



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA MECÁNICA

## CARRERA DE INGENIERÍA MECÁTRONICA

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW SOBRE SUPERFICIES PLANAS CON EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PORTÁTIL DE SUELDA E INSPECCIÓN VISUAL, MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL LABORATORIO DE SOLDADURA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”.**

**AUTORES:**

HURTADO CAINA, JENNIFER SAMANTA  
VACA MASAPANTA, THALIA ALEXANDRA

**DIRECTOR:**

DOCTOR ING. TERAN HERRERA, HECTOR COCHISE



# CONTENIDO

---

RESUMEN

---

OBJETIVO

---

DISEÑO MECATRÓNICO

---

SELECCIÓN DE COMPONENTES

---

ADQUISICIÓN DE DATOS

---

PRUEBAS Y RESULTADOS

---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## RESUMEN



Uno de los problemas que se da actualmente en la técnica de soldadura GMAW, que se realiza de forma manual son: prender el arco por fuera del área donde quedará el depósito dañando el metal base, pues con el tiempo se corre el riesgo de causar grietas en el material, lo que pone en riesgo la estructura, si el operario elige más corriente de la recomendada el electrodo se consume mucho más rápido, el revestimiento se quema y se genera exceso de salpicaduras. El operario al realizar esta actividad por un largo tiempo, tiende a bajar su rendimiento en la precisión del cordón de soldadura.

# OBJETIVOS

**General** Optimizar el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de inspección visual, mediante visión artificial.

## Específicos

Investigar los equipos, parámetros y control de calidad de la soldadura con proceso MIG

Diseñar un sistema automático que permita el desplazamiento y oscilación de un proceso MIG sobre superficies planas.

Obtener los parámetros de la junta que permita analizar la trayectoria usando visión artificial.

Determinar la calidad del cordón de soldadura a través de la inspección visual con visión artificial.

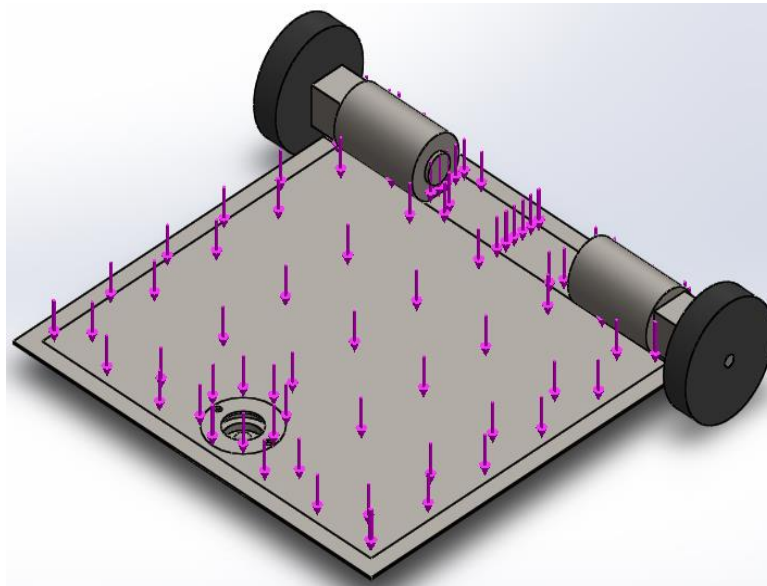
Realizar pruebas de funcionamiento del proceso que validen el diseño y control de calidad del mismo.



## DISEÑO MECATRÓNICO

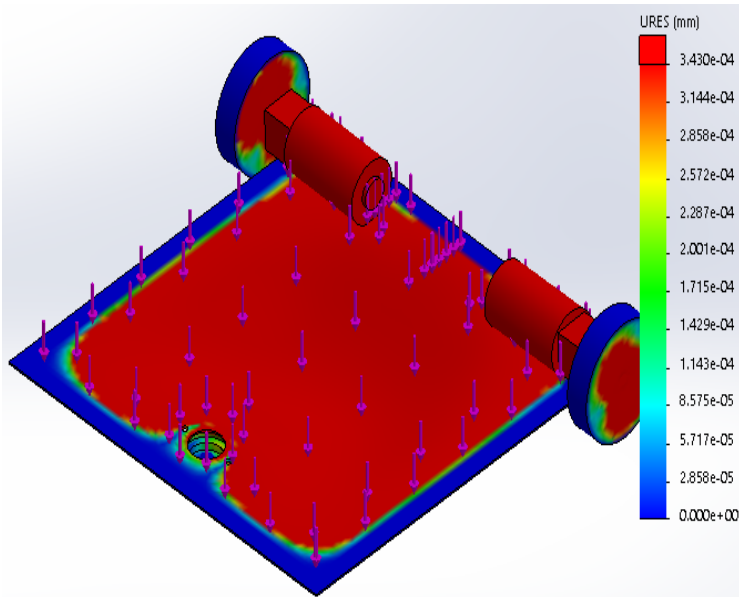
### Especificaciones del equipo automático portátil

Se diseña una estructura donde llevara los componentes mecánicos, y dos soportes, donde uno llevara la antorcha de suelda y el otro la cámara para la visión. Para simular la base en el software CAE se aplicó una fuerza de 136.3 N, debido al peso total de componentes que soportará la misma.

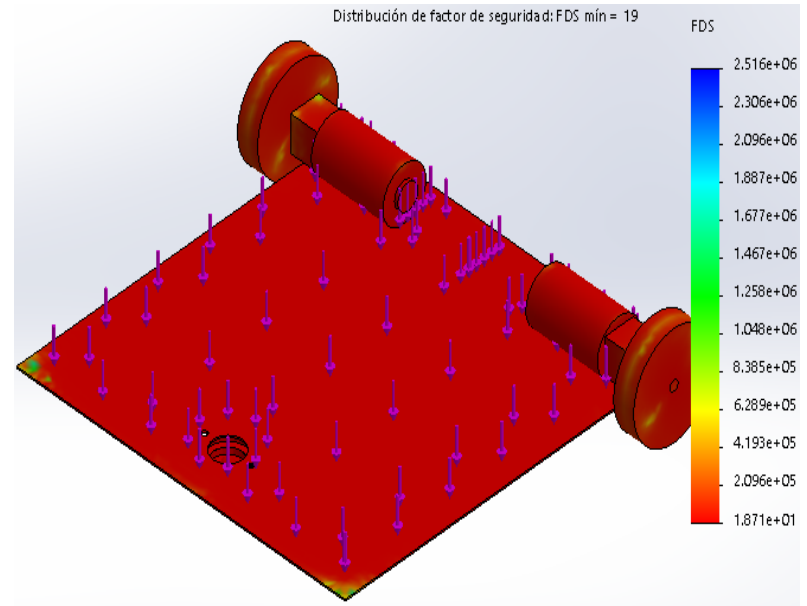


# VALIDACIÓN DEL DISEÑO POR SOFTWARE CAE

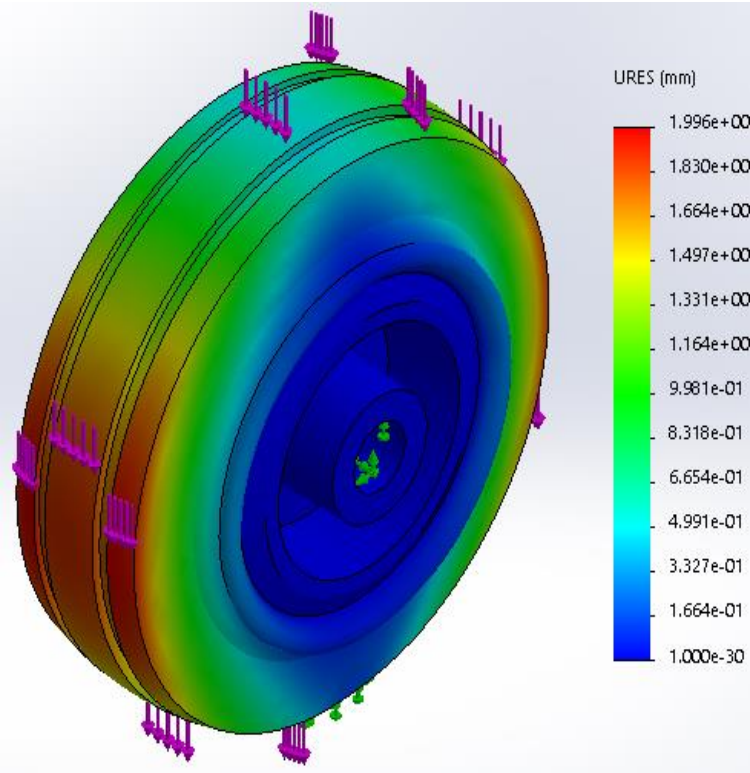
Desplazamiento de la placa



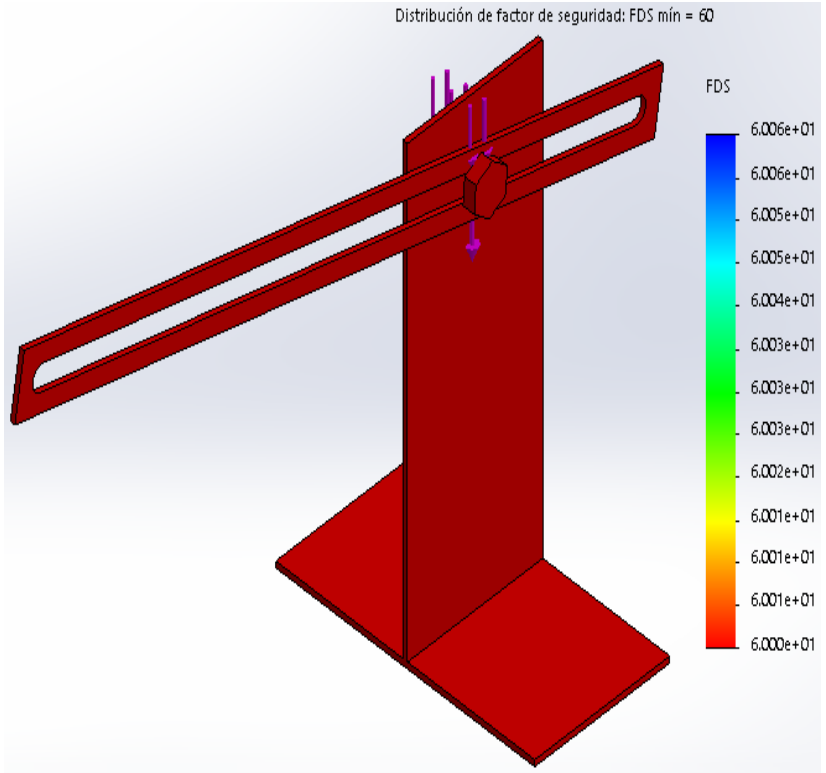
Factor de seguridad



# Factor de seguridad en la llanta

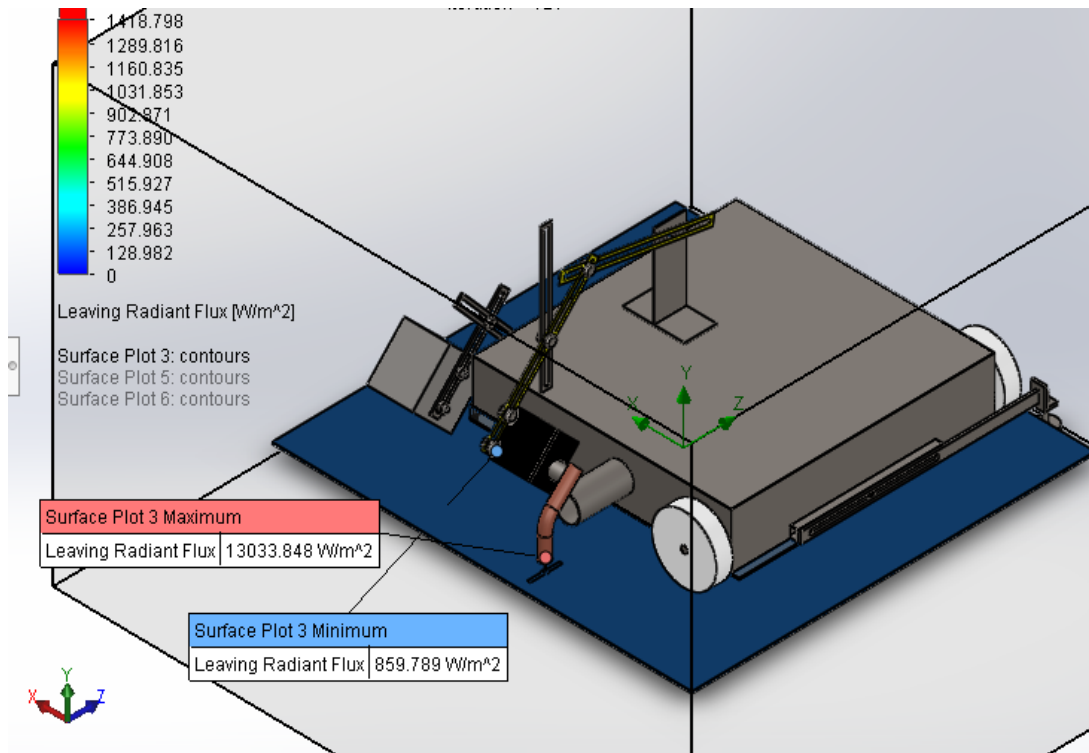


# Factor de seguridad del perno





# Radiación del proceso de soldadura





# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se realizó tablas de selección, evaluación y de acuerdo a los parámetros de diseño se eligió los siguientes componentes:



Arduino Due

## Características

**Procesador:** ARM Cortex-M3 24-bit

**Memoria:** 256-512 Kbyte Flash,  
32-100 Kbyte SRAM

**Frecuencia de operación:** 84 MHz

**Voltaje de funcionamiento:** 7-12V

**Pines de entradas análogas:** 12

**Pines I/O digitales:** 54 ( 12 proveen salida PWM)

**Consumo de corriente:** 75 mA



CIM (217-2000)

## Características

**Entrada de batería:** 12 V CC

**Salidas:** Salida Tamaño del eje: 8 mm (0,314 pulg.)  
Con chavetero de 2 mm

**Velocidad libre:** 5330 rpm (+/- 10%)

**Corriente libre:** 2,7 A

**Potencia máxima:** 337 W (a 2655 rpm, 172 oz-in y 68A)

**Par de bloqueo:** 2,41 Nm (21,33 in-lb)

**Corriente de bloqueo:** 131 A

**Orificios de montaje:** (4) orificios roscados # 10-32 en un círculo de pernos de 2 "

# SELECCIÓN DE COMPONENTES



Raspberry 3 Pi B+

---

## Características

---

**Procesador:** Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz

---

**Conectividad:** 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b / g / n / ac inalámbrico; LAN, Bluetooth 4.2, BLE; Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (rendimiento máximo 300 Mbps)

---

**GPIO:** 40 pines

---

**Audio y video:** 1 x HDMI de tamaño completo; Puerto de pantalla MIPI DSI;

---

Puerto de cámara MIPI CSI; Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto

---

**Potencia de entrada:** 5V/2.5A DC mediante conector micro USB; 5 V CC a través de GPIO



Webcam 720P

---

## Características

---

**Resolución:** 720P 1280x720 píxeles

---

**Velocidad de fotogramas:** 30 FPS

---

**Tipo de sensor:** CMOS

---

**Tipo de conector:** USB 2.0

---

**Rotación:** 170°

---

**Interfaz:** USB2.0 + Cable de Audio 3.5mm

---

**Longitud del cable USB:** 150 cm + 3.5mm

---

**Compatible:** Windows 2000 / XP / Win7 / Win8 / Win10 / Vista 32bit / MAC



## Comunicación y algoritmo de control

### Protocolo de comunicación Arduino Servomotor

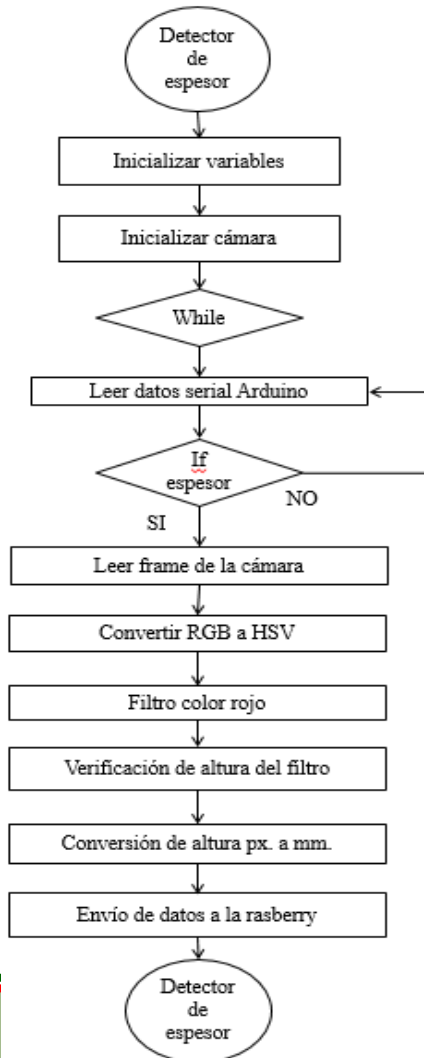
Ya que el servo de oscilación posee un controlador propio (Arduino Promini), es necesario indicarle los parámetros de ángulo, velocidad de oscilación y ángulo máximo de oscilación, así como la posición de cero, ya que es un servo de rotación continua

### Protocolo de comunicación Arduino Raspberry

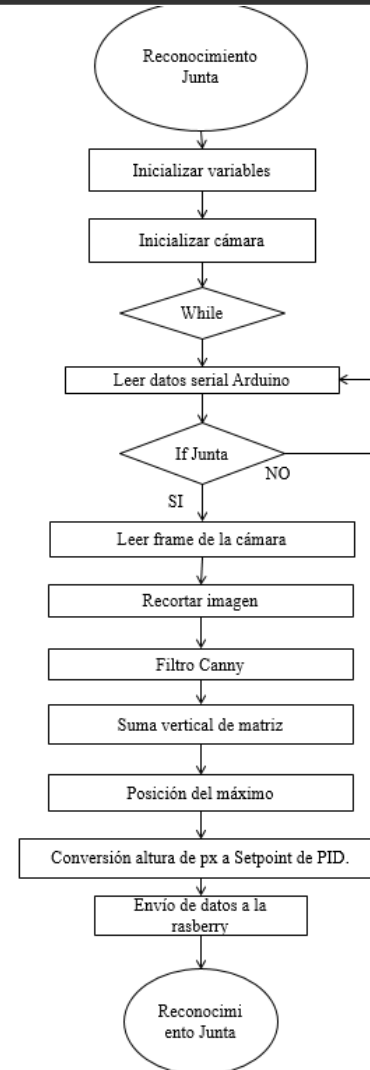
La comunicación entre la parte de control, comandada por el Arduino y la parte de visión (Raspberry), se da mediante la interfaz UART TTL a 19200 baudios, con una modalidad tipo Pregunta-Respuesta, en la cual el Arduino es quién se encarga de preguntar y así sincronizar los datos, al haber varios datos de configuración (velocidad lineal, start, stop, grados de oscilación, encender mecha, apagar mecha, etc.), es necesario discriminar el tipo de dato mediante un protocolo

## Adquisición de datos de la visión

### Determinación del espesor del material

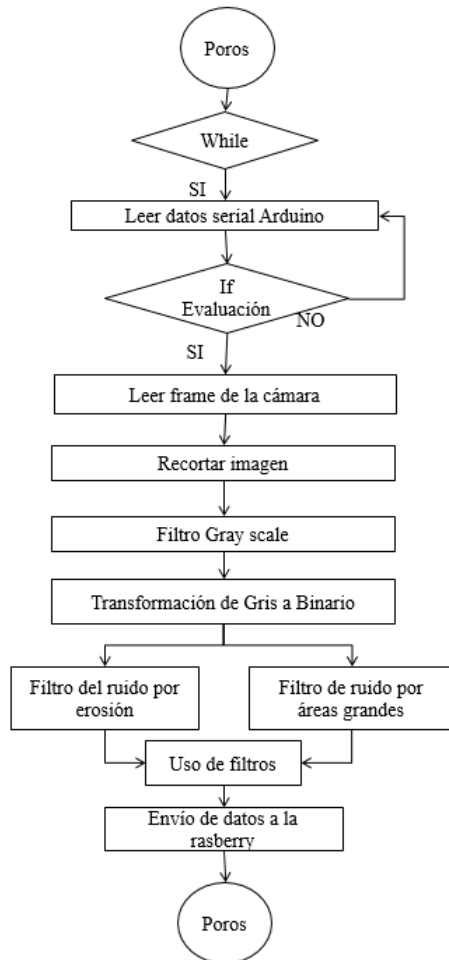


### Evaluación de la desviación de la junta

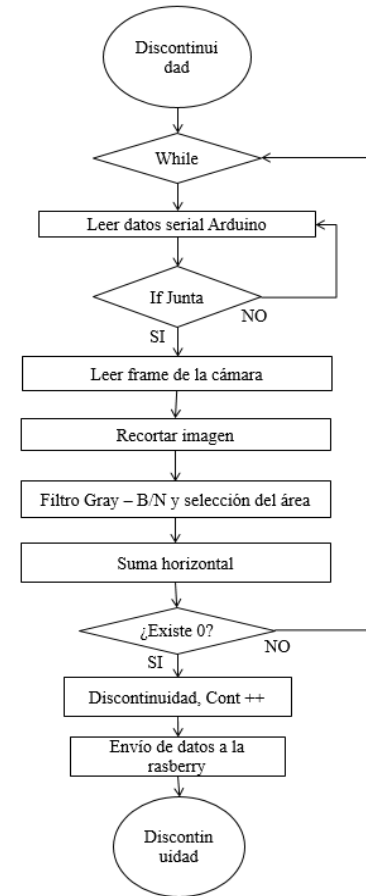


## Adquisición de datos de la visión

### Evaluación de poros

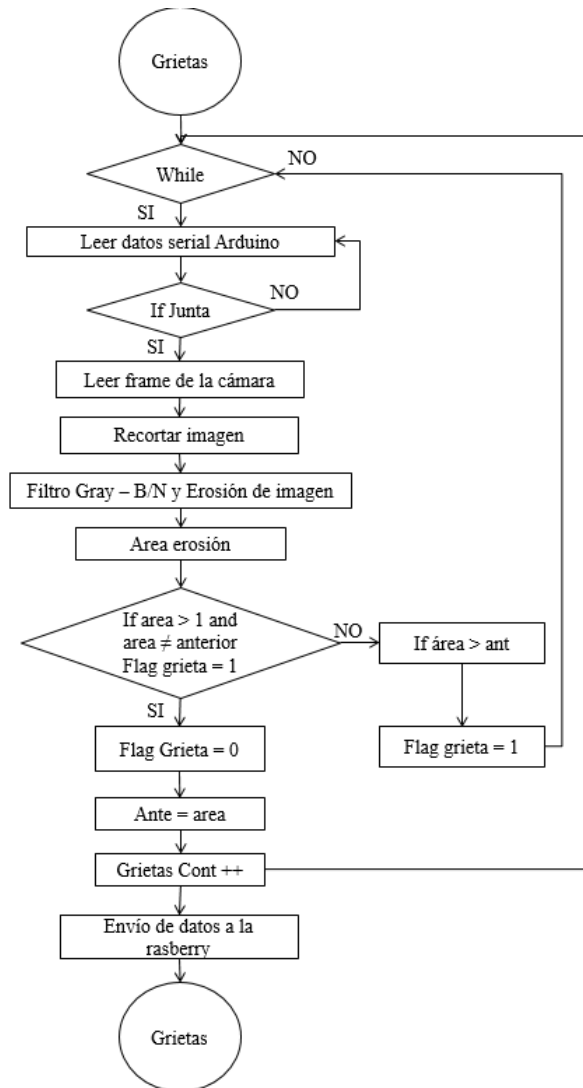


### Evaluación de discontinuidad

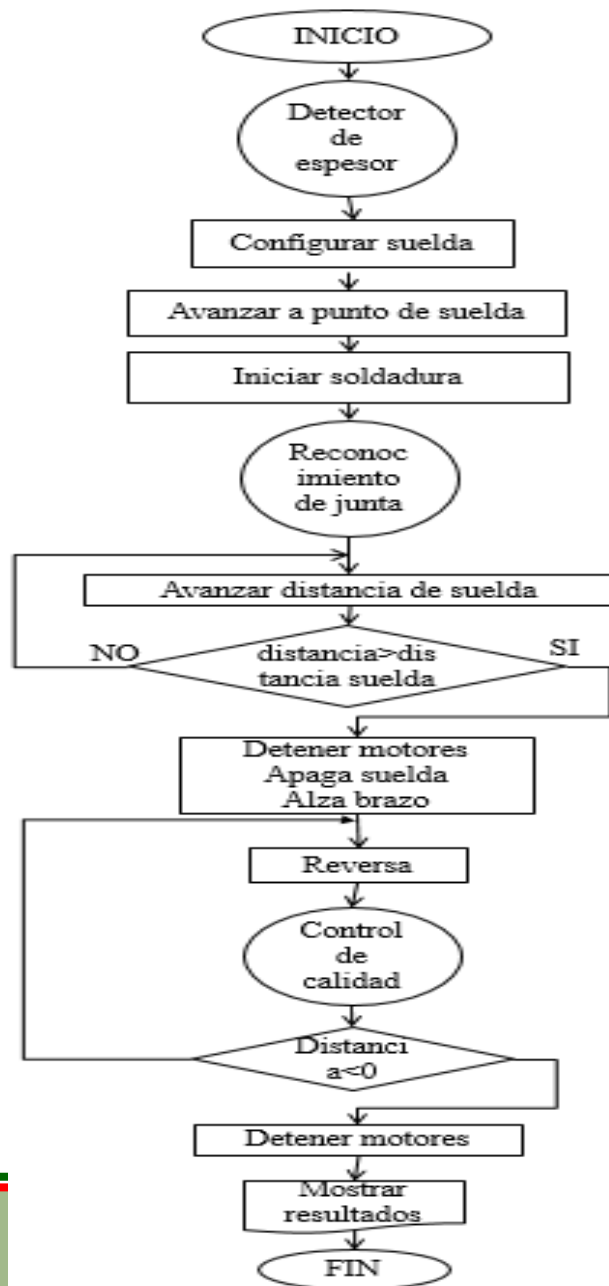


# Adquisición de datos de la visión

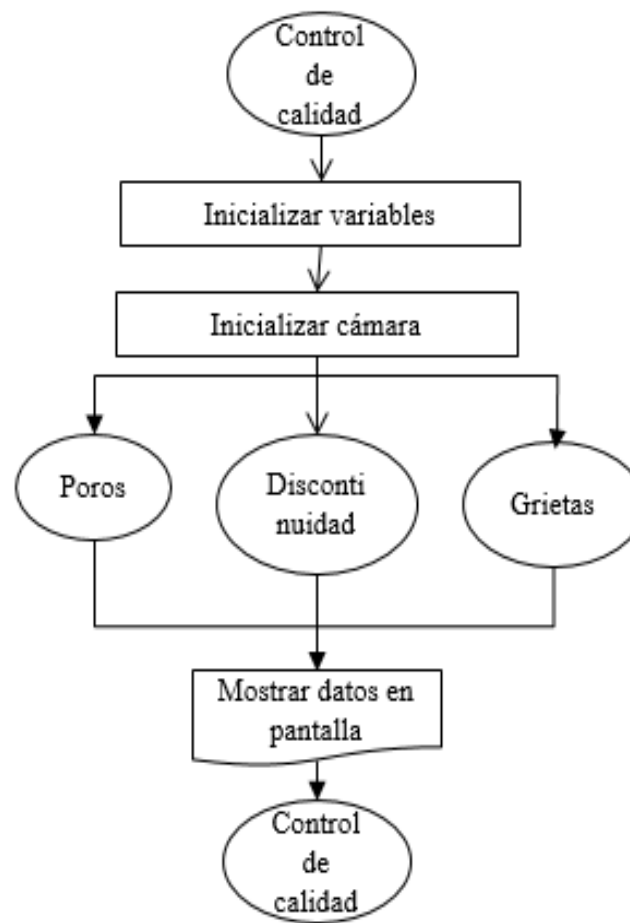
## Evaluación de grietas



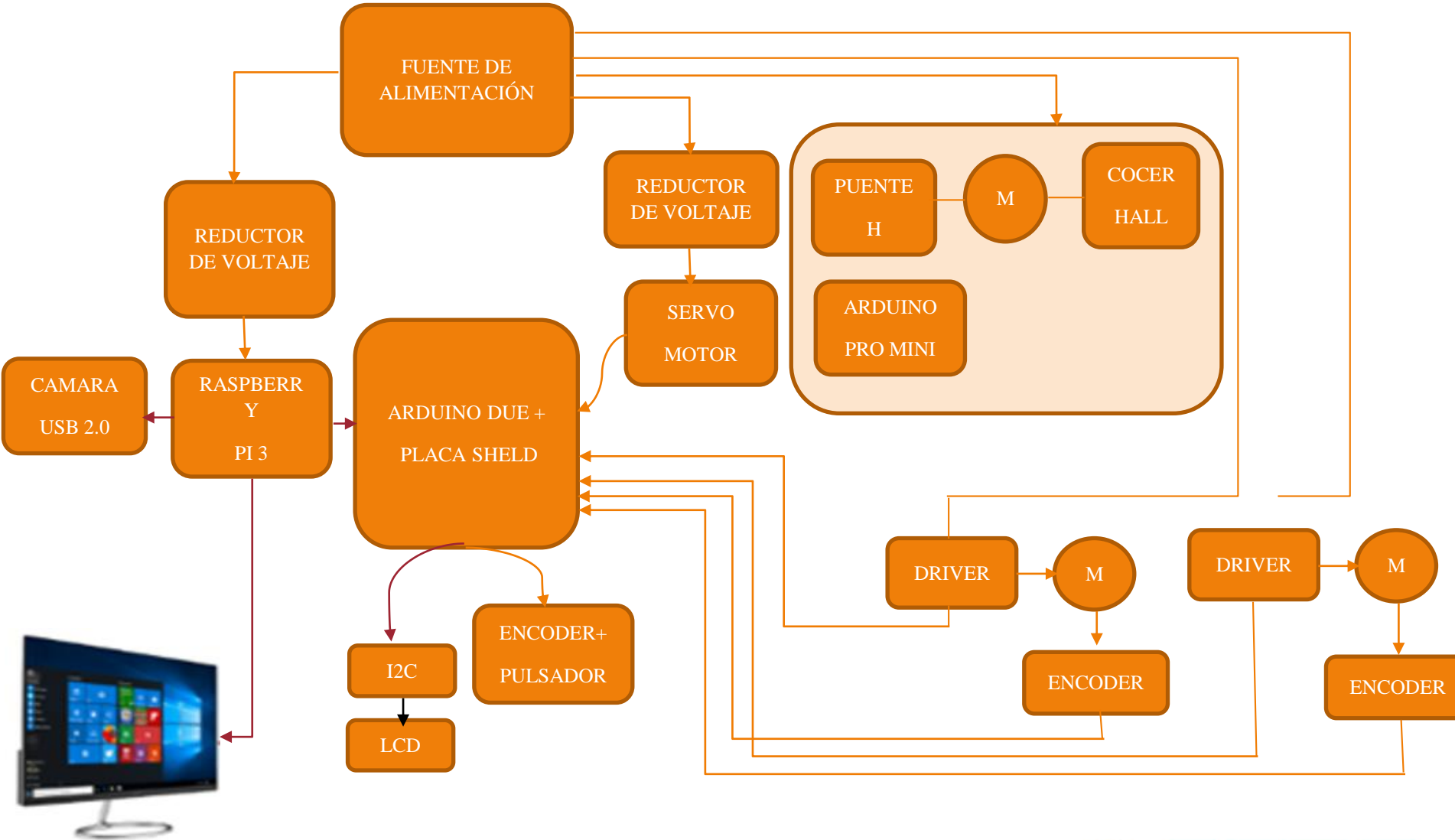
## Diseño código principal



## Diseño del control de calidad










# PRUEBAS

## Pruebas determinación de espesor

Espesor	Pixeles	Imagen	Pantalla LCD
3mm	61		
6mm	93		




## Pruebas del proceso de suelda MIG

### Placa de 3mm

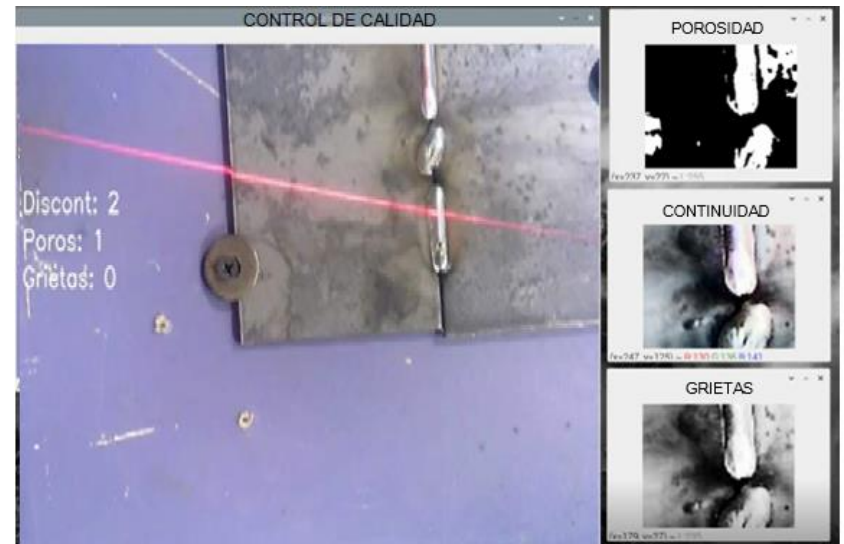
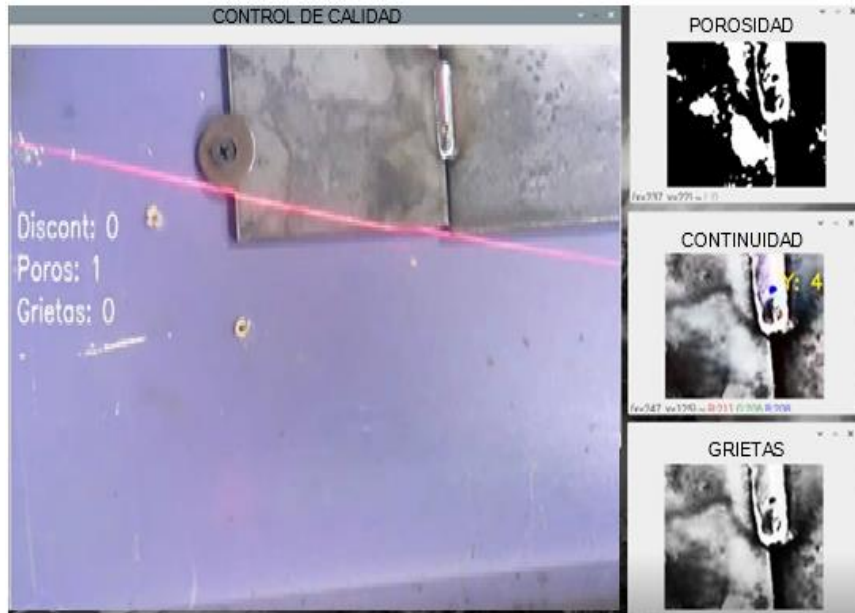
#Prueba	Voltaje	%Salida a material	Velocidad cm/seg	Imagen
PLANA	17,5	202	0,65	
HORIZONTAL	17,5	202	0,4	
INCLINADA	17,5	202	0,5	

## Pruebas del proceso de suelda MIG

### Placa de 6mm

#Prueba	Voltaje	%Salida material	Velocidad cm/seg	Imagen
PLANA	19,7	304	0,4	
HORIZONTAL	20,5	302	0,5	
INCLINADA	19,7	304	0,5	

## Pruebas del control de calidad



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Determinación de Costos en Operaciones de Soldadura

$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{Pmd(Kg/ml) * \text{valor electrodo}(\$ /kg)}{\text{eficiencia deposición}(\%)}$$

$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{110(Kg/ml) * 40(\$ /kg)}{93(\%)} = 47,31 \frac{(\$)}{m.l}$$



## Determinación de Costos mano de obra

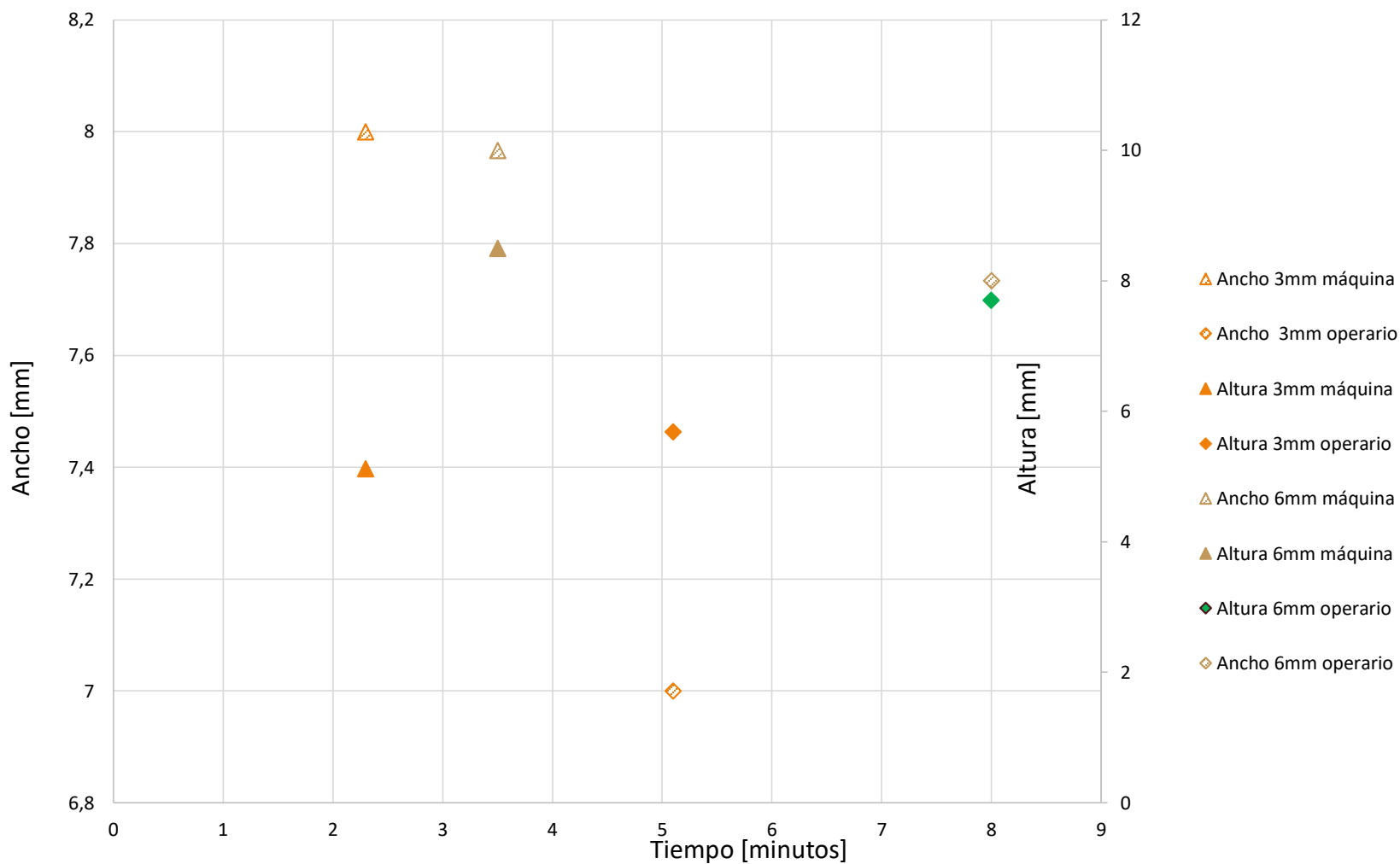
$$\text{Costo M.O y G. Generales} = \frac{(\$)}{\text{m.l}} = \frac{Pmd(\text{Kg/ml}) * \text{valor M.O y G.G}(\$/\text{hr})}{\text{velocidad deposición}(\text{kg/h}) * F.\text{operación}(\%)}$$

$$\text{Costo electrodo} = \frac{(\$)}{\text{m.l}} = \frac{110(\text{Kg/ml}) * 25(\$/\text{hr})}{1,5(\text{kg/h}) * 30(\%)} = 61,11 \frac{(\$)}{\text{m.l}}$$

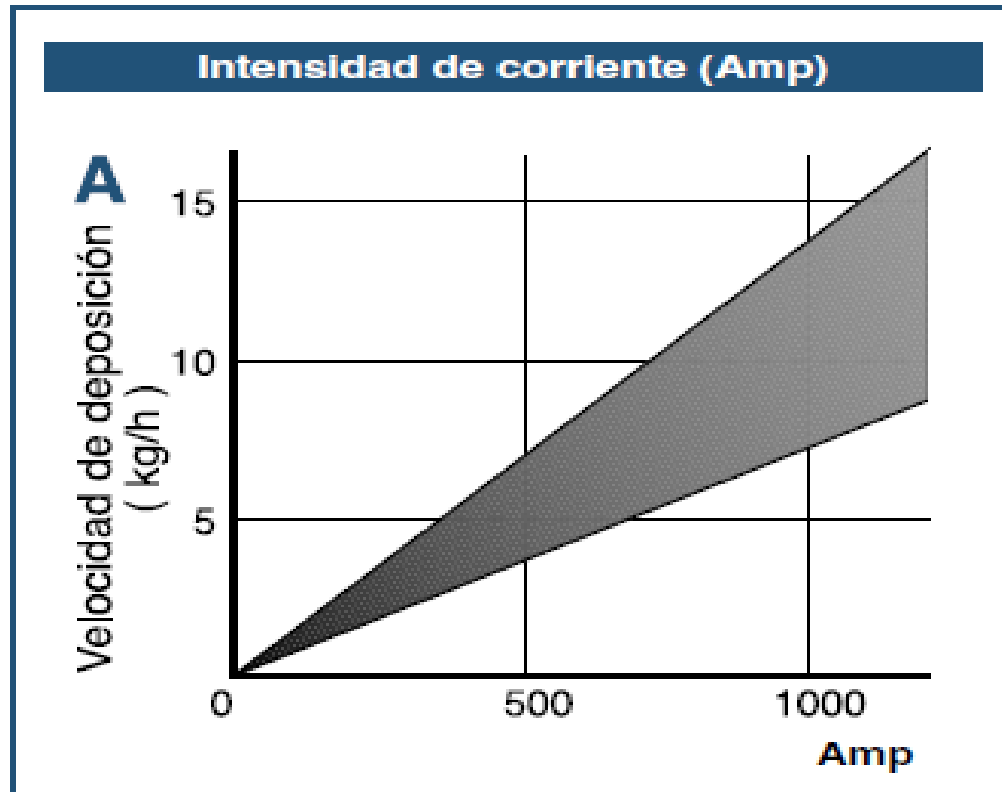




# Crterios del cordn de soldadura, mquina VS operario, placa de 3 y 6 mm

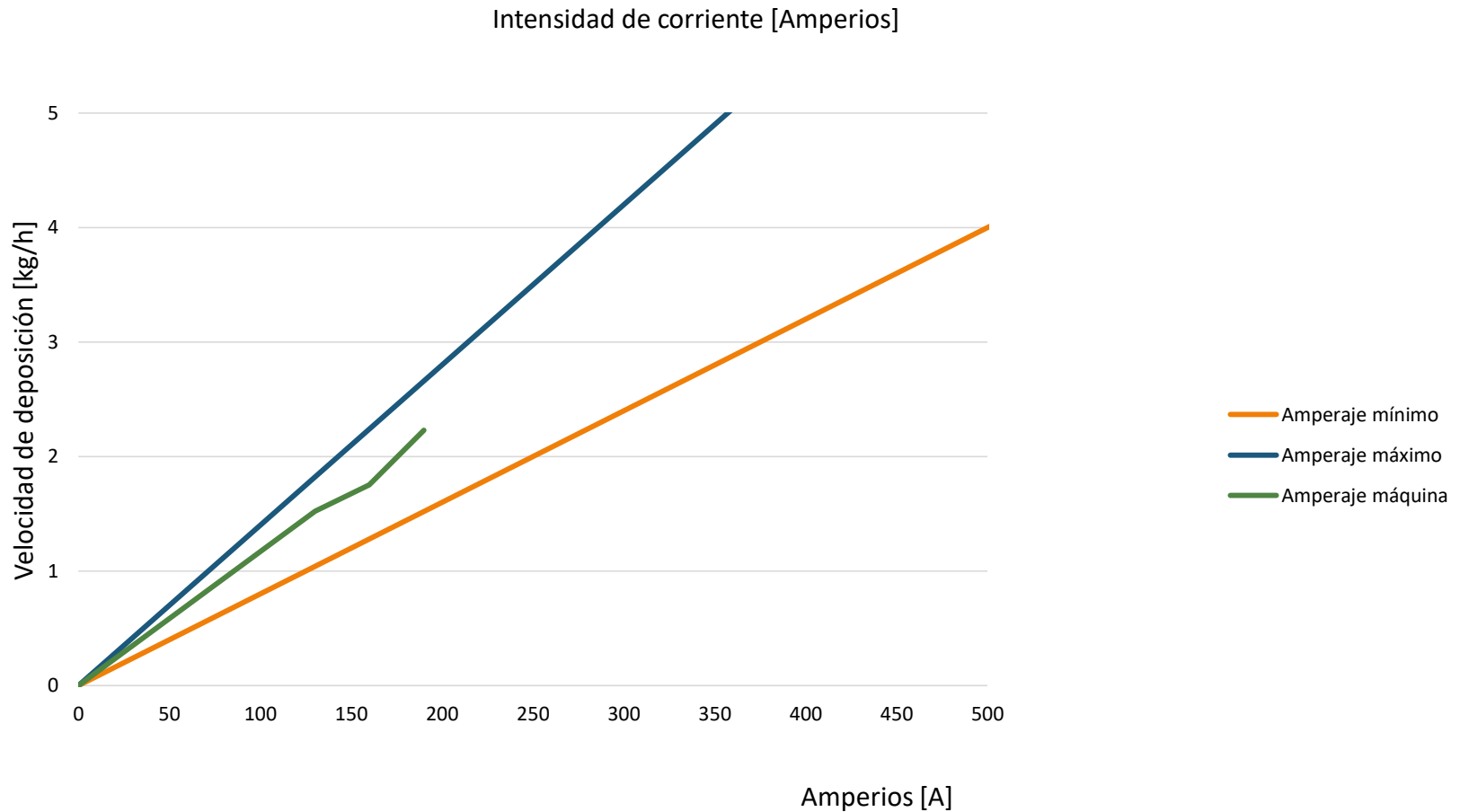


# Velocidad de deposición del material vs el amperaje



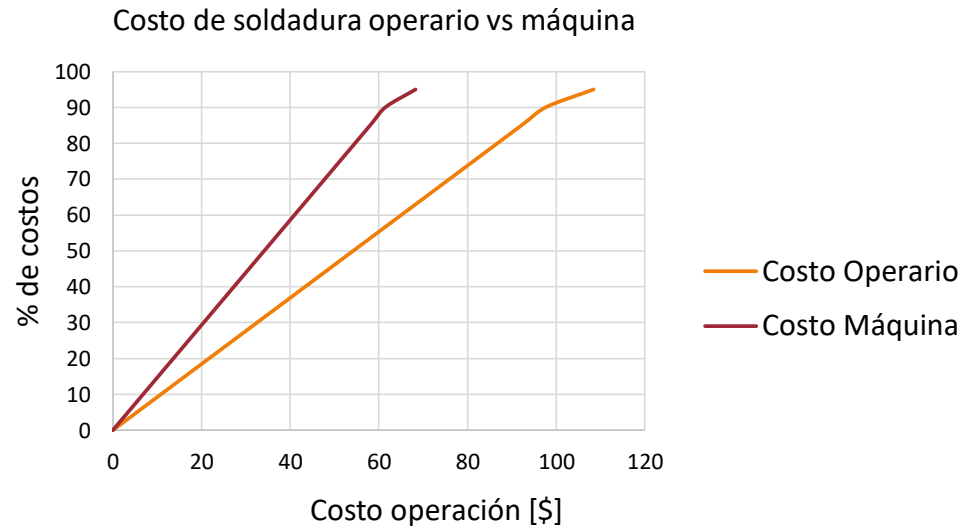
En la imagen se observa la velocidad a la que se debe soldar en función de la calibración de la corriente de la máquina. Tomado de (INDURA, 2013)

# Velocidad de deposición del material vs el amperaje



## Determinación de Costos de soldadura

% de Costos	Costo Operario	Costo máquina
0	0	0
30	32,53	20,48
70	75,89	47,78
85	92,16	58,02
90	97,58	61,43
100	108,42	68,26



# Conclusiones

- Para realizar el proceso de soldadura en una placa de 3mm de acero ASTM-A36, se determinó que para obtener un cordón de buena calidad en la posición plana se requiere una velocidad de 0,65 cm/seg, en la horizontal de 0,3 cm/seg, mientras que en la posición inclinada es de 0,5 cm/seg.
- En el proceso de soldadura de una placa de 6mm de acero ASTM-A36, para obtener un cordón óptimo en la posición plana se utilizó una velocidad de 0,4 cm/seg, en la horizontal de 0,5 cm/seg, finalmente en la posición inclinada es de 0,3 cm/seg.
- Se compararon valores de costo de operación vs máquina, teniendo como resultados que el costo de la mano de obra de un soldador es de \$61,11 dólares americanos, mientras que el de la máquina es de \$20,95 dólares americano, por lo tanto se puede concluir que se tiene un ahorro de un 34,28% al momento de realizar el proceso de soldadura MIG.

- Al momento de comparar el proceso de soldadura de la máquina vs el operador se pudo concluir que tiene una mejora de un 46% en cuanto a tiempo de ejecución con el material de aporte R70S-6
- Se comparó el control de calidad con la visión artificial e inspección visual, teniendo como resultados la observación de un poro, cero grietas y cero discontinuidades, por lo tanto mediante la normativa ANSI-AWS-D1.1, se concluye que se encuentra en los rangos establecidos para que este puede ser aceptado.
- Mediante la utilización de software CAD se logró realizar el diseño en su totalidad, para su comprobación se realizó un análisis CAE con la finalidad de determinar su diseño correcto, ya que se obtuvo valores de factor de seguridad superiores a 1 en todos sus componentes, lo que significa que no va a tener falla al momento de realizar el proceso de soldadura.
- Finalmente, con la realización de las pruebas de funcionamiento del proceso, se logró validar el diseño y control de calidad del mismo, con esto, se concluye que el equipo funciona de forma correcta y permitió realizar un proceso de soldadura automatizado con la disminución de riesgos para el operario, además de permitir el desarrollo de un cordón de soldadura con mayor precisión y sin discontinuidad.

# Recomendaciones

- Implementar el proceso de soldadura MIG para materiales de acero inoxidable, debido a que el material posee propiedades mecánicas muy diferentes al acero A-36, además se puede destacar que dicho material es utilizado en la industria metal mecánica.
- En el equipo realizado se puede implementar el proceso SMAW, para diferentes procesos de soldadura.
- Para lograr un mayor alcance de ejecución de soldadura del equipo portátil se puede implementar unas baterías recargables.
- Tener un ambiente adecuado en un rango estimado de 400 a 600 lux para el uso de la visión artificial, debido a que los cambios de luz que pueden afectar en la adquisición de datos.
- Mediante una aplicación móvil se puede implementar un control remoto para mayor facilidad del operador.