

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA DE PLANTAS DE CALZADO, MEDIANTE LA REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA INYECTORA, LA INTEGRACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD A TRAVÉS DE VISIÓN POR COMPUTADOR E IOT PARA EL MONITOREO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA INSTALCOM UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO.

**AUTORES:** TOAPANTA CASA, BYRON ALEXANDER

TORRES LÓPEZ, EDWIN GABRIEL

**DIRECTOR:** ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

**Latacunga, 2022**





## CONTENIDO

---

1. Descripción del proyecto
2. Estudio del sistema de producción de plantas de calzado
3. Diseño mecánico, eléctrico y de control del sistema
4. Construcción, Pruebas y Resultados
5. Conclusiones y Recomendaciones



## 1. Descripción del Proyecto

---

1. Planteamiento del Problema
2. Objetivos
3. Justificación



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la máquina inyectora no se encuentra totalmente funcional, habiendo varias falencias que requieren de mantenimiento

- Falta de componentes eléctricos extraídos o deteriorados
- Varios elementos afectados por corrosión
- La máquina no cumple con el objetivo de producción de la empresa
- Falta de control de calidad del producto
- Necesidad de monitoreo remoto para la producción



## OBJETIVOS

### ***Objetivo General***

Automatizar el proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, realizar control de calidad a través de visión por computador e implementar IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa INSTALCOM ubicada en la ciudad de Ambato

## OBJETIVOS



### ***Objetivos Específicos***

---

- Investigar acerca de las características originales de la máquina a repotenciar y sobre métodos de control de calidad en plantas de calzado.
- Dar mantenimiento a elementos mecánicos deteriorados y corroídos.
- Rediseñar el sistema de control eléctrico con el controlador lógico programable.

## ***Objetivos Específicos***

---

- Desarrollar la secuencia de control más adecuada para el funcionamiento de la máquina.
- Implementar algoritmos de visión por computador para el control de calidad del producto final.
- Instalar un sistema de monitorización mediante IoT para el proceso de producción de plantas de calzado.



## JUSTIFICACIÓN

A través de los procesos que se realizarán, la máquina permitirá de manera automatizada la manufactura de plantas de calzado, facilitando el trabajo del operario y aumentando las líneas de producción de la empresa. Las mejoras implementadas cumplirán con el objetivo de producción de la empresa, la cual podrá satisfacer la alta demanda que tiene en el mercado





## 2. Estudio del sistema de producción de plantas de calzado

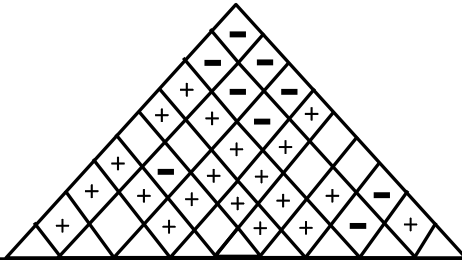
---

1. Necesidades del cliente
2. Estructura funcional del sistema de producción de plantas de calzado
3. Evaluación y Selección de conceptos

## Necesidades del Cliente



Núm.		Necesidad	Imp.
1	El sistema	Producción de 50 pares de plantas por hora	5
2	El sistema	Fácil de operar	4
3	El sistema	Manejo adecuado de temperatura en la materia prima	5
4	El sistema	Optimizar costos en la repotenciación de la máquina	4
5	El sistema	Facilidad de mantenimiento	3
6	El sistema	Seguridad para el operario	5
7	El sistema	Mínima intervención del operario	4
8	El sistema	Producción de plantas de calzado de buena calidad	5
9	El sistema	Visualización remota de la producción	4



## Necesidades del Cliente



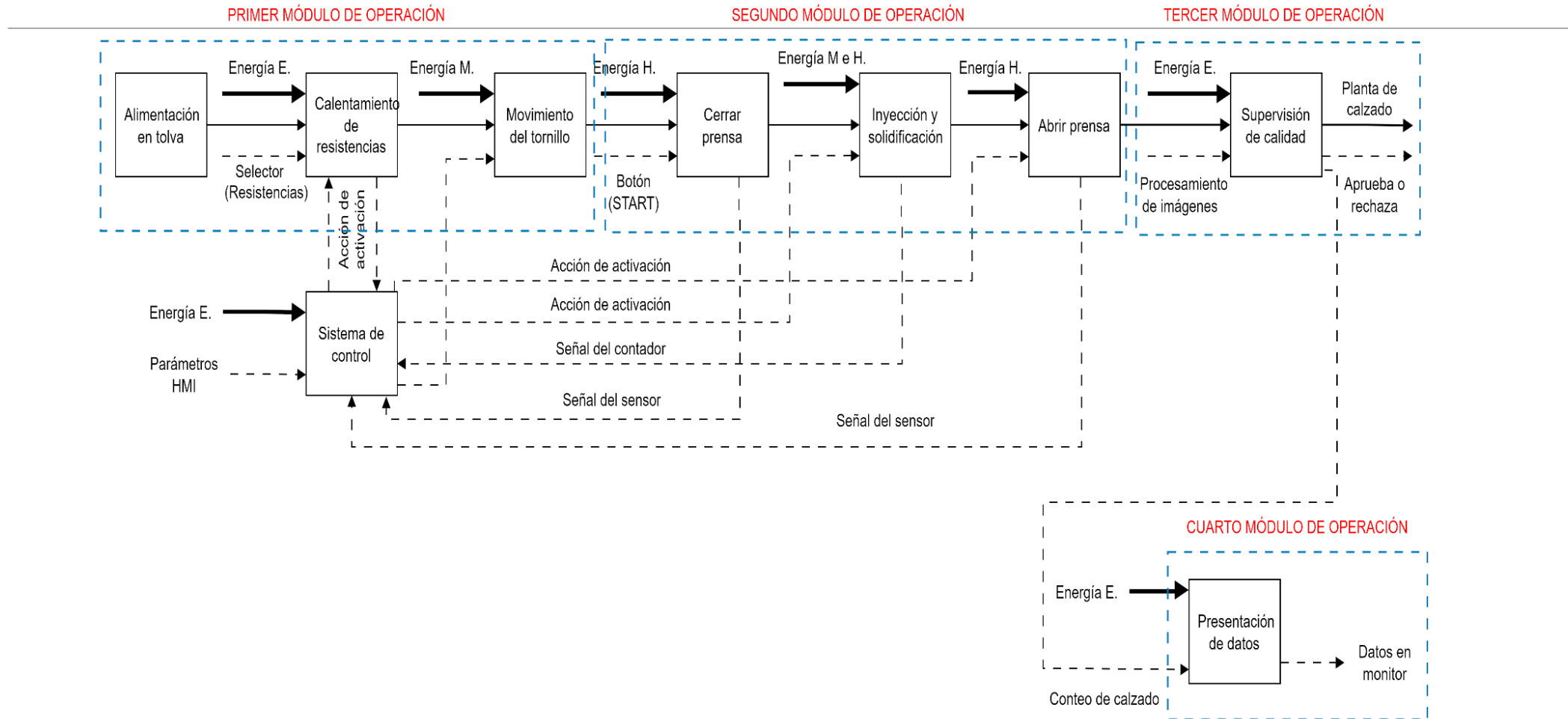
Num.	Necesidades del cliente	Imp.	Especificaciones técnicas									TOTAL
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			Automatización mediante control lógico programable	Implementación de interfaz humano-máquina	Control de temperatura en lazo cerrado	Fácil adquisición de equipos y materiales de buena calidad	Generación de planos de subsistemas para facilitar el mantenimiento	Indicadores de seguridad y botón de emergencia	Producción automática y continua	Control de calidad mediante visión artificial	Implementación de IoT	
1	Producción de 50 pares de plantas por hora	5	●	○	△			△	○	○	○	
2	Fácil de operar	4	●	●	△	△	△	○	●	○	△	
3	Manejo adecuado de temperatura en la materia prima	5	○	●	●	△		△	○			
4	Optimizar costos en la repotenciación de la máquina	4	●	●	△	●	△	△	○			
5	Facilidad de mantenimiento	3	△	△		△	●	△	△	○	△	
6	Seguridad para el operario	5	○	△	○	△	△	●	●	△	△	
7	Minima intervención del operario	4	●	●	△		△	○	●	●	●	
8	Producción de plantas de calzado de buena calidad	5	●		●	○	○		○	●	○	
9	Visualización remota de la producción	4				○	△		△	●	●	
Ponderación Absoluta			231	176	122	80	63	86	166	158	114	1196
Ponderación Relativa			19,3	14,7	10,2	6,7	5,3	7,2	13,9	13,2	9,5	100
Importancia Relativa			1	2	5	8	9	7	3	4	6	TOTAL

Relación	Valor	Símbolo
Fuerte	9	●
Media	3	○
Débil	1	△

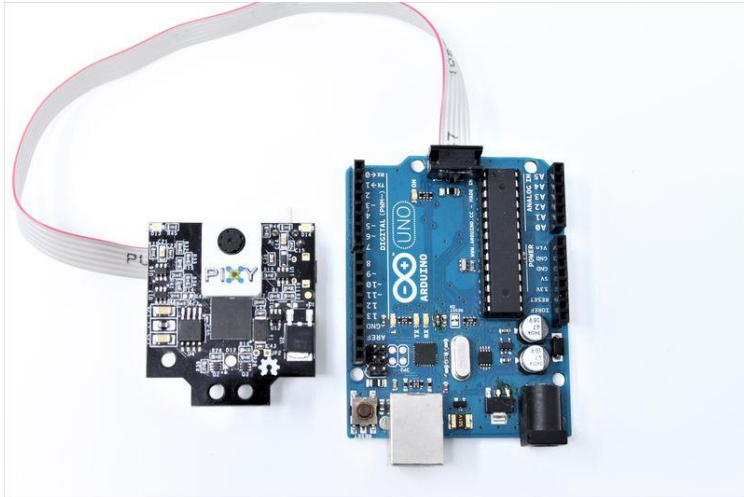
Grado de correlación	Símbol
Positivo	+
Negativo	-

- Automatización mediante control lógico programable
- Implementación de interfaz humano-máquina
- Producción automática y continua
- Control de calidad mediante visión artificial

# Estructura Funcional del Sistema



## ***Módulo 3, Control de la Calidad***



***Pixy 2 y Arduino***



***Raspberry Pi 3***



***Módulo PXI***

### ***Módulo 3, Control de la Calidad***

---



***Genius***



***Intcomex***



***AverMedia***

## ***Módulo 4, Monitoreo de la Producción***

---



***Raspberry Pi 3***



***ESP 32***



***Kit Arduino Oplà IoT***



### 3. Diseño Mecánico, eléctrico y de control del sistema

---

#### Diseño CAD y CAE

- Módulo 1 y 2, Alimentación de material y control de temperatura / control secuencial de la prensa e inyección de material.

#### Diseño Mecánico, CAD y CAE

- Módulo 3 y 4 , Control de calidad y Monitoreo de la producción

#### Diseño Eléctrico y control del sistema

- Módulo 1 y 2, Sistema de control de la máquina inyectora

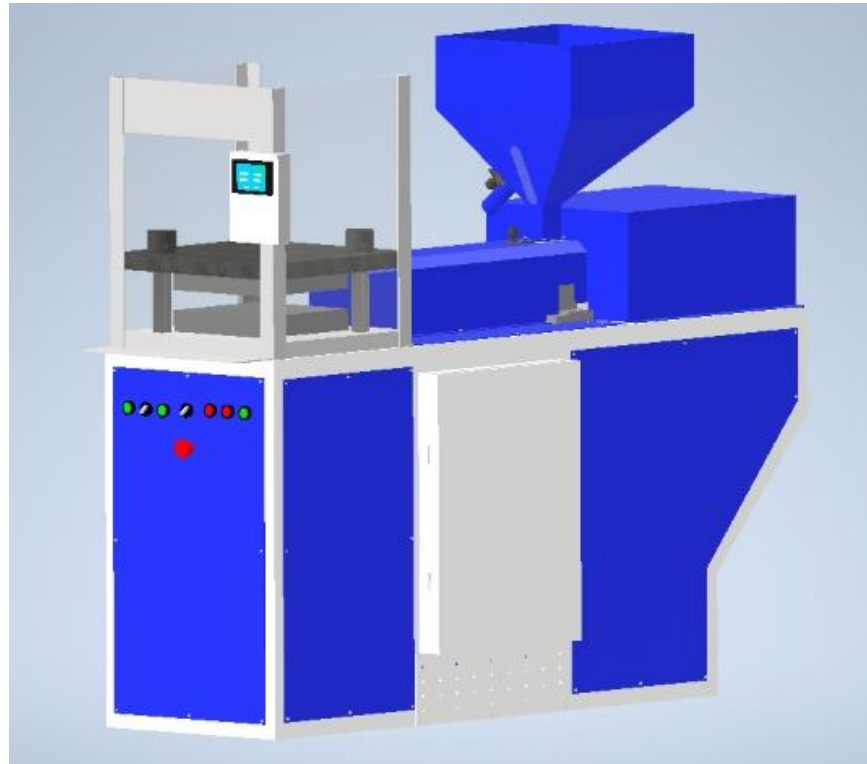


Diseño CAD



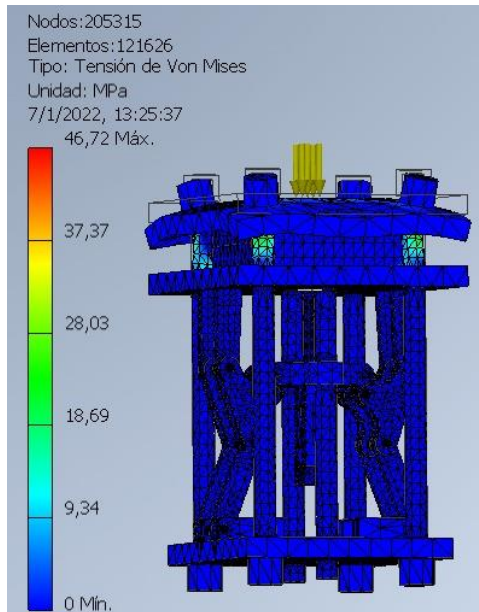
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

***Módulo 1 y 2, Alimentación de material y control de temperatura /  
Control secuencial de la prensa e inyección de material.***



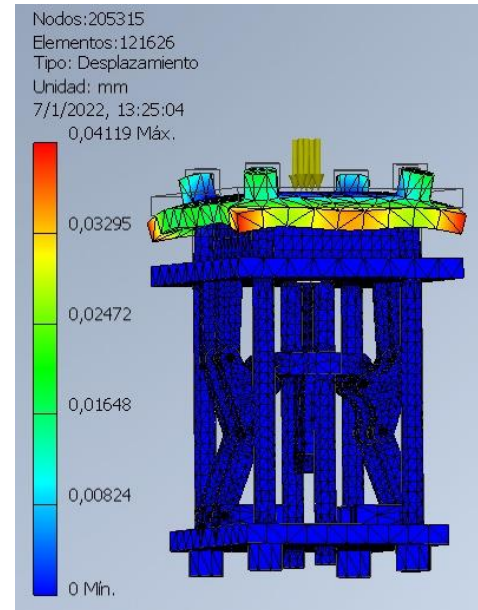
## Análisis estructural del mecanismo (prensa)

### Tensión de Von Misses



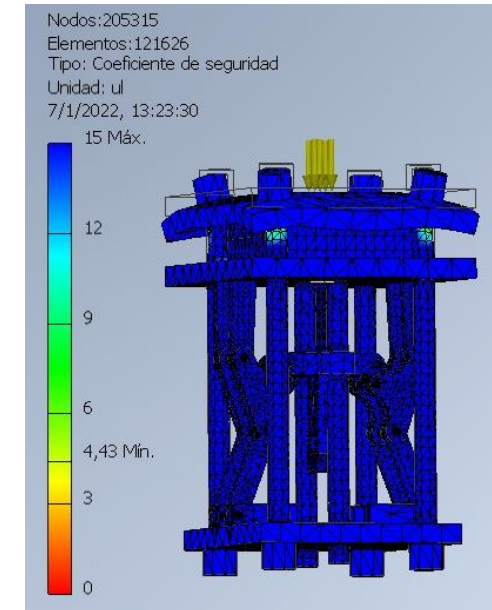
$max = 46,72 \text{ MPa}$

### Desplazamiento



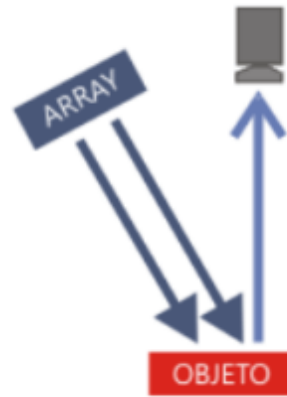
$d. max = 0,041 \text{ mm}$

### Factor de seguridad

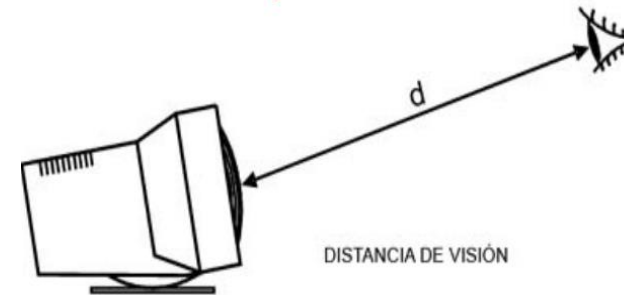


$N = 4,43$

***Módulo 3 y 4 , Control de calidad y Monitoreo de la producción***

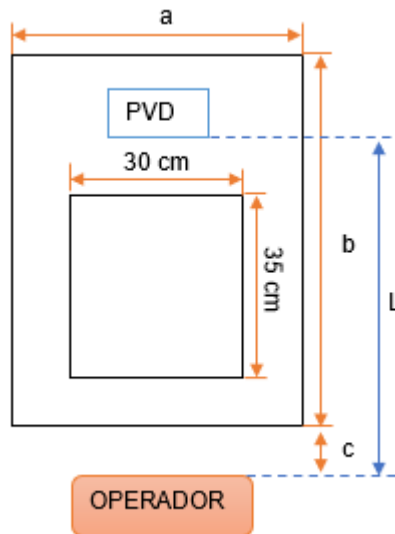


***Ubicación de la cámara  
e Iluminación***

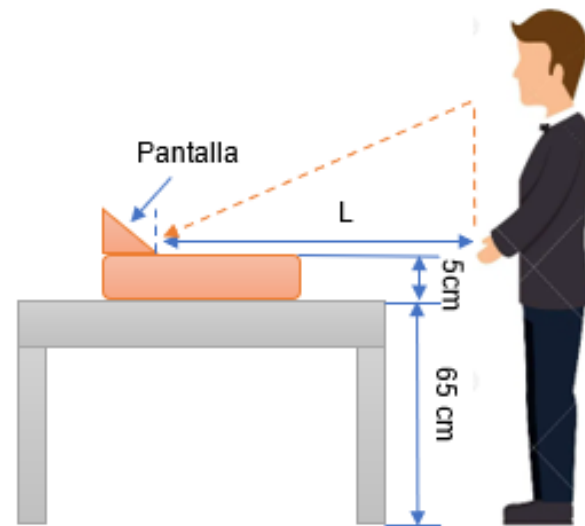


***Pantalla de  
visualización***

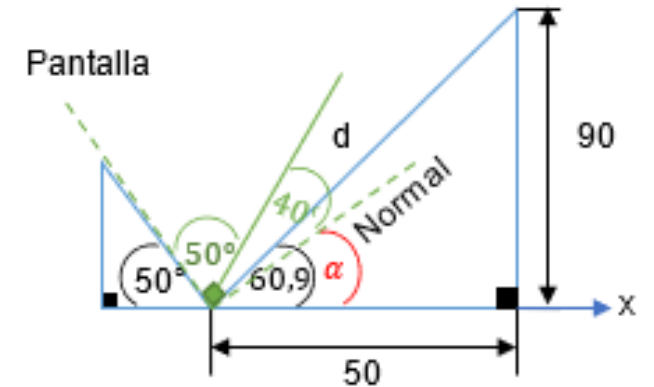
**Módulo 3 y 4 , Control de calidad y Monitoreo de la producción**



**Dimensiones de la base**



**Ubicación del control de calidad**



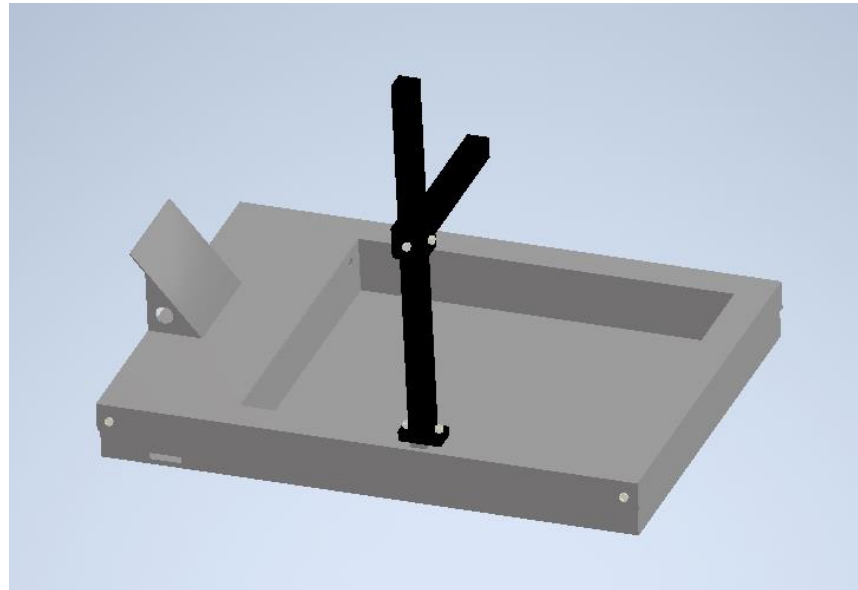
$$d = 102,95 \text{ cm}$$

$$80^\circ > 60,9^\circ > 40^\circ$$

**Análisis del ángulo de visión**

***Módulo 3 y 4 , Control de calidad y Monitoreo de la producción***

---

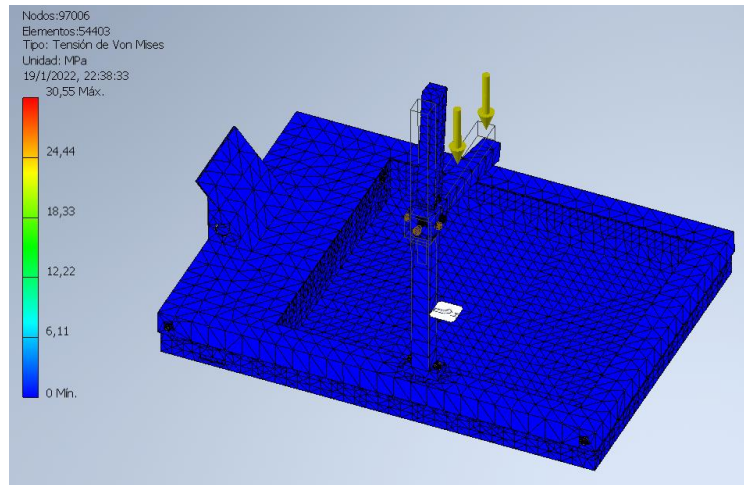


Diseño CAE de la estructura



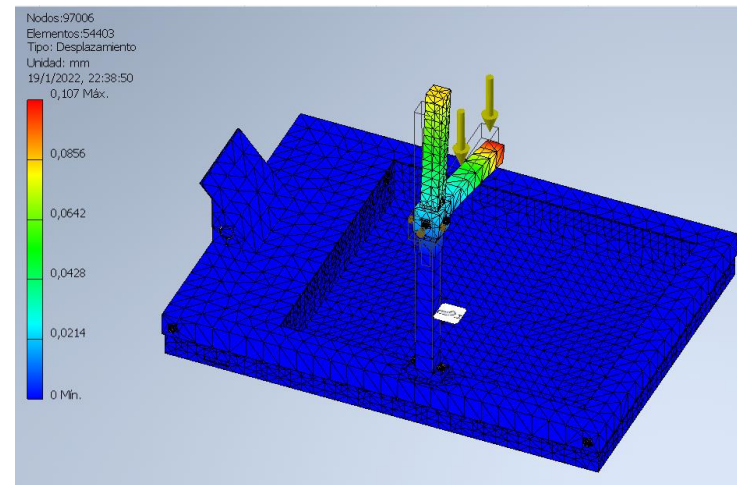
**Módulo 3 y 4 , Control de calidad y Monitoreo de la producción**

**Tensión de Von Misses**



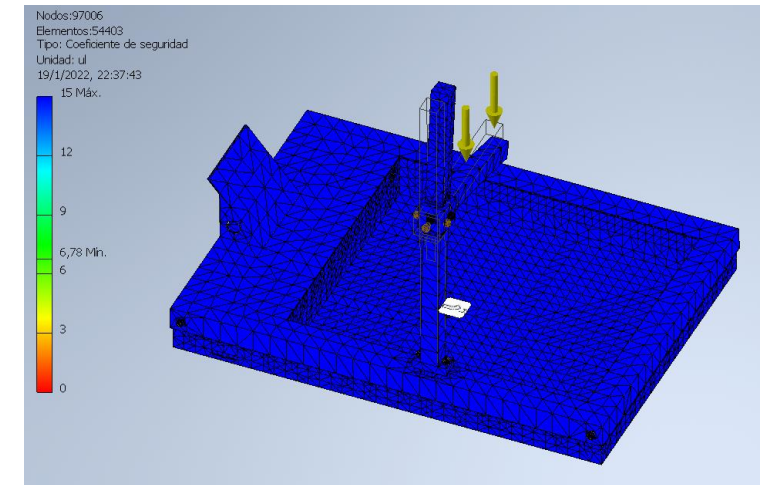
$max = 30,55 MPa$

**Desplazamiento**



$d. max = 0,107 mm$

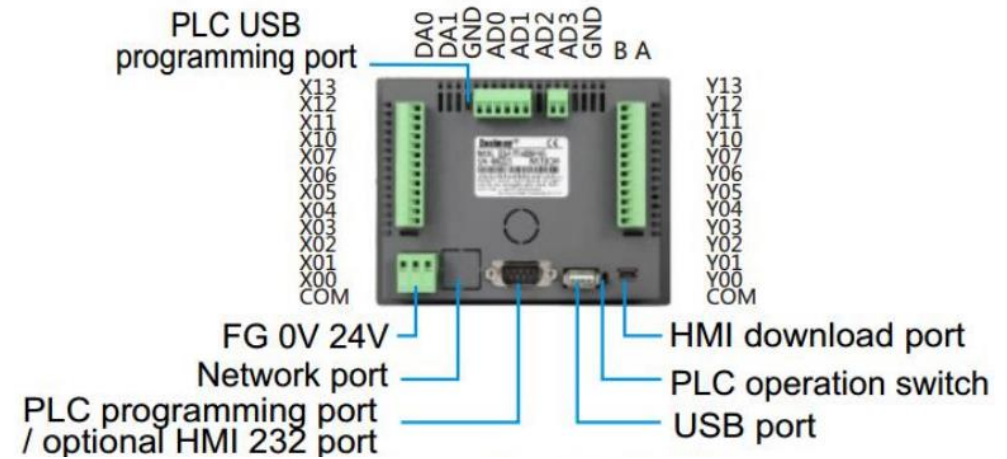
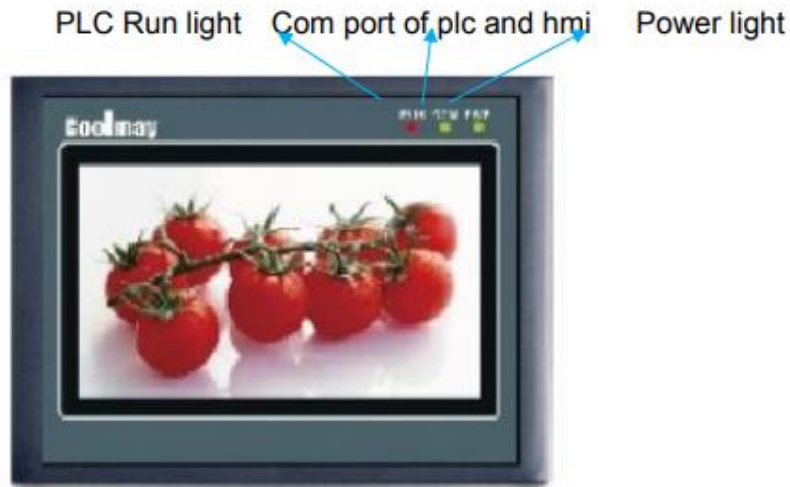
**Factor de seguridad**



$N = 6,78$



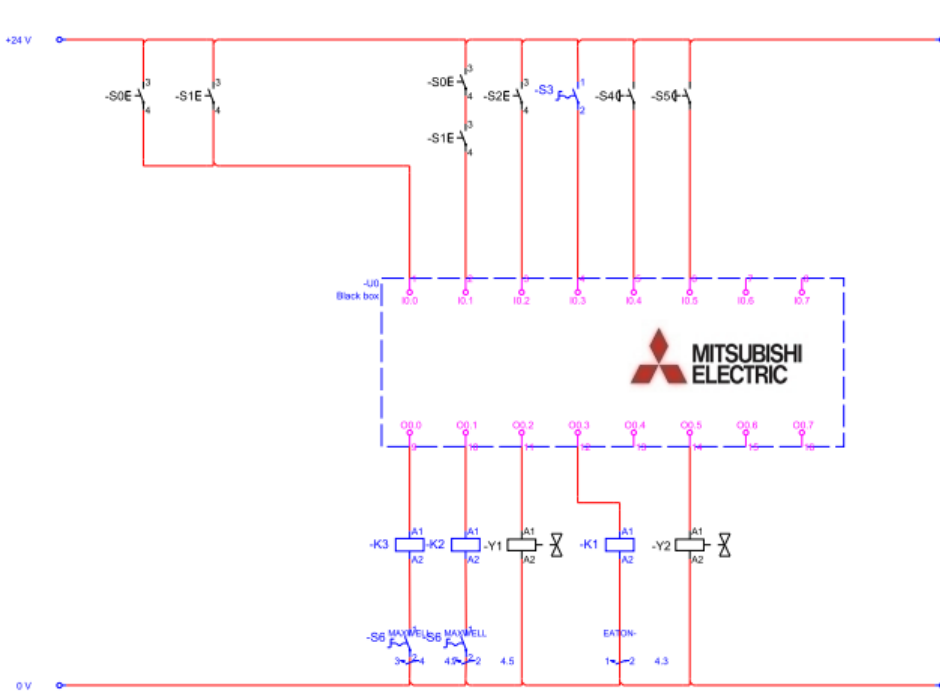
**Módulo 1 y 2, Alimentación de material y control de temperatura / Control secuencial de la prensa e inyección de material.**



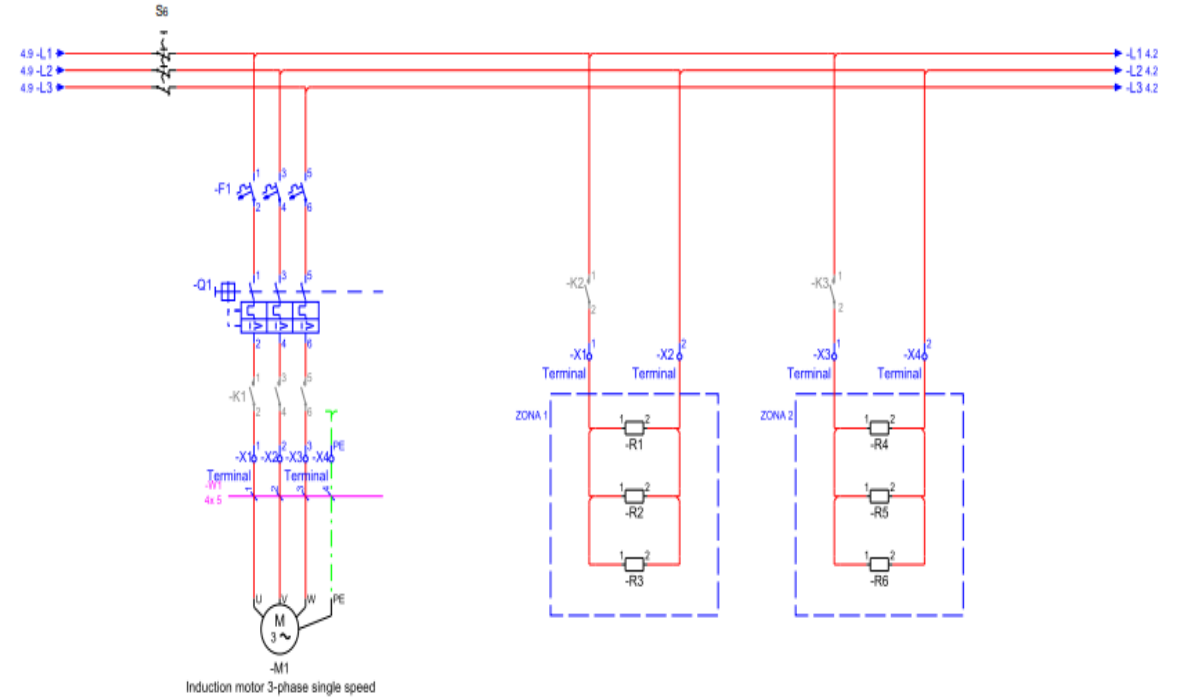
EX2N 43H 16 M RT 4AD 2DA V A0 485P



## Circuito de control



## Circuito de Potencia





## Selección de elementos de protección

### Relé de estado sólido MS-1DA4825



**MS-1DA**    
① ② ③

① **Basic Model Name**

**MS-1DA:** Maxwell 1 phase SSR (DC to AC type)

② **Rated Load Voltage**

48	480VAC
66	660VAC
120	1200VAC

③ **Rated Load Current**

10	10A
25	25A
40	40A
60	60A
80	80A
100	100A
120	120A

**MS-1DA4825:** single phase DC to AC SSR (25A load 480VAC)

Load Voltage	240V / 480V / 660V / 1200V
Control Voltage	3-32V DC
Control Current	3-25mA DC
On Voltage Drop	≤1.5V
Off-leakage Current	≤2mA
On-off Time	≤10mS
Dielectric Strength	2500V AC
Insulation Resistance	100MΩ/ 500VDC
Ambient Temperature	-30°C~+75°C
Mounting	Chassis mount
Indicator	LED
Weight	0.135kg

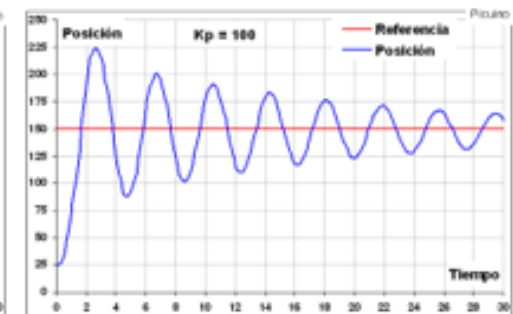
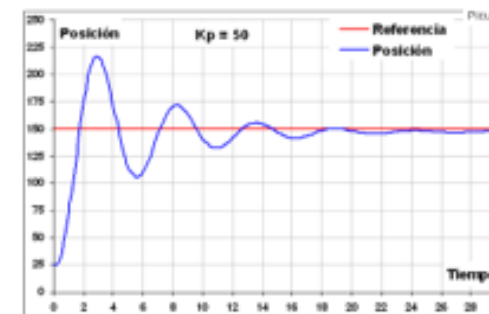
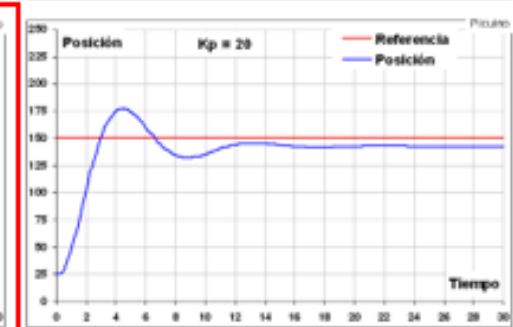
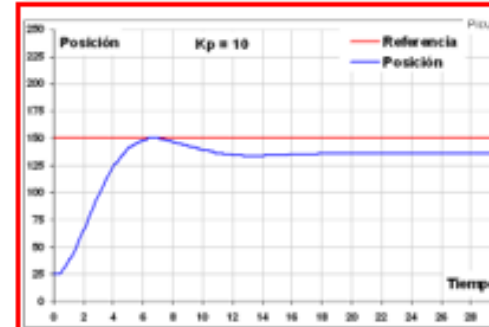
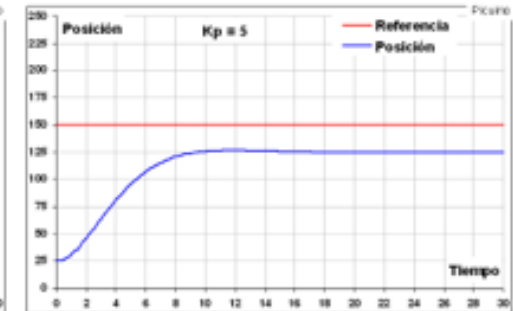
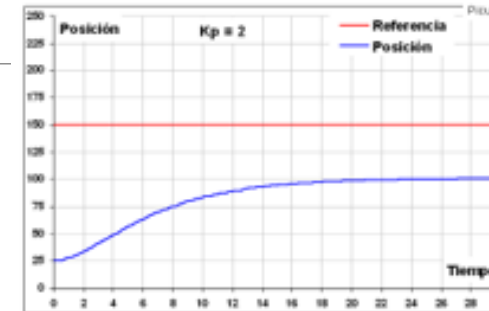
**Standard Stock Range**

CODE	DESCRIPTION	PRICE
<b>MS-1DA4810</b>	Solid State Relay DC Control 10A	<b>€12.50</b>
<b>MS-1DA4825</b>	Solid State Relay DC Control 25A	<b>€13.50</b>
<b>MS-1DA4840</b>	Solid State Relay DC Control 40A	<b>€19.00</b>
<b>MS-1DA4860</b>	Solid State Relay DC Control 60A	<b>€29.50</b>

## Sistema de control

El control ON – OFF

Controles con sus acciones básicas	Controles con combinaciones
Proporcionales (P)	Proporcional integral (PI)
Integrales (I)	Proporcional derivativo (PD)
Derivativos (D)	Proporcional integral derivativo (PID)



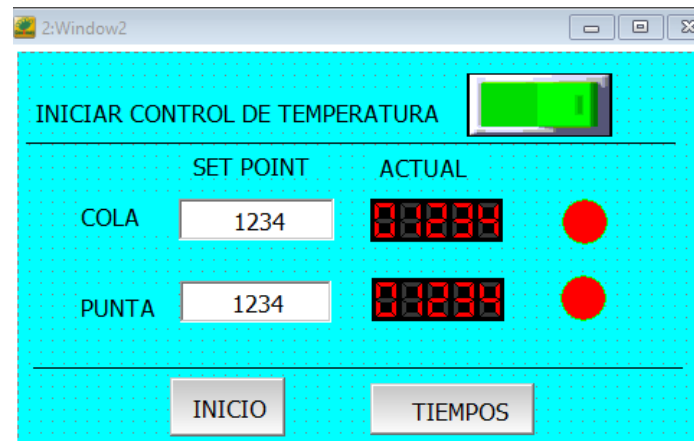


Diseño Eléctrico y de control

**HMI 1. Pantalla de inicio**

**HMI 2. Pantalla para control de temperaturas en 2 zonas**

**HMI 3. Pantalla para tiempos de inyección y enfriamiento**



## Algoritmo de Control de Calidad y Monitoreo

### Área de las plantas de calzado



### Color de las plantas de calzado

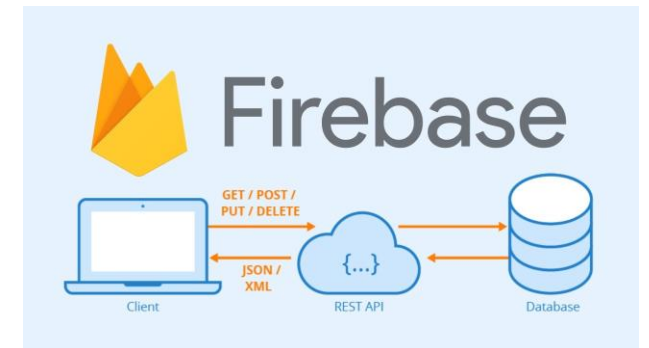


cv2.MORPH\_OPEN



cv2.MORPH\_CLOSE

### Monitoreo remoto en Firebase



## Algoritmo de Control de Calidad y Monitoreo

### Interfaz Tkinter



## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



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

### *Limpeza y restitución de cilindro de inyección*





## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



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

### *Regeneración de componentes mecánicos deteriorados por oxido*



#### 4. Construcción, Pruebas y Resultados



#### *Regeneración de tapa de cilindro de inyección*



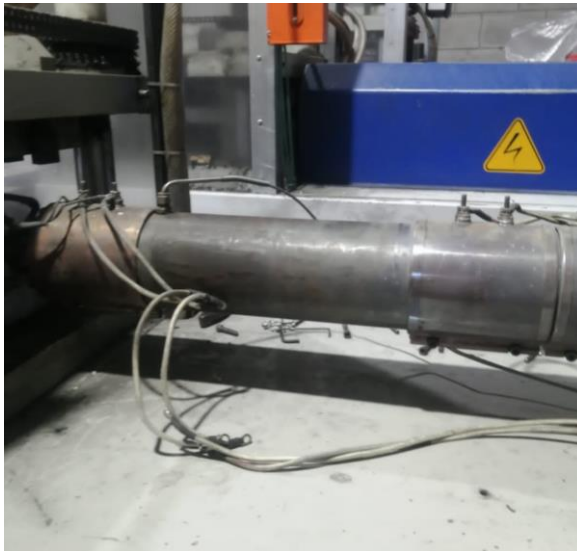


## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



### Reinserción de componentes eléctricos inservibles

#### Resistencias faltantes



#### Relés de estado sólido inservibles

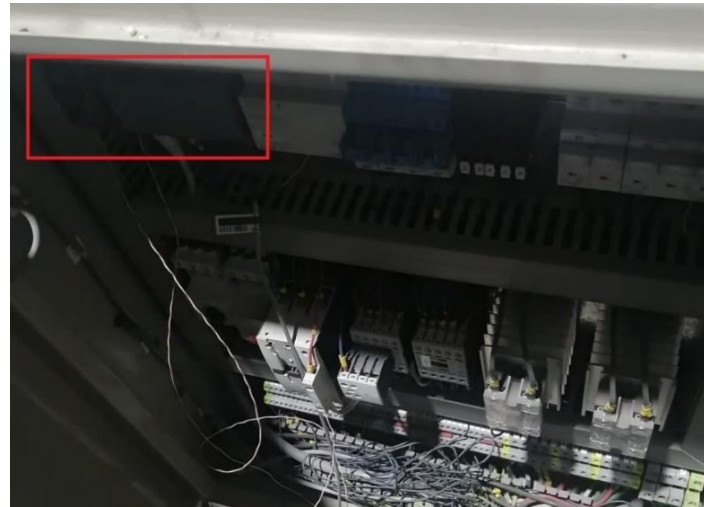


## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



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

### Implementación de controlador lógico programable



## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



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

### Implementación de control de calidad y monitoreo remoto



Control de Calidad - INSTALCOM

ESPE  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

INGENIERÍA MEGATRONICA  
ESPE - LATACUNGA

Eliminar Registros

Blancos	Cafés
Calidad: 83	Calidad: 93
Descripción: Planta Mala Calidad	Descripción: Planta Buena Calidad
Porcentaje: <div style="width: 83%;"><div style="width: 83%;"></div></div>	Porcentaje: <div style="width: 93%;"><div style="width: 93%;"></div></div>

## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



### Pruebas y Resultados

#### Pruebas de duración de un ciclo de producción

Núm. De Prueba	Tiempo de producción (en segundos)
1	41.2
2	41.4
3	41
4	41.3
5	41.2
6	41.3
7	41
8	41.4
9	41.2
10	41.1
<b>Promedio</b>	<b>41.21</b>

#### Pruebas de calidad en plantas blancas

Pruebas con muestras blancas		
Núm. de Prueba	Resultado obtenido	Porcentaje de calidad
1	Buena calidad	97%
2	Buena calidad	94%
3	Buena calidad	94%
4	Buena calidad	96%
5	Buena calidad	97%
6	Buena calidad	95%
7	Buena calidad	93%
8	Buena calidad	97%
9	Buena calidad	96%
10	Buena calidad	94%
<b>Porcentaje de plantas de buena calidad: 100%</b>		
<b>Porcentaje de calidad:</b>		<b>95.3%</b>

#### Pruebas de calidad en plantas cafés

Pruebas con muestras cafés		
Núm. de Prueba	Resultado obtenido	Porcentaje de calidad
1	Mala calidad	84%
2	Buena calidad	94%
3	Buena calidad	94%
4	Buena calidad	96%
5	Buena calidad	97%
6	Buena calidad	95%
7	Buena calidad	93%
8	Buena calidad	97%
9	Buena calidad	96%
10	Buena calidad	94%
<b>Porcentaje de plantas de buena calidad: 90%</b>		
<b>Porcentaje de calidad:</b>		<b>94%</b>

## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



### **Validación de Hipótesis**

La automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción permitirá mejorar el proceso de producción y la calidad del producto final en la empresa INSTALCOM.

### **Validación de pares producidos por hora**

Método *T Student*

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$\bar{X} = 41.5$$

$$T = \frac{41.5 - 50}{1.269/\sqrt{10}} = -21.18$$

$$T < t_{\alpha}$$

$$H_0 = \mu < 50 \text{ s}$$

$$S = 1.269$$

$$-21.18 < 1.3277$$

$$H_1 = \mu \geq 50 \text{ s}$$

$$gl = n - 1 = 9$$

**Se acepta la hipótesis nula**



## Validación de Hipótesis

### Validación de la calidad de pares producidos

---

$$H_0 = \mu \geq 90 \%$$

$$gl = 20 - 1 = 19$$

$$H_1 = \mu < 90 \%$$

$$T = \frac{94.65 - 90}{2.870 / \sqrt{20}} = 7.24$$

$$\bar{X} = 94.65$$

$$T > t_\alpha$$

$$S = 2.870$$

$$7.24 > 1.729$$

**Se acepta la hipótesis nula**



## 4. Construcción, Pruebas y Resultados



### Comparación con máquina en el mercado internacional



Máquina	Injectora de plantas de calzado INSTALCOM	Máquina rotativa automática de PVC, Wenzhou Deyu Machinery Modelo 1124B
Control automático	SI	SI
Control de calidad	SI	NO
Monitoreo remoto	SI	NO
Estaciones de trabajo	1	10
Colores de trabajo	1	1
Origen	Ecuador	China
Precio	10459	30000

Máquina	Injectora de plantas de calzado INSTALCOM	Máquina de inyección de PVC, Wuchuan Shunda Machinery Factory, Modelo SD-43L225S-PB
Control automático	SI	SI
Control de calidad	SI	NO
Monitoreo remoto	SI	NO
Cantidad de estaciones	1	1
Colores de trabajo	1	3
Origen	Ecuador	China
Precio	10459	23500

## ***Conclusiones***

---

- Se automatizó el proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa INSTALCOM ubicada en la ciudad de Ambato.
- Mediante las pruebas realizadas se concluye que: la máquina inyectora tiene la capacidad de producir un par de plantas de calzado en 41.5 segundos, a esto se adiciona un tiempo estimado de 12 segundos para que el operario retire las plantas de calzado se obtiene un lapso total de 53 segundos, produciendo 68 pares de plantas por hora y satisfaciendo las necesidades de producción.





## **Conclusiones**

---

- Se obtiene un error absoluto de 5.35 % respecto de una planta de 100% de calidad, garantizándose que la producción supera el 90% de calidad y es apta para su comercialización.
- Se obtuvo un 100% de aciertos en las pruebas de funcionamiento del control de calidad, lo que permite determinar que el sistema es eficaz.
- El control de calidad implementado permite la detección temprana de errores en el producto mediante los cuales se puede tomar acción inmediata antes de que se desarrolle toda la producción.
- El HMI implementado permite observar que la temperatura de trabajo y el tiempo de inyección sean apropiados para el proceso, además de ser amigable con el operador.

## ***Conclusiones***

---

- El control proporcional seleccionado demostró ser adecuado para el proceso, manteniendo la temperatura de trabajo cerca del valor de Set Point durante todo el proceso de producción.
- Se realizó la selección de componentes en base a un análisis cuantitativo, permitiendo determinar la mejor alternativa bajo criterios específicos siendo de gran ayuda para que el proyecto sea exitoso.
- El sistema de monitorización remota implementado muestra en tiempo real la inspección de calidad realizada en las plantas de calzado, permitiendo que el resto del personal, jefe de producción y propietario de la maquinaria se mantengan al tanto de la calidad en la producción.
- El desarrollo de este proyecto al implementar un sistema de control de visión y monitorización remota permite que la empresa se integre a industria 4.0

## ***Recomendaciones***

---

- El manejo de la máquina inyectora se debe realizar únicamente con personas que tengan experiencia en este tipo de maquinaria por los riesgos que presenta, tal es el caso del proceso de inyección, ya que cuando hay material quemado dentro del cañón este puede producir explosiones.
- Para realizar mejoras a la máquina inyectora se debe tomar en cuenta consideraciones, puntos de vista, criterios y sugerencias de los operarios y personas que conozcan el funcionamiento de la máquina inyectora.
- Se recomienda fijar correctamente el molde superior e inferior ya que el material se puede desbordar evitando que el molde se llene por completo, entonces el producto no obtendría la forma deseada.



## Recomendaciones

---

- Se recomienda hacer mantenimiento a la unidad de inyección y retirar todo el material que este dentro del cañón para evitar que se cristalice y se adhiera a las paredes del cilindro generando fallas en el control de temperatura por fricción.
- Colocar las plantas de calzado por pares y dentro del rango visible de la cámara para obtener un buen control de calidad, ya que la técnica de visión aplicada al control es mediante áreas y si no detecta el área total de las plantas puede mostrar mensajes erróneos.
- Evitar el giro del tornillo sin fin cuando el material aún se encuentra en estado sólido, ya que puede obstruir el paso en la boquilla de inyección, provocando que se detenga la producción y se requiera de mantenimiento para la respectiva limpieza, ocasionando pérdidas económicas y de tiempo para la empresa.



**GRACIAS**