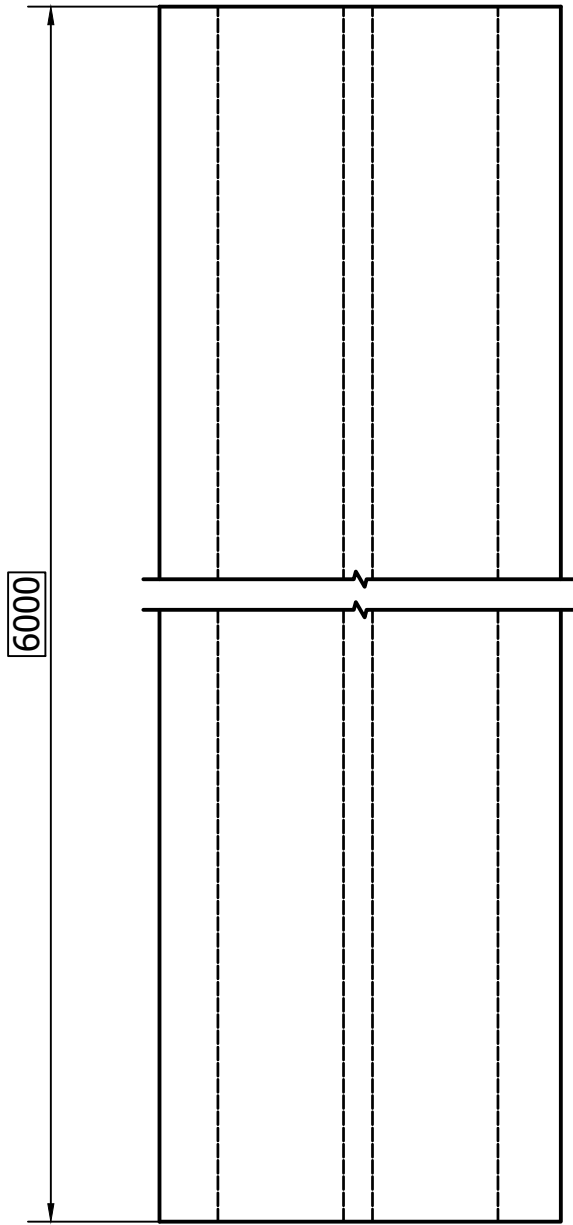
|   |   |   |                |                                      |              |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|--------------|
|  | Est. Super.   |  |                | PLATINAS SOPORTE CÓNICO              | EDICIÓN<br>1 |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |              |
|   | ESCALA<br>1:4   | DIB.  | 07/07/2023     | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>2 |
|   | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.geom.   | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.dimen.  |   |                |                                      |              |
| ISO2768-f   |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |              |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |              |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |              |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |              |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |              |


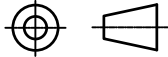


Detalle A ( 1 : 4 )

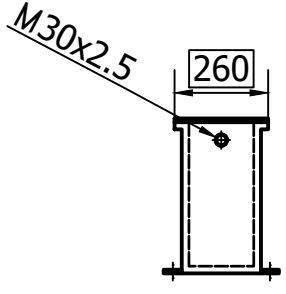
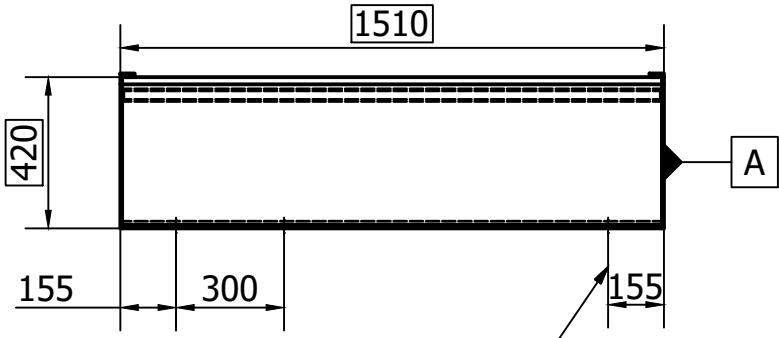


|   |   |   |            |   |              |
|---|---|---|------------|---|--------------|
| Est. Super.<br>DIN 140<br>ESCALA<br>0,03:1<br>Tol.gen.<br>Tol.geom.<br>Tol.dimen.<br>ISO2768-f<br>ISO1101<br>ISO286-1 |   | FECHA   |            | CABALLETE ESTRUCTURAL<br><br>UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | EDICIÓN<br>1 |
|   |   | DIB.  | 07/07/2023 |   |              |
| REV.  | 07/07/2023  | N° HOJAS<br>16                                |            |   |              |
| APRO.   | 07/07/2023  |   |            |   |              |
| DIBUJADO POR:<br>Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas                                    |   | REVISADO POR:<br>ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS |            |   |              |



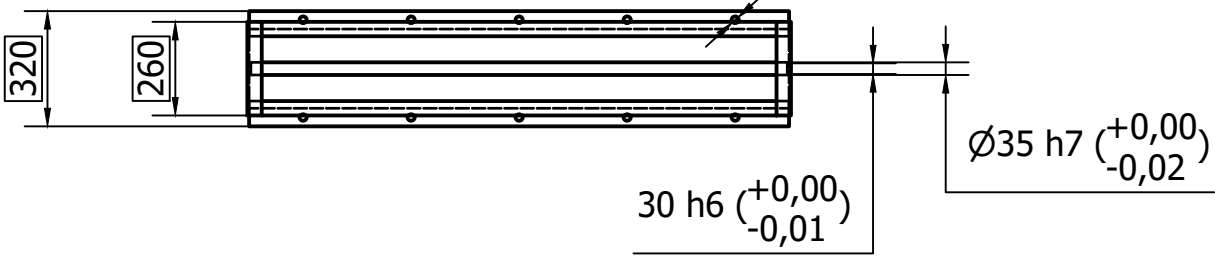
|   |             |   |   |                                      |              |
|---|-------------|---|---|--------------------------------------|--------------|
|  | Est. Super. |  |   | PERFIL EN V                          | EDICIÓN<br>1 |
|   | DIN 140     | FECHA   |   |                                      |              |
|   | ESCALA      |   |   | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>4 |
|   | 3:1         |   |   |                                      |              |
|   | Tol.gen.    | DIB.  | 07/07/2023  |                                      |              |
|   | Tol.geom.   | REV.  | 07/07/2023  |                                      |              |
| Tol.dimen.  | APRO.       | 07/07/2023  | N° HOJAS<br>16  |                                      |              |
| ISO2768-f   |             |   |   |                                      |              |
| ISO1101   |             |   | DIBUJADO POR: Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |                                      |              |
| ISO286-1  |             |   | REVISADO POR: ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |                                      |              |





$\oplus 0,010 A$

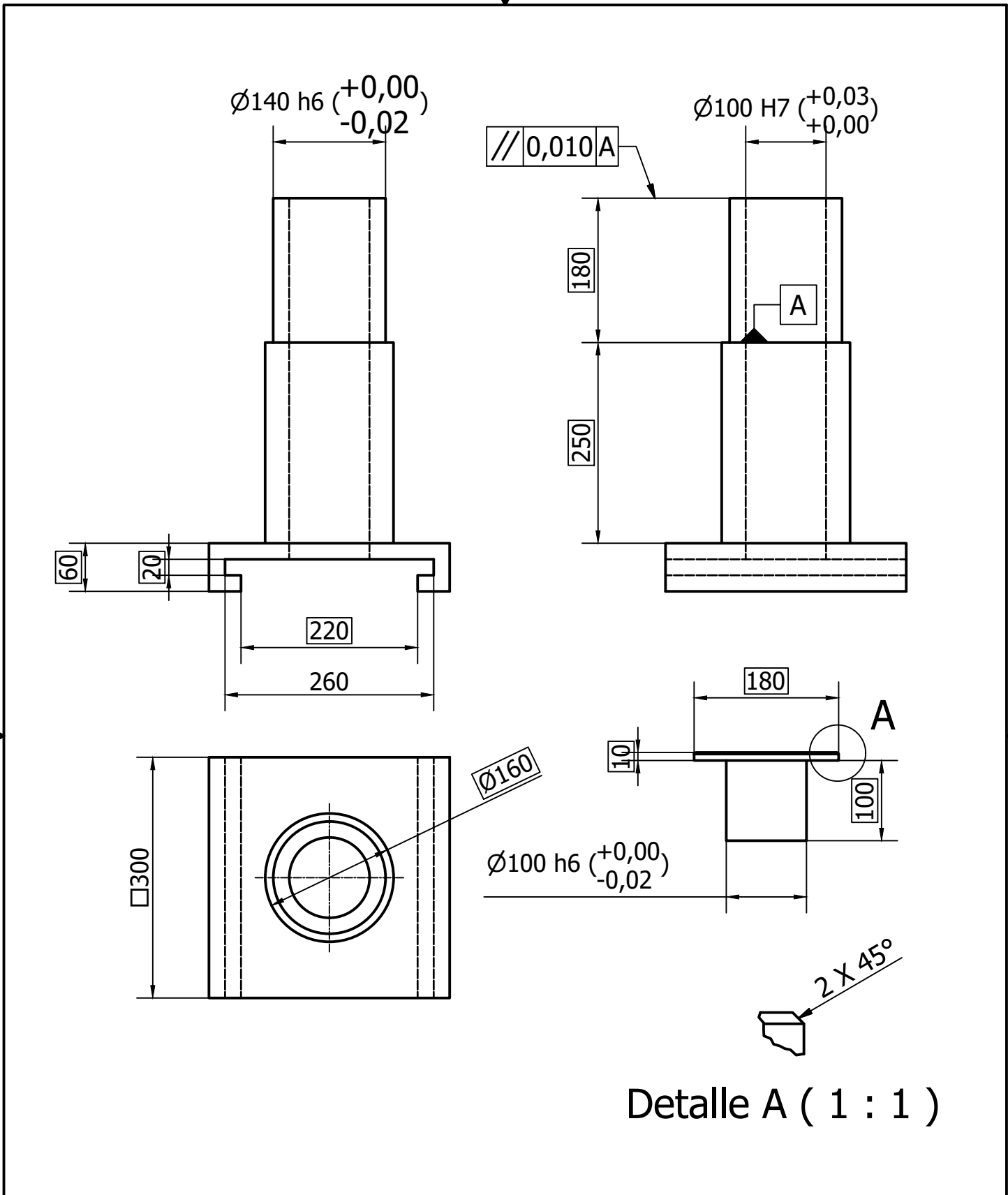
$\varnothing 20 H7 (+0,02 / +0,00) \times 10$



Fundicion  
Ra 0.1

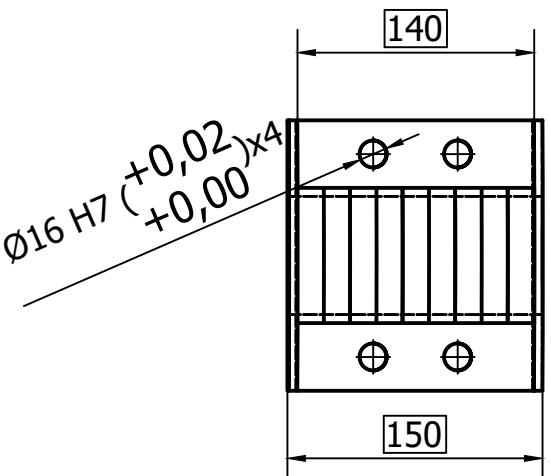
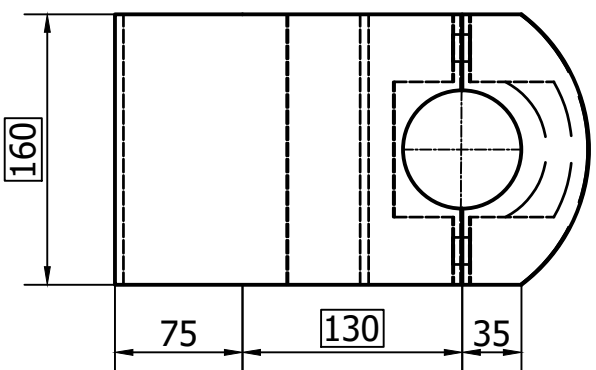
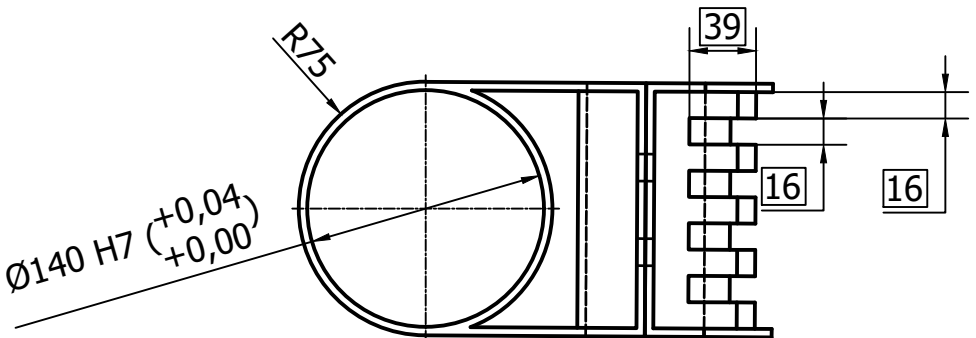


|               |   |       |                |                                      |              |
|---------------|---|-------|----------------|--------------------------------------|--------------|
|               | Est. Super.   |       |                | BASE DE MATRIZ DE DOBLADO            | EDICIÓN<br>1 |
|               | DIN 140   | FECHA |                |                                      |              |
|               | ESCALA<br>0.05:1  | DIB.  | 07/07/2023     | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>5 |
|               | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |              |
|               | Tol.geom.   | APRO. | 07/07/2023     |                                      |              |
|               | Tol.dimen.  |       |                |                                      |              |
| ISO2768-f     |   |       | N° HOJAS<br>16 |                                      |              |
| ISO1101       |   |       |                |                                      |              |
| ISO286-1      |   |       |                |                                      |              |
| DIBUJADO POR: | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |       |                |                                      |              |
| REVISADO POR: | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |       |                |                                      |              |



Detalle A ( 1 : 1 )

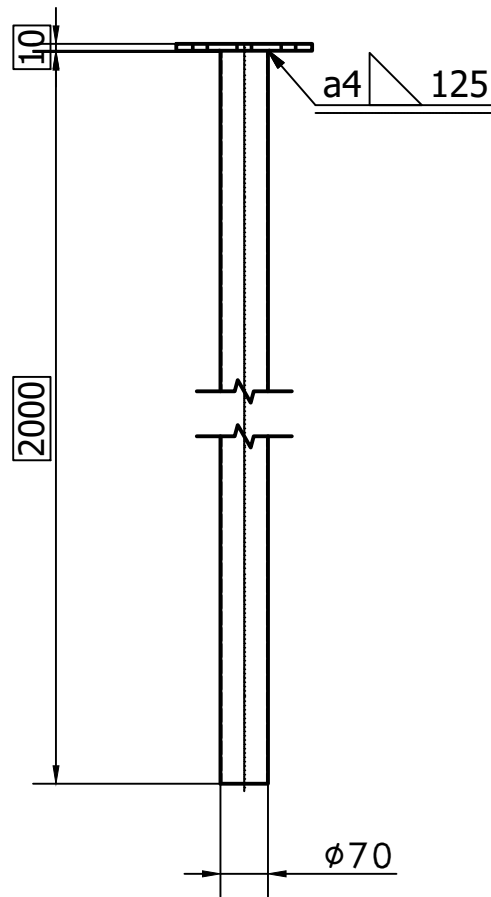
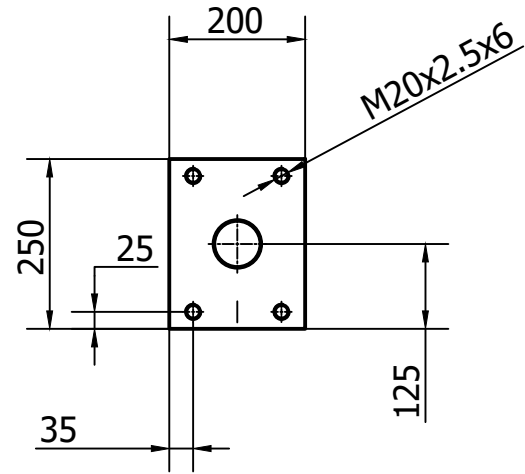
|               |   |            |                |                                      |              |
|---------------|---|------------|----------------|--------------------------------------|--------------|
|               | Est. Super.   |            |                | CARRO TRANSVERSAL                    | EDICIÓN<br>1 |
|               | DIN 140   |            |                |                                      |              |
|               | ESCALA  | FECHA      |                | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>6 |
|               | 1:7   |            |                |                                      |              |
|               | Tol.gen.  | DIB.       | 07/07/2023     |                                      |              |
|               | Tol.geom.   | REV.       | 07/07/2023     |                                      |              |
| Tol.dimen.    | APRO.   | 07/07/2023 | N° HOJAS<br>16 |                                      |              |
| ISO2768-f     |   |            |                |                                      |              |
| ISO1101       |   |            |                |                                      |              |
| ISO286-1      |   |            |                |                                      |              |
| DIBUJADO POR: | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |            |                |                                      |              |
| REVISADO POR: | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |            |                |                                      |              |


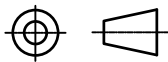


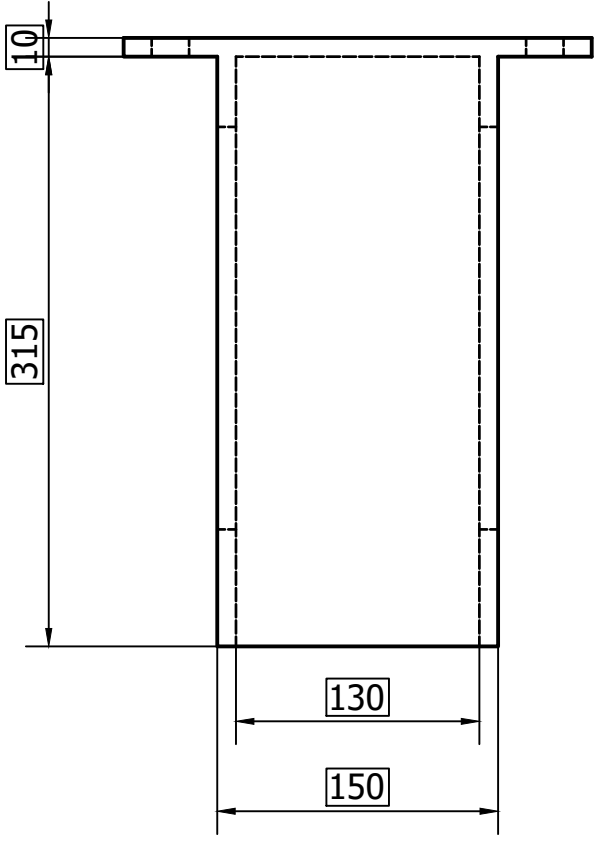
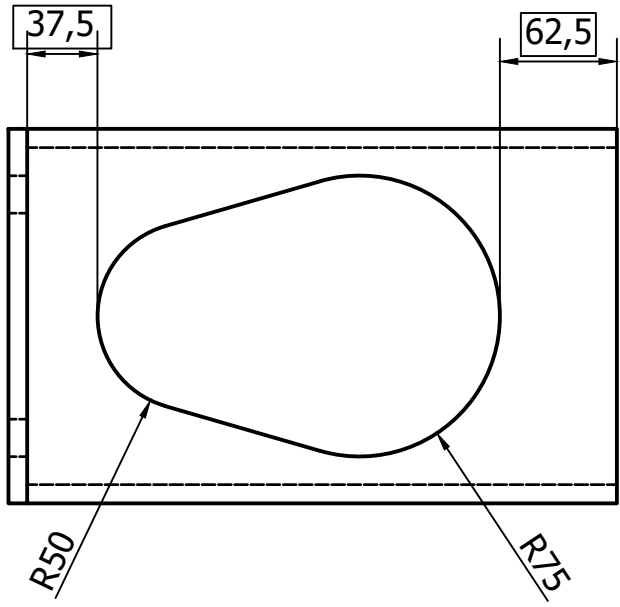
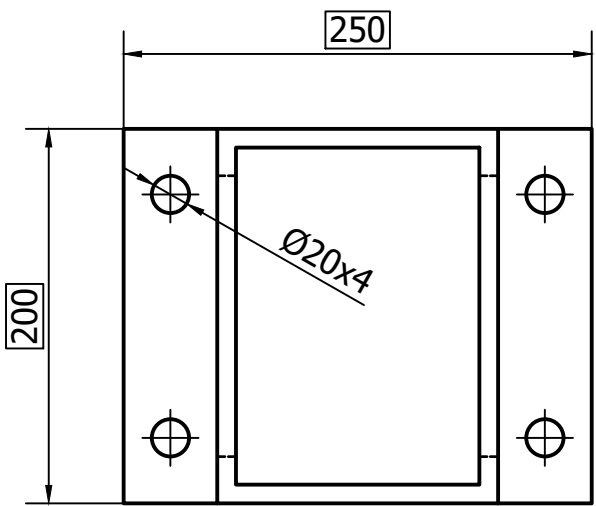
Fundicion  
Ra 25


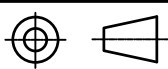


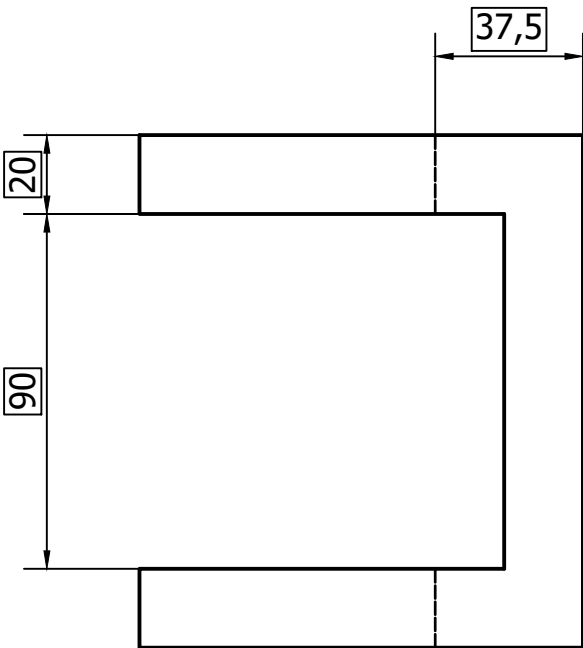
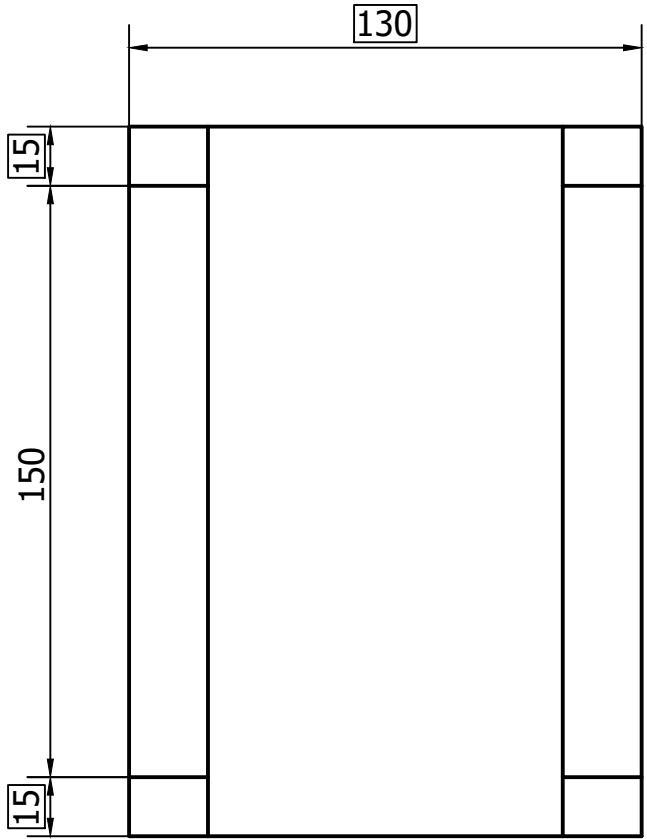
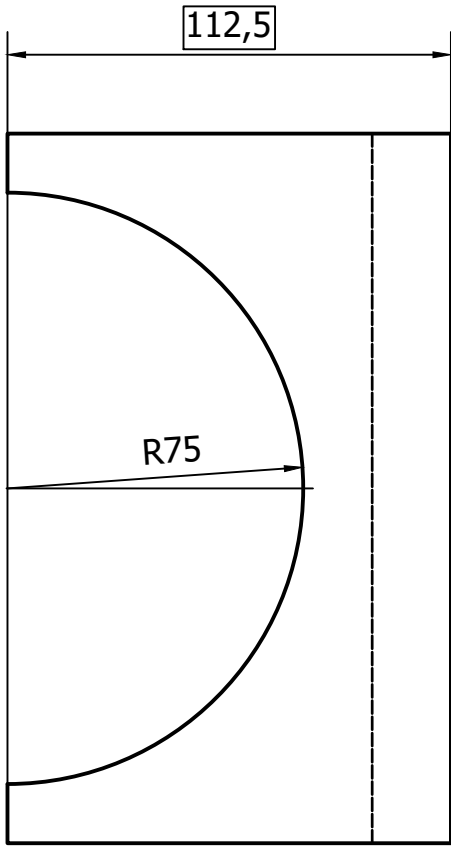
|  |                    |                     |   |  |
|--|--------------------|---------------------|---|--|
| Est. Super.<br>DIN 140<br>ESCALA<br>1:4<br>Tol.gen.<br>Tol.geom.<br>Tol.dimen.<br>ISO2768-f<br>ISO1101<br>ISO286-1 |                    | FECHA<br>07/07/2023 | ABRAZADERA BRAZO DE DOBLADO<br><br>UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | EDICIÓN<br>1   |
|  |                    |                     |   | DIBUJADO POR:<br>Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |
| REVISADO POR:<br>ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS  | DIB.<br>07/07/2023 | REV.<br>07/07/2023  | N° HOJAS<br>16  |  |


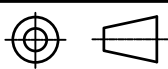


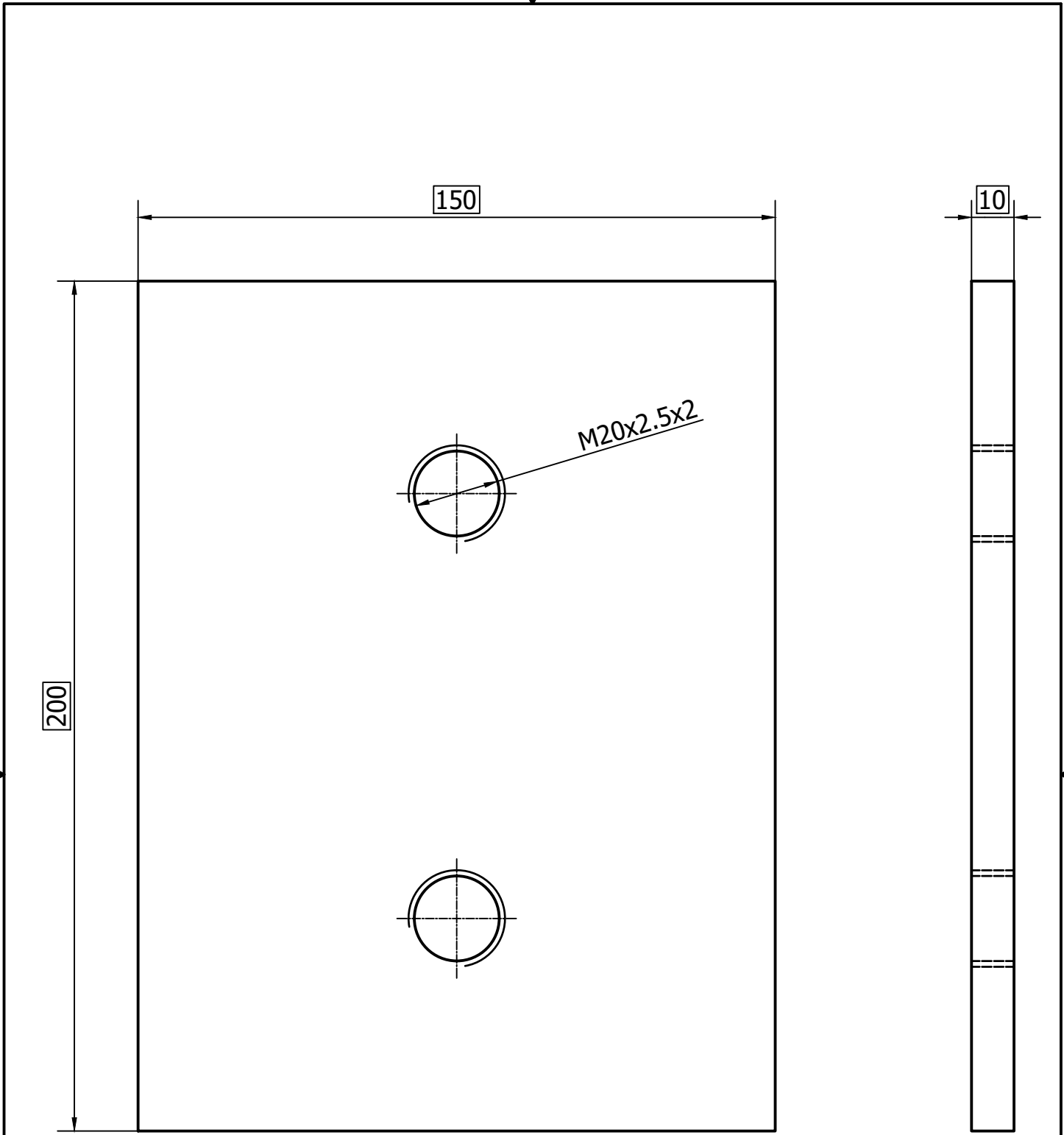
|   |   |   |                |                                      |              |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|--------------|
|  | Est. Super.   |  |                | BRAZO DE DOBLADO                     | EDICIÓN<br>1 |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |              |
|   | ESCALA  | 1:11  |                | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>8 |
|   | Tol.gen.  | DIB.  | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.geom.   | REV.  | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.dimen.  | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |              |
| ISO2768-f   |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |              |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |              |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |              |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |              |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |              |


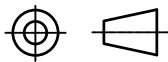


|   |   |   |                |                                      |              |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|--------------|
|  | Est. Super.   |  |                | ABRAZADERA EXTERNA TUBO              | EDICIÓN<br>1 |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |              |
|   | ESCALA<br>1:4   | DIB.  | 07/07/2023     | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>9 |
|   | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.geom.   | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |              |
|   | Tol.dimen.  |   |                |                                      |              |
| ISO2768-f   |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |              |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |              |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |              |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |              |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |              |

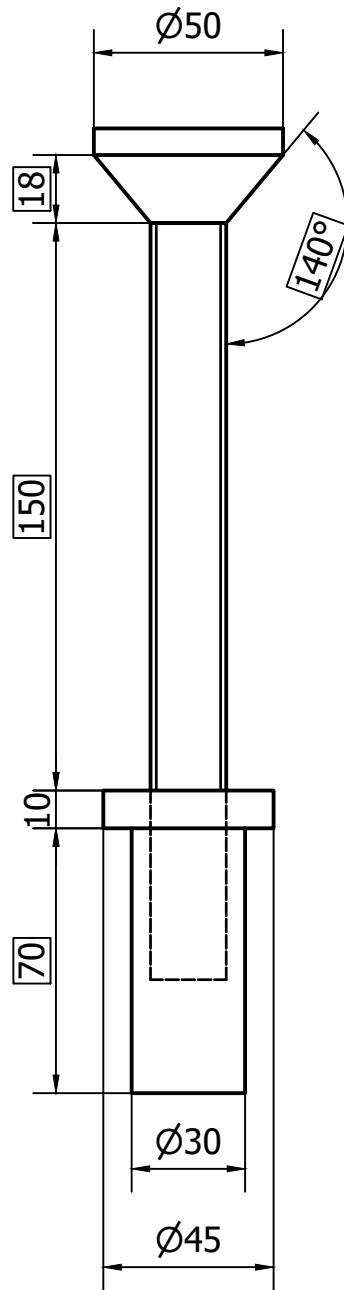
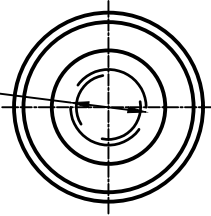


|   |   |   |            |                                      |               |                |
|---|---|---|------------|--------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Est. Super.   |  |            | ABRAZADERA INTERNA TUBO              | EDICIÓN<br>1  |                |
|   | DIN 140   | FECHA   |            |                                      |               |                |
|   | ESCALA  |   |            | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>10 |                |
|   | 1:2   |   |            |                                      |               |                |
|   | Tol.gen.  | DIB.  | 07/07/2023 |                                      |               | N° HOJAS<br>16 |
|   | Tol.geom.   | REV.  | 07/07/2023 |                                      |               |                |
| Tol.dimen.  | APRO.   | 07/07/2023  |            |                                      |               |                |
| ISO2768-f   |   |   |            |                                      |               |                |
| ISO1101   |   |   |            |                                      |               |                |
| ISO286-1  |   |   |            |                                      |               |                |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |            |                                      |               |                |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |            |                                      |               |                |



|   |   |   |                |                                      |               |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|---------------|
|  | Est. Super.   |  |                | TAPA ABRAZADERA TUBO                 | EDICIÓN<br>1  |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |               |
|   | ESCALA  |   |                | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>11 |
|   | 1:1.5   | DIB.  | 07/07/2023     |                                      |               |
|   | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |               |
|   | Tol.geom.   | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |               |
| Tol.dimen.  |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |               |
| ISO2768-f   |   |   |                |                                      |               |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |               |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |               |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |               |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |               |

$\varnothing 20\ h6\ (+0,00, -0,01)$



Est. Super.

DIN 140

ESCALA

1:2

Tol.gen.

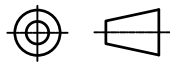
Tol.geom.

Tol.dimen.

ISO2768-f

ISO1101

ISO286-1



FECHA

DIB.

07/07/2023

REV.

07/07/2023

APRO.

07/07/2023

TORNILLO DE AJUSTE

EDICIÓN  
1

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA

HOJA N°  
12

DIBUJADO POR:

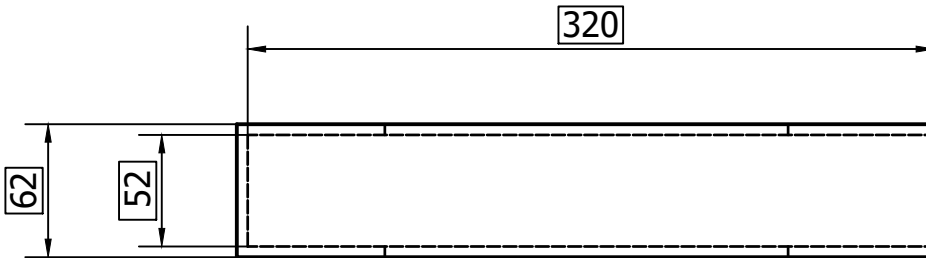
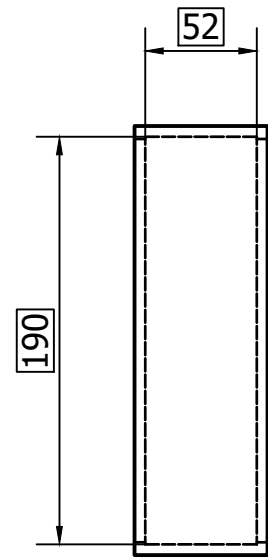
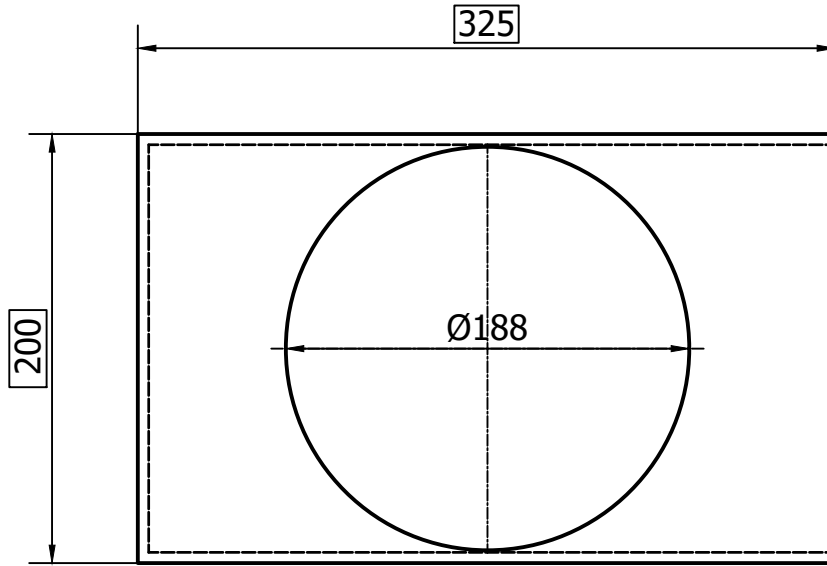
Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas


REVISADO POR:

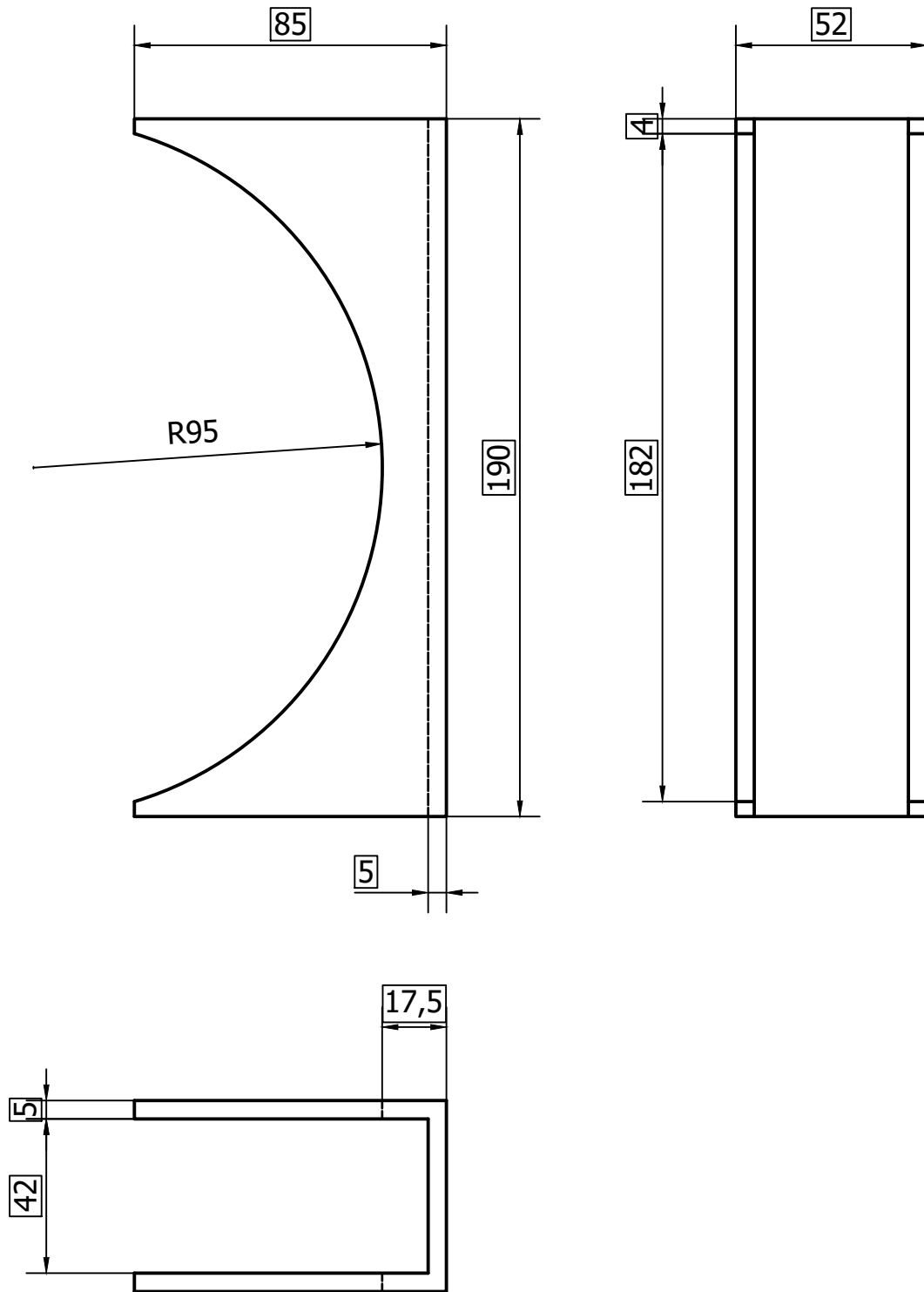
ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS

N° HOJAS  
16

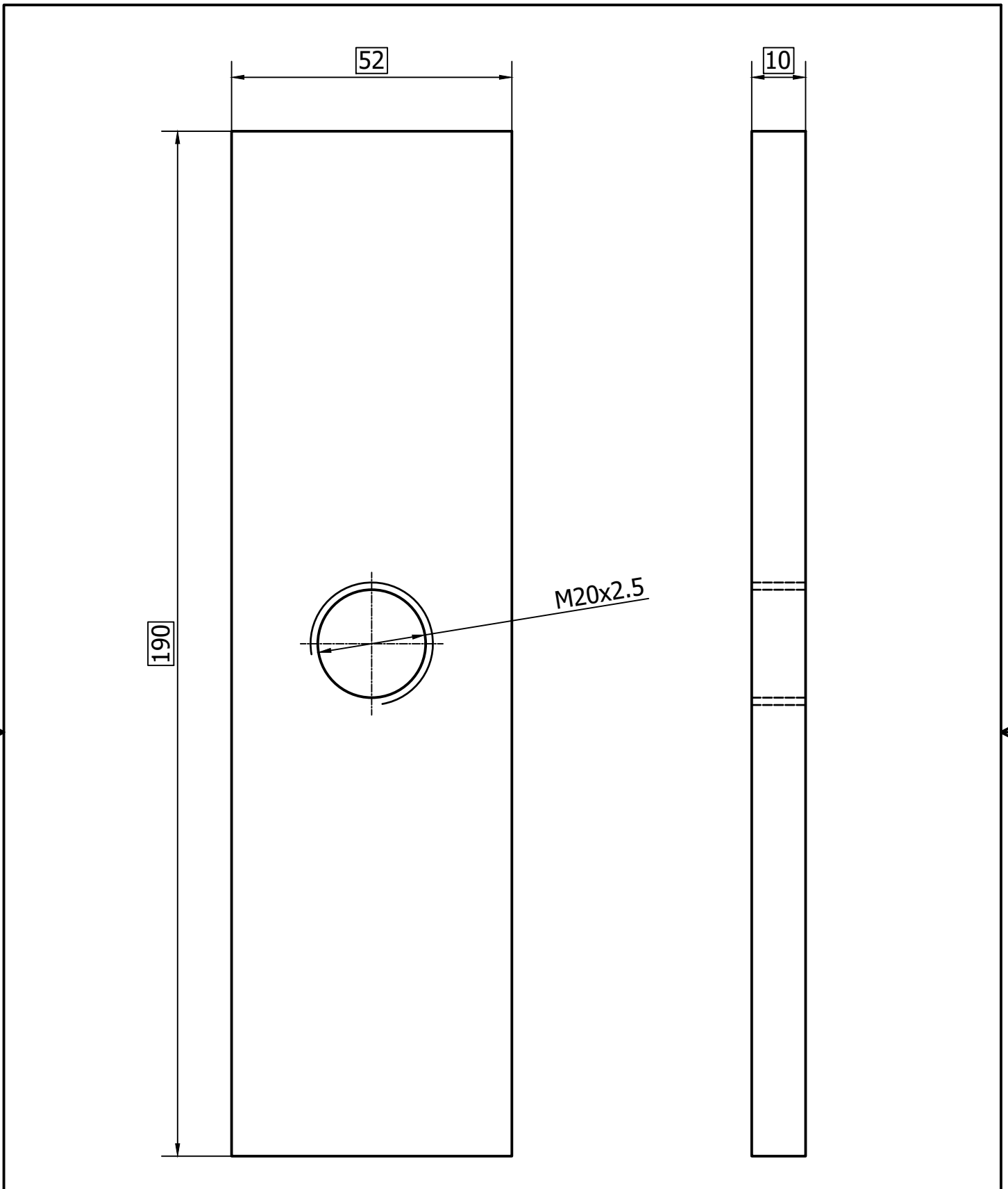



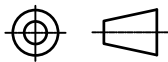


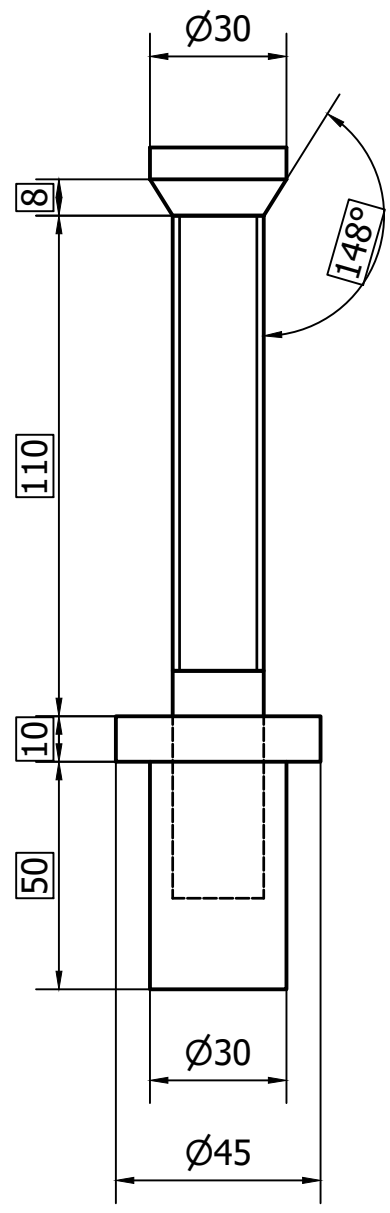
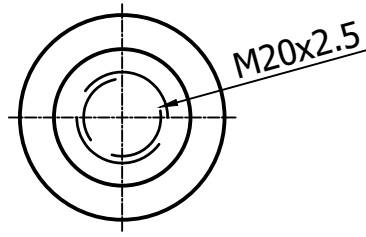
|   |   |   |                |                                      |               |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|---------------|
|  | Est. Super.   |  |                | SUJECIÓN / EMPUJADOR EXTERNO         | EDICIÓN<br>1  |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |               |
|   | ESCALA<br>1:4   | DIB.  | 07/07/2023     | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>13 |
|   | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |               |
|   | Tol.geom.   | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |               |
| Tol.dimen.  |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |               |
| ISO2768-f   |   |   |                |                                      |               |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |               |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |               |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |               |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |               |



|   |   |   |                |                                      |               |
|---|---|---|----------------|--------------------------------------|---------------|
|  | Est. Super.   |  |                | SUJECIÓN / EMPUJADOR INTERNO         | EDICIÓN<br>1  |
|   | DIN 140   | FECHA   |                |                                      |               |
|   | ESCALA<br>1:2   | DIB.  | 07/07/2023     | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>14 |
|   | Tol.gen.  | REV.  | 07/07/2023     |                                      |               |
|   | Tol.geom.   | APRO.   | 07/07/2023     |                                      |               |
|   | Tol.dimen.  |   |                |                                      |               |
| ISO2768-f   |   |   | N° HOJAS<br>16 |                                      |               |
| ISO1101   |   |   |                |                                      |               |
| ISO286-1  |   |   |                |                                      |               |
| DIBUJADO POR:   | Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |   |                |                                      |               |
| REVISADO POR:   | ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |   |                |                                      |               |



|   |             |   |   |                                      |               |
|---|-------------|---|---|--------------------------------------|---------------|
|  | Est. Super. |  |   | TAPA SUJECIÓN / EMPUJADOR            | EDICIÓN<br>1  |
|   | DIN 140     | FECHA   |   |                                      |               |
|   | ESCALA      |   |   | UNIVERSIDAD<br>POLITÉCNICA SALESIANA | HOJA N°<br>15 |
|   | 1:1         |   |   |                                      |               |
|   | Tol.gen.    | DIB.  | 07/07/2023  |                                      |               |
|   | Tol.geom.   | REV.  | 07/07/2023  |                                      |               |
| Tol.dimen.  | APRO.       | 07/07/2023  | N° HOJAS<br>16  |                                      |               |
| ISO2768-f   |             |   |   |                                      |               |
| ISO1101   |             |   | DIBUJADO POR: Christian Adrian Picón Illescas y Adrian Francisco Andrade Vargas |                                      |               |
| ISO286-1  |             |   | REVISADO POR: ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS                                      |                                      |               |



DIBUJADO POR:  
REVISADO POR:

|             |       |            |
|-------------|-------|------------|
| Est. Super. |       |            |
| DIN 140     |       |            |
| ESCALA      | FECHA |            |
| 1:2         | DIB.  | 07/07/2023 |
| Tol.gen.    | REV.  | 07/07/2023 |
| Tol.geom.   | APRO. | 07/07/2023 |
| ISO2768-f   |       |            |
| ISO1101     |       |            |
| ISO286-1    |       |            |

TORNILLO AJUSTE

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA

EDICIÓN  
1

HOJA N°  
16

N° HOJAS  
16