



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA  
REMACHAR ZAPATAS DE FRENO PARA TRACTO  
CAMIONES CON MODELOS DE SERIE 4515 Y 4709**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES**

**DIRECTOR: ING. ALEX Y VINUEZA**

**Quito, Febrero 2018**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2018  
Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO    |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 172404614-7                   |
| APELLIDO Y NOMBRES:  | CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES |
| DIRECCIÓN:           | BARRIO EL OBELISCO            |
| EMAIL:               | jhonnyandres39_@hotmail.com   |
| TELÉFONO FIJO:       | (02)2389-138                  |
| TELÉFONO MOVIL:      | 0993931059                    |

| DATOS DE LA OBRA                             |  |          |                                     |          |                          |
|--|--|----------|-------------------------------------|----------|--------------------------|
| TÍTULO:                                      | Diseño de un sistema semiautomático para remachar zapatas de freno para tracto camiones con modelos de serie 4515 y 4709   |          |                                     |          |                          |
| AUTOR O AUTORES:                             | Jhonny Andres Chilig Inaquiza  |          |                                     |          |                          |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 2018/02/26   |          |                                     |          |                          |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:         | Ing. Alexy Vinueza. Msc  |          |                                     |          |                          |
| PROGRAMA                                     | <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">PREGRADO</td> <td style="border: none; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="border: none;">POSGRADO</td> <td style="border: none; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>  | PREGRADO | <input checked="" type="checkbox"/> | POSGRADO | <input type="checkbox"/> |
| PREGRADO                                     | <input checked="" type="checkbox"/>  | POSGRADO | <input type="checkbox"/>            |          |                          |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:                      | Ingeniero Mecatrónico  |          |                                     |          |                          |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras                 | <p>Se realizó el diseño y construcción del prototipo de una máquina semiautomática para los modelos de serie de zapata de freno 4515 y 4709 utilizados en los tracto camiones. Este sistema consta principalmente de un área de punzonado neumático y del mecanismo que soporta la zapata, en el cual el operador ubica el ensamblaje de la carcasa con el bloque de zapata en la posición inicial. Una vez posicionado se presiona el botón inicio, automáticamente se enciende un indicador y el vástago del cilindro desciende iniciando el proceso, por medio de un mecanismo piñón cremallera la zapata se puede mover a sus extremos que están controlados por dos finales de carrera, para realizar el movimiento rotacional de la zapata se utiliza dos motores ubicados sobre el ensamblaje y dos rodamientos que reduce la fricción entre la base y la carcasa. Durante el</p> |          |                                     |          |                          |

desarrollo de este proyecto se tomó como directriz la metodología en V aplicado en los proyectos mecatrónicos, se inició con el análisis de los requerimientos que se presentó en los talleres automotrices, posteriormente se definió el modelo de la estructura y el mecanismo a utilizar. Siguiendo con la metodología se diseñó y se seleccionó perfiles estructurales de tipo ángulo de 100 x 3 [mm] de espesor que soporta una viga UPN de 200 [mm], un cilindro neumático de doble efecto con un diámetro de 160 [mm], dos motores dc de 1/8 Hp y dos rodamientos de bolas con un diámetro interno de 6 [mm]. Finalmente se construyó un prototipo a escala 1:2 en el cual se validó la secuencia de remachado y el posicionamiento en cada uno de los mismos. Además se ha determinado que el tiempo del proceso automático se reduce un 30% con respecto al proceso manual.

**PALABRAS CLAVES:**

Zapata, remache, Proceso de remachado

**ABSTRACT:**

The design and construction of the prototype of a semi-automatic machine was carried out for the brake blocks series 4515 and 4709 models used in the truck tract. This system consists mainly of a pneumatic punching area and the mechanism that supports the brake blocks, in which the operator locates the assembly of the brake blocks in the initial position. Once positioned, the start button is pressed, an indicator is automatically lit and the cylinder rod descends, initiating the process, by means of a rack and pinion mechanism, the brake blocks can be moved to its ends, which are controlled by two limit switches, to perform The rotational movement of the brake blocks uses two motors located on the assembly and two bearings that reduces friction

between the base and the case. During the development of this project, the V methodology applied in the mechatronic projects was taken as a guideline, starting with the analysis of the requirements presented in the automotive workshops, later the model of the structure and the mechanism to be used was defined. Following the methodology, we designed and selected structural profiles of angle type of 100 x 3 [mm] of thickness that supports a UPN beam of 200 [mm], a double effect pneumatic cylinder with a diameter of 160 [mm], two dc motors of 1/8 Hp and two ball bearings with an internal diameter of 6 [mm]. Finally, a 1: 2 prototype was built in which the riveting sequence and the positioning in each of them were validated. It has also been determined that the time of the automatic process is reduced by 30% with respect to the manual process.

**KEYWORDS**

brake blocks, rivet, riveting process

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES

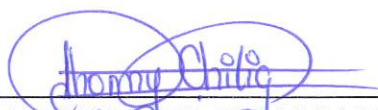
172404614-7

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES, CI 172404614-7 autor del proyecto titulado: **Diseño de un sistema semiautomático para remachar zapatas de freno para tracto camiones con modelos de serie 4515 y 4709** previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 26 de febrero del 2018



CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES  
172404614-7

## DECLARACIÓN

Yo, **CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

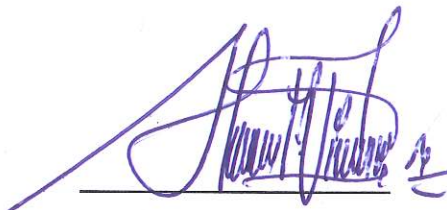


CHILIG INAQUIZA JHONNY ANDRES

172404614-7

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño de un sistema semiautomático para remachar zapatas de freno para tracto camiones con modelos de serie 4515 y 4709**", que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **JHONNY ANDRES CHILIG INAQUIZA**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alexy Vinueza', is written over a horizontal line.

Ing. Alexy Vinueza MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 171471105-6



## DEDICATORIA

A Dios y la Virgen del Cisne por protegerme durante mis estudios universitarios; brindándome sabiduría e inteligencia para culminar este presente proyecto.

A mi padre que me enseñó el valor de la responsabilidad y la perseverancia, aunque ya no se encuentre conmigo sé que siempre su amor me ha acompañado.

A mi hermano Roberth que con sus consejos, conocimientos y cariño me ha ayudado a no decaer en los momentos difíciles de mi vida.

A mis hermanas Ruth y Margoth por sus muestras de amor, preocupación y apoyo incondicional en el trayecto de mi vida personal y universitaria

## **AGRADECIMIENTO**

En mi primera instancia agradezco a los docentes que con su conocimiento, entereza y motivación hicieron posible la culminación de mis estudios universitarios.

A los Ing. Alexy Vinueza, Ing. Guillermo Mosquera y al Ing. Luis Hidalgo por su conocimiento científico, tiempo, paciencia y aportaciones de ideas para la realización de este presente proyecto.

A mis amigos que nos apoyamos mutuamente a lo largo de la formación académica y en la realización de esta tesis que con altos y bajos pudimos llegar a la meta deseada.

A mi familia por brindarme su apoyo, tanto sentimental, como económico y por ser una fuente de motivación.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| RESUMEN.....                            | 1             |
| ABSTRACT.....                           | 2             |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                    | 3             |
| 2. METODOLOGÍA.....                     | 5             |
| 2.1. REQUERIMIENTOS.....                | 6             |
| 2.2. PARAMETROS DE BORDE.....           | 6             |
| 2.3. DISEÑO DEL SISTEMA.....            | 6             |
| 2.3.1. Diseño mecánico.....             | 7             |
| 2.3.2. Diseño eléctrico.....            | 18            |
| 2.3.3. Diseño de control.....           | 21            |
| 2.4. PROTOTIPO FÍSICO.....              | 23            |
| 2.5. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....          | 26            |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....          | 23            |
| 3.1. Características de la máquina..... | 27            |
| 3.1.1. Características técnicas.....    | 27            |
| 3.1.2. Modo de uso.....                 | 27            |
| 3.2. Componentes seleccionados.....     | 27            |
| 3.3. Pruebas de funcionamiento.....     | 28            |
| 3.4. Validación de la máquina.....      | 29            |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 32            |
| BIBLIOGRAFÍA.....                       | 33            |
| ANEXOS.....                             | 34            |

# ÍNDICE DE TABLAS

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| <b>Tabla 1</b> Características técnicas cilindro doble efecto..... | 8             |
| <b>Tabla 2.</b> Características del resorte.....                   | 16            |
| <b>Tabla 3.</b> Descripción de los elementos del proceso .....     | 22            |
| <b>Tabla 4.</b> Dimensiones de la máquina .....                    | 27            |
| <b>Tabla 5.</b> Elementos utilizados en la máquina .....           | 27            |
| <b>Tabla 6.</b> Tiempos de proceso sin zapata.....                 | 28            |
| <b>Tabla 7.</b> Tiempos de proceso con zapata.....                 | 29            |
| <b>Tabla 8.</b> Calificación proceso de remachado.....             | 30            |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| <b>Figura 1.</b> Remachadora por impacto.....                                     | 3             |
| <b>Figura 2.</b> Modelo en V como un Macro-Ciclo .....                            | 5             |
| <b>Figura 3.</b> Diseño de la máquina completa.....                               | 6             |
| <b>Figura 4.</b> DCL viga soporta cilindro .....                                  | 9             |
| <b>Figura 5.</b> Gráficas de cortante y momento flector de la viga .....          | 10            |
| <b>Figura 6.</b> DCL viga superior .....  | 11            |
| <b>Figura 7.</b> Gráficas de momento flector y cortante de la viga superior ..... | 12            |
| <b>Figura 8.</b> DCL soporte columna .....  | 13            |
| <b>Figura 9.</b> Mecanismo que soporta la zapata .....                            | 15            |
| <b>Figura 10.</b> DCL resorte.....  | 16            |
| <b>Figura 11.</b> DCL rueda.....  | 19            |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama eléctrico .....  | 21            |
| <b>Figura 13.</b> Secuencia de remachado .....                                    | 21            |
| <b>Figura 14.</b> Esquema grafcet del proceso de remachado.....                   | 23            |
| <b>Figura 15.</b> Remachadora de zapatas de freno .....                           | 24            |
| <b>Figura 16.</b> Mecanismo completo soporta zapata.....                          | 24            |
| <b>Figura 17.</b> Tablero de control .....  | 25            |
| <b>Figura 18.</b> Tablero de control interno .....                                | 25            |
| <b>Figura 19.</b> Alineamiento del vástago .....                                  | 28            |
| <b>Figura 20.</b> Tiempo del proceso manual y de la máquina.....                  | 29            |
| <b>Figura 21.</b> Deformación en el bloque de zapata.....                         | 29            |
| <b>Figura 22.</b> Producto defectuoso .....                                       | 30            |
| <b>Figura 23.</b> Producto ok.....  | 30            |

# ÍNDICE DE ANEXOS

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| <b>ANEXO 1.</b> Informe de esfuerzo de remachado.....        | 34            |
| <b>ANEXO 2.</b> Catálogo cilindros Midman.....               | 36            |
| <b>ANEXO 3.</b> Especificaciones del perfil estructural..... | 37            |
| <b>ANEXO 4.</b> Vista isométrica de la máquina.....          | 38            |
| <b>ANEXO 5.</b> Plano de ensamble de la estructura.....      | 39            |
| <b>ANEXO 6.</b> Plano del ensamble del mecanismo.....        | 40.           |
| <b>ANEXO 7.</b> Plano de la base de la zapata.....           | 41            |
| <b>ANEXO 8.</b> Plano del soporte inferior.....              | 42            |
| <b>ANEXO 9.</b> Ficha técnica de la máquina.....             | 43            |

## RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción del prototipo de una máquina semiautomática para los modelos de serie de zapata de freno 4515 y 4709 utilizados en los tracto camiones. Este sistema consta principalmente de un área de punzonado neumático y del mecanismo que soporta la zapata, en el cual el operador ubica el ensamblaje de la carcasa con el bloque de zapata en la posición inicial. Una vez posicionado se presiona el botón inicio, automáticamente se enciende un indicador y el vástago del cilindro desciende iniciando el proceso, por medio de un mecanismo piñón cremallera la zapata se puede mover a sus extremos que están controlados por dos finales de carrera, para realizar el movimiento rotacional de la zapata se utiliza dos motores ubicados sobre el ensamblaje y dos rodamientos que reduce la fricción entre la base y la carcasa. Durante el desarrollo de este proyecto se tomó como directriz la metodología en V aplicado en los proyectos mecatrónicos, se inició con el análisis de los requerimientos que se presentó en los talleres automotrices, posteriormente se definió el modelo de la estructura y el mecanismo ah utilizar. Siguiendo con la metodología se diseñó y se seleccionó perfiles estructurales de tipo ángulo de 100 x 3 [mm] de espesor que soporta una viga UPN de 200 [mm], un cilindro neumático de doble efecto con un diámetro de 160 [mm], dos motores dc de 1/8 Hp y dos rodamientos de bolas con un diámetro interno de 6 [mm]. Finalmente se construyó un prototipo a escala 1:2 en el cual se validó la secuencia de remachado y el posicionamiento en cada uno de los mismos. Además se ha determinado que el tiempo del proceso automático se reduce un 30% con respecto al proceso manual.

**Palabras clave:** Zapata, remache, proceso de remachado

## ABSTRACT

The design and construction of the prototype of a semi-automatic machine was carried out for the brake blocks series 4515 and 4709 models used in the truck tract. This system consists mainly of a pneumatic punching area and the mechanism that supports the brake blocks, in which the operator locates the assembly of the brake blocks in the initial position. Once positioned, the start button is pressed, an indicator is automatically lit and the cylinder rod descends, initiating the process, by means of a rack and pinion mechanism, the brake blocks can be moved to its ends, which are controlled by two limit switches, to perform The rotational movement of the brake blocks uses two motors located on the assembly and two bearings that reduces friction between the base and the case. During the development of this project, the V methodology applied in the mechatronic projects was taken as a guideline, starting with the analysis of the requirements presented in the automotive workshops, later the model of the structure and the mechanism to be used was defined. Following the methodology, we designed and selected structural profiles of angle type of 100 x 3 [mm] of thickness that supports a UPN beam of 200 [mm], a double effect pneumatic cylinder with a diameter of 160 [mm], two dc motors of 1/8 Hp and two ball bearings with an internal diameter of 6 [mm]. Finally, a 1: 2 prototype was built in which the riveting sequence and the positioning in each of them were validated. It has also been determined that the time of the automatic process is reduced by 30% with respect to the manual process.

**Keywords:** brake pad, rivet, riveting process



## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el tiempo de remachado de zapatas según los propietarios de los talleres especializados es mayor a los 40 minutos y el proceso se realiza manualmente por lo que genera cansancio físico e incremento del personal en la mano de obra, además la técnica que se realiza no es la recomendada por el fabricante de bloques de freno provocando el deterioro de los tambores de freno y consecuentemente aumenta el costo de mantenimiento.

El proceso de remachado en frío de zapatas es la unión de dos piezas siendo estas del mismo o diferente material, donde un punzón desciende y presiona el remache de diámetro inferior a 10 mm deformando el vástago (Lopez & Orozco, 2013). En su mayoría el proceso se realiza manualmente con la ayuda de una máquina que puede ser por accionamiento mecánico o neumático controlado por un operador.

A nivel industrial se puede encontrar remachadoras por impacto como se muestra en la Figura 1, este tipo de máquina funciona aplicando una fuerza vertical por medio de un punzón, para así deformar el remache. La fuerza es producto de la presión aplicada por el operador en el mecanismo de pedal para generar una fuerza. (Ibarra, 2011)



**Figura 1.** Remachadora por impacto  
(Ibarra, 2011)

Se puede encontrar máquinas de pedestal con diferentes formas de realizar el proceso que varían de acuerdo a la marca por ejemplo: La empresa “Manufacturas Industriales Vedral” ofrece al mercado una remachadora de tipo columna, consta de cuatro servicios independientes tales como: separador de banda, remachador, esmerilado y aspirado de polvo. Estos subprocesos permiten realizar todo el proceso de remachado en una sola máquina. Además consta de un cilindro neumático que produce la fuerza que necesita el remache para deformar su cabeza, un filtro regulador con manómetro para regular la presión del aire comprimido a utilizar en el proceso y una válvula de pedal que activa el accionamiento del cilindro neumático. De igual manera en la empresa (Duroline, 2015) se encuentra máquinas con bajo consumo de

aire y una base que soporta la carcasa de la zapata que proporciona un remachado seguro y con presión uniforme.

Para un mejor proceso y producción a gran escala se puede encontrar los centros de remachado que mejora la productividad y flexibilidad, su utilización permite el remachado de cualquier configuración geométrica sin más que introducir una secuencia del proceso. Estos centros tienen una programación en PLC de forma sencilla con dos o tres ejes servocontrolados, también tienen una pantalla HMI para una mejor visualización de los parámetros y verificar el estado del proceso. (AGME, 2015)

Con la finalidad de reducir el tiempo de remachado y entregar al cliente un producto que cumpla con las condiciones de los fabricantes de bloques de freno se plantea como objetivo general del proyecto diseñar un sistema semiautomático para remachar zapatas de freno en tracto camiones con modelos de serie 4515 y 4709, considerando aspectos específicos como:

- Diseñar el sistema mecánico estructural para las solicitaciones del proceso de remachado
- Diseñar el sistema neumático del proceso de punzonado para el remachado de zapatas de freno
- Diseñar un sistema de control electrónico que permita el correcto posicionamiento del vástago en los remaches
- Construir los elementos que conforman el prototipo a una escala 1:2 con lo cual se valida la secuencia de remachado.

El proyecto consiste en diseñar una máquina semiautomática para remachar zapatas de freno con modelos de serie 4515 y 4709 que no supere el área de 4 [m<sup>2</sup>] y será controlado con actuadores y sensores que activen y desactiven su funcionamiento. Es necesario la construcción de un prototipo físico para validar el proceso y tener una relación de semejanza con la máquina real.

## **2. METODOLOGÍA**

Para el diseño de un sistema semiautomático de remachar zapatas de freno se aplica el modelo en V como metodología durante el desarrollo del proyecto mecatrónico, este modelo describe una secuencia de subprocesos como se muestra en la Figura 2.

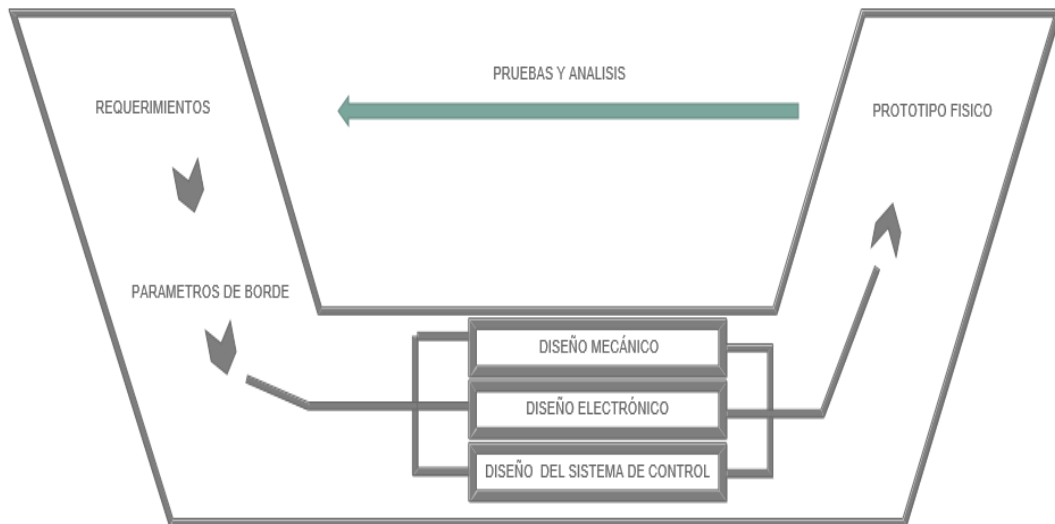


Figura 2. Modelo en V como un Macro-Ciclo

- **Requerimientos.**

Para identificar, analizar y definir los requerimientos del sistema se visitó varios talleres especializados en remachar zapatas de freno para tractocamiones, para así iniciar el diseño del sistema.

- **Diseño del sistema.**

El diseño del sistema se estableció en tres fases de diseño: Diseño Mecánico, diseño eléctrico y diseño de control. Estas fases se desarrollaron conjuntamente para obtener un producto acorde a los requerimientos.

- **Diseño mecánico.**

En este diseño se realizó el cálculo del cilindro neumático, la selección de los resortes que soportan la zapata y la selección de la estructura que va a soportar a todos los elementos del sistema.

- **Diseño electrónico.**

De acuerdo a los requerimientos del sistema se seleccionó los motores a utilizar, además se seleccionó las protecciones para el sistema y se estableció las conexiones desde el controlador hasta cada uno de los sensores y actuadores.

- **Diseño del sistema de control.**

Se seleccionó el PLC acorde al número de entradas y salidas del sistema para su posterior programación y control del proceso.

- **Prototipo físico.**

Se construyeron los elementos de la estructura y del sistema de transporte de la zapata y se realizaron pruebas de funcionamiento.

## 2.1. REQUERIMIENTOS

Para el desarrollo del proyecto se tomaron en cuenta los requisitos necesarios a ser evaluados posteriormente. Que serán detallados a continuación:

- La fuente de alimentación para el sistema de control necesaria es de 110 VAC
- La fuerza vertical de punzonado debe ser por accionamiento neumático.
- El sistema es aplicable únicamente para dos modelos de serie de zapatas 4515 y 4709.
- Área máxima de la máquina es de 4 m<sup>2</sup>.
- El sistema de remachado debe cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2185

## 2.2. PARAMETROS DE BORDE

- Fuerza para el proceso de punzonado de 10989 [N] según Anexo I
- Presión de trabajo para el proceso es de  $6 \times 10^5$  [Pa] que se encuentra en los compresores de los talleres de remachado.

## 2.3. DISEÑO DEL SISTEMA

Para el diseño y selección de cada uno de los elementos que conforman el sistema inicialmente se realizó un bosquejo de la máquina como se muestra en la Figura 3.

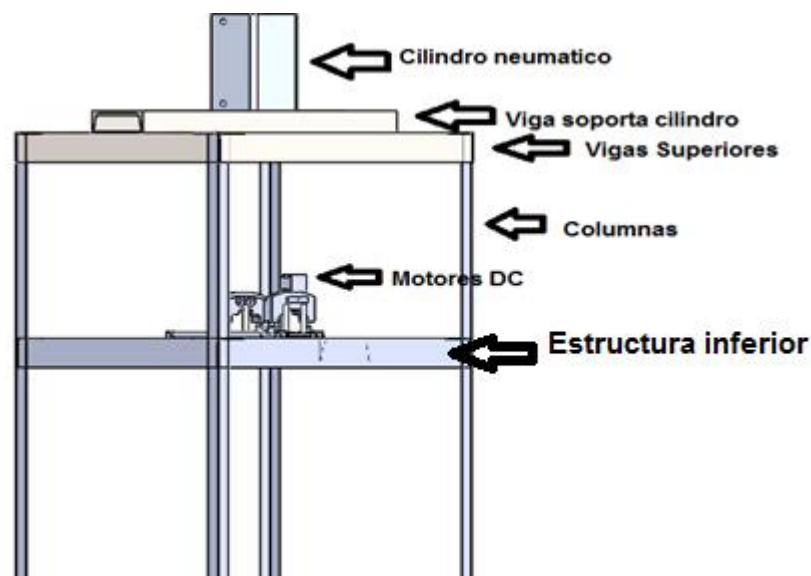


Figura 3. Diseño de la máquina completa

### 2.3.1. Diseño mecánico.

#### 2.3.1.1. Cálculo para la selección del cilindro neumático.

A partir de la fuerza de 10989 [N] para deformar el remache que se obtuvo en el ensayo de compresión, y con una presión de aire comprimido de  $6 \times 10^5$  [Pa] se calcula el diámetro de la camisa aplicando la siguiente ecuación (Serrano, 2010).

$$F = \frac{\pi}{4} * D^2 * P * R \quad [1]$$

Donde:

$F$  = Fuerza del cilindro en [N]

$D$  = Diámetro del cilindro en [m]

$P$  = Presión del aire en [Pa]

Asumo  $R = 0.95$  para cilindros con  $D > 40$  [mm], debido a que el diámetro con  $R = 0.85$  es igual a 165.63 [mm] y no cumple con la condición para  $D < 40$  [mm].

$$D = \sqrt{\frac{F * 4}{\pi * P * R}}$$

$$D = \sqrt{\frac{10989 * 4}{\pi * 6 \times 10^5 * 0.95}}$$

$$D = 0.1560 \text{ [m]} = 156.02 \text{ [mm]}$$

Para el cálculo del diámetro del vástago se aplica la ecuación de Euler (Serrano, 2010), sabiendo que en un extremo es empotrado y el otro extremo es libre  $k = 2.1$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad [2]$$

$$P_{cr} = N * P_a \quad [3]$$

Donde:

$P_{cr}$  = Carga crítica

$E$  = Modulo de elasticidad del material

$I$  = Momento de inercia de la sección del vástago

$K$  = Constante de condición de extremos

$L$  = Longitud del vástago o carrera del cilindro.

$N$  = Factor de seguridad

$P_a$  = Fuerza aplicada

Datos:

$E = 207 \times 10^9$  [Pa] Acero al carbono (Kalpakjian, 2008)

$L = 0.3$  [m].

$N = 2$

Sustituyendo los valores de cada variable en la ecuación 2 y 3 se obtiene el momento de inercia.

$$P_{cr} = 2 * 10898 = 21796 \text{ [N]}$$

$$I = \frac{21796 \text{ [N]} * 2.1^2 * 0.3^2 \text{ [m}^2\text{]}}{\pi * 207 \times 10^9 \text{ [Pa]}} = 1.33 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

Aplicando la ecuación de momento de inercia para un círculo se obtiene el diámetro mínimo como se muestra a continuación.

$$d = \sqrt[4]{\frac{1.33 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]} * 64}{\pi}} = 0.0228 \text{ [m]}$$

$$d = 22.81 \text{ [mm]}$$

De acuerdo al cálculo del diámetro de la camisa y del vástago se selecciona un cilindro doble efecto con las siguientes características técnicas que se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1** Características técnicas cilindro doble efecto

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Diámetro camisa    | 160 mm   |
| Diámetro vástago   | 40 mm    |
| Carrera            | 300 mm   |
| Presión de trabajo | 1-10 bar |
| Conexión           | G3/4     |

(Unitech, 2005)

### 2.3.1.2. Diseño de la viga soporta cilindro.

Para obtener los datos tales como: reacciones, los esfuerzos cortantes y los momentos flectores se aplican las ecuaciones que se presenta en el libro de diseño de elementos máquinas de Robert Mott.

En la Figura 4 se muestra el diagrama de cuerpo libre de la viga soporta cilindro neumático que se encuentra empotrada en los dos extremos para obtener las reacciones que serán utilizadas en los siguientes elementos de la estructura.



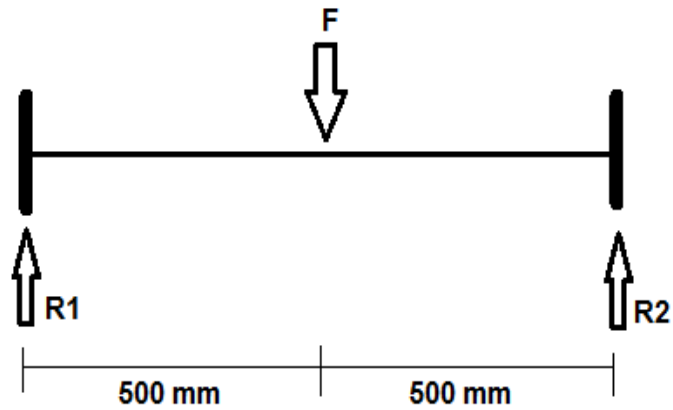


Figura 4. DCL viga soporta cilindro

Aplicando las fórmulas para la deflexión de vigas se calcula las reacciones y la deformación de la viga.

$$R1 = R2 = \frac{F}{2} \quad [4]$$

$$M1 = M2 = \frac{F \cdot L}{8} \quad [5]$$

$$y_{max} = -\frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} \quad [6]$$

Donde:

$y_{max}$  = Deformación máxima

$F$  = Fuerza

$L$  = Longitud de la viga

$E$  = Modulo de elasticidad del material

$I$  = Momento de inercia

Aplicando la ecuación 4 y 5 se obtiene:

$$R1 = R2 = \frac{10898}{2}$$

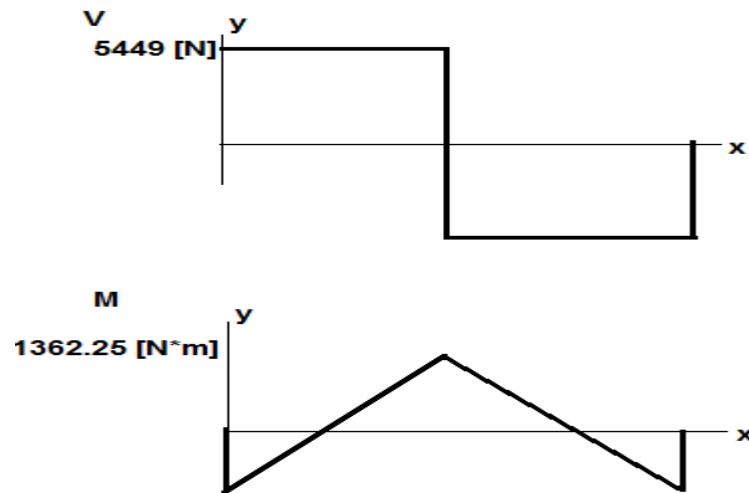
$$R1 = 5449 [N]$$

$$M1 = M2 = \frac{10898 \cdot 1}{8}$$

$$M1 = 1362.25 [N \cdot m]$$

Con el resultado de las reacciones R1 y R2 de la viga soporta cilindro se calcula el módulo de sección para seleccionar el perfil que cumpla con dicha condición.

Los diagramas de las cortantes y los momentos flectores se muestran en la Figura 5 donde se aprecia que el momento máximo se realiza en el centro de la viga, donde se presenta una posible deformación.



**Figura 5.** Gráficas de cortante y momento flector de la viga

Acorde a las características para el diseño de la viga se tiene: el material dúctil, la fuerza uniaxial y el tipo de carga estático, se emplea el método de resistencia a la fluencia, en base a la ruta de diseño (Moth,2006)

Donde:

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{N} \quad [7]$$

$\sigma$  = Esfuerzo permisible

$S_y$  = Resistencia a la fluencia

$N$  = Factor de seguridad

Dado que el esfuerzo máximo no debe superar al permisible se utiliza la ecuación para vigas en flexión.(Mott, 2006)

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{M}{S} \quad [8]$$

Dónde:

$M$  = Momento flector

$S$  = Modulo de sección

Entonces:

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N} \quad [9]$$

$$S \geq \frac{M * N}{S_Y}$$

$$S \geq \frac{2724.5 [N * m] * 2.5}{270 E^6 [Pa]}$$

$$S \geq 0.000025 [m^3]$$

$$S = 25.22 [cm^3]$$

Según el catálogo de Cintac para vigas se selecciona una UPN de 200 con un módulo de sección de 27 cm<sup>3</sup> con una longitud de un metro.

Aplicando la ecuación 6 y con un momento de inercia de la viga de 1x10<sup>-6</sup> [m<sup>4</sup>] se determina la deformación en la viga y se obtiene lo siguiente:

$$y_{max} = \frac{10898 * 1^3}{192 * 207x10^9 * 0.000001}$$

$$y_{max} = 0.00021[m] = 0.21 mm$$

De acuerdo a la deformación calculada de 0.21 [mm] en el centro de la viga se tiene la confiabilidad de que la viga va a soportar las cargas sometidas debido a que cumple con la condición que debe ser menor a 1 [mm] de deformación.

Para la viga que soporta el mecanismo que trasporta la zapata se utilizará el perfil tipo UPN con las mismas características por las condiciones analizadas anteriormente como son: la longitud, la fuerza de remachado y el empotramiento en sus dos extremos.

### 2.3.1.3. Diseño de las vigas superiores.

Dado que las reacciones son las mismas en los extremos de la estructura se diseña las vigas bajo las mismas condiciones.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de cuerpo libre de las vigas superiores de la estructura que soporta a la viga que soporta el cilindro, para proceder a calcular las reacciones en sus extremos.

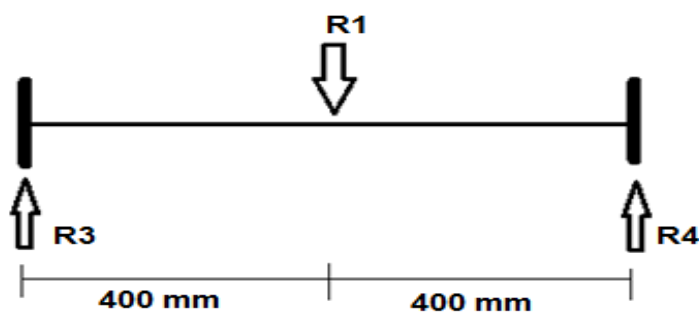


Figura 6. DCL viga superior

Se aplica las ecuaciones 4 y 5 para las vigas en flexión para obtener los valores de las reacciones y el momento flector.

Datos:

$$F = 5449 \text{ [N]}$$

$$L = 0.8 \text{ [m]}$$

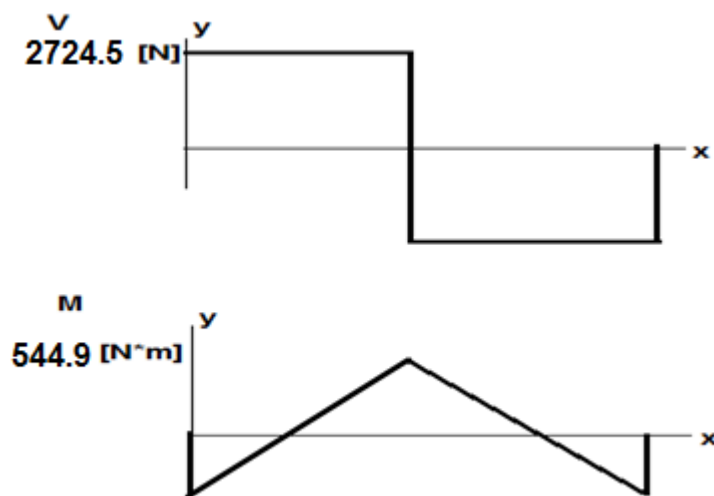
Entonces:

$$R2 = R3 = \frac{5449}{2} = 2724.5 \text{ [N]}$$

$$M2 = M3 = \frac{5449 * 0.8}{8} = 544.9 \text{ [N * m]}$$

Con el resultado de las reacciones R2 y R3 de las vigas superiores se calcula el módulo de sección para seleccionar el perfil que cumpla con dicha condición.

En la Figura 7 se muestran los diagramas tanto del cortante como del momento flector de las vigas superiores y se aprecia que en el centro de la viga se puede presentar una deformación.



**Figura 7.** Gráficas de momento flector y cortante de la viga superior

Aplicando la ecuación 9 se obtiene el módulo de sección para posteriormente seleccionar la viga.

$$Z \geq \frac{M * N}{S_y}$$

$$Z \geq \frac{1089.8 \text{ [N * m]} * 2.5}{270 E^6 \text{ [Pa]}}$$

$$Z \geq 0.00001 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Z = 10 [cm^3]$$

Acorde al módulo de sección obtenido se selecciona un perfil tipo ángulo de 100x100 [mm] con un espesor de 4 [mm] y un módulo de sección de 10.63 [cm<sup>3</sup>] del catálogo de Cintac.

Aplicando la ecuación 6 se determina en milímetros cuanto se deforma la viga con la fuerza aplicada en el centro del mismo, sabiendo que el momento de inercia de la viga seleccionada es:  $7.775 \times 10^{-7}$  [m<sup>4</sup>] y el módulo de elasticidad del acero al carbono es:  $207 \times 10^9$  [Pa].

Entonces:

$$y_{max} = \frac{2724.5 * 0.8^3}{192 * 207 \times 10^9 * 7.775 \times 10^{-7}}$$
$$y_{max} = 0.000045 [m] = 0.045142$$

De acuerdo al dato obtenido de la deformación de la viga se verifica que el valor es menor a 1 [mm] de deformación que se acepta para estructuras.

La estructura inferior cumple las mismas condiciones de cargas que la estructura superior, por tal motivo se utiliza los mismos elementos para el diseño.

#### 2.3.1.4. Diseño de las columnas

En el diseño de los soportes se toma en cuenta las reacciones en cada extremo de las vigas debido a que la estructura va a ser soportada por cuatro columnas, tomando en cuenta que los dos extremos son empotrados como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. DCL soporte columna

Datos:

$$Rd = 2724.5 [N]$$

$$W = 214.15 [N]$$

$$L = 1.8 \text{ [m]}$$

$$P_{cr} = 2938.65 * 3 = 8815.95 \text{ [N]}$$

$$S_y = 270 \text{ E}^6 \text{ Pa (Mott, 2009)}$$

$$E = 207 \text{ E}^9 \text{ Pa (Mott, 2009)}$$

Se asume columna larga para el cálculo de la columna, aplicando la fórmula de Euler. (Mott ,2006).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{K^2 * L^2} \quad [12]$$

$$P_{cr} = Pa * N \quad [13]$$

Donde:

$P_{cr}$  = Carga critica

$Pa$  = Carga real aplicada

$N$  = Factor de seguridad

$K$  = Constantes de condiciones finales de las columnas

$L$  = longitud real de la columna.

$E$  = Modulo de elasticidad

$I$  = momento de inercia de la sección

Entonces:

$$P_{cr} = 2938.65 * 3 = 8815.95 \text{ [N]}$$

Despejando el momento de inercia de la ecuación 12 se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{8815.95 * 0.65^2 * 1.8^2}{\pi^2 * 207 * 10^9} = 5.9070 * 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$I = 0.59 \text{ [cm}^4\text{]}$$

De acuerdo al momento de inercia obtenido se selecciona un perfil de tipo ángulo de las siguientes características 25 x 3 [mm] de espesor, con un  $I = 0.79 \text{ [cm}^4\text{]}$  y un radio de giro de 0.76 cm. (Cintac, 2017)

Con las características del perfil seleccionado se realiza la comprobación para columna larga, el cual debe cumplir con la siguiente condición

$$RE > CC$$

$$\frac{K * L}{r} > \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}}$$

Donde:

$RE$  = Relación de esbeltez

$CC$  = Constante de columna

$K$  = Constantes de condiciones finales de las columnas

$L$  = Longitud real de la columna.

$E$  = Modulo de elasticidad

$S_y$  = Esfuerzo a la fluencia

$r$  = Radio de giro

Entonces:.

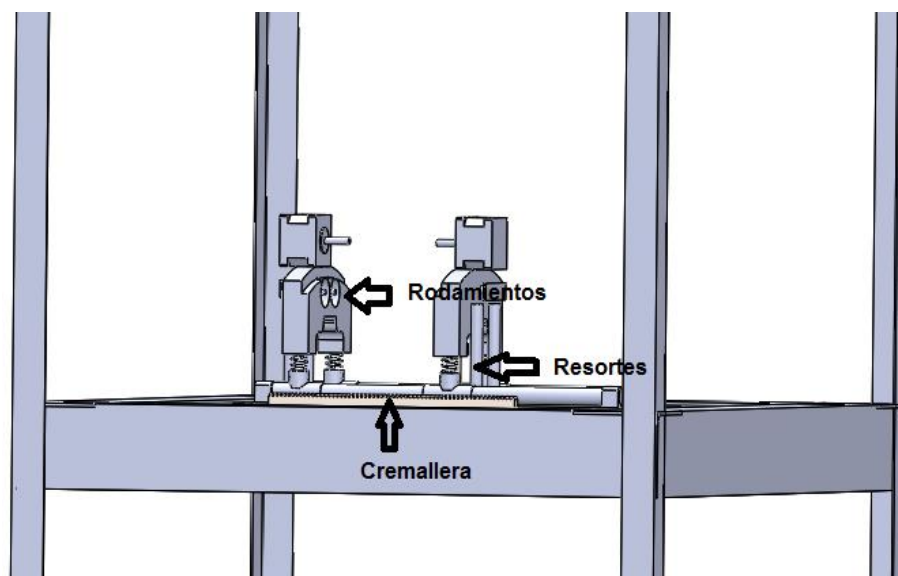
$$\frac{0.65 * 1.8}{0.0076} > \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 207 \times 10^9}{270 \times 10^6}}$$

$$153.94 > 123.01$$

Las características del perfil seleccionado cumplen con la condición de columna larga el cual se asumió al inicio del diseño.

### 2.3.1.5. Diseño de los resortes

El número de resortes a diseñar son 4 que se encuentran ubicados en el mecanismo soporta zapata como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Mecanismo que soporta la zapata

En la Figura 10 se muestra las características como la distancia del resorte y la fuerza aplicada para el diseño y selección de los resortes.

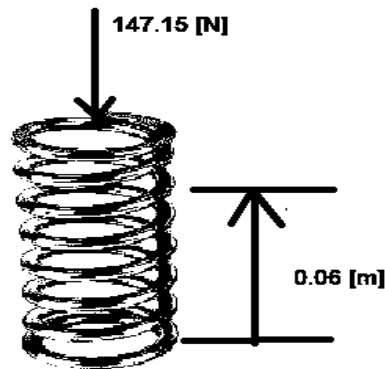


Figura 10. DCL resorte

Para el cálculo del diámetro y la constante elástica se aplica la siguiente formula (Mott, 2006).

$$F = k * x \quad [14]$$

Donde:

F= Fuerza aplicada

K= Constante elástica

X = Diferencia de longitud del resorte

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{147.15 [N]}{0.060 [m]}$$

$$k = 2452.5 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Acorde a la constante elástica se selecciona un resorte de las siguientes características mostradas en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Características del resorte

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Diámetro del alambre | AWG13          |
| Constante elástica   | 2802.029 [N/m] |
| Diámetro externo     | 19 [mm]        |
| Longitud inicial     | 80 [mm]        |
| Número de espiras    | 8              |
| Tipo de material     | ASTM A230      |

(Acxess, 2017)



### 2.3.1.6. Selección de los rodamientos

Para reducir la fricción entre la carcasa de la zapata y el soporte se seleccionó cuatro rodamientos según los cálculos realizados, se consideró una duración de diseño de 4000 horas considerando que el proceso no es continuo.

$$Ld = L_{10} * W \quad [15]$$

$$C = Pd \left( \frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k} \quad [16]$$

Donde:

$Ld$  = Duración de diseño

$L_{10}$  = Duración en millones de revoluciones con confiabilidad del 90%

$W$  = Velocidad de giro

$C$  = Capacidad de carga dinámica

$Pd$  = Carga de diseño

$k$  = Constante 3 para rodamientos de bolas

Entonces:

$$Ld = 4000 [h] * 100 [rpm] * \frac{60 [min]}{1 [h]} = 24000000 rev$$

$$C = 18 lb \left( \frac{24000000}{10^6} \right)^{1/3} = 51.92 lb$$

Debido a la capacidad de carga dinámica obtenida y el diámetro interno del rodamiento de 6 [mm] se seleccionó un rodamiento W606-2RS1.

### 2.3.1.7. Selección del piñón cremallera

En el dimensionamiento de la transmisión por piñón cremallera se aplicó las ecuaciones de engranes rectos (Shygly, 2012). Por el espacio el diámetro del piñón no debe ser superior a 50 [mm].

$$P = \frac{N}{d} \quad [17]$$

$$m = \frac{d}{N} \quad [18]$$

$$\frac{8}{P} < F < \frac{16}{P} \quad [19]$$

$$P_c = \pi * m \quad [20]$$

Donde:

$P$  = Paso diametral, dientes por pulgada

$N$  = Número de dientes

$d$  = Diámetro de paso

$m$  = Módulo

$F$  = Espesor de cara del diente

$P_c$  = Paso de la cremallera

Datos:

$N = 15$  dientes

$d = 40$  [mm]

$$P = \frac{15}{40} = 0.38 \frac{\text{dientes}}{\text{mm}} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 9.53 \frac{\text{dientes}}{\text{pulgada}}$$

$$m = \frac{40}{15} = 2.67 \text{ [mm]}$$

$$\frac{8}{0.38} < F < \frac{16}{0.38}$$

$$F = 25 \text{ [mm]}$$

### 2.3.2. Diseño eléctrico.

En esta fase del diseño se seleccionó los actuadores y la protección para todo el sistema de control.

#### 2.3.2.1. Cálculo de los motores Dc

Para el cálculo de los dos motores de corriente continua que se encuentran ubicados en el mecanismo soporta zapata es necesario conocer la fuerza de rozamiento, el cual se calcula de la siguiente manera (Riley, 1995):

$$Fr = N * \mu \quad [15]$$

Donde:

$Fr$  = Fuerza de rozamiento

$N$  = Normal

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Las direcciones de la Fuerza normal y la fuerza de rozamiento se muestran en la Figura 11 que serán utilizadas posteriormente.

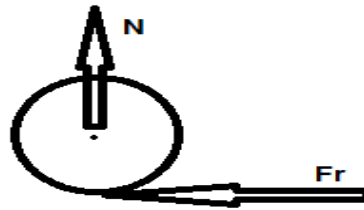


Figura 11. DCL rueda

Datos

$$N = 8 \text{ Kg} * 9.81 = 78.48 \text{ [N]}$$

$u = 0.30$  para el asbesto tipo E según norma NTE INEN 2185:2012

$$Fr = 78.48 * 0.30 \text{ [N]}$$

$$Fr = 23.54 \text{ [N]}$$

Una vez obtenida la fuerza de rozamiento se calcula el trabajo mecánico de la siguiente manera (Douglas, 2006).

$$W = F * d \quad [16]$$

Donde:

$W$  = Trabajo mecánico

$F$  = Fuerza

$d$  =Distancia

$$W = 23.54 \text{ [N]} * 1 \text{ [m]}$$

$$W = 23.54 \text{ [J]}$$

Para el cálculo de la potencia del motor se utiliza el trabajo mecánico calculado (Douglas, 2006).

$$P = \frac{W}{t} \quad [17]$$

Donde:

$P$  = Potencia mecánica

$W$  = Trabajo mecánico

$t$  = Tiempo en segundos

$$P = \frac{23.54 [J]}{60 [s]}$$

$$P = 0.39 [Watts] = 0.05 Hp$$

De acuerdo a la potencia calculada se selecciona un motor de corriente continua de 1/8 Hp con una alimentación de 24 V.

### 2.3.2.2. Cálculo del fusible del sistema

Se selecciona un fusible para todo el sistema de acuerdo al consumo de corriente de cada elemento que se expresa a continuación.

- Consumo de corriente de PLC = 40 mA
- Consumo de corriente de la fuente DC = 0.7 A
- Consumo motores DC = 1.5 A
- Consumo de corriente del módulo = 40 mA

El total del consumo de corriente es de 2.28 A

Para salvaguardar el sistema de cortocircuitos se selecciona un fusible con la corriente calculada se selecciona la protección necesaria (Harper, 2003).

$$I_f = I * n \quad [19]$$

Donde:

$I_f$  = Corriente del fusible

$I$  = Corriente del circuito

$n$  = Factor de resistencia

Datos:

$$I = 2.28 [A]$$

$$n = 1.5$$

$$I_f = 2.28 * 1.5$$

$$I_f = 3.42 [A]$$

Con la corriente obtenida se seleccionó un fusible de 4 [A] de tal manera salvaguarde los componentes eléctricos dentro del circuito.

El diagrama eléctrico se muestra en la Figura 12 con todos los sensores y actuadores que intervienen para el control del proceso.

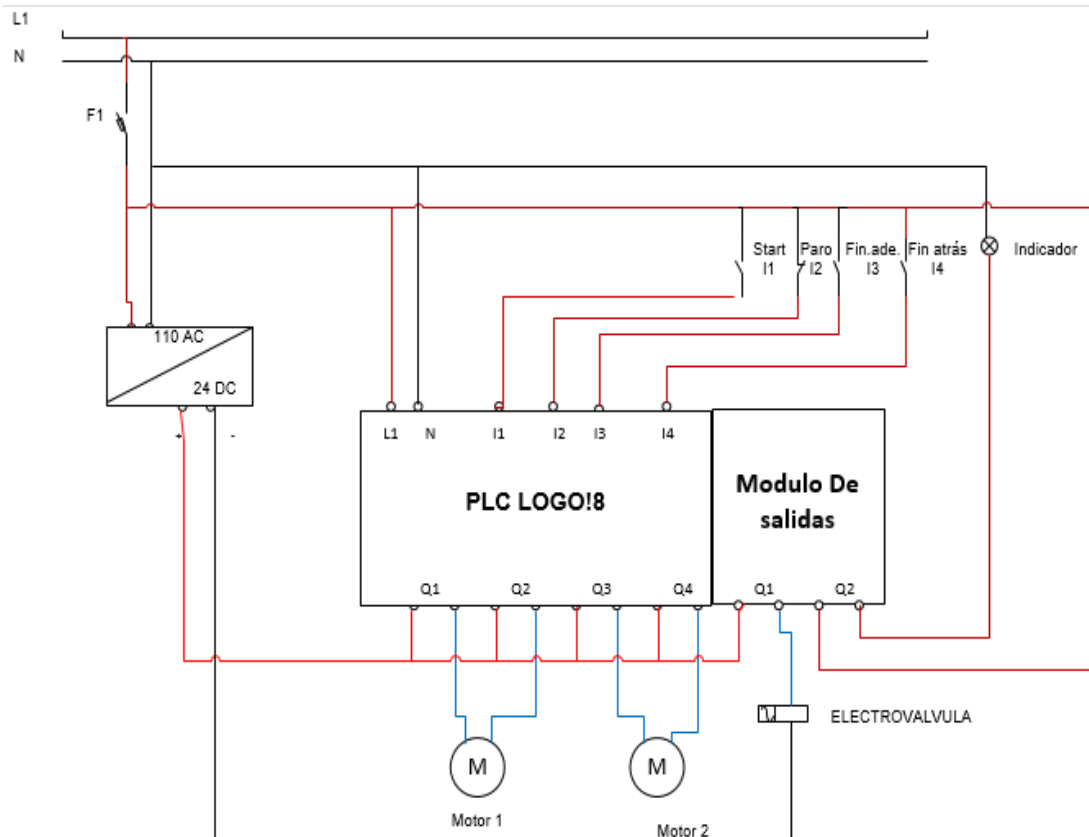


Figura 12. Diagrama eléctrico

### 2.3.3. Diseño de control.

El control del sistema se realiza en dos partes, la primera será el control de los motores dc que realizan el movimiento traslacional y rotacional de la carcasa de zapata para cumplir la secuencia de remachado (Frasle, 2015) como se muestra en la Figura 13.

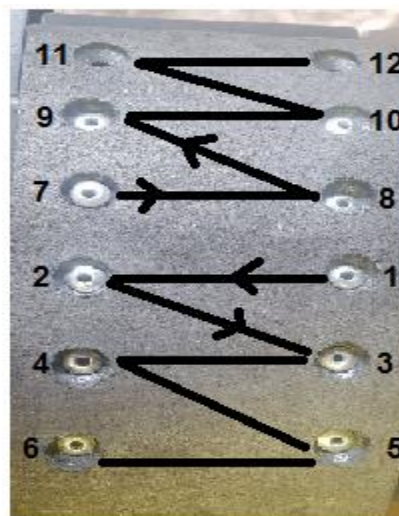


Figura 13. Secuencia de remachado

La segunda parte será el control del cilindro neumático que debe estar sincronizado con los movimientos de la zapata para evitar daños a los elementos del sistema.

Los materiales que se utilizan para las dos partes del control del sistema se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Descripción de los elementos del proceso

| <b>Nombre</b>     | <b>Sigla</b> | <b>Descripción</b>                                   |
|-------------------|--------------|--|
| Pulsador          | P1           | Inicio del proceso                                   |
| Paro Emergencia   | P2           | Pausa el proceso                                     |
| Final carrera 1   | F1           | Detiene el mecanismo en la columna 2 de los remaches |
| Final carrera 2   | F2           | Detiene el mecanismo en la columna 1 de los remaches |
| Electroválvula    | E1           | Permite al cilindro que suba y baje el vástago       |
| Motor 1 avance    | M1           | Energiza el motor de la cremallera en avance         |
| Motor 1 retroceso | M1.1         | Energiza el motor de la cremallera en retroceso      |
| Motor 2 avance    | M2           | Energiza motores en avance                           |
| Motor 2 retroceso | M2.1         | Energiza motores en retroceso                        |
| Contador          | C1           | Contador ascendente de avance de motor               |
| Timer             | T            | Tiempo de retardo a la conexión de los motores       |

En la Figura 14 se representa el proceso funcional de remachado con los distintos componentes y transiciones. Cada cuadro representa un estado del proceso, para que la máquina inicie el operador presiona el pulsador P1, la electroválvula se activa y permite que el vástago del cilindro baje, una vez el vástago se encuentre arriba el motor M1 avanza hasta que el sensor F2 se active para que permita que suba y baje el vástago, siguiendo el proceso los motores M1.1 y M2 se activan de igual manera el contador C1 incrementa su número; este proceso es repetitivo hasta que el contador C1 sea igual a 3. Una vez cumplida condición del contador el timer T se activa y después de pasar el tiempo se activa la electroválvula y el motor M1.1 se activa hasta que el final de carrera F1 se active, de igual manera el vástago realiza el remachado y el motor M1 y M2.1 se activan conjuntamente.

La variable X1 representa que la máquina regresa a su posición inicial cuando el operador presiona el paro de emergencia. De igual manera el X6 representa que si el estado 10 ya se cumplió se dirige al estado 6 y sigue el proceso.

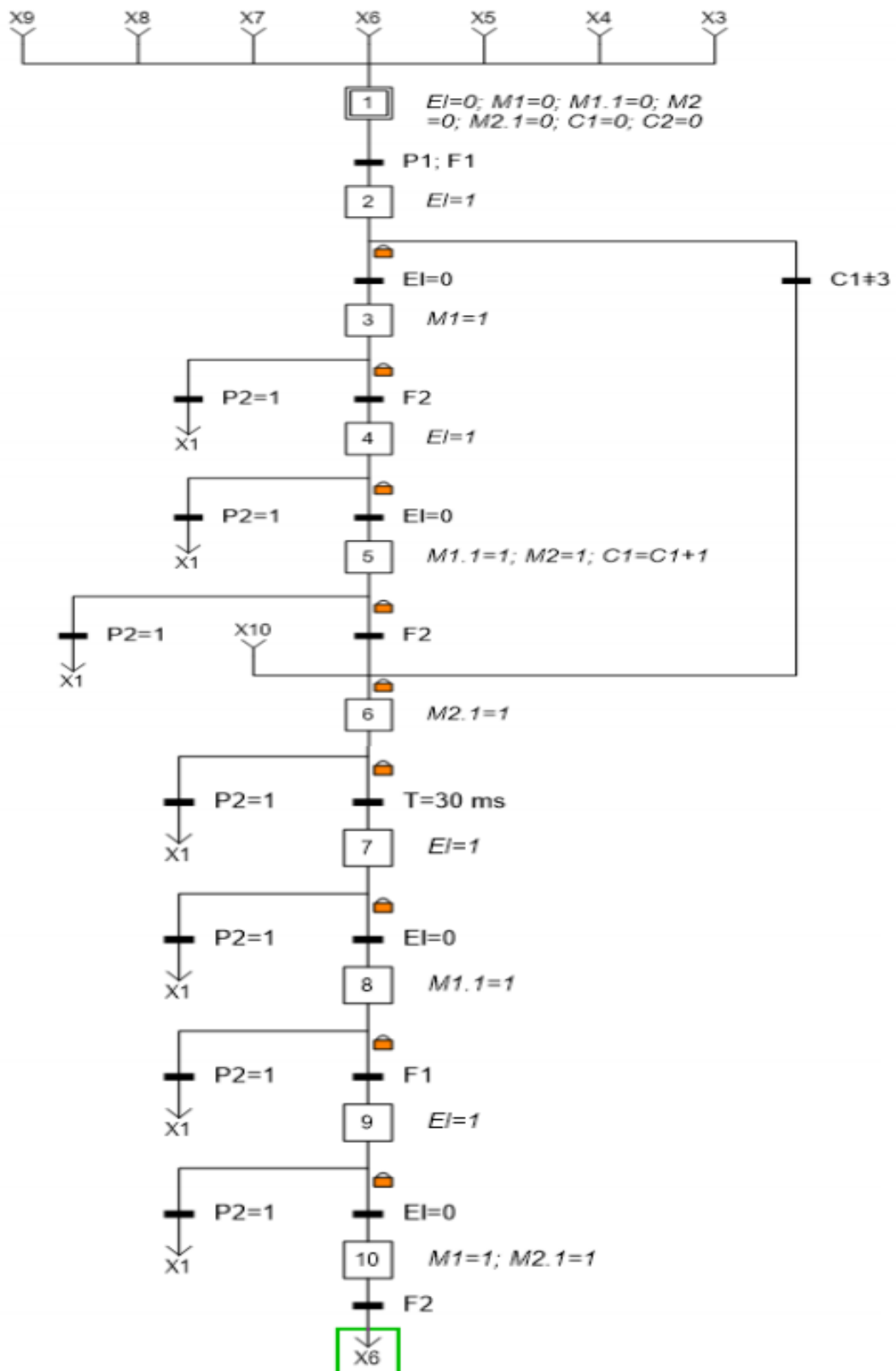


Figura 14. Esquema grafset del proceso de remachado

## 2.4. PROTOTIPO FÍSICO

Para realizar la validación de la secuencia de remachado; Se tomó como referencia la construcción de la máquina a escala 1:2 utilizando el material

ASTM A36 que es característico de los perfiles para la estructura como se muestra en la Figura 15.

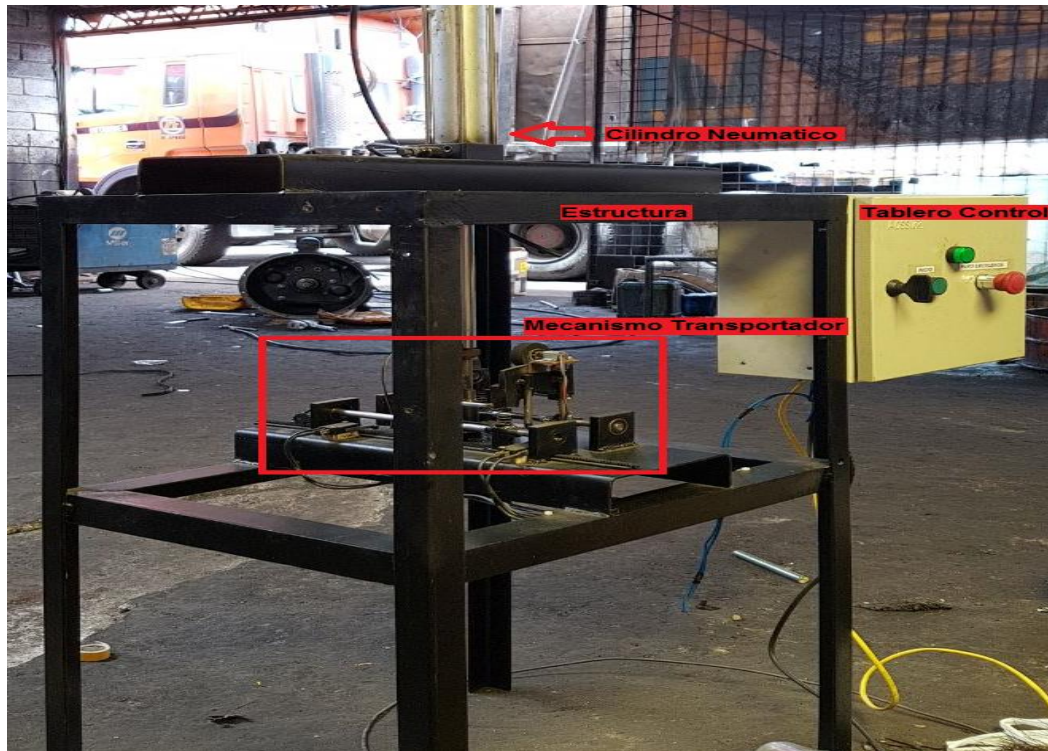


Figura 15. Remachadora de zapatas de freno

Inicialmente se construyó la estructura mecánica con las siguientes dimensiones 0.50 x 0.40 [m] y 0.95 [m] de alto, donde van sujetos los componentes que realizan los movimientos traslacional y rotacional para la correcta ubicación de las perforaciones, así también como el cilindro neumático.

Sobre la viga inferior se colocó el mecanismo que va a soportar el peso de la zapata, los motores dc y el mecanismo de cremallera como se muestra en la Figura 16.

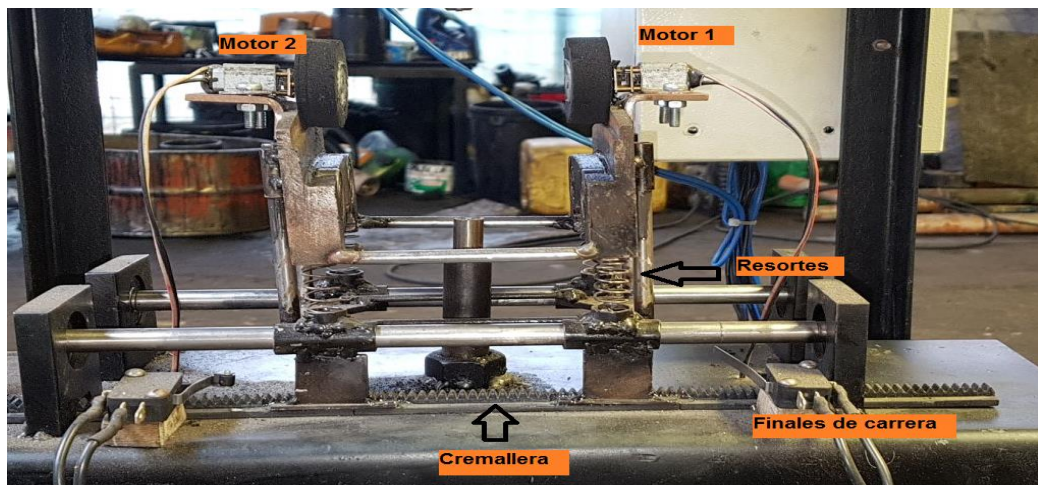


Figura 16. Mecanismo completo soporta zapata



Para realizar el movimiento traslacional se utilizó una cremallera y un motor dc 100:1 que va ser activado al momento de pulsar el botón inicio del tablero de control mostrado en la Figura 17. Este movimiento se realiza en función de la señal de dos finales de carrera que están instalados en la parte frontal y posterior de la misma.



**Figura 17.** Tablero de control

Sobre la base soporta zapata se instaló dos motores dc que hace que la zapata rote con respecto al punzón de remachado y permita llegar a todas las posiciones.

Las señales de los finales de carrera y del pulsador inicio son ejecutadas por un PLC de marca siemens tipo logo, instalado en un tablero junto a las borneras y el fusible del sistema como se muestra en la Figura 18.



**Figura 18.** Tablero de control interno

## **2.5. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

El periodo de pruebas se realiza con una muestra de 5 piezas diarias en el cual se evalúa dos parámetros fundamentales que son: el tiempo de remachado y los daños físicos existentes en el bloque de freno, para lo que se toma en cuenta lo siguiente:

- Se cronometra el tiempo del proceso sin la intervención de la zapata desde que se presiona el pulsador de inicio hasta que termina el proceso y se revisa que el punzón del cilindro se alinee con cada uno de los remaches.
- Se cronometra el tiempo del proceso de remachado desde que se instala la zapata en el mecanismo hasta que termina la secuencia.
- Se realiza una inspección visual del bloque de freno después del proceso, para verificar que no haya fisuras o deformaciones en los extremos de las perforaciones donde se ubica los remaches.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1. Características de la máquina.

Se obtuvo una máquina semiautomática remachadora de zapatas únicamente para dos modelos de serie como son: 4515 y 4709, con las dimensiones estructurales que se detallan en la Tabla 4. Este proceso realiza una secuencia de remachado sugerido por los fabricantes de bloques de zapata con una capacidad de producción de 3 procesos por hora.

**Tabla 4.** Dimensiones de la máquina

|       |          |
|-------|----------|
| Alto  | 1.80 [m] |
| Ancho | 1 [m]    |
| Largo | 0.8 [m]  |

#### 3.1.1. Características técnicas.

- Alimentación: 110 VAC
- Requerimientos: Presión de aire comprimido 6 bares.
- Controlador: PLC Logo con módulo de salidas
- Actuadores: Motores DC

#### 3.1.2. Modo de uso.

Para iniciar el proceso de remachado el operador tiene que ubicar los remaches en la zapata, posteriormente ubicar en la posición inicial sobre la base que soporta el mismo y presionar el botón inicio.

### 3.2. Componentes seleccionados.

En la Tabla 5. Se presenta una descripción general de los elementos que se utilizan en la máquina con su respectiva cantidad y valor.

**Tabla 5.** Elementos utilizados en la máquina

| ELEMENTOS               | CANTIDAD | P. UNIT [USD] | COSTO [USD] |
|-------------------------|----------|---------------|-------------|
| Angulo 100x4 [mm]       | 8 [m]    | 25            | 25          |
| Angulo 25x3 [mm]        | 8 [m]    | 10            | 10          |
| UPN 200 [mm]            | 2 [m]    | 40            | 40          |
| Caja doble fondo        | 1        | 20            | 20          |
| PLC                     | 1        | 360           | 360         |
| Módulo de salidas       | 1        | 200           | 200         |
| Cilindro neumático      | 1        | 1200          | 1200        |
| Electroválvula          | 1        | 25            | 25          |
| Fuente de 24 [V]        | 1        | 100           | 100         |
| Fusible y porta fusible | 1        | 13            | 13          |
| Pulsadores              | 2        | 10            | 20          |
| Luz piloto              | 1        | 16            | 16          |
| Borneras                | 20       | 1.30          | 26          |
| Motores DC              | 2        | 30            | 60          |
| Resortes                | 4        | 5             | 20          |

**Tabla 5.** Elementos utilizados en la máquina. Continuación...

| ELEMENTOS                    | CANTIDAD | P. UNIT [USD] | COSTO [USD] |
|------------------------------|----------|---------------|-------------|
| Base Soporta zapata          | 2        | 25            | 50          |
| Base inferior soporta zapata | 2        | 15            | 30          |
| Soportes Sk10                | 4        | 7             | 28          |
| Cable AWG16                  | 20 [m]   | 0.30          | 6           |
| Canaleta                     | 1 [m]    | 1.50          | 1.50        |
| Total                        |          |               | 2229.50     |

El precio total de fabricación de la máquina semiautomática es de USD 2229.5

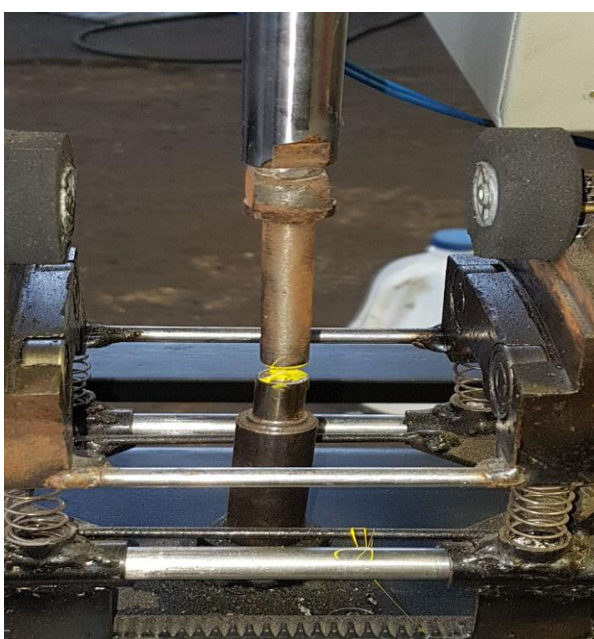
### 3.3. Pruebas de funcionamiento

Al cronometrar los tiempos del proceso sin la intervención de la zapata de freno se obtuvo un promedio general de las muestras en los 3 días de 23.05 segundos como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 6.** Tiempos de proceso sin zapata

| Muestra          | Tiempo   |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
|                  | Día 1[s] | Día 2[s] | Día 3[s] |
| 1                | 23.31    | 23.17    | 22.78    |
| 2                | 23.30    | 23.20    | 22.54    |
| 3                | 23.32    | 23.18    | 22.72    |
| 4                | 23.33    | 23.21    | 22.53    |
| 5                | 23.31    | 23.18    | 22.75    |
| Promedio Máquina | 23.31    | 23.18    | 22.66    |

Además durante las pruebas de funcionamiento se observó que los dos punzones están alineados correctamente como se muestra en la Figura 19 para proceder con el remachado.



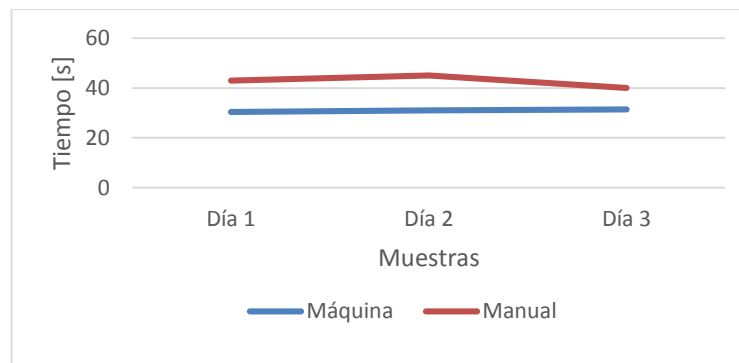
**Figura 19.** Alineamiento del vástago

El promedio del tiempo del proceso de la máquina desde la ubicación de la zapata en el mecanismo es de 30.94 segundos y el promedio del tiempo del proceso manual es de 42.67 segundos, el cual reduce en un 30% el tiempo de máquina con respecto al proceso manual como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Tiempos de proceso con zapata

| Tiempo           |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| Muestra          | Día 1[s] | Día 2[s] | Día 3[s] |
| 1                | 29.93    | 31.60    | 30.91    |
| 2                | 31.23    | 30.66    | 31.56    |
| 3                | 30.46    | 30.81    | 32.16    |
| 4                | 30.60    | 31.18    | 31.75    |
| 5                | 29.76    | 30.96    | 30.85    |
| Promedio Máquina | 30.40    | 31       | 31.44    |
| Promedio Manual  | 43       | 45       | 40       |

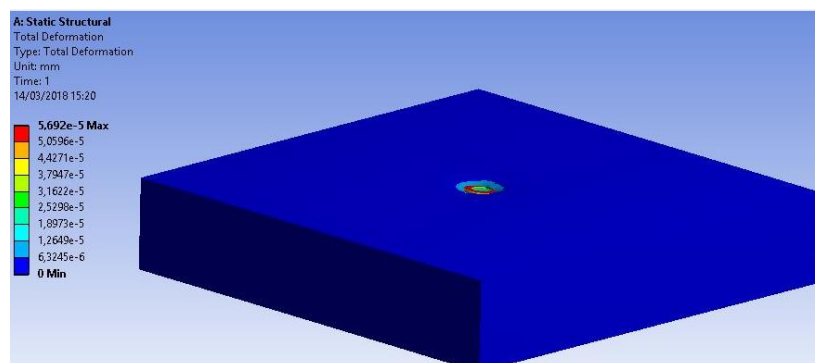
El tiempo del proceso de la máquina tiene un comportamiento estable a diferencia del proceso manual como se muestra en la Figura 20, esto ayuda a controlar el proceso completo de remachado



**Figura 20.** Tiempo del proceso manual y de la máquina.

### 3.4. Validación de la máquina.

Mediante una simulación del área del bloque de zapata donde se realiza el remachado se determinó que la deformación es:  $5.692 \times 10^{-5}$  [mm] como se muestra en la Figura 21 al aplicar una fuerza de 10898 [N] sobre el remache.



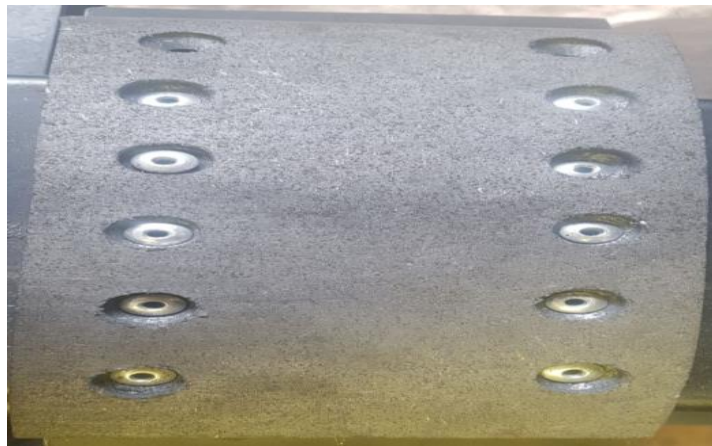
**Figura 21.** Deformación en el bloque de zapata

De acuerdo al protocolo de pruebas se realizó una inspección visual directa realizado por expertos en el tema de cada producto quienes determinaron como un producto defectuoso a las zapatas que tengas deformaciones en los bordes de las perforaciones de los remaches como se muestra en la Figura 22. Consecuencia de un mal posicionamiento de la zapata con el vástago.



**Figura 22.** Producto defectuoso

De igual manera se determinó un producto ok cuando los bordes de las perforaciones de los remaches no tienen deformaciones como se aprecia en la Figura 23.



**Figura 23.** Producto ok

En base a las características de productos ok y nok tanto en máquina como en el proceso manual se obtuvo la siguiente calificación como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Calificación proceso de remachado

| Muestra | Día 1 | Día 2 | Día 3 |
|---------|-------|-------|-------|
| 1       | ok    | Nok   | ok    |
| 2       | ok    | ok    | ok    |
| 3       | Nok   | Nok   | ok    |
| 4       | ok    | Nok   | ok    |

**Tabla 8.** Calificación proceso de remachado. Continuación...

| 5           | ok | Nok | ok |
|-------------|----|-----|----|
| Máquina OK  | 4  | 1   | 5  |
| Máquina NoK | 1  | 4   | 0  |
| Manual OK   | 4  | 5   | 5  |
| Manual NoK  | 1  | 0   | 0  |

En el proceso manual no existe mucho producto con imperfecciones en el bloque de zapata debido a que el operador es quien posiciona el ensamblaje en cada remache, pero no cumple la secuencia de remachado en comparación con el proceso que realiza la máquina en donde la secuencia ya está definida.



## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES**

Con el diseño del sistema semiautomático se redujo el tiempo en un 30% del promedio del tiempo manual del proceso de remachado, además se verificó que el sistema cumpla con la secuencia que recomienda los fabricantes de zapatas de freno.

Para validar el sistema se construyó un prototipo para realizar un protocolo de pruebas en el que consistió en realizar ensayos a los tiempos de remachado y la visualización del producto terminado, de esta manera se comprobó que el sistema opere cumpliendo con los requerimientos establecidos y así tener una semejanza con la máquina real.

En cuanto a la estructura de la máquina se pudo determinar que cumple con los requerimientos de estructura propuestos al inicio del proyecto y que el área de remachado es el adecuado para que el operario manipule la zapata.

Con el diseño del sistema de control electrónico se realizó todo el proceso, permitiendo que el cilindro neumático realice el remachado en función de los movimientos del ensamblaje y se obtuvo un posicionamiento vertical del vástago del cilindro neumático con los remaches de la zapata.

Para iniciar el proceso de remachado es importante realizar una revisión periódica de los ajustes en los pernos de las abrazaderas que sujetan los motores para eliminar las vibraciones mecánicas y desequilibrio en el posicionamiento de remachado.

## **RECOMENDACIONES**

Implementar un sistema que realice el desmontaje del bloque de zapata a cambiar para así la máquina permita el proceso completo de montaje y desmontaje de los bloques en una sola área de trabajo.

Realizar una modificación en el diseño del mecanismo que permita el remachado para otras series de zapatas.

Se sugiere mejorar el diseño eléctrico que permita al operador realizar el proceso de manera manual o automática.

Realizar inspecciones periódicas del sistema mecánico y limpieza del mismo para evitar daños en los motores por motivo de polvos del bloque de zapata.

## BIBLIOGRAFÍA

- Kalpakjian, S., Schmid, S., (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Mexico. Pearson
- Frasle. (2015). Manual técnico línea pesada.
- Harper, E. (2003). Protecciones de instalaciones eléctricas industriales y comerciales. México: Limusa.
- Douglas, C. (2006). Física principios con aplicaciones. México: Pearson
- Riley, W., Sturges L., (1995). Estatica. España: Reverté
- Access. (2017). Catálogo de resortes
- Unitech. (2017). Catálogo de cilindros con sensores.
- Shigley, J., Budynas, R., y Keith, J., (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México DF, México: McGraw-Hill
- Serrano, N. (2010). Neumática práctica. España: Paraninfo.
- AGME. (2015). Centro de remachado asistido por ordenador. Obtenido de <http://www.agme.net/es/remachadoras/centros-de-remachado-flexible>.
- Cintac. (2017). Catalogo tubos y perfiles.
- Duoline. (2015). Remachadora –columna. Obtenido de <http://www.duoline.com.br/es/produtos/6/Remachadora>.
- Manufacturas industriales Vedral. (s.f). Obtenido de <http://www.vedial.com/portfolio/c3-máquina-remachadora-electromecanica-proyectada-neumatica-vedial/>
- Ibarra, J. (2011). Remachadora tipo orbital. Querétaro.
- Lopez, C., & Orozco, F. (2013). Mecanizado. España: Paraninfo.
- Norma NTE INEN 2185 Material de fricción para el sistema de frenos de automotores.
- Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. Naucalpan de Juárez, México: PEARSON.
- Mindman, Catalogo de cilindros neumáticos de sensores ISO 6431 (2015).
- Mott, R. (2009). Resistencia de materiales. México Quinta edición.

**ANEXOS**

# ANEXO 1

## Informe de esfuerzo para remachado



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

### INFORME TÉCNICO

LAEV – MAY.17.11.0

Quito, 12 de mayo de 2017

TRABAJO SOLICITADO POR: JHONNY CHILIG

ORDEN DE TRABAJO Nº 0005326

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en una muestra de remache perteneciente al Sr. JHONNY CHILIG para el proyecto de titulación: "DISEÑO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA REMACHAR ZAPATAS DE FRENO CON MODELO DE SERIE 4515 Y 4709" dirigida por el Ing. Alexy Vinueza. La probeta fue entregada en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

#### RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Una (1) muestras de remache de zapata para ensayo de compresión.

#### 2. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 1 se presenta los resultados de la carga registrada en la muestra.

Tabla 1. Carga de la muestra de remache.

| Id. | Carga registrada |        |
|-----|------------------|--------|
|     | lbf              | N      |
| C-1 | 2.450            | 10.898 |

La curva de fuerza vs. desplazamiento se muestran en el anexo. El desplazamiento que se puede observar en la curva corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

|  | ELABORADO POR:        | REVISADO POR:    | APROBADO POR:               |
|--|-----------------------|------------------|-----------------------------|
| Firma:   |                       |                  |                             |
| Nombre:  | Ing. Patricio Fuentes | Ing. Alexis Sola | Ing. Jonathan Castro, M.Sc. |
| Cargo:   | ASISTENTE             | ESPECIALISTA     | JEFE (E)                    |
| LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES |                       |                  |                             |

ANEXO

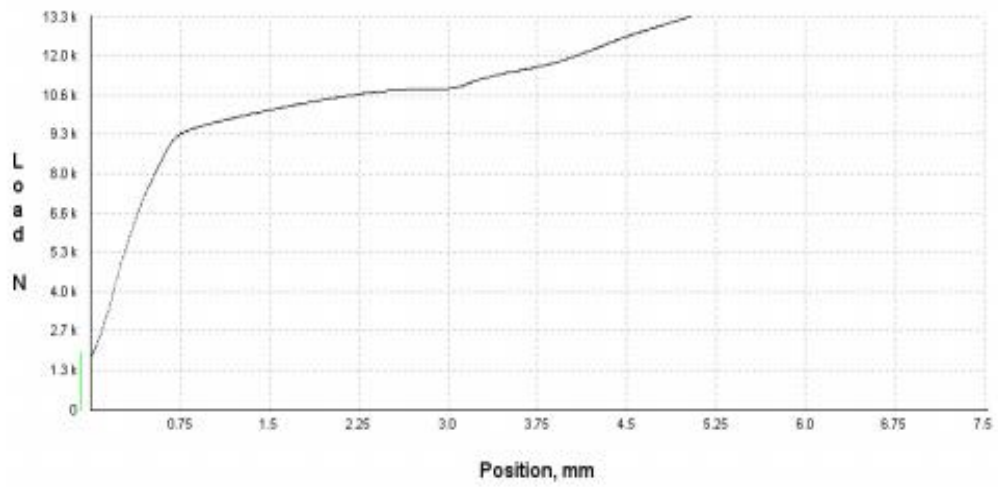


Figura 1. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra C-1.

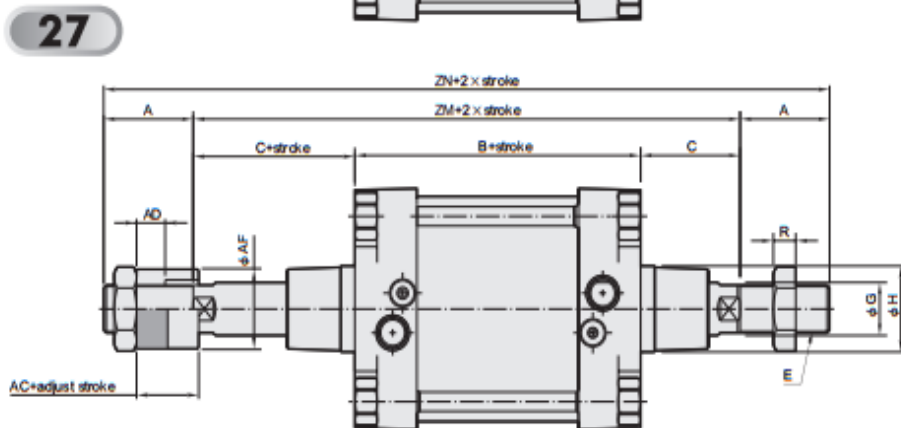
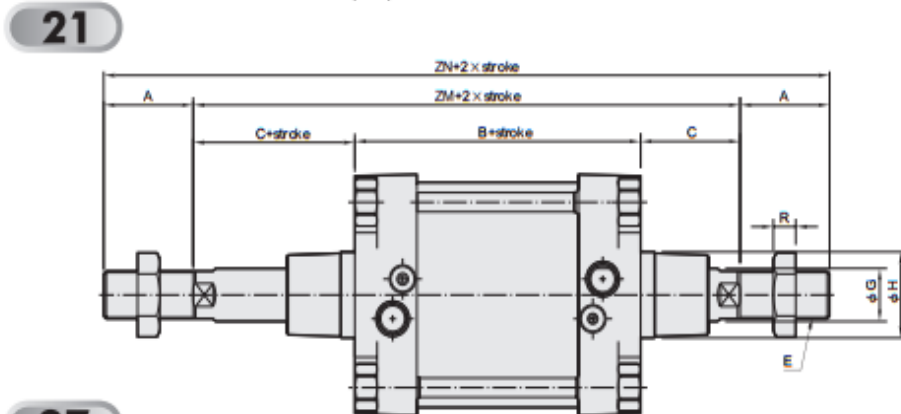
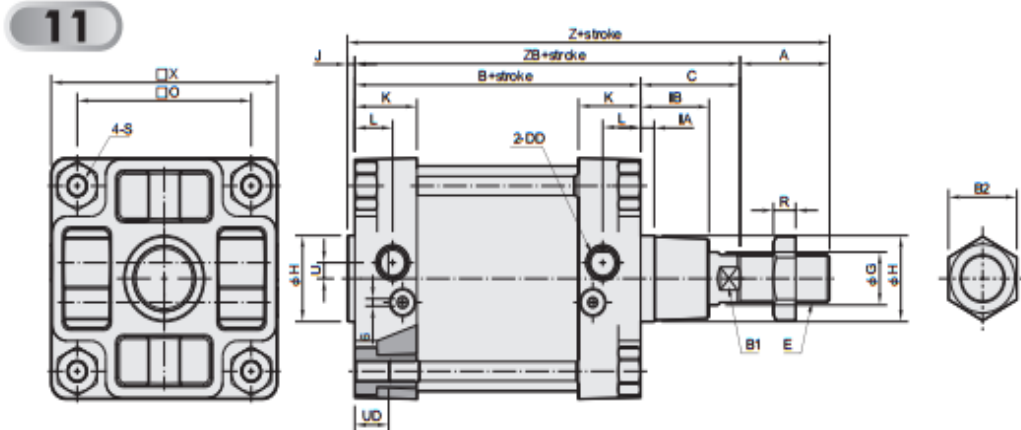
PRELIMINARIO

# ANEXO 2

## Catálogo cilindros Mindman

**MCQV**  $\phi 125, \phi 160$

ISO-VDMA STANDARD CYLINDERS



| Code<br>Type LD | A  | AC | AD | AF | B   | B1 | B2 | C  | DD    | E          | G  | H   | IA | IB | J | K  | L    | O   | R    | S          | U  | UD | X   | Z   | ZB  | ZM  | ZN  |
|-----------------|----|----|----|----|-----|----|----|----|-------|------------|----|-----|----|----|---|----|------|-----|------|------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 125             | 54 | 30 | 18 | 60 | 160 | 27 | 41 | 65 | G 1/2 | M27 x P2.0 | 32 | 60° | 10 | 40 | 6 | 40 | 25   | 110 | 13.5 | M12 x 1.75 | 11 | 22 | 140 | 285 | 225 | 290 | 308 |
| 160             | 72 | 30 | 18 | 60 | 180 | 36 | 55 | 80 | G 3/4 | M36 x P2.0 | 40 | 65° | 10 | 55 | 6 | 50 | 30.5 | 140 | 18   | M16 x 2.0  | 12 | 27 | 182 | 338 | 260 | 340 | 484 |

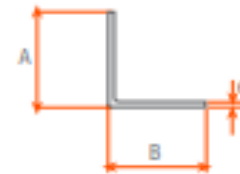
(Catálogo de cilindros neumáticos de tensores ISO 6431, 2015).

## ANEXO 3

### ESPECIFICACIONES DEL PERFIL ESTRUCTURAL

#### Ángulos especificación técnica Cintac ET-11/MA-7-2

| Especificaciones Generales |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Largo normal:              | 6 mts. Otros largos previa consulta. |
| Recubrimiento:             | Negro.                               |
| Extremos:                  | Lisos de máquina.                    |
| Calidades normales:        | ASTM A36 / NCH 203 G A240ES          |
| Otras dimensiones:         | A pedido, previa consulta a CINTAC.  |



| Dimensiones nominales |     |    | Peso teórico | SAP      |
|-----------------------|-----|----|--------------|----------|
| A                     | B   | e  | P            |          |
| mm                    | mm  | mm | Kgf/m        |          |
| 20                    | 20  | 2  | 0,58         | 43000000 |
| 20                    | 20  | 3  | 0,83         | 43000001 |
| 25                    | 25  | 2  | 0,73         | 43000002 |
| 25                    | 25  | 3  | 1,06         | 43000003 |
| 30                    | 30  | 2  | 0,89         | 43000004 |
| 30                    | 30  | 3  | 1,3          | 43000005 |
| 40                    | 40  | 2  | 1,2          | 43000006 |
| 40                    | 40  | 3  | 1,77         | 43000007 |
| 40                    | 40  | 4  | 2,31         | 43000008 |
| 50                    | 50  | 2  | 1,52         | 43000009 |
| 50                    | 50  | 3  | 2,24         | 43000010 |
| 50                    | 50  | 4  | 2,93         | 43000011 |
| 50                    | 50  | 5  | 3,6          | 43000012 |
| 65                    | 65  | 3  | 2,95         | 43000013 |
| 65                    | 65  | 4  | 3,88         | 43000014 |
| 65                    | 65  | 5  | 4,78         | 43000015 |
| 80                    | 80  | 3  | 3,64         | 43000952 |
| 80                    | 80  | 4  | 4,82         | 43000016 |
| 80                    | 80  | 5  | 5,96         | 43000017 |
| 80                    | 80  | 6  | 7,07         | 43000018 |
| 100                   | 100 | 4  | 6,07         | 43000019 |
| 100                   | 100 | 5  | 7,53         | 43000020 |
| 100                   | 100 | 6  | 8,96         | 43000021 |

**Notas:**

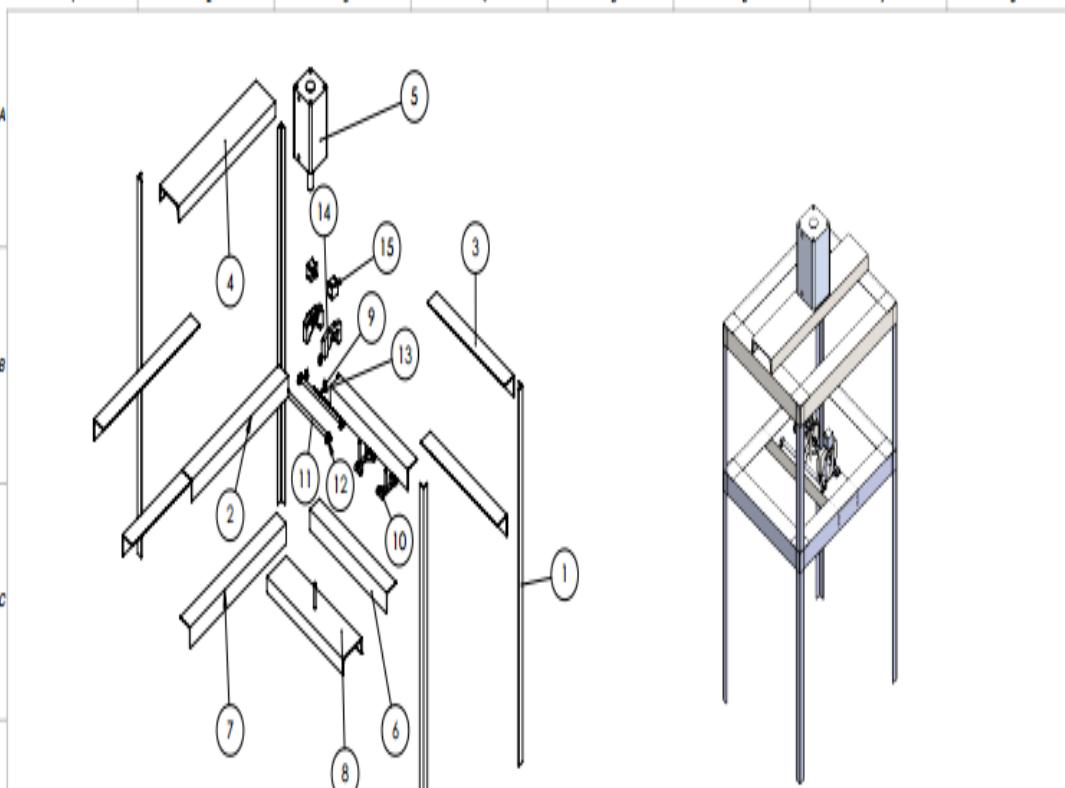
- Los perfiles canales y costaneras se fabrican según norma interna ET- 11/MA-7-2
- También se encuentran disponibles los tubulares que se obtienen de la unión, mediante dos cordones de soldadura, de los perfiles canales.

(Cintac, 2017)



# ANEXO 4

## Vista isométrica de la máquina



The diagram shows an exploded view of a machine on the left, with parts numbered 1 through 15. Part 1 is a vertical support, 2 and 3 are transverse beams, 4 is a support for a cylinder, 5 is a cylinder, 6 and 7 are strips, 8 is another cylinder support, 9 is a spring, 10 is a lower support, 11 is a small component, 12 is a bush, 13 is a rectangular rack spur, 14 is a base, and 15 is an axle. On the right is an isometric view of the assembled machine.

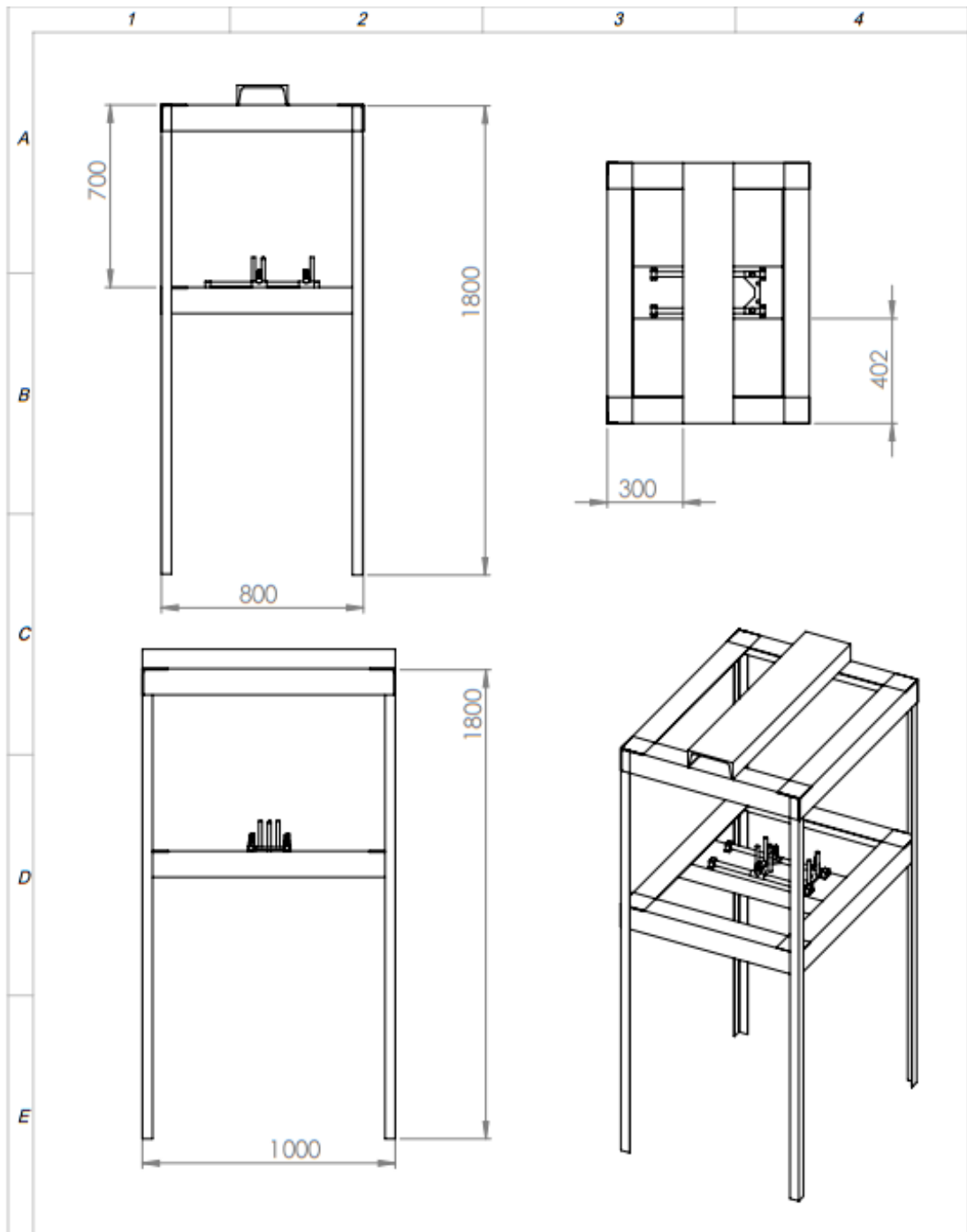
**VISTA ISOMETRICA  
ESCALA 1:20**


| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA             | CANTIDAD |
|-----------------|--------------------------|----------|
| 1               | soparte vertical         | 4        |
| 2               | viga transversal 1       | 2        |
| 3               | viga transversal         | 2        |
| 4               | viga_soporta_cilindro    | 1        |
| 5               | cilindro                 | 2        |
| 6               | riostros .B              | 2        |
| 7               | riostros l               | 2        |
| 8               | viga_soporta_cilindro 1  | 1        |
| 9               | resorte                  | 4        |
| 10              | soparte_inferior         | 2        |
| 11              | 2                        | 2        |
| 12              | chumacera                | 4        |
| 13              | rack spur rectangular_ai | 1        |
| 14              | base_zapata1.3           | 2        |
| 15              | ejem                     | 2        |

|                 |             |                        |        |
|-----------------|-------------|------------------------|--------|
| TELEFONO        | FECHA       | PROYECTO               | MT/REV |
|                 | 0.1         |                        |        |
| Fecha           | Nombre      | <b>remachadora 1.3</b> | ESCALA |
| Dibujado        | Proy. Civil |                        | 1:20   |
| Revisado        |             |                        |        |
| Aprobado        |             |                        |        |
| FORMA / EMPRESA | UTEL        | DELEGADO               | FORMA  |
|                 | UTEL        |                        | A3     |
| Modificación    | Fecha       | Nombre                 |        |

# ANEXO 5

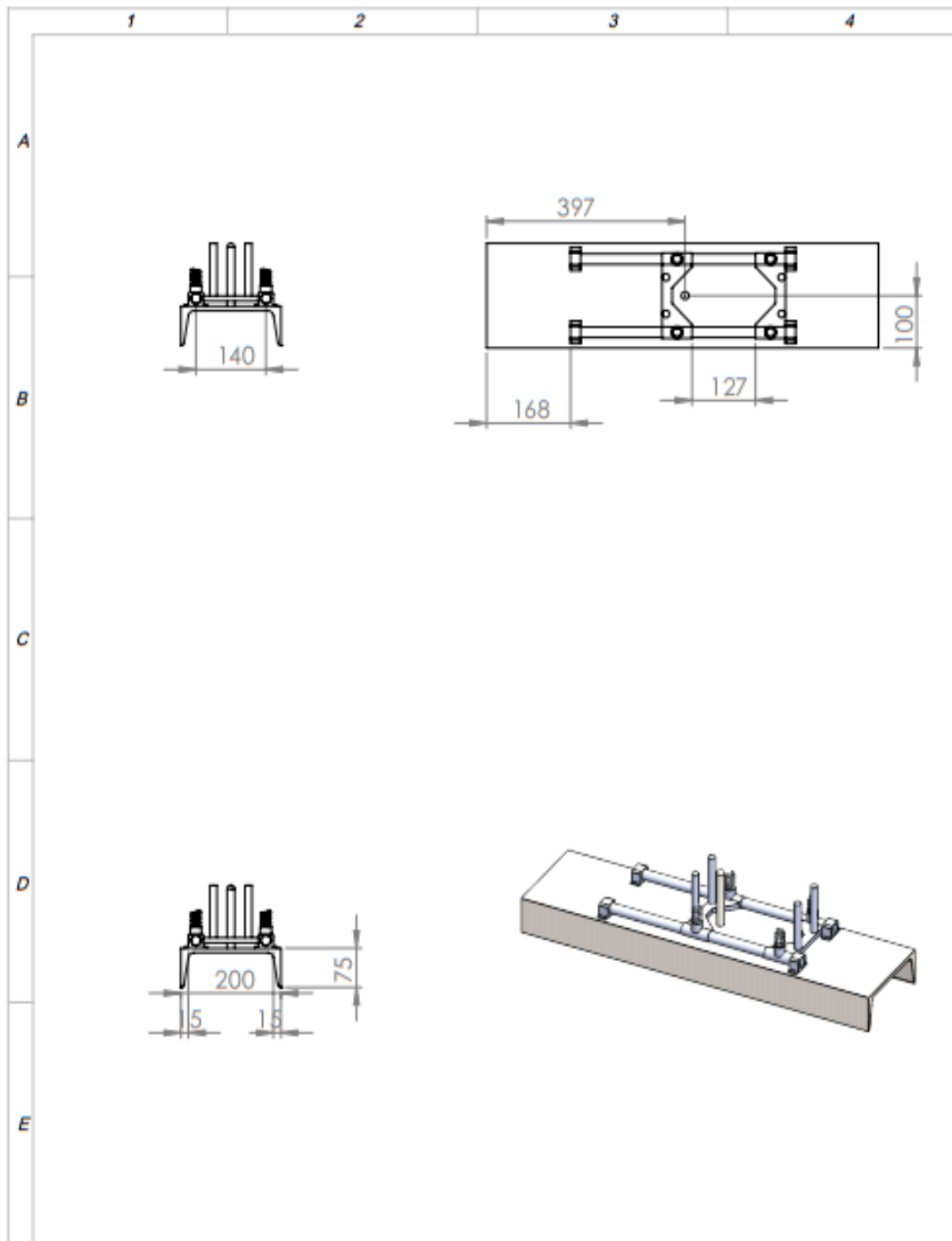
## Plano del ensamble de la estructura



|         |              |       |        |   |            |            |       |
|---------|--------------|-------|--------|---|------------|------------|-------|
|         |              |       |        | TOLERANCIA:   | RESO (kg)  | MATERIAL:  |       |
|         |              |       |        | 0.1   |            |            |       |
|         |              |       |        | Fecha   | Nombre     | ESCALA     |       |
|         |              |       |        | Dibujado 2018-05-12   | Jenny Chig | estructura |       |
|         |              |       |        | Revisado  |            | 1:20       |       |
|         |              |       |        | Aprobado  |            |            |       |
|         |              |       |        | FRMA / EMPRESA:   | DBLUD N°:  | 01         | HORA: |
|         |              |       |        | <b>UTE</b>  |            |            | A4    |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |  |            |            |       |
|         |              |       |        |   |            |            |       |

# ANEXO 6

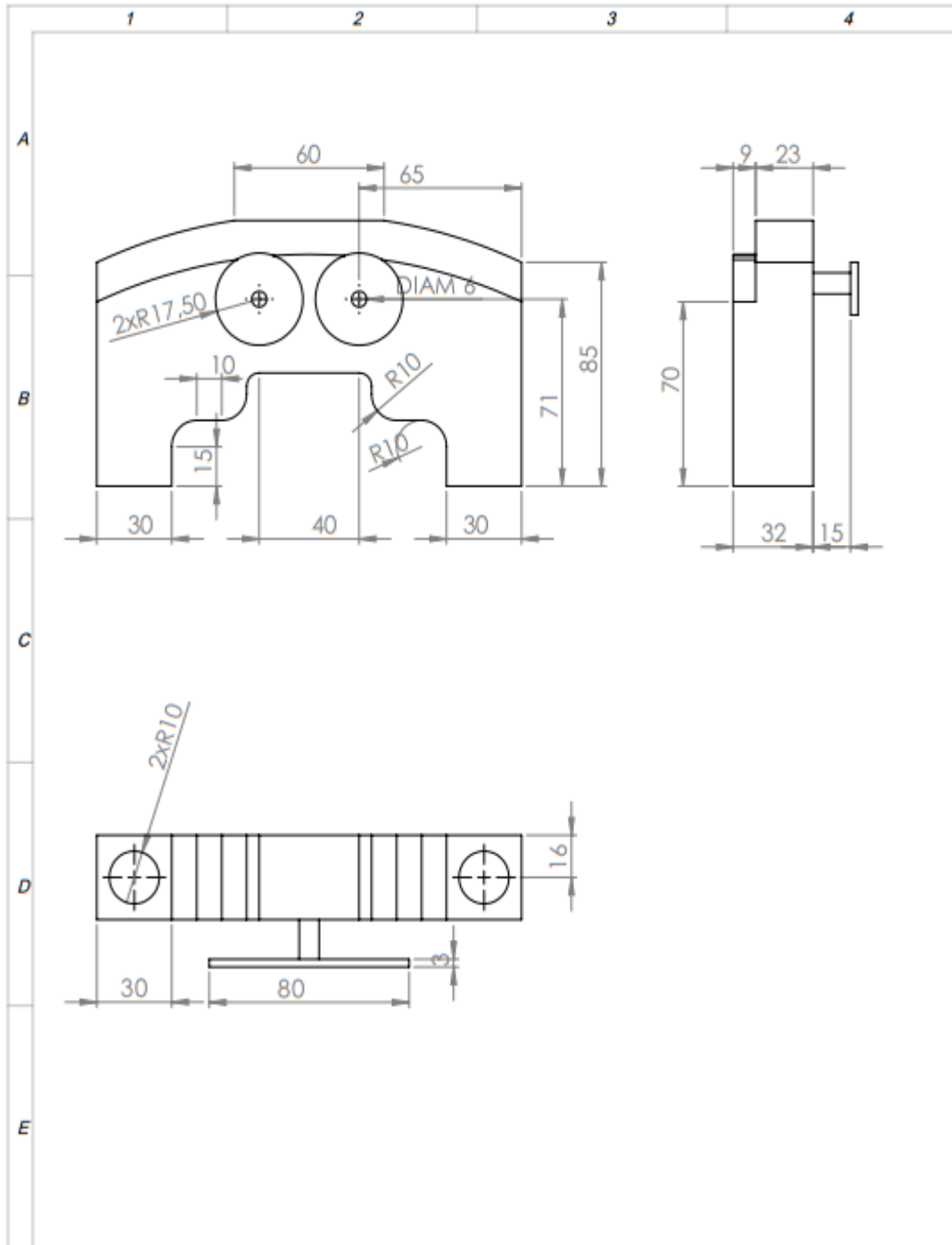
## Plano del ensamble del mecanismo




|       |             |       |                    |             |                       |           |
|-------|-------------|-------|--------------------|-------------|-----------------------|-----------|
|       |             |       | TOLERANCIA:        | RESO (kg)   | MATERIAL:             |           |
|       |             |       | 0,1                |             |                       |           |
|       |             |       | Fecha              | Nombre      | <b>Soporta Zapata</b> | ESCALA:   |
|       |             |       | Dibujado 201803-02 | Jhanny CNBj |                       | 1:10      |
|       |             |       | Revisado           |             |                       |           |
|       |             |       | Aprobado           |             |                       |           |
|       |             |       | FABRICA / EMPRESA: | DESIGNO:    | 02                    | HOJA:     |
|       |             |       | <b>UTE</b>         |             |                       | <b>A4</b> |
| Fecha | Modificacón | Fecha | Nombre             |             |                       |           |

# ANEXO 7

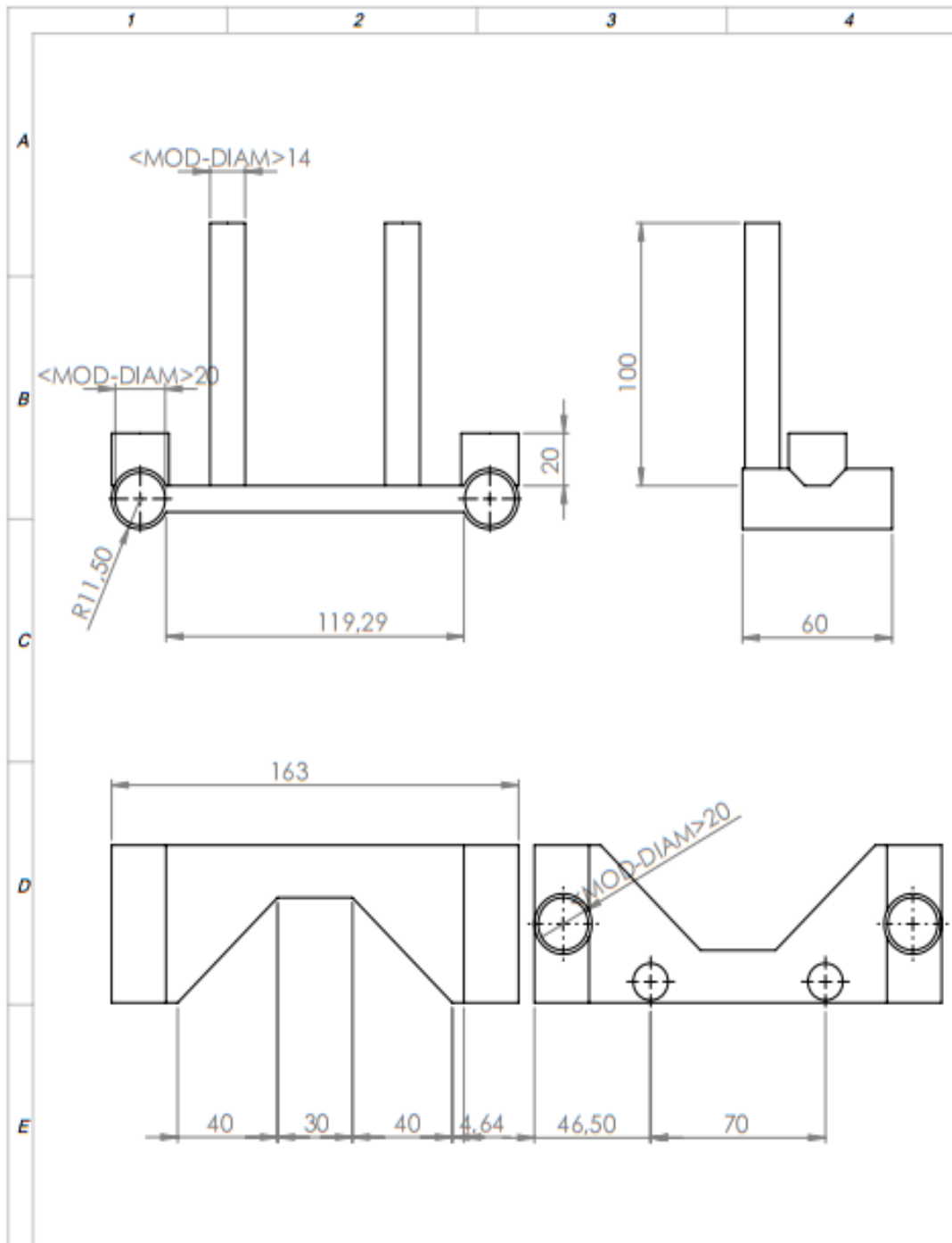
## Plano de la base de la zapata



|        |              |       |          |                 |   |                    |        |
|--------|--------------|-------|----------|-----------------|---|--------------------|--------|
|        |              |       |          | TOLERANCIA:     | PESO (kg)   | MATERIAL:          |        |
|        |              |       |          | 0.1             |   |                    |        |
|        |              |       |          | Fecha           | Nombre  | <b>Base zapata</b> | ESCALA |
|        |              |       | Dibujado | 2018-03-12      | Jhanny Chig   |                    | 1:2    |
|        |              |       | Revisado |                 |   |                    |        |
|        |              |       |          | Aprobado        |   |                    |        |
|        |              |       |          | FRMA / EMPRESA: |   | DIBUJO Nº          | Hoja:  |
|        |              |       |          | <b>UTE</b>      |  | 03                 | A4     |
| Estado | Modificación | Fecha | Nombre   |                 |   |                    |        |

# ANEXO 8

## Plano del soporte inferior



|       |              |       |        |   |           |                         |    |           |
|-------|--------------|-------|--------|---|-----------|-------------------------|----|-----------|
|       |              |       |        | TOLERANCIA:   | PROYECT:  | MATERIAL:               |    |           |
|       |              |       |        | 0.1   |           |                         |    |           |
|       |              |       |        | Fecha   | Nombre    | <i>soporte_inferior</i> |    | ESCALA:   |
|       |              |       |        | Dibujado 2014-01-12   | Jenny CNB |                         |    | 1:2       |
|       |              |       |        | Revisado  |           |                         |    |           |
|       |              |       |        | Aprobado  |           |                         |    |           |
|       |              |       |        | FIRMA / EMPRESA:  | DIBUJO Nº |                         | 04 | HOJA:     |
|       |              |       |        | <b>UTE</b>  |           |                         |    | <b>A4</b> |
| Fecha | Modificación | Fecha | Nombre |  |           |                         |    |           |

## ANEXO 9

### FICHA TÉCNICA MÁQUINA

NOMBRE COMERCIAL Remachadora semiautomática de zapatas de freno

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

ALTURA: 1,80 m ANCHO: 1 m LARGO: 0,8 m

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ALIMENTACIÓN: AC 110 V

CONTROL: PLC LOGO 230 RC

SENSORES 2 FINALES DE CARRERA

PRESIÓN DE AIRE 90 PSI

CILINDRO DOBLE EFECTO DE 160 MM DE DIAMETRO DE CAMISA

ACTUADORES: MOTOREDUCTORES DC A 24 V

ELECTROVALVULA 5/2 DE 24 V

#### INDICACIONES DE USO

Para iniciar el proceso de remachado el operador debe ubicar la zapata en la posición inicial y presionar el pulsador de inicio del proceso

#### FOTO DE LA MÁQUINA

