



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

<b>MEMORIA</b>
----------------

**SISTEMA DE DETECCIÓN Y REPOSICIONADO DEL CORDÓN DE SOLDADURA EN  
TUBOS DE ACERO**

**TFG N°: 424.13.133**

Autor: Pascual Chanzá Emperador

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Septiembre de 2015



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
3.1. OBJETO DEL PROYECTO	3
<b>4. DESARROLLO</b>	<b>4</b>
4.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
4.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TUBO DE ACERO	4
4.3. PROCESOS DE FABRICACIÓN EN LOS QUE ES NECESARIO REPOSICIONAR EL CORDÓN DE SOLDADURA.	5
4.3.1. <i>Proceso de embutido.</i>	5
4.3.2. <i>Proceso de troquelado.</i>	6
4.3.3. <i>Proceso de doblado.</i>	6
4.4. ESTUDIO DE NECESIDADES.	7
4.4.1. <i>Soporte de apoyo del tubo.</i>	7
4.4.2. <i>Sistema de marcha/Paro.</i>	7
4.4.3. <i>Sistema de giro del tubo.</i>	8
4.4.4. <i>Sistema de control.</i>	8
4.4.5. <i>Sistema de detección de presencia de tubo.</i>	9
4.4.6. <i>Sistema de detección del cordón de soldadura.</i>	9
4.4.7. <i>Sistema de reposicionado del cordón de soldadura.</i>	9
4.5. NORMATIVA	10
4.6. LIMITACIONES Y RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	11
<b>5. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS.</b>	<b>12</b>
5.1. SISTEMAS INSTALADOS PARA GIRAR EL TUBO.	12
5.1.1. <i>Sistema "A"</i>	13
5.1.2. <i>Sistema "B"</i>	14
5.1.3. <i>Sistema "C"</i>	14
5.1.4. <i>Sistema "D"</i>	15
5.1.5. <i>Sistema "E"</i>	16

## INDICES

5.2.	COMPONENTE UTILIZADO PARA CONTROLAR EL SISTEMA	17
5.2.1.	<i>Autómata programable (PLC)</i>	17
5.2.2.	<i>Logo</i>	18
5.2.3.	<i>Raspberry Pi</i>	19
5.3.	COMPONENTE UTILIZADO PARA LA DETECCIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA.	20
5.3.1.	<i>Fotocélula</i>	20
5.3.2.	<i>Cámara de visión artificial</i>	21
5.3.3.	<i>Sensor de infrarrojos</i>	22
6.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	23
6.1.	DESARROLLO GENERAL	24
6.2.	CONDICIONANTES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO.	25
6.3.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	25
6.4.	COMPROBACIÓN DE LOS COMPONENTES	26
6.4.1.	<i>Raspberry Pi</i>	27
6.4.2.	<i>Cámara para Raspberry Pi</i>	27
6.4.3.	<i>Motor paso a paso</i>	28
6.4.4.	<i>Caja EXA3015135</i>	28
6.4.5.	<i>Fuente de alimentación</i>	29
6.4.6.	<i>Encoder incremental</i>	29
6.4.7.	<i>Detector inductivo</i>	30
6.4.8.	<i>Interruptor</i>	31
6.4.9.	<i>Base de enchufe</i>	31
6.4.10.	<i>Bornas</i>	32
6.4.11.	<i>Carril DIN TS-35</i>	32
6.4.12.	<i>Conector RJ45</i>	33
6.4.13.	<i>Pulsadores</i>	33
6.4.14.	<i>Pulsador de emergencia</i>	35
6.4.15.	<i>Optoacoplador</i>	35
6.4.16.	<i>Señalizaciones</i>	38
6.4.17.	<i>Rodamientos</i>	39
6.4.18.	<i>Engranajes</i>	40
6.4.19.	<i>Chavetas</i>	40
6.4.20.	<i>Pata ball knob</i>	41
6.4.21.	<i>Asa Fabula</i>	41

## INDICES

6.5.	ETAPA DE POTENCIA	42
6.6.	PCB	44
6.7.	PROCESO DE ENSAMBLADO	46
6.8.	PROCESO DE PROGRAMACIÓN	47
6.9.	COMPROBACIÓN FINAL DEL SISTEMA	48
6.10.	GRAFNET DE MARCHA	49
6.11.	GRAFNET DE PARO	50
6.12.	COMPONENTES DEL SISTEMA	51
6.12.1.	<i>Componentes mecánicos</i>	51
6.12.2.	<i>Componentes eléctricos</i>	53
6.12.3.	<i>Software del sistema</i>	56
7.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
9.	<b>ANEJOS A LA MEMORIA</b>	<b>59</b>
9.1.	CÁLCULOS MECÁNICOS	59
9.2.	PROCESO DE INSTALACIÓN DE LINUX EN LA RASPBERRY PI	66
9.3.	PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA	69
9.4.	MANUAL DE USUARIO	82
9.5.	TABLAS DEL CONVENIO SIDEROMETALÚRGICO DE ZARAGOZA, AÑO 2014.	84



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso de fabricación del tubo de acero .....	5
Ilustración 2. Proceso de embutido .....	5
Ilustración 3. Proceso de troquelado .....	6
Ilustración 4. Proceso de doblado .....	6
Ilustración 5. Sistema de giro mediante conos, uno de ellos fijo .....	13
Ilustración 6. Sistema de giro mediante conos móviles .....	14
Ilustración 7. Sistema de giro mediante correa .....	15
Ilustración 8. Sistema de giro mediante rodillos.....	16
Ilustración 9. Autómata programable .....	17
Ilustración 10. Logo .....	18
Ilustración 11. Raspberry Pi .....	19
Ilustración 12. Fotor célula.....	20
Ilustración 13. Cámara de visión artificial .....	21
Ilustración 14. Sensor de infrarrojos .....	22
Ilustración 15. Motor paso a paso .....	28
Ilustración 16. Fuente de alimentación RD-125 .....	29
Ilustración 17. Encoder.....	30
Ilustración 18. Detector DW-AD-603-M8-122 .....	30
Ilustración 19. Interruptor .....	31
Ilustración 20. Base enchufe .....	31
Ilustración 21. Borna.....	32
Ilustración 22. Conector RJ45 Hembra-Hembra .....	33
Ilustración 23. Pulsador .....	34
Ilustración 24. Seta de emergencia .....	35

## INDICES

Ilustración 25. Optoacoplador CNY17 .....	36
Ilustración 26. Señalizaciones Led .....	39
Ilustración 27. Rodamiento .....	39
Ilustración 28. Engranaje.....	40
Ilustración 29. SLA7026M .....	42
Ilustración 30. PCB .....	45
Ilustración 31. Sistema completo .....	47



## 1. RESUMEN

El presente proyecto consiste en el estudio de los distintos sistemas de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero.

El tubo redondo de acero se fabrica a partir de placas de acero del espesor que se necesite. En un proceso continuo, la chapa es doblada gradualmente por una serie de rodillos hasta darle su forma cilíndrica, en la que los bordes quedan empatados. Estos bordes a tope, se unen mediante un proceso de soldadura continua.

Este cordón de soldadura generado, es la parte más débil del tubo. Cualquier proceso de modificación del tubo realizado sobre esta zona puede ocasionar que los resultados deseados no se ajusten a la realidad.

Por este motivo, el posicionado del tubo de acero antes de realizar cualquier tipo de proceso sobre él es muy importante.

Una vez estudiada la problemática, se intentará fabricar un prototipo que desempeñe esta función de forma óptima.

Para el sistema de control se utilizará la plataforma Raspberry Pi. La Raspberry Pi recibirá las señales de los captadores y controlará la velocidad de giro del motor, así como, el momento de inicio y paro de giro del mismo.

Se controlará mediante software, la detección del cordón de soldadura, la velocidad del motor en función del diámetro del tubo y el reposicionamiento del cordón de soldadura en una determinada posición antes del procesado.

Para localizar el cordón de soldadura se utilizará una cámara instalada a la Raspberry Pi.

Palabras clave: Cordón de Soldadura, Raspberry Pi, Motor, Sistema de Control, Cámara de Visión Artificial.

Abstract

## **2. ABSTRACT**

This project consists of the study of different systems of detection and reset cord of welding in steel pipes.

Round steel tube is manufactured from steel plates thickness that we need. In a continuous process, the veneer is gradually bent by a series of rollers to giving its cylindrical form, in which the edges are tied. These edges butt, joined by a seam welding process.

This generated weld bead, is the weakest part of the tube. Any process of modification of the tube on this area can result in that the desired results are not optimal.

For this reason, the positioning of steel tube before starting any process upon him is very important.

Once studied the problem, be manufactured a prototype which performs this function in an optimum way.

Raspberry Pi platform will be used for the control system. The Raspberry Pi will receive the signals of the sensors and controls the speed of rotation of the motor, as well as the time of start and stop of turn of the vehicle.

Be controlled by software, the detection of the weld bead, the motor speed according to the diameter of the tube and the repositioning of the weld bead in a certain position before processing.

A camera installed to the Rasp-berry Pi will be used to locate the weld bead.

Keywords: Welding Cord, Raspberry Pi, Engine, Control System, Machine Vision Camera.

### **3. INTRODUCCIÓN**

El siguiente proyecto tiene carácter de Trabajo de Fin de Grado, para la obtención por parte del autor del título de Graduado en Ingeniería Mecatrónica.

Según los estudios realizados a los tubos de acero, el lugar más débil del tubo es la zona de unión del tubo, el comúnmente denominado cordón de soldadura.

Cualquier proceso de embutido, troquelado o doblado del tubo por esta zona puede llevar asociado distintos problemas que deberían ser evitados, para una vez realizado el proceso oportuno, obtener un producto óptimo.

Los principales problemas derivados del reposicionado inadecuado del cordón de soldadura son:

- Rotura del tubo por la zona donde se sitúa el cordón de soldadura.
- La forma del tubo tras la realización del proceso no es la óptima.
- La repetitividad del producto final, en un proceso en serie, no se consigue.

#### **3.1. OBJETO DEL PROYECTO**

El presente proyecto pretende desarrollar un sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero, basado en el estudio de los distintos sistemas de detección y reposicionado existentes en el mercado.

Si fuese posible, se fabricará un prototipo aplicando la solución adoptada.

## **4. DESARROLLO**

### **4.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Para la realización de determinados procesos en frío de deformaciones mecánicas sobre tubos redondos de acero, es imperativo tener en cuenta varias precauciones antes de aplicar el proceso, con el fin de obtener un producto óptimo.

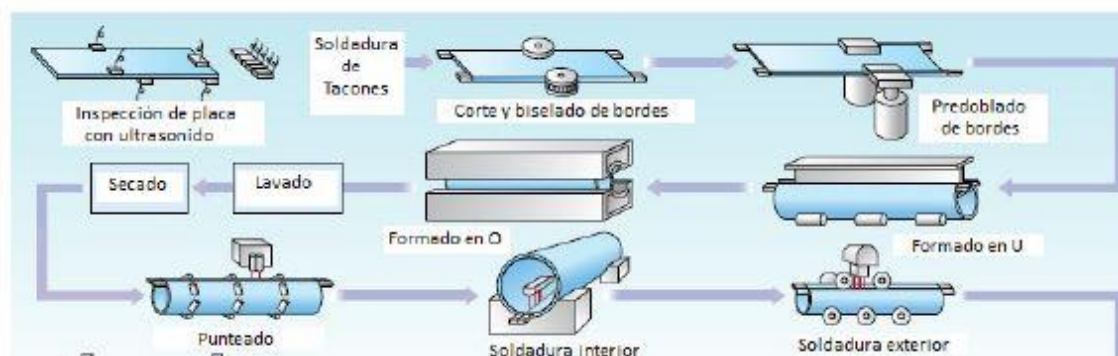
Una de estas precauciones es lograr que el cordón de soldadura se encuentre situado al lado del radio de flexión (en el plano de la fibra neutra). De lo contrario, pueden producirse dilataciones desiguales del material base, originándose con facilidad grietas en la zona de la soldadura, ya que esta zona es la más débil del tubo.

Por este motivo es necesario colocar los tubos en la posición adecuada, antes de realizar cualquier tipo de proceso sobre ellos, como por ejemplo un proceso de embutido, doblado o troquelado.

Para tener una mejor visión del problema es necesario conocer porqué aparece ese cordón de soldadura en la fabricación de los tubos redondos de acero y cuáles son los procesos que pueden verse afectados.

### **4.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TUBO DE ACERO**

Los tubos de acero con costura se fabrican a partir de placas de acero. Es un proceso continuo, la placa de acero es doblada gradualmente por una serie de rodillos laterales hasta darle su forma cilíndrica y en la que los bordes de la placa quedan completamente empatados. Estos bordes a tope, se unen mediante un proceso de soldadura continua, apareciendo el denominado cordón de soldadura de los tubos de acero.



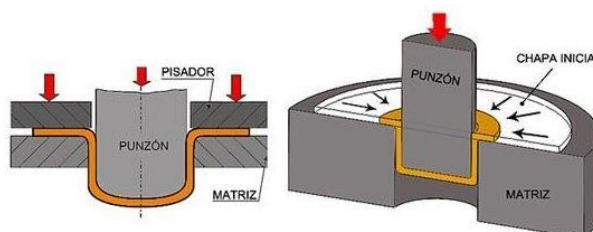
**Ilustración 1. Proceso de fabricación del tubo de acero**

El tubo ya soldado es sometido a una eliminación del exceso de soldadura tanto en el interior como en el exterior. Posteriormente, es sometido a un tratamiento térmico, decapado, acabado de superficie y pruebas sujetas a la Norma correspondiente, para obtener un producto de primera calidad para el uso requerido en los diferentes mercados.

## 4.3. PROCESOS DE FABRICACIÓN EN LOS QUE ES NECESARIO REPOSICIONAR EL CORDÓN DE SOLDADURA.

### 4.3.1. Proceso de embutido.

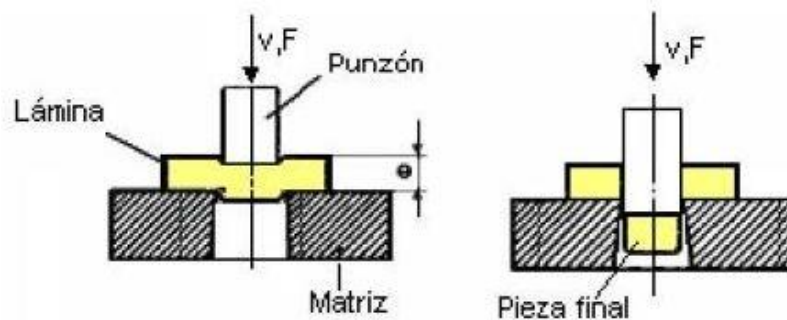
Es un proceso de fabricación que consiste en colocar la lámina de metal sobre un dado y luego presionarlo hacia la cavidad con la ayuda de un punzón que tiene la forma que copiará la lámina.



**Ilustración 2. Proceso de embutido**

### 4.3.2. *Proceso de troquelado.*

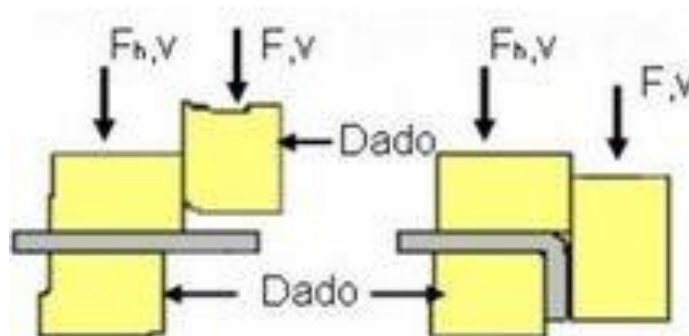
Es un proceso de fabricación en el cual se cortan láminas sometiéndolas a esfuerzos cortantes, desarrollados entre punzón y matriz.



**Ilustración 3. Proceso de troquelado**

### 4.3.3. *Proceso de doblado.*

Es un proceso de fabricación que consiste en la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Durante la operación, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las fibras interiores están en compresión.



**Ilustración 4. Proceso de doblado**

## 4.4. ESTUDIO DE NECESIDADES.

Cualquier posible diseño de un sistema de detección y reposicionado de tubo de acero que se realice, deberá tener:

- Un soporte para apoyar el tubo
- Un sistema de giro del tubo.
- Un sistema de marcha/paro.
- Un sistema de control.
- Un sistema de detección de presencia de tubo.
- Un sistema de detección del cordón de soldadura del tubo.
- Un sistema de reposicionado del cordón de soldadura del tubo

### 4.4.1. *Soporte de apoyo del tubo.*

El soporte es una parte importante en el diseño, deberá aguantar el peso del tubo y además lo deberá dejar girar libremente, sin oponerle resistencia. Este soporte se fabricará de acero.

Para que el tubo pueda girar libremente existen distintas posibilidades:

- Se puede colocar el tubo sobre unos rodamientos para que pueda girar sin dificultad.
- Se puede elevar el tubo sobre el soporte para evitar el rozamiento, y hacerlo girar en el aire.
- Se puede hacer que el propio soporte gire y a su vez que éste, y que, por rozamiento, haga girar el tubo.

Sobre el soporte también se colocarán los sensores que sean necesarios.

### 4.4.2. *Sistema de marcha/Paro.*

Se instalará un pulsador de marcha para arrancar la instalación y otro pulsador de paro para detenerla. El pulsador de marcha deberá de ser de color verde y de color rojo el de paro.

También se colocará una seta de emergencia para poder detener la instalación en cualquier momento.

#### *4.4.3. Sistema de giro del tubo.*

Para realizar cualquier sistema de giro se utiliza normalmente un motor eléctrico. También se podría utilizar algún otro sistema neumático o hidráulico, pero es menos aconsejable.

Para hacer girar al tubo, se podrían aplicar multitud de sistemas de giro. En función del sistema aplicado, la potencia requerida por el motor será diferente. Los sistemas más utilizados son:

- Amarrar el tubo por los extremos con unas pinzas y hacer girar a las pinzas para que ellas giren el tubo.
- Presionar el tubo por los extremos introduciendo un tope cónico en el interior y al girar los conos giraría el tubo.
- Colocar el tubo sobre unos rodamientos y hacer girar a una correa que al estar en contacto con el tubo lo haría girar por rozamiento.
- Preparar un soporte que gire, y por rozamiento haría girar al tubo colocado sobre él.

#### *4.4.4. Sistema de control.*

En el ámbito industrial el autómatas programable es el sistema de control más utilizado. Pero para pequeños proyectos se podrían utilizar otros controladores más económicos.

Para proyectos inferiores se puede utilizar el Logo, o incluso controladores más pequeños en cuanto a prestaciones, como por ejemplo arduino o Raspberry Pi.

También habrá que tener en cuenta si se desea realizar un entorno de control gráfico o no, para decidimos por una plataforma u otra.



#### *4.4.5. Sistema de detección de presencia de tubo.*

Para el sistema de detección de presencia de tubo se podrían utilizar detectores inductivos o fotocélulas.

Los detectores inductivos son los más utilizados para detectar un tubo de acero ya que son bastante económicos, por el contrario el rango de detección es mucho menor.

#### *4.4.6. Sistema de detección del cordón de soldadura.*

Para realizar la detección del cordón de soldadura existen diferentes posibilidades:

- Utilizar fotocélulas que detectan el contraste de luz reflejada sobre el tubo en función de la oscuridad de la zona del tubo. A veces este sistema no es muy fiable, ya que todos los tubos no son iguales.
- Utilizar un sistema comercializado que detecta el cordón de soldadura mediante un sistema magnético. Este sistema es muy bueno pero es caro.
- Utilizar cámaras de visión artificial, que controladas mediante software, en las que se puede regular la zona de detección.

#### *4.4.7. Sistema de reposicionado del cordón de soldadura.*

El sistema de reposicionado del tubo hay que hacerlo mediante un componente capaz de situar el tubo en una posición determinada. Esta función la realizan los encoders.

Se puede utilizar encoders de valor absoluto (son más caros y más precisos) o encoders incrementales.

## 4.5. NORMATIVA

Este sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero es conforme respecto a las siguientes normativas:

- Directiva Europea de Máquinas 2006/42/CE.
- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de prevención de riesgos laborales (BOE nº269 10/11/1995).
- Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja Tensión (BOE 18/09/2002). Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- EN ISO14121-1. Seguridad de las máquinas. Evaluación del riesgo. Parte 1: Principios.
- EN ISO 12100-1. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.
- EN ISO 12100-2. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.
- EN ISO 13850. Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios de diseño.
- EN IEC 62061. Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de control eléctricos, electrónicos y programables relativos a la seguridad.
- EN ISO 13849-1. Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
- UNE-EN 60947-1:2008. Aparata de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.
- UNE-EN 60947-3:2009. Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.

## 4.6. LIMITACIONES Y RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

El diseño a realizar será capaz de localizar y reposicionar el cordón de soldadura en tubos de acero de distintos diámetros, desde tubos de Ø15mm hasta tubos de Ø50mm.

La longitud de los tubos no podrá ser inferior a 150mm ni superior a 240mm.

La base del sistema será de acero 1.1158.

Los soportes para el giro del tubo será de acero 1.1158.

Los ejes se fabricarán de acero 1.1191.

Se utilizarán rodamientos para minimizar el rozamiento entre los ejes y los soportes.

Se utilizarán unos rodillos para hacer girar el tubo mediante rozamiento. El diámetro de los rodillos será de 45mm, llevarán un tratamiento térmico de templado para aumentar su dureza y evitar su desgaste.

Se utilizará un motor eléctrico para hacer girar al sistema.

Se utilizará una Raspberry pi con suficientes entradas y salidas, para realizar completamente el proceso.

Se utilizará un sistema de visión artificial para detectar el cordón de soldadura de los tubos.

Para el reposicionado del tubo se utilizará un sistema basado en encoders.

El sistema contará con distintas señalizaciones luminosas, que advertirán del estado del sistema en cada momento.

Planteamiento de soluciones alternativas.

## **5. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS.**

Los distintos sistemas industriales, necesitan básicamente, los mismos componentes para un óptimo funcionamiento del sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en los tubos de acero:

- un sistema de control mediante autómatas programables (PLC) u otro controlador inferior.
- un soporte para sujetar el tubo, un sistema de amarre de tubo
- un motor para hacer girar el tubo
- un sensor inductivo para detectar la presencia de tubo
- un sensor para detectar el cordón de soldadura

La principal diferencia entre todos los sistemas es el mecanismo que hace girar al tubo, el sistema utilizado para la detección del cordón de soldadura y el componente utilizado para controlar todo el sistema.

### **5.1. SISTEMAS INSTALADOS PARA GIRAR EL TUBO.**

Estos sistemas necesitan de unos soportes para apoyar el tubo. Posteriormente el tubo es agarrado por los extremos mediante distintos métodos, y un motor le hace girar hasta localizar la posición del cordón de soldadura.

La potencia requerida por el motor habrá que calcularla en función del rozamiento del tubo con el sistema de giro y en función del peso que deba mover el motor.

La velocidad de giro se deberá regular en función del diámetro del tubo y del grosor del cordón de soldadura.

En función del sistema desarrollado, el diámetro máximo y mínimo del tubo con el que se podrá trabajar variará. Estos valores se deberán consultar en las especificaciones del sistema.

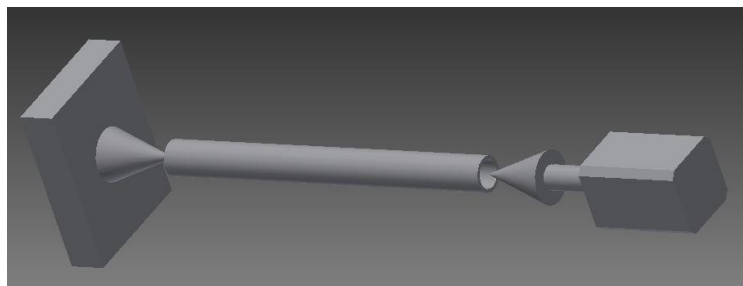
### 5.1.1. Sistema "A"

El tubo se coloca sobre unas cunas ajustables en altura, en función del diámetro del tubo.

En los extremos se encuentran unos conos, uno de ellos se introduce en el interior del tubo y presiona el tubo contra el otro cono que está fijo, de este modo levantan el tubo por encima de las cunas para evitar el rozamiento.

Para el movimiento horizontal del cono móvil se utiliza un sistema neumático, el cono se mueve mediante un cilindro.

El cono fijo se encuentra unido a un motor eléctrico que hace girar al tubo mediante rozamiento. Este motor lleva la reductora necesaria para que la velocidad de giro sea la adecuada.



**Ilustración 5. Sistema de giro mediante conos, uno de ellos fijo**

Ventajas de este sistema:

- Es un sistema barato y simple
- Se ajusta con facilidad
- El sistema se controla con un autómata y se puede reprogramar con facilidad.

Inconvenientes de este sistema:

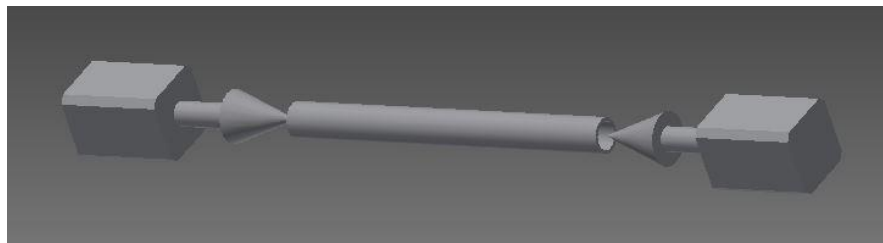
- En varias ocasiones el tubo resbala de los conos
- A veces, el tubo no gira de forma homogénea debido a la presión ejercida en los extremos.
- El reposicionado del tubo no es muy exacto

Planteamiento de soluciones alternativas.

### 5.1.2. Sistema "B"

Es un sistema similar al anterior con la diferencia de que ambos conos son móviles.

Con este sistema aumentamos el rozamiento en los extremos del tubo y por consiguiente se consigue que el tubo resbale en menos ocasiones que en el caso anterior.



**Ilustración 6. Sistema de giro mediante conos móviles**

Ventajas de este sistema:

- El amarre del tubo es mejor ya que aumenta el rozamiento entre tubo y conos

Inconvenientes de este sistema:

- Es un sistema más caro que el anterior, ya que necesitamos 2 cilindros neumáticos en vez de 1.
- En alguna ocasión el tubo resbala de los conos
- A veces, el tubo no gira de forma homogénea debido a la presión ejercida en los extremos.
- El reposicionado del tubo no es fiable al 100%

### 5.1.3. Sistema "C"

Es un sistema similar al sistema "B", con la modificación de que en vez de conos se utilizan unas pinzas que cogen el tubo en los extremos por la parte exterior.

Ventajas de este sistema:

- El tubo ya no se resbala
- El giro del tubo es homogéneo.

Inconvenientes de este sistema:

- Se necesitan un juego de pinzas para cada diámetro de tubo
- Es un sistema más caro

#### **5.1.4. Sistema "D"**

El tubo se coloca sobre unos rodamientos para que pueda girar libremente.

Mediante un sistema neumático se pone al tubo en contacto con una correa de goma. Esta correa de goma está unida a un motor eléctrico.

Al girar el motor transmite el movimiento a la correa y por rozamiento hace girar al tubo.



**Ilustración 7. Sistema de giro mediante correa**

Ventajas de este sistema:

- Se necesita un motor de menor potencia que en los casos anteriores
- El giro del tubo es homogéneo.

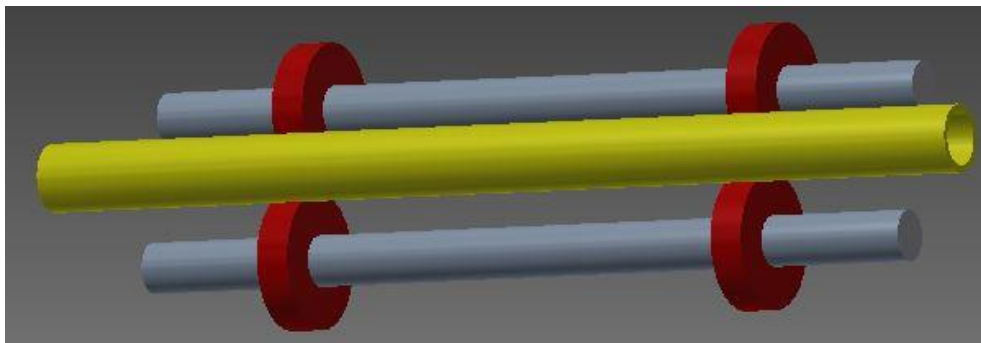
Planteamiento de soluciones alternativas.

Inconvenientes de este sistema:

- A la hora de liberar el tubo, éste puede moverse de posición debido a la inercia de giro, ya que el tubo está apoyado sobre unos rodamientos.
- Sigue siendo necesaria una parte neumática para subir y bajar el sistema de giro.

### 5.1.5. Sistema "E"

El tubo se coloca sobre 4 rodillos situados en 2 ejes paralelos. Mediante un motor eléctrico hacemos girar ambos rodillos a la vez. Gracias al rozamiento entre los 4 rodillos y el tubo, se consigue un giro homogéneo del mismo.



**Ilustración 8. Sistema de giro mediante rodillos**

Ventajas de este sistema:

- Es un sistema barato y muy sencillo de instalar
- El giro del tubo es homogéneo.
- Se necesita un motor de pequeña potencia.
- Se elimina la parte neumática que utilizan alguno de los sistemas anteriores.

Inconvenientes de este sistema:

- A la hora de detener el giro se debe tener en cuenta la inercia del tubo.



## 5.2. COMPONENTE UTILIZADO PARA CONTROLAR EL SISTEMA

### 5.2.1. *Autómata programable (PLC)*

Los sistemas de control de los procesos industriales utilizan como controlador el autómata programable.



**Ilustración 9. Autómata programable**

Ventajas de este sistema:

- Fácil programación
- Es sencillo aumentar el número de entradas o salidas si fuese necesario.

Inconvenientes de este sistema:

- El coste

Planteamiento de soluciones alternativas.

### 5.2.2. Logo

Algunos sistemas de control utilizan el logo.



**Ilustración 10. Logo**

El logo es un componente electrónico parecido al autómata pero con número limitado de entradas y salidas. La programación de estos componentes es diferente a las de los autómatas.

Ventajas de este sistema:

- Fácil programación
- Es más barato que el autómata.

Inconvenientes de este sistema:

- Solo se puede utilizar en sistemas pequeños, debido al limitado número de entradas y salidas que posee.

### 5.2.3. *Raspberry Pi*

Los sistemas que utilizan una Raspberry Pi como controlador son generalmente sistemas pequeños. Se suele utilizar este componente para uso didáctico en las escuelas.

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo coste desarrollado en el Reino Unido.

El diseño incluye un system-on-a-chip Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central ARM1176JZF-S a 700MHz, un procesador gráfico VideoCore IV y 512MB de memoria RAM.

La Raspberry Pi no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido. Ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento de datos.

La Raspberry Pi no incluye un reloj en tiempo real, por lo que el sistema operativo debe usar un servidor de hora en red.



**Ilustración 11. Raspberry Pi**

Ventajas de este sistema:

- Fácil programación
- Es más barato que el logo
- Se le pueden conectar infinidad de elementos ya preparados para interactuar con ella.

Inconvenientes de este sistema:

- Se debe poseer unos conocimientos mínimos de programación en C+ y Linux.

Planteamiento de soluciones alternativas.

## 5.3. COMPONENTE UTILIZADO PARA LA DETECCIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA.

### 5.3.1. *Fotocélula*

Es un componente electrónico capaz transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Es capaz de diferenciar zonas oscuras y zonas claras. Las fotocélulas poseen un pequeño tornillo para ajustar el nivel lumínico en la zona de detección.



**Ilustración 12. Fotocélula**

Ventajas de este sistema:

- Fácil instalación
- Fácil ajuste
- Amplia zona de detección

Inconvenientes de este sistema:

- Si la zona a localizar no se diferencia claramente del resto, a veces realizan falsas lecturas.
- Son componentes caros.

### 5.3.2. Cámara de visión artificial

El funcionamiento de estos componentes es muy sencillo. Realizan una fotografía patrón que guardan en su memoria. Posteriormente, se programan unos rangos de variación de la fotografía. Luego la cámara se pone en funcionamiento, están programadas para realizar fotografías de forma continua e ir comparándolas al mismo tiempo con la fotografía patrón.

Cuando al coincidencia de fotografías es se encuentra dentro del rango programado previamente, activan una señal que advierte al controlador.



**Ilustración 13. Cámara de visión artificial**

Ventajas de este sistema:

- Fácil instalación
- Sistema barato

Inconvenientes de este sistema:

- Se necesita conocer el software de programación para programar los rangos de comparación correctamente.

Planteamiento de soluciones alternativas.

### 5.3.3. *Sensor de infrarrojos*

Es un componente electrónico compuesto por un diodo de infrarrojos que hace la función de emisor de luz y un fototransistor que hace la función de receptor de la energía lumínica. En función de la cantidad de energía lumínica absorbida por el fototransistor, la corriente que circula por el transistor es mayor o menor.



**Ilustración 14. Sensor de infrarrojos**

Ventajas de este sistema:

- Fácil instalación
- Sistema muy barato

Inconvenientes de este sistema:

- La zona de detección es pequeña, por ello, se debe hacer un ajuste muy fino.

## **6. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

Estudiados los sistemas propuestos de giro del tubo, se ha decidido instalar el sistema "E". Se ha decidido implantar este sistema por los siguientes motivos:

- No es necesario instalar una toma neumática.
- El sistema solo necesita energía eléctrica, ya que este sistema utiliza únicamente componentes eléctricos.
- Es un sistema muy simple, fácil de fabricar y fácil de instalar.
- Es un sistema barato
- Es un sistema fácil de ajustar
- Para haber girar el tubo en este sistema, se necesita un motor de pequeña potencia.

Se ha optado utilizar la Raspberry Pi en el sistema de control, por los siguientes motivos:

- Es un componente barato
- Posee suficientes entradas y salidas para controlar el sistema.
- La programación del dispositivo es sencilla.
- Hay una cámara desarrollada específicamente para la Raspberry Pi que se puede utilizar en el sistema de detección del cordón de soldadura.
- Es capaz de controlar pequeños motores.
- Se puede trabajar con ella como si fuese un ordenador, por lo que se puede realizar un interfaz visual para controlar el sistema desde el monitor.

Al utilizar como sistema de control la Raspberry Pi, se va a utilizar como método de detección del cordón de soldadura la cámara de visión artificial, ya que existe una cámara diseñada específicamente para trabajar con la Raspberry Pi.

## 6.1. DESARROLLO GENERAL

La máquina se compondrá de una parte mecánica y de otra eléctrica.

Los componentes instalados en el sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero, se han adquirido de fabricantes líderes en su sector, para aumentar la durabilidad y calidad del producto.

Los motivos por los que se han seleccionado estos fabricantes son:

- Son fabricantes que tiene una buena relación calidad-precio
- Amplia gama de productos
- Sus productos son muy fiables.
- Ofrecen un apoyo técnico de alta calidad.
- Ofrecen grandes descuentos al realizar pedidos importantes.
- Recepción del material solicitado en 24 horas.

A determinadas partes mecánicas se les aplica un tratamiento de templado para aumentar su dureza y su resistencia al desgaste. También aumenta su fragilidad.

A otras partes mecánicas, se les aplica un tratamiento de pintado, para mejorar el aspecto de las piezas y evitar la corrosión.

Se adjunta un manual de usuario en el anejo 9.4.

Este sistema se va a aplicar en el sector del automóvil, en la provincia de Zaragoza. Para el cálculo de la mano de obra, se han utilizado las tablas de la industria siderometalúrgica de la provincia de Zaragoza para 2014 (Ver anejo 9.5). Esta parte del presupuesto podría ser modificada en función de las nuevas tablas a aplicar en el año de instalación del sistema.



## 6.2. CONDICIONANTES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO.

Los principales problemas a los que se debe dar solución para optimizar el sistema son:

- Minimizar al máximo el rozamiento en el sistema de giro
- Realizar el cálculo del motor que se necesita, aplicando un adecuado margen de seguridad
- Realizar un diseño y ajuste óptimo de los componentes mecánicos.
- Simplificar todo lo posible la programación del sistema.
- Se debe realizar un ajuste óptimo del sistema de visión artificial, para evitar posibles errores de discriminación del cordón de soldadura.
- Se debe tener en cuenta la resolución del encoder a utilizar, para minimizar al máximo el error que se pueda cometer al situar el tubo en la posición requerida.

## 6.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para que el sistema funcione de forma óptima, se debe garantizar el buen funcionamiento individual de cada componente.

Posteriormente, se ensamblarán todos los componentes mecánicos del sistema, para posteriormente instalar los componentes eléctricos/electrónicos.

Cuando todos los componentes se encuentren instalados, se desarrollará la programación del sistema y se irá comprobando el funcionamiento por partes, en este orden:

- Se comprobará que la señal de los pulsadores llega a la Raspberry Pi.
- Se comprobará que los leds se encienden y tienen una intensidad luminosa adecuada.

Descripción detallada de la solución adoptada

- Se comprobará que la señal del detector de presencia de tubo llega a la Raspberry Pi.
- Se comprobará que la señal del encoder llega a la Raspberry Pi.
- Se comprobará que el sistema gira correctamente.
- Se comprobará que la cámara está bien ajustada para visualizar el centro del tubo.
- Se comprobará el sistema de calibración de la cámara.
- Se realizará la comprobación total del sistema.

## 6.4. COMPROBACIÓN DE LOS COMPONENTES

Para que el sistema funcione de forma óptima, se debe garantizar el buen funcionamiento individual de cada componente. Esta garantía la obtendremos mediante:

- Comprobación de que todos los componentes tengan el marcado CE.
- Comprobación visual del estado óptimo de los componentes.
- Realizando las pruebas de buen funcionamiento de cada componente.
- Certificando que se han realizado dichas pruebas

Posteriormente, se ensamblarán todos los componentes mecánicos del sistema, para instalar después los componentes eléctricos/electrónicos.

Cuando todos los componentes se encuentren instalados, se desarrollará la programación del sistema.

### 6.4.1. *Raspberry Pi*

El modelo de controlador utilizado será la raspberry Pi 2 modelo "B". Se le colocará una caja de protección fabricada expresamente para ella.

Las características de la Raspberry Pi se pueden consultar en el anexo 3.

Las características de la caja se pueden consultar en el anexo 4.

Se comprobará que la Raspberry Pi tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que la Raspberry Pi se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará alimentación y se instalará el sistema operativo para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se comprobarán los puertos Gpio, ejecutando un programa de prueba.

Se comprobarán el resto de puestos de la Raspberry Pi: puerto Ethernet, puertos USB, salida de audio, salida de video, conector para cámara, slot de memoria.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.2. *Cámara para Raspberry Pi*

La cámara utilizada en el sistema es una cámara fabricada expresamente para ser utilizada con la propia Raspberry Pi. A esta cámara se le colocará una caja de protección fabricada expresamente para ella.

Las características de la cámara se pueden consultar en el anexo 5.

Las características de la caja se pueden consultar en el anexo 6.

Se comprobará que la cámara tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que la cámara se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le conectará al puerto de la Raspberry Pi para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

Descripción detallada de la solución adoptada

### 6.4.3. *Motor paso a paso*

Se instalará el motor comercial del fabricante Sanyo Denki, modelo 103-770-3240 ó similar, puesto que cumple con creces los requisitos mínimos obtenidos en los cálculos mecánicos (ver anejo 9.1). Este motor consume una corriente máxima de 3.9A, dato a tener en cuenta en el diseño electrónico del control.

Las características del motor se pueden consultar en el anexo 2.



**Ilustración 15. Motor paso a paso**

Se comprobará que el motor tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que el motor se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará tensión y se le hará girar a distintas velocidades. Se observará que gira correctamente para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.4. *Caja EXA3015135*

Se instalará el modelo de caja EXA3015135 del fabricante IDE ó similar.

Las características de la caja se pueden consultar en el anexo 24.

Se comprobará que la caja tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que la caja se encuentra en buen estado y que no tiene golpes.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.5. *Fuente de alimentación*

Se utilizará una fuente de alimentación comercial del fabricante Mean Well modelo RD-125 ó similar, que proporcionará los distintos niveles de tensión que necesita el sistema.

Las características de la fuente de alimentación se pueden consultar en el anexo 8.



**Ilustración 16. Fuente de alimentación RD-125**

Se comprobará que la fuente de alimentación tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que la fuente de alimentación se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará tensión y se medirá la tensión de salida para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.6. *Encoder incremental*

Se instalará un encoder comercial del fabricante Omron de 1024 pulsos, modelo E6C2-CWZ5B 1024P/R 2M ó similar.

Las características del encoder se pueden consultar en el anexo 13.

Se instalará una resistencia pull up de  $680\Omega$  ya que el encoder tiene la salida colector abierto.

Se comprobará que el encoder tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que el encoder se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Descripción detallada de la solución adoptada



**Ilustración 17. Encoder**

Se le suministrará tensión y se moverá el eje del encoder, se comprobará que la tensión de salida pasa de nivel alto a bajo y viceversa al girarlo, comprobando que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

#### **6.4.7. *Detector inductivo***

Se instalará un detector inductivo, modelo DW-AD-603-M8-122, del fabricante Contrinex ó similar.

Las características del detector se pueden consultar en el anexo 7.



**Ilustración 18. Detector DW-AD-603-M8-122**

Se comprobará que el detector tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que el sensor se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará tensión y se medirá la tensión de salida cuando el detector no detecta ningún objeto y cuando detecta un elemento metálico cercano, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.8. Interruptor

Se instalará en la caja un interruptor general de la marca Lovato, modelo GX2090U (AC3) ó similar.

Las características del interruptor se pueden consultar en el anexo 10.



**Ilustración 19. Interruptor**

Se comprobará que el interruptor tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le hará cambiar de posición, mediante un polímetro se verificará la continuidad en los conectores cuando se encuentre el interruptor en ON, y se verificará que no existe continuidad cuando el interruptor se encuentre en OFF, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### 6.4.9. Base de enchufe

Se instalará en el interior de la caja una base de enchufe hembra comercial, para conectar el adaptador de corriente de la Raspberry Pi. Se instalará sobre carril DIN.

La base de enchufe soportará 16 amperios, tendrá 2 polos y toma de tierra, será tipo schuko para montaje sobre carril DIN.

Las características de la base de enchufe se pueden consultar en el anexo 9.



**Ilustración 20. Base enchufe**

Se comprobará que la base de enchufe tiene el certificado CE.

#### Descripción detallada de la solución adoptada

Se verificará de manera visual se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará tensión y se medirá la tensión de salida, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### **6.4.10. Bornas**

Se utilizarán bornas comerciales sobre carril DIN para realizar las conexiones dentro de la caja.



**Ilustración 21. Borna**

Se comprobará que las bornas tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Mediante un polímetro se verificará la continuidad en los conectores y que los tornillos sujetan correctamente el cable, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### **6.4.11. Carril DIN TS-35**

Se instalará dentro de la caja un carril DIN TS-35 comercial de 120mm de longitud, para colocar sobre él las bornas y la base de enchufe.

Se comprobará que tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentra en buen estado y que no tiene golpes.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.



### 6.4.12. Conector RJ45

Se instalará un conector RJ45 hembra-hembra en la caja para poder conectar la Raspberry Pi a la red Ethernet del cliente, y que éste, pueda controlar el sistema desde cualquier lugar a través de internet. Este conector será el modelo CAT5E STP Jack del fabricante Multicomp ó similar.

Las características del conector RJ45 se pueden consultar en el anexo 16.



**Ilustración 22. Conector RJ45 Hembra-Hembra**

Se comprobará que el conector tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se conectará a la red Ethernet y se comprobará que los datos llegan bien al destino.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos

### 6.4.13. Pulsadores

El sistema tendrá los 3 pulsadores, uno de color verde para marcha, otro rojo de paro y otro blanco para realizar la calibración.

Las características de los pulsadores se pueden consultar en el anexo 11.

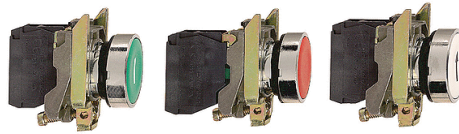
Estos pulsadores serán de la marca Telemecanique. Llevarán incorporado un contacto abierto. Serán del modelo Harmony XB4 ó similar.

Pulsador verde: ref. XB4BA31

Pulsador rojo: ref. XB4BA42

Pulsador blanco: ref. XB4BA3341

Descripción detallada de la solución adoptada



**Ilustración 23. Pulsador**

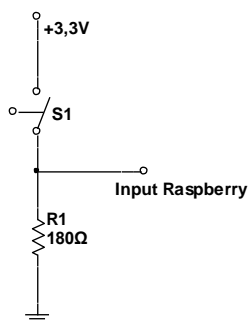
Se comprobará que los pulsadores tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que los pulsadores se encuentran en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se le suministrará tensión y se medirá la tensión de salida cuando se acciona el pulsador, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Los pulsadores se conectarán utilizando la configuración en Pull Down. Con esta configuración se obtendrá una salida HIGH cuando se pulse el pulsador.

El circuito es el siguiente:



Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

#### **6.4.14. Pulsador de emergencia**

El pulsador de emergencia será tipo seta de color rojo (con enclavamiento), marca Telemecanique, modelo XB4BS8445 ó similar.

Las características del pulsador se pueden consultar en el anexo 23.



**Ilustración 24. Seta de emergencia**

Se comprobará que la seta de emergencia tiene el certificado CE.

Se verificará de manera visual que el pulsador de emergencia se encuentra en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se verificará que el enclavamiento funciona correctamente.

Se le suministrará tensión y se medirá la tensión de salida cuando se acciona el pulsador de emergencia, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

#### **6.4.15. Optoacoplador**

Se utilizarán optoacopladores para adaptar las tensiones necesarias en cada parte del circuito.

El optoacoplador utilizado será el CNY17 ó similar.

Las características de los optoacopladores se pueden consultar en el anexo 14.

Se comprobará que el optoacoplador tiene el certificado CE.

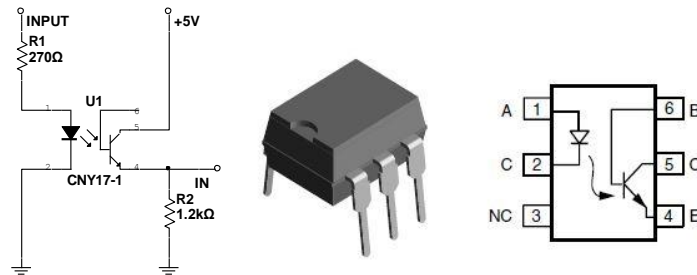
Se verificará de manera visual que los optoacopladores se encuentran en buen estado y que no tiene golpes ni componentes sueltos.

Se realizará el montaje del circuito, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

## Descripción detallada de la solución adoptada

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

Para optoacoplar tensiones de 3,3V a 5V se instalará el siguiente circuito:



**Ilustración 25. Optoacoplador CNY17**

Se fijara la intensidad que circula por el led entre 5mA y 10mA.

El led consume 1,25V, según el datasheet del fabricante.

$$R1 = (3,3V - 1,25V) / 10mA = 205\Omega$$

Se utilizará  $R = 270\Omega$

$$I = (3,3V - 1,25V) / 270\Omega = 7,59mA$$

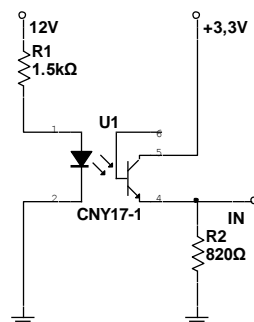
Se fijará la intensidad que circula por el fototransistor entre 2mA y 5mA.

$$R2 = 5V / 5mA = 1000\Omega$$

Se utilizará  $R = 1200\Omega$

$$I = 5V / 1200\Omega = 4,16mA$$

Para optoacoplar tensiones de 12V a 3,3V se instalará el siguiente circuito:



Descripción detallada de la solución adoptada

Se fijara la intensidad que circula por el led entre 5mA y 10mA.

El led consume 1,25V, según el datasheet del fabricante.

$$R1 = (12V - 1,25V) / 10mA = 1075\Omega$$

Se utilizará  $R = 1500\Omega$

$$I = (12V - 1,25V) / 1500\Omega = 7,16mA$$

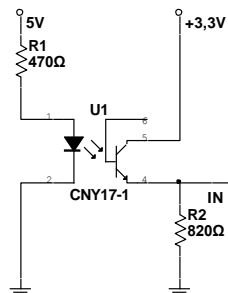
Se fijará la intensidad que circula por el fototransistor entre 2mA y 5mA.

$$R2 = 3,3V / 5mA = 660\Omega$$

Se utilizará  $R = 820\Omega$

$$I = 3,3V / 820\Omega = 4,02mA$$

Para optoacoplar tensiones de 5V a 3,3V se instalará el siguiente circuito:



Se fijara la intensidad que circula por el led entre 5mA y 10mA.

El led consume 1,25V, según el datasheet del fabricante.

$$R1 = (5V - 1,25V) / 10mA = 375\Omega$$

Se utilizará  $R = 470\Omega$

$$I = (5V - 1,25V) / 470\Omega = 7,97mA$$

Se fijará la intensidad que circula por el fototransistor entre 2mA y 5mA.

$$R2 = 3,3V / 5mA = 660\Omega$$

Se utilizará  $R = 820\Omega$

$$I = 3,3V / 820\Omega = 4,02mA$$

### 6.4.16. Señalizaciones

Las señalizaciones serán tipo led. Se instalarán 4 leds:

- uno de color verde: indicará que el sistema está en marcha
- uno de color rojo: indicará que el sistema está apagado
- uno de color amarillo: indicará que el sistema está en calibración
- uno de color blanco: indicará presencia de tubo de acero

Cada uno de los led, se tiene incorporado un soporte denominado mirilla.

Las características de las mirillas se pueden consultar en el anexo 12.

A cada led se le instalará una resistencia en serie para evitar que se estropee, en función de la tensión que necesita cada uno de ellos para funcionar de forma óptima.

#### Led rojo y amarillo:

- tensión de trabajo: 1,8V
- tensión de alimentación: 3,3V
- Corriente: 5-10mA

$$R = (3,3V - 1,8V) / 10mA = 150\Omega$$

Se colocarán resistencias de 220 $\Omega$

$$I = (3,3V - 1,8V) / 220\Omega = 6,81mA$$

#### Led verde y blanco:

- tensión de trabajo: 2,2V
- tensión de alimentación: 3,3V
- Corriente: 5-10mA

$$R = (3,3V - 2,2V) / 10mA = 110\Omega$$

Se colocarán resistencias de 180 $\Omega$

$$I = (3,3V - 2,2V) / 180\Omega = 6,11mA$$



**Ilustración 26. Señalizaciones Led**

Se comprobará que los leds+mirilla tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni componentes sueltos.

Se les suministrará tensión y se observará que proporcionan una intensidad luminosa óptima, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### **6.4.17. Rodamientos**

Se instalarán 4 rodamientos del fabricante SKF, modelo 16101 ó similar, en los soportes de los ejes de giro del tubo.

Se instalará un rodamiento del fabricante SKF, modelo 635 ó similar, en el soporte del eje del motor.

Las características de los rodamientos se pueden consultar en el anexo 17.



**Ilustración 27. Rodamiento**

Se comprobará que los rodamientos tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que los componentes se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni elementos sueltos.

Descripción detallada de la solución adoptada

Se verificará que el rodamiento gira correctamente sin engancharse, para comprobar que el funcionamiento es el correcto.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### **6.4.18. Engranajes**

Se instalarán engranajes del fabricante Michaud Chailly. Los que se instalarán en los ejes serán de la referencia A1-30-30-1 ó similar.

El que lleva instalado el eje del motor será de la referencia A1-30-12-1 ó similar.

Las características de los engranajes se pueden consultar en el anexo 18.

Estos engranajes deberán ser modificados según el plano mecánico correspondiente.



**Ilustración 28. Engranaje**

Se comprobará que los engranajes tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni elementos sueltos.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

### **6.4.19. Chavetas**

Se instalarán chavetas comerciales entre los rodillos y los ejes. Estas chavetas serán fabricadas según la norma DIN 6885A. Tendrán 5mm de alto, 5mm de ancho y 16mm de largo.

Las características de las chavetas se pueden consultar en el anexo 21.

Se comprobará que las chavetas tienen el certificado CE.



Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tienen golpes.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

#### **6.4.20. Pata ball knob**

En la base del sistema se instalarán 4 patas modelo ball knob M10 ó similar, para apoyar el sistema sobre ellas.

Las características de las patas se pueden consultar en el anexo 19.

Se comprobará que las patas tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

#### **6.4.21. Asa Fabula**

En la base se instalarán 2 asas modelo fabula, referencia: 10435 ó similar, para poder transportar el sistema con mayor comodidad.

Las características de las asas se pueden consultar en el anexo 20.

Se comprobará que las patas tienen el certificado CE.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni elementos sueltos.

Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

Se verificará de manera visual que se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni elementos sueltos.

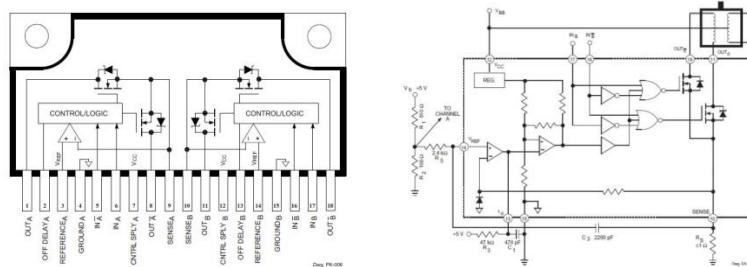
Se realizará un informe de los resultados obtenidos.

## 6.5. ETAPA DE POTENCIA

Para el control del motor es necesario realizar una etapa de potencia. Esta etapa de potencia deberá suministrar la tensión y corriente necesarias para que el motor funcione correctamente. El motor trabajará a 12V y consume un máximo de 3,9A.

En función de estos valores se ha decidido diseñar la etapa de potencia con el integrado SLA7026M. Este integrado está diseñado para controlar motores paso a paso unipolares.

Las características del SLA7026M se pueden consultar en el anexo 22.



**Ilustración 29. SLA7026M**

Para obtener una mayor precisión en la parada del motor, se configurará para que realice el movimiento de medio paso en medio paso. La secuencia que se deberá proporcionar al controlador SLA7026M será la siguiente:

### HALF-STEP OPERATION (2-1-2 SEQUENCE) for SLA7024M, SLA7026M, and SMA7029M

Sequence	0	1	2	3	4	5	6	7	0
Input A	H	H	L	L	L	L	L	H	H
Input $\bar{A}$ or $t_{dA}^*$	L	L	L	H	H	H	L	L	L
Input B	L	H	H	H	L	L	L	L	L
Input $\bar{B}$ or $t_{dB}^*$	L	L	L	L	L	H	H	H	L
Output(s) ON	A	AB	B	$\bar{A}B$	$\bar{A}$	$\bar{A}\bar{B}$	$\bar{B}$	$A\bar{B}$	A

\*Logic signals to external open-collector inverter connected to  $t_{dA}$  and  $t_{dB}$ .

El nivel de tensión alto (H) debe ser, como mínimo, 2V.

El nivel de tensión bajo (L) debe ser, como máximo, 0,8V.

Para el cálculo de la etapa de potencia fijamos:

- $V_b = 5V$
- $R_S = 0,1\Omega$
- $I_{OUT} = 3,9A$
- $R_2 = 56\Omega$

Se calcula  $V_{REF} = R_S \cdot I_{OUT} = 0,1\Omega \cdot 3,9A = 0,39V$

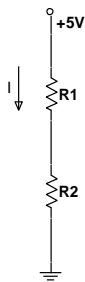
$P_{R_S} = V_{REF} \cdot I_{OUT} = 0,39V \cdot 3,9A = 1,52W \approx 2W$

$$I_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{V_b}{R_S} \rightarrow 3,9A = \frac{56\Omega}{R_1 + 56\Omega} \cdot \frac{5V}{0,1\Omega} \rightarrow R_1 = 662\Omega$$

El valor más aproximado para  $R_1$  es de  $680\Omega$ .

Para este valor de  $R_1$ , se recalcula  $I_{OUT}$

$$I_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{V_b}{R_S} = \frac{56\Omega}{680 + 56\Omega} \cdot \frac{5V}{0,1\Omega} = 3,804A$$



$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{5V}{680\Omega + 56\Omega} = 6,79mA$$

$$V_{R1} = I \cdot R_1 = 6,79mA \cdot 680\Omega = 4,619V$$

$$P_{R1} = I \cdot V_1 = 6,79mA \cdot 4,619V = 31,3mW$$

$$V_{R2} = I \cdot R_2 = 6,79mA \cdot 56\Omega = 0,380V$$

$$P_{R2} = I \cdot V_2 = 6,79mA \cdot 0,380V = 2,5mW$$

Datos del motor:

- Resistencia interna:  $5,1\Omega$
- Inductancia:  $9mH$

$$I(t) = \frac{V_{CC}}{R_i} \cdot (1 - e^{-RLt}) \rightarrow 3,9A = \frac{V_{CC}}{5,1} \cdot (1 - e^{-5,1 \cdot 0,009 \cdot 10}) \rightarrow V_{CC} = 31,47V$$

Fijando  $V_{CC} = 5V$

$$I(t) = \frac{V_{CC}}{R_i} \cdot (1 - e^{-RLt}) = \frac{5}{5,1} \cdot (1 - e^{-5,1 \cdot 0,009 \cdot 10}) = 0,619A$$

A este integrado se le debe colocar un radiador para que disipe el calor que genera. Este radiador será el LS-20 ó similar.

Las características del radiador LS-20 se pueden consultar en el anexo 15.

Descripción detallada de la solución adoptada

## 6.6. PCB

Se realizará una placa pcb para colocar en ella toda la parte electrónica del sistema. Las medidas de la PCB serán de 188mmx128mm. En los extremos se realizarán 4 agujeros para poder sujetarla mediante tornillos de M3.

La etapa de potencia anteriormente mencionada también estará instalada en esta PCB.

El diseño de esta placa PCB se podrá consultar en los planos correspondientes. Esta placa PCB constará de los siguientes componentes:

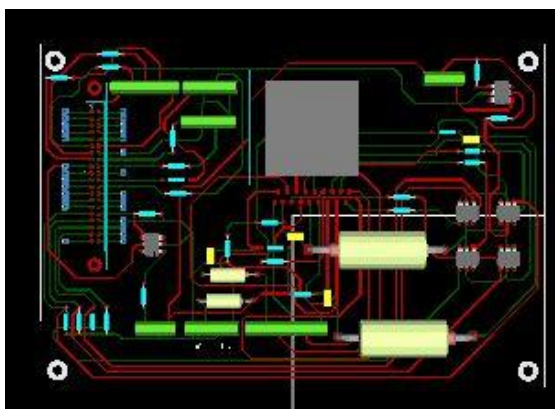
<b><u>CODIGO</u></b>	<b><u>UD</u></b>	<b><u>RESUMEN</u></b>	<b><u>CT</u></b>
200.12	UD	CI SLA7026M	1
200.13	UD	Fusible 10A	1
200.14	UD	Fusible 2A	1
200.15	UD	Optoacoplador CNY17-3	6
200.16	UD	Resistencia 0,22Ω 4W	2
200.17	UD	Resistencia 56Ω 1/4W	1
200.18	UD	Resistencia 180Ω 1/4W	7
200.19	UD	Resistencia 220Ω 1/4W	2
200.20	UD	Resistencia 270Ω 1/4W	4
200.21	UD	Resistencia 680Ω 1/4W	2
200.22	UD	Resistencia 1,2kΩ 1/4W	2
200.23	UD	Resistencia 1,8KΩ 1/4W	2

## Descripción detallada de la solución adoptada

200.24	UD	Resistencia 2,2k $\Omega$ 1/4W	2
200.25	UD	Resistencia 47k $\Omega$ 1/4W	2
200.26	UD	Condensador 470pF	2
200.27	UD	Condensador 2200pF	2
200.33	UD	Disipador LS-120	1
200.37	UD	Conector 2 pin (5mm)	10
200.38	UD	Conector 3 pin (5mm)	2
200.39	UD	Conector 40 pin	1
200.44	UD	Placa para fabricar PCB	1

Previamente, se habrá comprobado en cada uno de los componentes que:

- Poseen el certificado CE.
- De manera visual, los componentes se encuentran en buen estado y que no tienen golpes ni elementos sueltos.
- Se realizará un informe de los resultados obtenidos.



**Ilustración 30. PCB**

## 6.7. PROCESO DE ENSAMBLADO

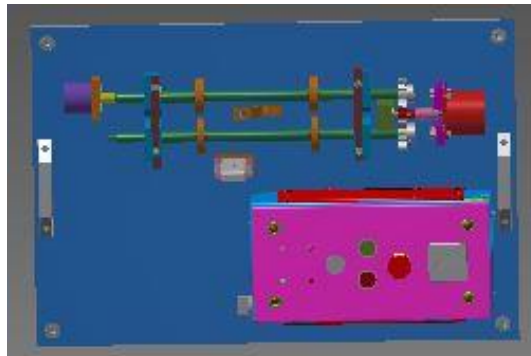
El proceso de ensamblado de los componentes mecánicos será el siguiente:

- En primer lugar se preparará la base del sistema, será una placa de acero 1.1158 de 400mm de ancho, 600mm de largo y 10mm de espesor.
- Se instalarán los rodamientos en los soportes.
- Se colocará solidario en cada eje 2 rodillos mediante chavetas, para hacer girar el tubo sobre ellos.
- Se colocarán los 2 ejes en los rodamientos y se atornillarán los soportes a la base.
- Después, se colocará en cada eje un piñón y el pasador, para transferir el giro del motor al eje.
- Por último se instalará el piñón motriz al motor y se colocará haciendo coincidir los piñones. El motor se atornillará a la base para que no se mueva.
- En el extremo libre de uno de los ejes se colocará el encoder para posicionar el tubo.
- Se colocará la caja de conexiones y se realizarán en la placa interior, los agujeros indicados en los planos mecánicos para instalar la fuente de alimentación. Encima de ella se atornillará la placa PCB. En un lateral se colocarán las fichas de conexión y en la cara opuesta se atornillará la Raspberry Pi. Se realizará una ranura para que pueda pasar la faja de conexión de la cámara y el orificio para instalar el conector RJ45. Posteriormente se instalará este conector.
- En la puerta superior, se realizarán los agujeros indicados en los planos mecánicos para instalar la seta de emergencia, los 3 pulsadores y los 4 leds con sus mirillas.
- Una vez instalados todos los componentes de la caja, se procederá a su cableado.

Descripción detallada de la solución adoptada

- Se colocará la cámara que discriminará el cordón de soldadura en el tubo y se conectará a la Raspberry PI.
- Se colocará el motor que hará girar al sistema y se realizará el hasta las bornas de la caja. Los cálculos necesarios para determinar el motor se pueden consultar en el 9.1.
- Se instalará el detector de presencia de tubo y se cableará hasta la caja de conexiones.

Una vez ensamblado el sistema por completo, tendrá esta distribución:



**Ilustración 31. Sistema completo**

## 6.8. PROCESO DE PROGRAMACIÓN

En primer lugar, se instalará el sistema operativo Linux en la Raspberry Pi.

Se puede consultar el proceso en el anejo 9.2.

Posteriormente, se desarrollará el software apropiado (sobre sistema Linux) para que el sistema detecte y reposicione el cordón de soldadura de los tubos de acero de forma óptima.

Se puede consultar el programa en el anejo 9.3.

## 6.9. COMPROBACIÓN FINAL DEL SISTEMA

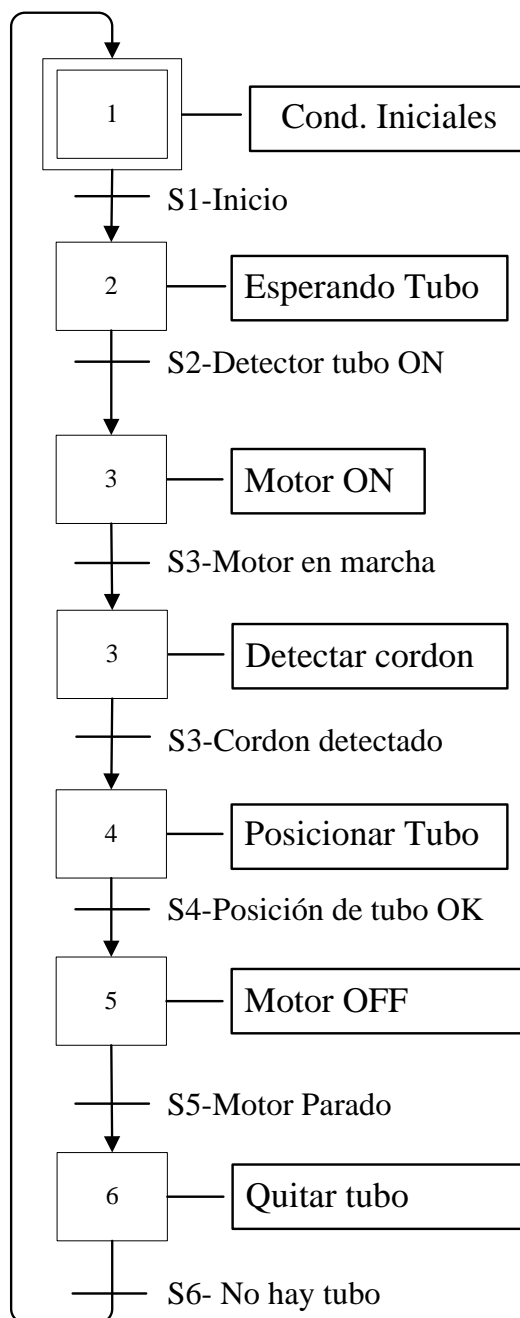
Una vez ensambladas todas las partes, se realizarán las siguientes pruebas:

- Comprobación de que el tubo gira correctamente
- Comprobación de que el sistema (mediante software) detecta el cordón de soldadura correctamente.
- Comprobación de que el cordón de soldadura se queda posicionado en el lugar adecuado mediante software.
- Comprobación de que el software enciende correctamente las señalizaciones.
- Se realizará un informe de los resultados obtenidos.



## 6.10. GRAFCET DE MARCHA

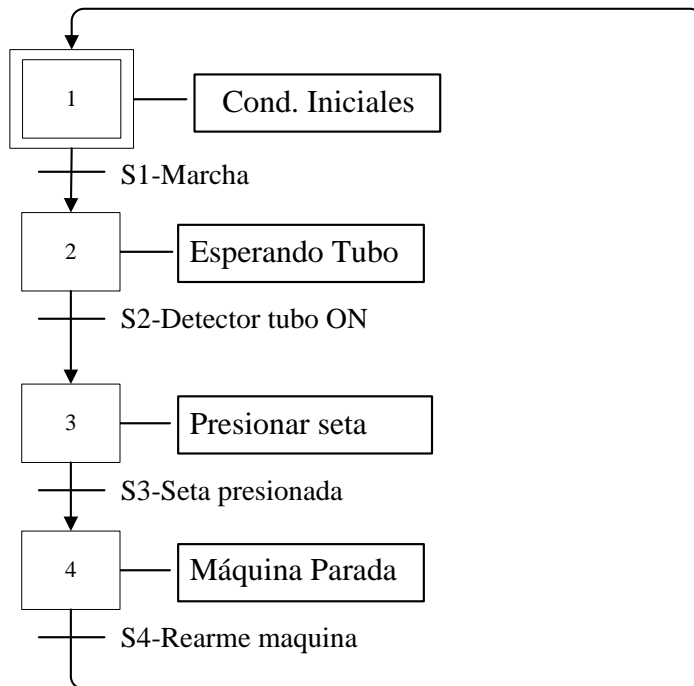
### MARCHA



Descripción detallada de la solución adoptada

## 6.11. GRAFCET DE PARO

### PARO



## 6.12. COMPONENTES DEL SISTEMA

Los elementos a instalar en el sistema son de 2 clases: mecánicos y eléctricos.

El software utilizado para el funcionamiento del sistema será desarrollado sobre licencia libre tipo GNU.

### 6.12.1. Componentes mecánicos

<b><u>CODIGO</u></b>	<b><u>UD</u></b>	<b><u>RESUMEN</u></b>	<b><u>CT</u></b>
100.01	UD	Base. Acero 1.1158 pintado.	1
100.02	UD	Soporte-A. Acero 1.1158. Pintado	2
100.03	UD	Soporte-B. Acero 1.1158. Pintado	2
100.04	UD	Rodamiento SKF Ø12; Ø30; 8mm. Ref: 16101	4
100.05	UD	Eje. Acero 1.1191. Pintado	2
100.06	UD	Piñon Michaud Chailly. Ref: A1-30-30-1	2
100.07	UD	Piñon Michaud Chailly. Ref: A1-30-12-1	1
100.08	UD	Eje motor. Acero 1.1191. Pintado	1
100.09	UD	Soporte eje motor. Acero 1.1158. Pintado	1
100.10	UD	Rodamiento SKF Ø5; Ø19; 6mm. Ref: 635	1
100.11	UD	Pasador. Acero 1.1158. Pintado	3
100.12	UD	Rodillo Ø50. Acero 1.1158. Templado 56HRc	4
100.13	UD	Soporte motor. Acero 1.1158. Pintado	2

Descripción detallada de la solución adoptada

100.14	UD	Soporte cámara	1
100.15	UD	Soporte encoder. Acero 1.1158. Pintado	1
100.16	UD	Tope de tubo. Acero 1.1158. Pintado	2
100.17	UD	Asa handle fábula 10435	2
100.18	UD	Pata ball knob M10	4
100.19	UD	Arandela DIN 9021 3,2	4
100.20	UD	Arandela DIN 9021 5,3	10
100.21	UD	Arandela DIN 9021 6	8
100.22	UD	Arandela ISO 7089 6-140 HV	6
100.23	UD	Arandela ISO 7089 10-140 HV	4
100.24	UD	Tuerca ISO 4032 M2,5	4
100.25	UD	Tuerca ISO 4032 M3	4
100.26	UD	Tuerca ISO 4034 M5	8
100.27	UD	Tornillo ISO 4762 M2,5x16	4
100.28	UD	Tornillo ISO 4762 M3x10	6
100.29	UD	Tornillo ISO 4762 M3x16	6
100.30	UD	Tornillo ISO 4762 M4x40	2
100.31	UD	Tornillo ISO 4762 M5x16	2
100.32	UD	Tornillo ISO 4762 M5x20	6

## Descripción detallada de la solución adoptada

100.33	UD	Tornillo ISO 4762 M5x25	4
100.34	UD	Tornillo ISO 4762 M6x20	18
100.35	UD	Tornillo ISO 4762 M10x25	4
100.36	UD	Prisionero ISO 4027 M4x6	2
100.37	UD	Chaveta A5x5x16 DIN 6885A 5x5x16	4
100.38	UD	Nut GB/T 17880.1-1999 M3x7,5	4
100.39	UD	Soporte detector. Acero 1.1158. Pintado	1
100.40	UD	Calce cámara	7
100.41	UD	Pasador ISO 8734 5x20	18
100.42	UD	Soporte PCB. Acero 1.1158. Pintado	4

### 6.12.2. Componentes eléctricos

<b><u>CODIGO</u></b>	<b><u>UD</u></b>	<b><u>RESUMEN</u></b>	<b><u>CT</u></b>
200.01	UD	Kit Raspberry Pi 2B, caja, tarjeta SD, cable HDMI y F.A.	1
200.02	UD	Cámara para Raspberry Pi	1
200.03	UD	Motor Sanyo Denki 103-770-3240	1
200.04	UD	Detector inductivo Contrinex DW-AD-603-M8-122	1
200.05	UD	Cable RJ45 0,50 m	1
200.06	UD	Conector RJ45 Multicomp. Ref: 2TJ3003-W05100	1

Descripción detallada de la solución adoptada

200.07	UD	Pulsador verde Telemecanique. Ref:XB4A31	1
200.08	UD	Pulsador rojo Telemecanique. Ref:XB4A42	1
200.09	UD	Pulsador blanco Telemecanique. Ref:XB4A3341	1
200.10	UD	Seta emergencia Telemecanique. Ref: XB4BS8445	1
200.11	UD	Fuente de Alimentación Meanwell RD-125A	1
200.12	UD	CI SLA7026M	1
200.13	UD	Fusible 5A	1
200.14	UD	Fusible 2A	1
200.15	UD	Optoacoplador CNY17-3	6
200.16	UD	Resistencia 0,22Ω 2W	2
200.17	UD	Resistencia 56Ω 1/4W	1
200.18	UD	Resistencia 180Ω 1/4W	1
200.19	UD	Resistencia 220Ω 1/4W	4
200.20	UD	Resistencia 270Ω 1/4W	4
200.21	UD	Resistencia 470Ω 1/4W	1
200.22	UD	Resistencia 680Ω 1/4W	2
200.23	UD	Resistencia 820Ω 1/4W	2
200.24	UD	Resistencia 1,2kΩ 1/4W	2
200.25	UD	Resistencia 1,5KΩ 1/4W	1

## Descripción detallada de la solución adoptada

200.26	UD	Resistencia 2,2k $\Omega$ 1/4W	2
200.27	UD	Resistencia 47k $\Omega$ 1/4W	2
200.28	UD	Condensador 470pF	2
200.29	UD	Condensador 2200pF	2
200.30	UD	Diodo led rojo 5mm + soporte	1
200.31	UD	Diodo led verde 5mm + soporte	1
200.32	UD	Diodo led amarillo 5mm + soporte	1
200.33	UD	Diodo led blanco 5mm + soporte	1
200.34	UD	Disipador LS-120	1
200.35	UD	Base enchufe Schuko 16A para carril DIN.	1
200.36	UD	Interruptor Lobato. Ref: GX2090U	1
200.37	UD	Carril DIN TS35 120mm	1
200.38	UD	Conector 2 pin (5mm)	10
200.39	UD	Conector 3 pin (5mm)	2
200.40	UD	Conector 40 pin	1
200.41	UD	Cable 1mm <sup>2</sup> marrón 10 metros	1
200.42	UD	Cable 1mm <sup>2</sup> azul 10 metros	1
200.43	UD	Manguera 3 hilos 5 metros	1
200.44	UD	Caja IDE. Ref: EXA3015135	1

Descripción detallada de la solución adoptada

200.45	UD	Bornas	20
200.46	UD	Placa para fabricar PCB	1
200.47	UD	Encoder Omron E6C2-CWZ6C 1024P/R 2M	1

### *6.12.3. Software del sistema*

- ✓ Linux: se utilizará este software como sistema operativo de la raspberry Pi.
- ✓ Programación en lenguaje "C": se utilizará este tipo de lenguaje para programar los puertos Gpio de la raspberry Pi.



## 7. CONCLUSIONES

El coste total del sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero asciende a la cantidad de **DOS MIL CIENTO SETENTA EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS (2170,93 EUROS)**.

El plazo de ejecución previsto comenzará el lunes 3 de agosto de 2015 y finalizará el lunes 7 de septiembre de 2015.

En función de las pruebas realizadas, podemos afirmar que se ha desarrollado un sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos de acero bastante fiable.

Es muy importante evitar que aparezcan en el tubo reflejos de luz en las zonas donde se encuentra el cordón de soldadura, para evitar fallos en la lectura.

Es recomendable utilizar tubos de acero limpios, que no tengan impurezas, rayas u otros elementos de color oscuro en la superficie del tubo, a fin de evitar falsos positivos en la detección del cordón de soldadura.

Es necesario mantener la instalación lo más limpia posible, sobretodo la zona de contacto de los rodillos con el tubo de acero, para que este pueda girar libremente. También se debe mantener limpio el objetivo de la cámara.

Es aconsejable realizar un calibrado del cordón de soldadura cuando se cambie el modelo de tubo. Se conseguirá una mayor precisión en la detección.

Este sistema se puede adaptar a cualquier tubo redondo de acero. Modificando la longitud de los ejes y colocando el motor necesario, se podría reposicionar tubos de cualquier longitud.

Es un sistema sencillo de instalar, únicamente es necesario una alimentación de 220 voltios y un punto de red para trabajar con la Raspberry Pi a través del puerto RJ45.

Este sistema se puede controlar desde cualquier lugar donde nos encontremos mediante una conexión a internet. Será necesario conocer la contraseña para acceder a la Raspberry Pi.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Raspberrypi, «Raspberry Pi products,» [En línea]. Available: <http://www.raspberrypi.org/>. [Último acceso: Enero 2015].
- [2] U. d. Chile, «Sensores, Actuadores y Efectores,» [En línea]. Available: <http://robotica.li2.uchile.cl/EL63G/capitulo2.pdf>.
- [3] Opac S.L., [En línea]. Available: <http://www.opac.net/data/index3.html>. [Último acceso: Mayo 2015].
- [4] Contrinex, [En línea]. Available: [http://www.contrinex.com/business\\_unit/inductive-sensors/](http://www.contrinex.com/business_unit/inductive-sensors/). [Último acceso: Mayo 2015].
- [5] Mean Well Enterprises Co., Ltd, [En línea]. Available: <http://www.meanwell.com/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [6] SKF, [En línea]. Available: <http://www.skf.com/es/index.html>. [Último acceso: Mayo 2015].
- [7] Schneider Electric, [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.com/ww/en/>. [Último acceso: Mayo 2015].
- [8] Sanyo Denki Europe S.A., [En línea]. Available: <http://www.sanyodenki.eu/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [9] AceroCorte Levante 2010 S.L., [En línea]. Available: <http://www.acerocorte.com/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [10] Prezi Inc., [En línea]. Available: <https://prezi.com/t2kt8xbor9n7/metodologia-orientada-a-prototipos/>. [Último acceso: Enero 2015].

## 9. ANEJOS A LA MEMORIA

### 9.1. CÁLCULOS MECÁNICOS

#### Datos del motor

MODEL		103 - 770 - 6 (103 - 770 - 61)	103 - G770 - 2241 (103 - G770 - 2221)	103 - 770 - 1640
BASIC STEP ANGLE		1.8° ± 0.09°	1.8° ± 0.09°	1.8° ± 0.09°
BIPOLAR PARALLEL CURRENT	(Amp)	1.41 (*)	2.82 (*)	1.41
UNIPOLAR CURRENT	(Amp)	1.0	2.0	
RESISTANCE	(Ohm)	5.1	1.4	2.6
INDUCTANCE	(mH)	9.0	2.2	9.0
BIPOLAR HOLDING TORQUE	(Ncm)	62	60	62
UNIPOLAR HOLDING TORQUE	(Ncm)	49	47	
ROTOR INERTIA	(Kgm <sup>2</sup> x 10 <sup>-7</sup> )	105	105	105
THEORETICAL ACCELERATION	(rad x sec. <sup>-2</sup> )	59000	52000	59000
BACK E.M.F.	(V/Krpm)	37	17	33
MASS	(Kg)	0.54	0.54	0.54
LEADS CODE		I	I (II)	V

#### Peso del eje

$$\rho_{\text{acero}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{eje}} = V_{\text{eje1}} + V_{\text{eje2}} + V_{\text{eje3}}$$

$$V_{\text{eje1}} = \frac{D_1^2}{4} \pi L_1 = \frac{(14\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 240\text{mm}}{4} = 36945,12 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{eje2}} = \frac{D_2^2}{4} \pi L_1 = \frac{(12\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 120\text{mm}}{4} = 13571,68 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{eje3}} = \frac{D_3^2}{4} \pi L_1 = \frac{(10\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 20\text{mm}}{4} = 1570,80 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{eje}} = \frac{14\text{mm}^2 \cdot \pi \cdot 240\text{mm}}{4} + \frac{12,6\text{mm}^2 \cdot \pi \cdot 110\text{mm}}{4} + \frac{8\text{mm}^2 \cdot \pi \cdot 20\text{mm}}{4} = 52087,60 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{eje}} = M_{\text{eje1}} + M_{\text{eje2}} + M_{\text{eje3}}$$

$$M_{\text{eje1}} = V_1 \cdot \rho = 36945,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,290 \text{ kg}$$

$$M_{\text{eje2}} = V_2 \cdot \rho = 13571,68 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,107 \text{ kg}$$

$$M_{\text{eje3}} = V_3 \cdot \rho = 1570,80 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,012 \text{ kg}$$

$$M_{\text{eje}} = V \cdot \rho = 51666,32 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0,409 \text{ Kg}}$$

Anejos a la memoria

### Peso del rodillo

$$\rho_{\text{acero}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{rodillo}} = \left( \frac{D_1^2}{4} \pi L_1 \right) - \left( \frac{D_2^2}{4} \pi L_2 \right)$$

$$V_{\text{rodillo}} = \frac{(45\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 10\text{mm}}{4} - \frac{(14\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 10\text{mm}}{4} = 14364,93 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{rodillo}} = (V \cdot \rho) = (14364,93 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3) = \mathbf{0,113 \text{ Kg}}$$

### Peso de los piñones

$$M_1 = V_1 \cdot \rho = \frac{D_1^2}{4} \pi L_1 \cdot \rho = \left( \frac{(40)^2 \cdot \pi \cdot 20}{4} \cdot 10^{-9} \right) \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,1972\text{kg}$$

$$M_2 = V_2 \cdot \rho = \frac{D_2^2}{4} \pi L_1 \cdot \rho = \left( \frac{(17,5)^2 \cdot \pi \cdot 20}{4} \cdot 10^{-9} \right) \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,0377\text{kg}$$

### Resistencia del eje

Según las especificaciones, el tubo de mayor diámetro que debe soportar el eje es de 50mm. En el peor de los casos si fuera macizo comprobamos si aguantaría (se calcula aplicando todo el peso a uno de los ejes, aunque realmente el peso se repartiría entre los dos).

El eje es de acero 1.1191.

$$\sigma_R = 600\text{-}800 \text{ N/mm}^2 = 60\text{-}80 \text{ kg/mm}^2$$

$$V_{\text{tubo}} = \frac{D^2}{4} \pi L_1 = \frac{(50\text{mm})^2 \cdot \pi \cdot 240\text{mm}}{4} = 471238,89 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{tubo}} = V_{\text{tubo}} \cdot \rho = 471238,89 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 3,7 \text{ kg}$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{tubo}} + M_{\text{eje}} + M_{\text{rodillos}}$$

$$M_{\text{total}} = 3,7\text{kg} + 0,405\text{kg} + 0,298\text{kg} = 4,403\text{kg}$$

$$S = \frac{F}{P} = \frac{4,403\text{kg}}{60\text{kg/mm}^2} = 0,0733\text{mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D_{\text{mínimo}} = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0733\text{mm}^2 \cdot 4}{\pi}} = 0,305\text{mm}$$

El eje debería tener un diámetro igual o superior a 0,305mm para que no se rompiera. El diámetro más pequeño del eje es de 12,6mm. Soportará el peso sin problemas.

### Peso a mover por el motor

Se calcula el momento de inercia del sistema. Este momento de inercia será

$M_T = M_I + M_{II} + M_{III}$ ; siendo:

$M_I$  = momento de trabajo (es 0).

$M_{II}$  = momento de rozamiento =  $F_R \cdot r$  (fuerza de rozamiento  $\cdot$  radio)

$M_{III}$  = momento de inercia

$F_R = \mu \cdot N$

$N = \text{peso/apoyos} = \text{peso}/4$

Se aplica  $\mu = 0,15$

Por lo tanto:

$M_{II} = M_{EJE} + M_{RODILLOS} + M_{PIÑON} + M_{MOTOR}$

$M_{EJE} = 0,15 \cdot \frac{\text{peso}}{4} \cdot r = 0,15 \cdot \frac{2 \cdot 0,409 \text{ kg}}{4} \cdot 14 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{4,2945 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}}$

$M_{RODILLOS} = 0,15 \cdot \frac{\text{peso}}{4} \cdot r = 0,15 \cdot \frac{4 \cdot 0,113 \text{ kg}}{4} \cdot 45 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{7,6275 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}}$

$M_{PIÑONES} = (2 \cdot 0,15 \cdot \text{peso}_1 \cdot r) + (0,15 \cdot \text{peso}_1 \cdot r) = (2 \cdot 0,15 \cdot 0,1972 \text{ kg} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}) + (0,15 \cdot 0,0377 \text{ kg} \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}) = \mathbf{24,653 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}}$

$M_{MOTOR} = 0,15 \cdot \text{peso} \cdot r = 0,15 \cdot 0,54 \text{ kg} \cdot 57 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{46,17 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}}$

$M_{II} = M_{EJE} + M_{RODILLOS} + M_{PIÑON} + M_{MOTOR}$

$M_{II} = 4,2945 \cdot 10^{-4} \text{ kgm} + 7,6275 \cdot 10^{-4} \text{ kgm} + 24,653 \cdot 10^{-4} \text{ kgm} + 46,17 \cdot 10^{-4} \text{ kgm} = \mathbf{82,745 \cdot 10^{-4} \text{ kgm} = 0,82745 \text{ kgcm}}$

$M = I \cdot a$

$a = \frac{\omega_f - \omega_o}{t} = \frac{\omega_f}{t}$

$\omega_o = 0$

$t = 0,01 \text{ s}$  (se quiere que empiece a girar en un centésima de segundo)

Anejos a la memoria

Inercia del eje

$$I_{\text{ejes}} = 2 \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} M_1 r_1^2 \right) + \left( \frac{1}{2} M_2 r_2^2 \right) + \left( \frac{1}{2} M_3 r_3^2 \right) \right]$$

$$I_{\text{ejes}} = 2 \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot 0,290 \text{ kg} \cdot (14 \text{ mm})^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \cdot (0,107 \text{ kg}) \cdot (12 \text{ mm})^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,012 \text{ kg} \cdot (10 \text{ mm})^2 \right) \right] =$$
$$36,724 \text{ kgmm}^2 = \mathbf{0,367 \text{ kgcm}^2 = 0,367 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2}$$

Inercia de los rodillos (se calculan macizos)

$$I_{\text{rodillos}} = 2 \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} M_1 r_1^2 \right) \right]$$

$$I_{\text{rodillos}} = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 0,113 \text{ kg} \cdot (22,5 \text{ mm})^2 \right) = 57,206 \text{ kgmm}^2 = \mathbf{0,57 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2}$$

Inercia de los piñones (se calculan macizos)

$$I_{\text{piñon1}} = \left( \frac{1}{2} M_1 r_1^2 \right) = \left( \frac{1}{2} \cdot 0,1972 \text{ kg} \cdot (20 \text{ mm})^2 \right) = 39,44 \text{ kgmm}^2 = 39,44 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$I_{\text{piñon2}} = \left( \frac{1}{2} M_2 r_2^2 \right) = \left( \frac{1}{2} \cdot 0,0377 \text{ kg} \cdot (8,75 \text{ mm})^2 \right) = 69,02 \text{ kgmm}^2 = 1,44 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$I_{\text{piñones}} = 2 \cdot I_{\text{piñon1}} + I_{\text{piñon2}} = (2 \cdot 39,44 + 1,44) \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2 = \mathbf{0,803 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2}$$

Inercia del motor

$$I_{\text{MOTOR}} = \mathbf{105 \cdot 10^{-7} \text{ Kgmm}^2}$$

Según las especificaciones del sistema, el motor debe dar una vuelta completa ( $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$ ) en 10s.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 0,628 \text{ rad/sg}$$

$$f = 1/10 \text{ s} = 0,1 \text{ hz}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{0,628 \text{ rad/sg}}{0,01 \text{ sg}} = 62,83 \text{ rad/sg}^2$$

Cálculo del Momento de inercia del sistema

$$\mathbf{M_{III} = M_{EJE} + M_{RODILLOS} + M_{PIÑON} + M_{MOTOR}}$$

$$M_{EJE} = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{\omega f}{t} = 0,367 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \cdot 62,83 \text{ rad/sg}^2 = 2,305 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_{RODILLOS} = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{\omega f}{t} = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \cdot 62,83 \text{ rad/sg}^2 = 3,581 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_{PIÑONES} = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{\omega f}{t} = 0,803 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \cdot 62,83 \text{ rad/sg}^2 = 5,004 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_{MOTOR} = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{\omega f}{t} = 105 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2 \cdot 62,83 \text{ rad/sg}^2 = 0,659 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_{III} = 2,305 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} + 3,581 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} + 5,004 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} + 0,659 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} = \\ = \mathbf{11,549 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} = 1,1549 \text{ Kgcm}}$$

Calculo del momento total

$$M_T = M_I + M_{II} + M_{III} = 0 + 0,0827 \text{ kgcm} + 1,1549 \text{ kgcm} = \mathbf{1,2376 \text{ kgcm}}$$

Según el datasheet del fabricante, el motor tiene un torque de **4,7 kgcm**, muy superior al valor obtenido en los cálculos del sistema. El motor tiene suficiente potencia para mover el sistema.

Potencia necesaria para mover el sistema

$$P = M \cdot \omega = 123,76 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \cdot 0,628 \text{ rad/sg} = 0,077 \text{ Watios}$$

Anejos a la memoria

Cálculo de los pasos del encoder en función del diámetro del tubo

El motor tiene un paso de  $1,8^\circ$ ; por lo tanto por el motor tiene  $360^\circ/1,8^\circ = 200$  pasos por vuelta.

La relación entre vueltas del motor y eje es de 12/30 ya que los piñones no son iguales.

La relación del sistema es:

$$Z = \frac{30 \cdot \varnothing_{tubo}}{12 \cdot 45}$$

Según las especificaciones de diseño del sistema, el caso más desfavorable sería utilizar un tubo de diámetro 15mm. Para este tubo se obtiene:

$$Z = \frac{12 \cdot 45}{30 \cdot 15} = \frac{6}{5} = 1,2$$

Por cada vuelta que se mueve el motor, el tubo se mueve 1,2 vueltas.

Por lo tanto la resolución del encoder variará en función del diámetro del tubo.

$$R = 1024/360/45 \cdot \varnothing_{tubo}$$

El caso más desfavorable será cuando se utilice el tubo de menor diámetro:

- $1024/360/45 \cdot 15 = \frac{128}{135}$  pasos/grado = 0,948 pasos/grado
- $\frac{135}{128}$  pasos/grado = 1,05 pasos/grado

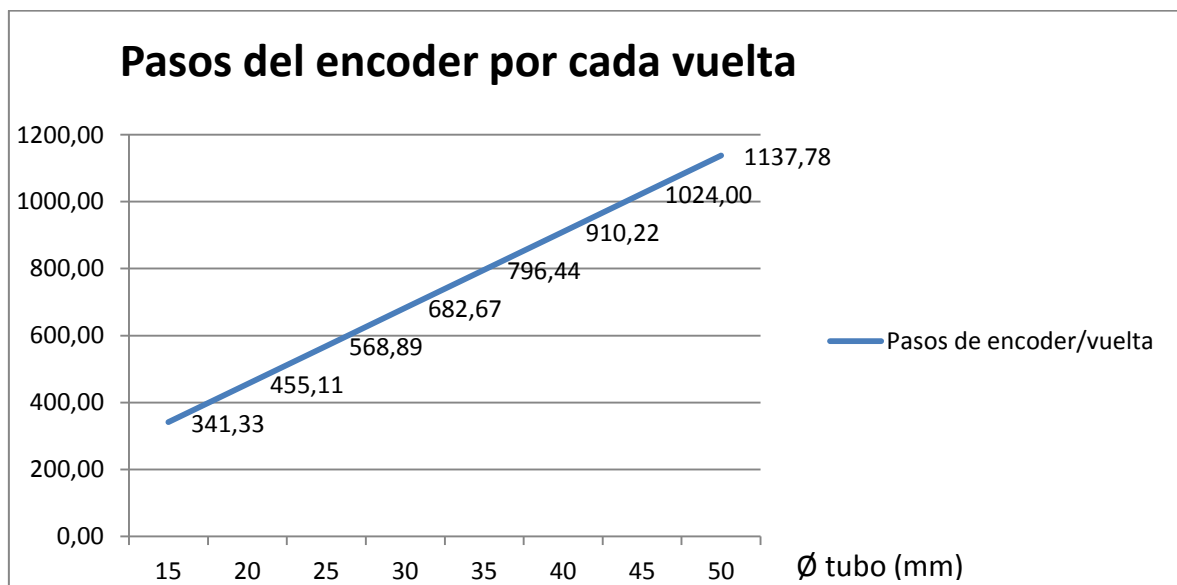
En una vuelta completa el encoder se moverá:

- $0,948 \cdot 360 = 341,33$  pasos



Se adjunta tabla con los datos para distintos Ø de tubo.

Ø Tubo (mm)	15	20	25	30	35	40	45	50
Relación del sistema (Z)	1,20	0,90	0,72	0,60	0,51	0,45	0,40	0,36
Pasos de encoder/vuelta	341,33	455,11	568,89	682,67	796,44	910,22	1024,00	1137,78
Resolución encoder (paso/º)	0,9481	1,2642	1,5802	1,8963	2,2123	2,5284	2,8444	3,1605
Error absoluto (º)	2,7481	3,0642	3,3802	3,6963	4,0123	4,3284	4,6444	4,9605
Error relativo en 30º	0,0839	0,0927	0,1013	0,1097	0,1180	0,1261	0,1341	0,1419
Error relativo en 60º	0,0438	0,0486	0,0533	0,0580	0,0627	0,0673	0,0718	0,0764
Error relativo en 90º	0,0296	0,0329	0,0362	0,0394	0,0427	0,0459	0,0491	0,0522
Error relativo en 120º	0,0224	0,0249	0,0274	0,0299	0,0324	0,0348	0,0373	0,0397
Error relativo en 150º	0,0180	0,0200	0,0220	0,0240	0,0261	0,0280	0,0300	0,0320
Error relativo en 180º	0,0150	0,0167	0,0184	0,0201	0,0218	0,0235	0,0252	0,0268



## 9.2. PROCESO DE INSTALACIÓN DE LINUX EN LA RASPBERRY PI

En primer lugar, se instala la tarjeta SD en la Raspberry Pi, un teclado y un ratón usb. Se conecta la Raspberry Pi con un cable HDMI al monitor, y se aplica tensión mediante la fuente de alimentación.

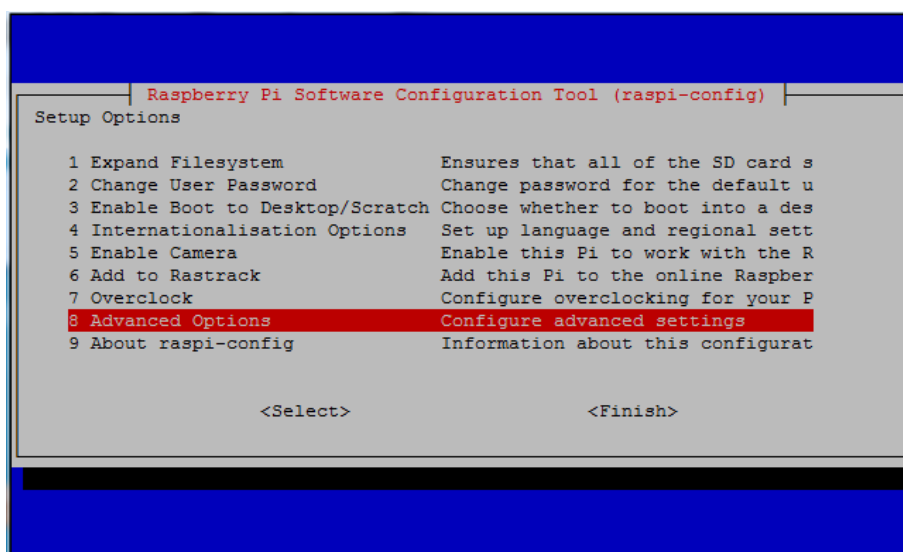
Si la tarjeta SD no tiene el sistema operativo, se debe formatear mediante el programa "SD Formatter". Este programa es de uso libre y se puede descargar de la página oficial de Raspberry Pi (<http://www.raspberrypi.org/>).

Una vez formateada se debe grabar la imagen del sistema operativo que se quiere ejecutar en la Raspberry Pi. Para grabar la imagen del sistema operativo se debe utilizar el programa "Win32DiskImager" que también se puede descargar de la página oficial de Raspberry Pi.

Todas las imágenes de los distintos sistemas operativos se descargan de la sección descargas en la página oficial de Raspberry Pi. En este proyecto se ha utilizado el sistema operativo Linux (Raspbian).

Una vez instalada la imagen arranca el sistema y se debe configurar.

Aparece una pantalla como la siguiente:



1. Expand Filesystem

Expande el sistema de archivos para que la Raspberry PI reconozca la capacidad total de la tarjeta SD.

2. Change User Password

Por defecto el usuario del sistema es pi, y la clave es raspberry. Se debe cambiar para que nadie pueda modificarte cosas en el sistema.

3. Enable Boot to Desktop/Scratch

4. Internationalisation Options

En este apartado se debe configurar la zona horaria, el teclado y el lugar donde nos encontramos. Se debe seleccionar:

- Change Locale: es@euro
- Change Timezone: Europe-Madrid
- Change Keyboard: PC Generic 105-Español

5. Enable Camera

Si le hemos instalado la cámara de Raspberry Pi se pone enable.

6. Add to Rastrack

En este apartado no es necesario modificar nada

7. Overclock

Se puede aumentar la velocidad de trabajo del procesador mediante software, no es recomendable.

8. Advanced Options

Se puede modificar el nombre del hostname (ponemos el que queramos) y se debe activar el protocolo ssh de comunicación (enabled).

El resto de opciones no es necesario modificarlas

9. About raspi-config

---

Anejos a la memoria

Con todo ya configurado se selecciona finish y el sistema se reinicia.

Esta pantalla inicial solo aparece la primera vez que se arranca la Raspberry Pi, si es necesario modificar algo más en ella, se debe escribir en la pantalla lo siguiente:

Sudo raspi-config

Siempre que realice una modificación en el sistema operativo es necesario reiniciar el sistema para que se ejecuten los cambios. Para reiniciar el sistema se debe escribir lo siguiente:

Sudo reboot

Mediante la instrucción startx se entra en el modo gráfico del sistema operativo.

## 9.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

El programa es el siguiente:

```
#include <stdint.h>

#include <dos.h>

#include <stdlib.h>

#include <stdio.h>

#include <wiringPi.h>

import picamera;

int led_verde=10;

int led_rojo=4;

int led_amarillo=6;

int led_blanco=5;

int pulsador_marcha=0;

int pulsador_paro=2;

int pulsador_calibracion=3;

int A=22;

int _A=23;

int B=24;

int _B=25;

int detector=1;

int encoder=26;

int grados_reposicionado=45; //Grados que se reposiciona el tubo tras detectar
el cordón de soldadura

int diametro_tubo=25; //Diámetro del tubo
```

Anejos a la memoria

```
int diametro_rodillo=45; //Diámetro del rodillo

int pasos_encoder=1024; //Pasos del encoder

int reposicionado=grados_reposicionado*diametro_tubo/diametro_rodillo*pasos_encoder/360; //Pulsos que debe dar el encoder hasta que el tubo esta reposicionado

int vuelta2=2*diametro_tubo/diametro_rodillo*1024; //Pulsos que debe realizar el encoder hasta que el tubo da 2 vueltas

int valor_foto=0; //Valor obtenido al aplicar el algoritmo de escala de grises de una foto

int cordon=0; //Valor obtenido al realizar una foto del tubo

int valor_encoder=0; //Numero de pulsos del encoder

int valor_cordon=0; //Valor obtenido al realizar el calibrado del tubo

int valor_actual; //Valor actual de la entrada del encoder

int valor_anterior=LOW; //Ultimo valor de la entrada del encoder

int valor_detector; //Valor actual de la entrada del detector

int estado_sistema; // 1-marcha, 2-calibracion

int RED;

int GREEN;

int BLUE;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    pinMode (led_verde,OUTPUT); //Se asigna el pin 3 como salida

    pinMode (led_rojo,OUTPUT); //Se asigna el pin 4 como salida

    pinMode (led_amarillo,OUTPUT); //Se asigna el pin 5 como salida

    pinMode (A,OUTPUT); //Salida A del motor

    pinMode (_A,OUTPUT); //Salida -A del motor

    pinMode (B,OUTPUT); //Salida B del motor
```

```
pinMode (_B,OUTPUT); //Salida -B del motor

pinMode (pulsador_marcha,INPUT); //Se configura el pulsador como entrada

pinMode (pulsador_paro,INPUT); //Se configura el pulsador como entrada

pinMode (pulsador_calibracion,INPUT); //Se configura el pulsador como entrada

pinMode (detector,INPUT); //Se configura el detector como entrada

pinMode (encoder,INPUT); //Se configura el encoder como entrada

digitalWrite (led_rojo,HIGH); //Se enciende el led rojo

digitalWrite (led_verde,LOW); //Se apaga el led verde

digitalWrite (led_amarillo,LOW); //Se apaga el led amarillo

GPIO.add_event_detect(26, GPIO.RISING, callback=lectura_encoder);

}

void loop()

{

if (digitalRead(pulsador_marcha)==HIGH)

{

digitalWrite(led_rojo,LOW);

digitalWrite(led_verde,HIGH);

estado_sistema=1;

int c=0;

while(valor_detector==LOW) //Hasta que el detector no detecta tubo está en

espera

{

delay(1000); //Espera 1 segundo

}
```

Anejos a la memoria

```
digitalWrite(led_blanco,HIGH); //Enciende el led blanco de presencia de tubo
valor_encoder=0; //se resetea el encoder

while(vuelta2>=valor_encoder|| (valor_cordon-10)<=valor_foto) //Mientras
no gira 2 veces el tubo o detecta el cordón, el motor está girando
{
    void motor();

    d++;

    if (d=10) //Cada 10 ciclos del motor se realiza una foto
    {
        void foto(); //Realiza la foto y obtiene el valor de la línea más oscura
    }

    if((valor_cordon+10)<=valor_foto) //Si se ha encontrado el cordón de
soldadura
    {
        valor_encoder=0; //se resetea el encoder

        while(reposicionado>valor_encoder) //Mientras el tubo no se ha reposi-
cionado
        {
            void motor(); //Gira el motor
        }

        digitalWrite(led_verde,LOW); //Se apaga el led verde indicando que el ciclo
a terminado

        while(valor_detector==HIGH) //Mientras no se haya retirado el tubo
        {
            delay(1); //Espera
        }
    }
}
```



```
        digitalWrite(led_blanco,LOW); //Apaga el led blanco de presencia de tubo
        digitalWrite(led_verde,HIGH); //Se enciende el led verde para comenzar
un nuevo ciclo
    }
}

if(vuelta2<=valor_encoder) //Si no ha detectado el cordón en 2 vueltas
{
    while(valor_detector==HIGH) //Mientras no se haya retirado el tubo
    {
        digitalWrite(led_verde,LOW); //Se apaga el led verde
        delay(500); //Espera medio segundo
        digitalWrite(led_verde,HIGH); //Se enciende el led verde
        delay(500); //Espera medio segundo
    }
    digitalWrite(led_blanco,LOW); //Se apaga el led blanco de presencia de tubo
}
delay(1000); //Espera 1 segundo
}

if (digitalRead(pulsador_paro)==HIGH) //Si se pulsa el pulsador de paro
{
    digitalWrite(led_verde,LOW); //Apaga el led verde
    digitalWrite(led_rojo,HIGH); //Enciende el led rojo
}
```

Anejos a la memoria

```
if (digitalRead(pulsador_calibracion)==HIGH) //Si se pulsa el pulsador de ca-  
libración  
{  
    digitalWrite(led_rojo,LOW); //Apaga el led rojo  
    digitalWrite(led_verde,LOW); //Apaga el led verde  
    digitalWrite(led_amarillo,HIGH); //Enciende el led amarillo  
    int c=0;  
    while(valor_detector==LOW) //Hasta que el detector no detecta tubo está  
en espera  
    {  
        delay(1000); //Espera 1 segundo  
    }  
    if(valor_detector==HIGH) //Si hay tubo  
    {  
        digitalWrite(led_blanco,HIGH); //Enciende el led blanco de presencia de tu-  
bo  
    }  
    valor_encoder=0; //se resetea el encoder  
    while(vuelta2>=valor_encoder) //Hasta que el tubo gira 2 veces el motor es-  
tá girando  
    {  
        void motor();  
        c++;  
        if (c=10) //Cada 10 ciclos del motor se realiza una foto  
        {
```

```
void foto(); //Comprueba si ha encontrado el cordón de soldadura
if(((valor_cordon+10)<valor_foto) //Si la foto es más oscura
{
    Valor_cordon=valor_foto; //Guarda el valor
}
}
}

while(valor_detector==HIGH) //Mientras no se haya retirado el tubo
{
    digitalWrite(led_amarillo,LOW); //Se apaga el led amarillo
    delay(500); //Espera medio segundo
    digitalWrite(led_amarillo,HIGH); //Se enciende el led amarillo
    delay(500); //Espera medio segundo
}

digitalWrite(led_blanco,LOW); //Se apaga el led blanco de presencia de tubo
digitalWrite(led_amarillo,LOW); //Se apaga el led amarillo

digitalWrite(led_verde,HIGH); //Se enciende el led verde y la instalación se
queda en espera para realizar un nuevo ciclo
}

int motor(void)
{
    digitalWrite(A,HIGH); //Posición de inicio del motor
    digitalWrite(-A,LOW); //Posición de inicio del motor
    digitalWrite(B,LOW); //Posición de inicio del motor
```

Anejos a la memoria

```
digitalWrite(_B,LOW); //Posición de inicio del motor
delay(1);
digitalWrite(B,HIGH); //Fase 1
delay(1);
digitalWrite(A,LOW); //Fase 2
delay(1);
digitalWrite(_A,HIGH); //Fase 3
delay(1);
digitalWrite(B,LOW); //Fase 4
delay(1);
digitalWrite(_B,HIGH); //Fase 5
delay(1);
digitalWrite(_A,LOW); //Fase 6
delay(1);
digitalWrite(A,HIGH); //Fase 7
delay(1);
digitalWrite(_B,LOW); //Fase 0
}

int lectura_encoder (void)
{
    valor_encoder++; //Incrementa el contador de pulsos del encoder
}
```

```
int foto (void)
{
    Raspistill-t 0 -o image.bmp -e BMP; //Se realiza la foto

    typedef struct bmpFileHeader
    {
        /* 2 bytes de identificación */
        uint32_t size;      /* Tamaño del archivo */
        uint16_t resv1;     /* Reservado */
        uint16_t resv2;     /* Reservado */
        uint32_t offset;    /* Offset hasta los datos de imagen */
    }

    bmpFileHeader;

    typedef struct bmpInfoHeader
    {
        uint32_t headersize; /* Tamaño de la cabecera */
        uint32_t width;      /* Ancho */
        uint32_t height;     /* Alto */
        uint16_t planes;      /* Planos de color (Siempre 1) */
        uint16_t bpp;         /* bits por pixel */
        uint32_t compress;    /* compresión */
        uint32_t imgsize;     /* tamaño de los datos de imagen */
        uint32_t bpmx;        /* Resolución X en bits por metro */
        uint32_t bpmx;        /* Resolución Y en bits por metro */
        uint32_t colors;      /* Colores usados en la paleta */
        uint32_t imxtcolors;  /* Colores importantes. 0 si son todos */
    } bmpInfoHeader;

    unsigned char *LoadBMP(char *image, bmpInfoHeader *bInfoHeader);
    void DisplayInfo(bmpInfoHeader *info);
    void TextDisplay(bmpInfoHeader *info, unsigned char *img);
```

Anejos a la memoria

```
    bmpInfoHeader info;
    unsigned char *img;
    img=LoadBMP("poesia.bmp", &info);
    DisplayInfo(&info);
    TextDisplay(&info, img);
    return 0;
}

void TextDisplay(bmpInfoHeader *info, unsigned char *img)
{
    int x, y;
    /* Se reduce la resolución vertical y horizontal para que la imagen entre en pantalla */
    static const int reduccionX=6, reduccionY=4;
    /* Si la componente supera el umbral, el color se marcará como 1. */
    static const int umbral=90;
    /* Se asigna caracteres a los colores en pantalla */
    static unsigned char colores[9]=" bgfrRGB";
    int r,g,b;
    /* Se dibuja la imagen */
    for (y=info->height; y>0; y-=reduccionY)
    {
        for (x=0; x<info->width; x+=reduccionX)
        {
            b=(img[3*(x+y*info->width)]>umbral);
            g=(img[3*(x+y*info->width)+1]>umbral);
            r=(img[3*(x+y*info->width)+2]>umbral);
        }
    }
}

unsigned char *LoadBMP(char *image, bmpInfoHeader *bInfoHeader)
{
    FILE *f;
    bmpFileHeader header;    /* cabecera */
```

```
unsigned char *imgdata; /* datos de imagen */
uint16_t type; /* 2 bytes identificativos */
f=fopen (image, "r");
if (!f)
    return NULL; /* Si no se puede leer, no hay imagen*/
/* Se lee los dos primeros bytes */
fread(&type, sizeof(uint16_t), 1, f);
if (type !=0x4D42) /* Se comprueba el formato */
{
    fclose(f);
    return NULL;
}
/* Se lee la cabecera de fichero completa */
fread(&header, sizeof(bmpFileHeader), 1, f);
/* Se lee la cabecera de información completa */
fread(bInfoHeader, sizeof(bmpInfoHeader), 1, f);
/* Se Reserva memoria para la imagen*/
imgdata=(unsigned char*)malloc(bInfoHeader->imgsize);
/* Se sitúa en el sitio donde empiezan los datos de imagen, lo indica el offset de la
cabecera de fichero*/
fseek(f, header.offset, SEEK_SET);
/* Se leen los datos de imagen, tantos bytes como imgsize */
fread(imgdata, bInfoHeader->imgsize,1, f);
/* Se cierra */
fclose(f);

int matriz [height] [width]; //Se crea una matriz con los valores ancho y alto de
la foto

int suma=0, fila, columna, media, contador_lineas=0;

int Valor_foto=255; //Se inicializa como si fuese una foto blanca

for (fila=0; fila=height; fila++) //Calculo de los valores de los pixels en escala
de grises
```

Anejos a la memoria

```
{
    for (columna=0; columna=width; columna++)
    {
        BLUE=img[3*(x+y*info->width)+0]; //Se lee la componente azul
        GREEN=img[3*(x+y*info->width)+1]; //Se lee la componente verde
        RED=img[3*(x+y*info->width)+2]; //Se lee la componente roja
        Matriz [height] [width]= (0.2989*RED) + (0.5870*GREEN) + (0.1140
        * BLUE); //Se calcula el valor en escala de grises
    }
}

for (fila=0; fila=height; fila++)
{
    for (int suma=255, columna=0; columna=width; columna++) // Se cogen
    los valores de una fila
    {
        suma += matriz[width]; //Se suman los valores
    }
    media=suma/height; //Se halla la media
    if(estado_sistema==2 & media<valor_cordon)//Si el sistema está en
    calibración y el valor es más próximo al negro
    {
        valor_foto=media; //Se guarda el valor
    }
    if(estado_sistema==1 & (valor_cordon+10)>=media)) //Si el sistema
    está en marcha y detecta una línea oscura
    {
```



```
        contador_lineas++; //Incrementa el contador de líneas
    }
    else
    {
        contador_lineas=0; //Resetea el contador de líneas
    }
    If(contador_lineas==3) //Si ha detectado 3 líneas oscuras seguidas
    {
        break; //Salir del bucle, ha detectado el cordón
        valor_foto=media; //Se guarda el valor
    }
}
return valor_foto;
}
```

## 9.4. MANUAL DE USUARIO

El sistema de detección y reposicionado del cordón de soldadura en tubos acero funcionará de la siguiente manera:

-Al suministrar tensión al sistema, éste estará apagado, con la luz roja encendida. Habrá que desenchlavar la seta de seguridad en el caso de que esté presionada, para poder poner en marcha el sistema.

Se pulsará el pulsador verde y el sistema se pondrá en funcionamiento. Se encenderá la correspondiente señalización de color verde.

En la primera puesta en marcha, lo primero que se deberá hacer es el calibrado del cordón de soldadura. Se deberá pulsar el pulsador amarillo y el sistema permanecerá en espera hasta que se coloque un tubo de acero sobre los rodillos. Al colocar el tubo, el detector inductivo detectará el tubo y el led blanco de presencia de tubo se encenderá. Al cabo de un segundo el motor comenzará a girar.

El sistema realizará 2 vueltas completas, realizando 10 fotografías por segundo, e irá comparándolas con la fotografía realizada anteriormente, en un nivel de escala de grises. El sistema irá guardando el mayor valor obtenido de escala de grises. Ese valor obtenido será el que utilizará el sistema para detectar el cordón de soldadura.

Al realizar las 2 vueltas el motor se parará, el led amarillo se quedará parpadeando y se deberá extraer el tubo para poder comenzar a trabajar.

El sistema permanecerá en espera hasta que se coloque un tubo de acero sobre los rodillos, en ese instante el detector inductivo de presencia de tubo detectará el tubo y se encenderá el led blanco. Al cabo de un segundo, el motor comenzará a girar hasta que detecte el cordón de soldadura, y posteriormente, reposicionará el cordón en la posición requerida.

Una vez reposicionado el tubo, el led verde se apagará para indicar que el cordón de soldadura ya está reposicionado en el lugar adecuado. En ese instante, el sistema permanecerá a la espera de que el tubo de acero sea retirado. Una vez retirado, el sistema esperará un segundo y se apagará la luz amarilla. Entonces, se podrá realizar un nuevo ciclo de trabajo.

En el caso de que no se detecte el cordón de soldadura en la primera vuelta del tubo, se realizará una segunda vuelta. Al finalizar la segunda vuelta y no detectar el cordón de soldadura, el sistema se parará, el led verde se quedará luciendo intermitentemente indicando que el tubo no se ha podido reposicionar en el lugar adecuado. Se deberá extraer el tubo para que el sistema pueda comenzar de nuevo. En este caso, sería recomendable calibrar el sistema de nuevo, ya que todos unos tubos tienen el cordón de soldadura más claro que otros.

Anejos a la memoria

## 9.5. TABLAS DEL CONVENIO SIDEROMETALÚRGICO DE ZARAGOZA, AÑO 2014.

### CLASIFICACIÓN PROFESIONAL

GRUPO	TECNICOS	EMPLEADOS	OPERARIOS
1	Ingeniero, arquitecto y licenciado. 22.382,89	Director General 22.382,89	
2	Peritos y aparejadores 21.759,23 Ayúdes técnicos sanitarios 21.759,23 Ayúdes de ingen. y archit. 20.635,00 Graduados sociales 19.309,78		
3	Delanteante proyectista 18.825,90 Dibujante proyectista 18.825,90 Jefe primera org. trabajo 18.825,90 Jefe segunda org. trabajo 18.604,84 Jefe primera laboratorio 19.747,53 Jefe segunda laboratorio 18.701,68	Jefe primera adm. 19.591,09 Jefe segunda adm. 18.794,64	Jefe de taller 19.309,78
4		Delanteante primera 17.511,37 Técnico de organización 1ª 17.511,37 Analista primera 17.264,73 Oficial primera adm. 17.717,70 Viajante 17.717,70	Maestro taller 17.716,72 Maestros industriales 18.293,41
5		Oficial segunda adm. 16.984,39 Delanteante segunda 16.779,86 Técnico de organización 2ª 16.779,86 Analista segunda 16.356,69	Encargado 16.904,60 Oficial primera 16.638,75 Oficial segunda 16.305,05 Chófer cam., grúa y maq. aut. 16.421,79
6		Almacenero 15.862,26 Auxiliar adm. 16.095,96 Telefonista 15.453,36 Auxiliar y calendar 15.905,83 Auxiliar de organización 16.356,69 Auxiliar laboratorio 15.888,83	Especialista 15.827,35 Oficial tercera 15.984,72 Chófer turismo 16.248,35 Capataz 16.107,29
7		Vigilante 15.404,93 Ordenanza 15.341,77 Portero 15.341,77	Peón 15.537,22
8		Asp. 1er año adm. 9.857,26 Asp. 1er año ofic. 9.857,26 Asp. de organización 9.857,26 Asp. 1er año laboratorio 9.857,26 Asp. 2º año adm. 11.326,67 Asp. 2º año ofic. 11.326,67 Asp. 2º año laboratorio 11.326,67	Aprendiz 1er año 9.880,74 Aprendiz 2º año 11.349,90