



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



**Ingeniería Mecatrónica**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO CON SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE PARA LA SUPERVISIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EN TIEMPO REAL PARA EL EMPAQUETADO DE PRODUCTOS.**

**DARÍO JAVIER BORJA CARRERA  
BYRON FABIÁN CHICAIZA MANOTOA**

**TUTORA: ING. PATRICIA CONSTANTE MS.C**





# INTRODUCCIÓN

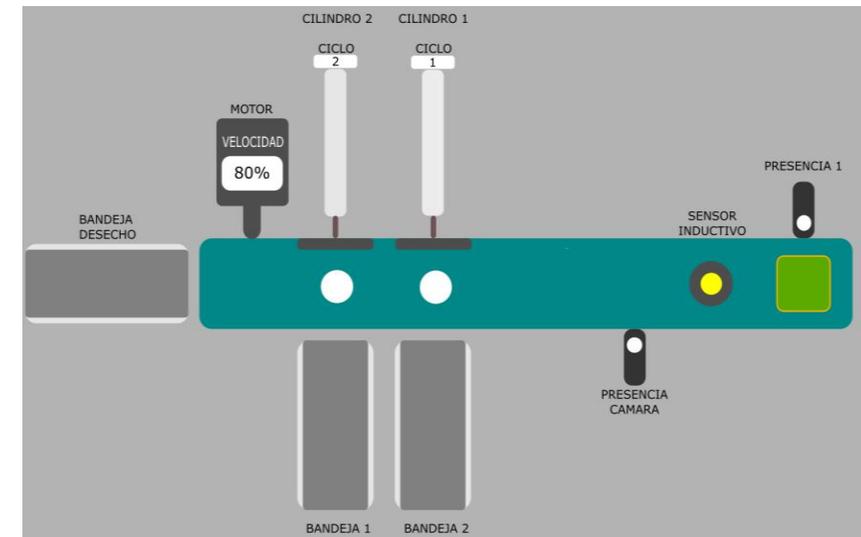
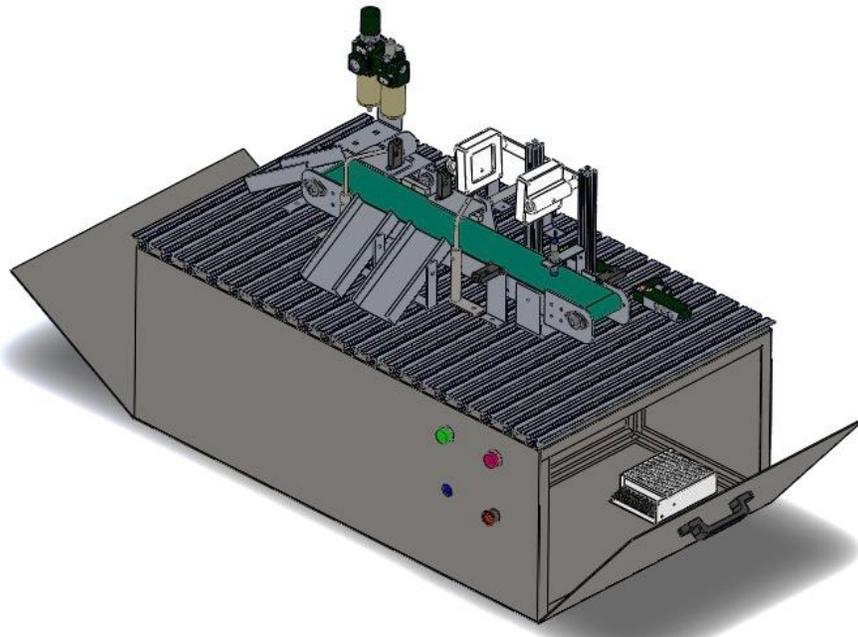
El presente trabajo trata sobre el diseño e implementación de un sistema Ciber - Físico con software y hardware libre para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos, el cual está enfocado al análisis previo al empaquetado de productos que es el control de calidad en piezas. El sistema será capaz de clasificar piezas por tres métodos, tipo de material, color y forma. La interfaz gráfica será un medio en el cual el usuario podrá ver en tiempo real el funcionamiento del módulo, a la vez acceder a datos como históricos, graficas, alertas generados por el módulo Ciber-Físico con la ayuda de un navegador de internet tanto para PC como dispositivos móviles. Este proyecto está enfocado a automatizar a una empresa ecuatoriana e introducirse a la actual industria 4.0 sin necesidad de recurrir a sistemas de precios elevados con licencia privativas, también será un apoyo para a los alumnos de la carrera de Mecatrónica para realizar prácticas de laboratorio de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE.





# PROPUESTA

Diseño de un sistema Ciber-Físico con software y hardware libre para el control de calidad y monitoreo en tiempo real de manufacturas, este módulo al contar con licencias de software y hardware libre disminuye el costo de implementación del sistema en una industria, además de dotar a la industria ecuatoriana de características innovadoras del actual mundo tecnológico de la industria 4.0.





## OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema ciberfísico básico con software y hardware libre para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos.





# NECESIDADES

NRO.	NECESIDADES
1	Adquisición de datos
2	Sensores y equipos interconectados
3	Monitoreo en tiempo real
4	Flexibilidad
5	Modularidad
6	Toma de decisiones
7	Bajo Costo
8	Fácil de reparar
9	Robusto
10	Tamaño



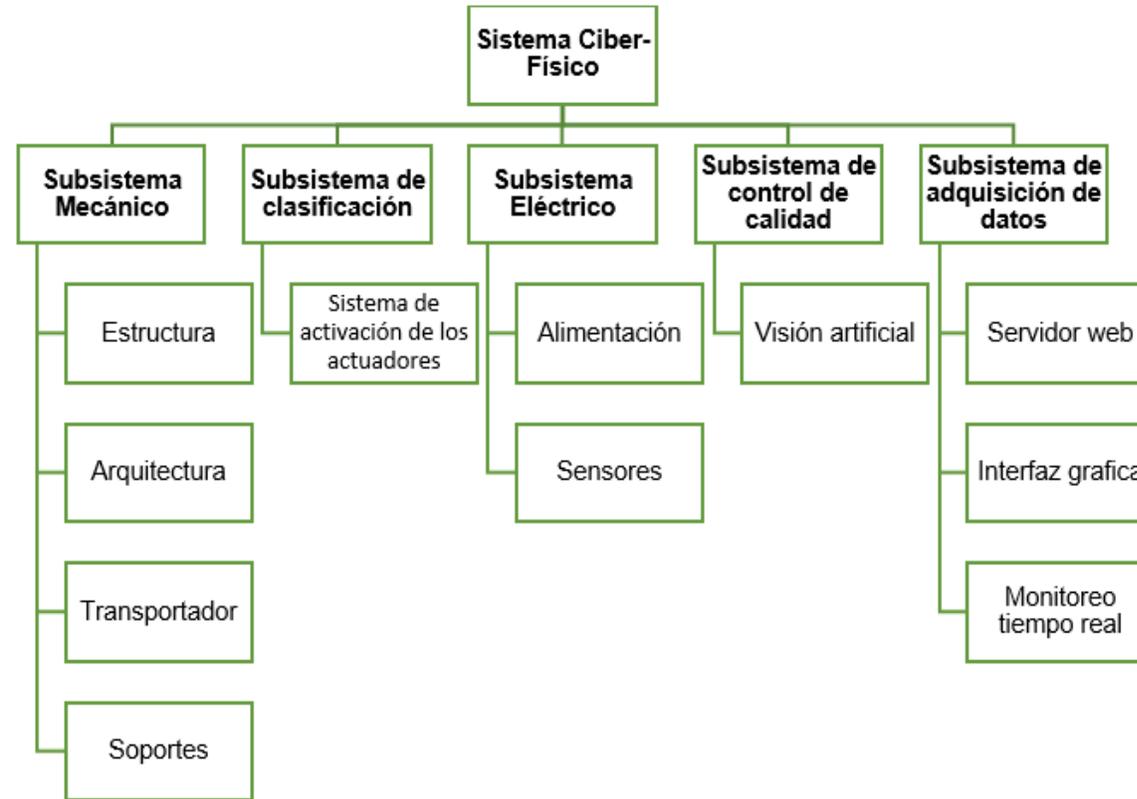
# RESULTADOS QFD

Nr o.	Característica Técnica	Porcentaje (%)
1	Software	17.3
2	PLC	15.4
3	Arquitectura	11.6
4	Protocolos de comunicación	10.7
5	Velocidad de comunicación	8.6
6	Dimensiones	8.4
7	Hardware	7.6
8	Aplicaciones	6.3
9	Resistencia del material	6.0
10	Almacenamiento	5.5
11	Tiempo de aprendizaje	2.6
Total		100%





# DISEÑO DEL SISTEMA





# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para la selección de los componentes se establece una comparación entre posibles opciones que cumplan con las especificaciones, para luego ser evaluados mediante la metodología de (Ulrich & Epingler, 2013)

Desempeño	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que a la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5





# SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA MECÁNICO

## TIPO DE MATERIAL

La mejor opción para la construcción es el acero inoxidable, lo hace idóneo para la construcción de soportes y demás partes del módulo que no requieren soldadura al poseer una alta practicidad



## ARQUITECTURA

la arquitectura de tipo bus al permitir colocar elementos al mismo nivel, esta característica hace que el módulo Ciber-Físico sea flexible y de fácil ensamble

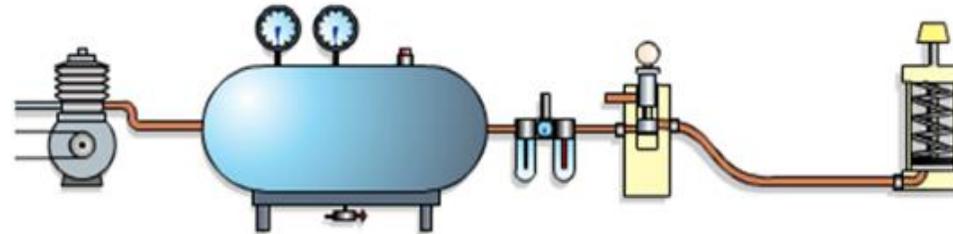




# SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE CLASIFICACIÓN

## SISTEMA DE ACTIVACIÓN DE ACTUADORES

De acuerdo al tipo de trabajo que se desea realizar en el módulo, la opción neumática es la adecuada ya que no requiere de tanta presión al empujar la pieza al contenedor, y al ser un proceso repetitivo el sistema neumático.

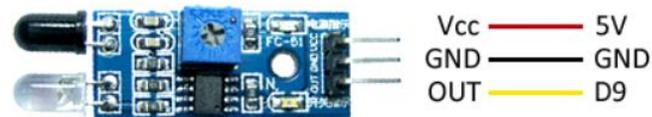




# SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA ELECTRÓNICO

## SENSORES DE PRESENCIA

El módulo detector de Arduino es el más idóneo ya que las piezas que se requiere detectar son pequeñas y no requieren de una distancia mayor a las 50cm, también la calibración del sensor se lo hace por medio de un potenciómetro de fácil ejecución, lo cual hace a este sensor ideal para la detección de las piezas en el módulo Ciber-Físico.



## SENSOR DETECTOR DE PIEZAS MECÁNICAS

La opción ideal es la del sensor inductivo ya que al poseer una distancia mayor los objetos a analizar no rozaran con el sensor causando daños, o desestabilizándolo,





# DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

## PLC

la opción ideal es del Mduino 21+ ya la empresa que fabrica y vende este PLC brinda soporte para el mismo, cuenta con el número suficiente de entradas y salidas, además una característica que lo hace idóneo es sus entradas opto aisladas que lo protegen de tensiones elevadas





# DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

**Cámara:** La función de este dispositivo es la de adquirir imágenes de las piezas para ser luego procesadas, si la imagen es de baja calidad es necesario aplicar más filtros, por ello la cámara cumple un papel importante en el control de calidad



**Raspberry Pi:** es una mini computadora de bajo costo y de tamaño reducido óptimo para aplicaciones que requieren de componentes pequeños, además de contar con wifi, bluetooth, la hacer una de las mejores opciones a la hora de elección, cuenta con un microprocesador Quad Core Cortex A7 a 900MHZ, con 1GB de RAM, y expansión de memoria SD, entrada de periféricos y ethernet, es ideal para implementación de sistemas computarizados como visión artificial con buenas prestaciones, su entorno de programación es libre ya que está basado en LINUX.





## Sistema de adquisición y envío de datos

Para la adquisición y monitoreo de datos en tiempo real es necesario contar con un servidor que administre y analice los datos, con la ayuda de una interfaz gráfica en un navegador web que dará la posibilidad de observar todo el proceso del módulo.

### 2.8.1 Servidor web

Existen muchos tipos de servidor web para lo cual el modulo necesita una que sea capaz de transmitir información en tiempo real, El principio fundamental de este servidor web es almacenar datos y transmitirlos vía internet.

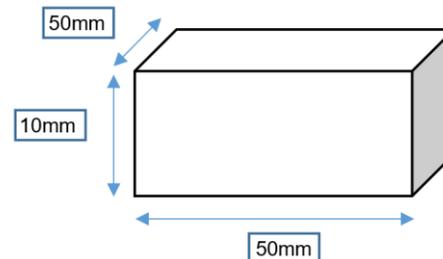




## Diseño Mecánico

Para el diseño mecánico se parte con las dimensiones de las piezas también se tomarán en cuenta varios aspectos como son: diseño de la estructura, diseño de la arquitectura, diseño de la banda transportadora y selección del motor con su respectivo driver, diseño de los soportes para los sensores, diseño del sistema neumático y selección del actuador, mientras que para el diseño electrónico se toman en cuenta las siguientes aspectos: conexión sensores y actuadores con el PLC, conexión de la cámara con la tarjeta controladora, conexión PLC con la tarjeta controladora, y selección de las fuentes de poder.

### Dimensiones del Producto





## • Diseño de la banda transportadora

Con las medidas globales de la pieza se establecer las medidas del sistema de transporte, la banda transportadora debe contar con 6 etapas, que son:

**Presencia:** detección de la pieza para iniciar el proceso.

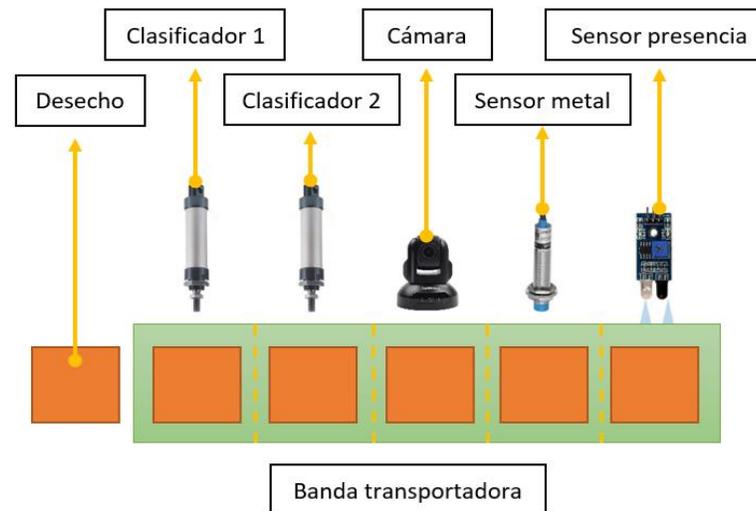
**Sensor material:** establece el tipo de material que se está analizando.

**Cámara:** realiza el control de calidad con visión artificial.

**Clasificador 1:** clasifica la pieza analizada según el método seleccionado.

**Clasificador 2:** clasifica la pieza analizada según el método seleccionado.

**Desecho:** piezas que no pasaron el control de calidad por diversos motivos.





- **MOTOR**

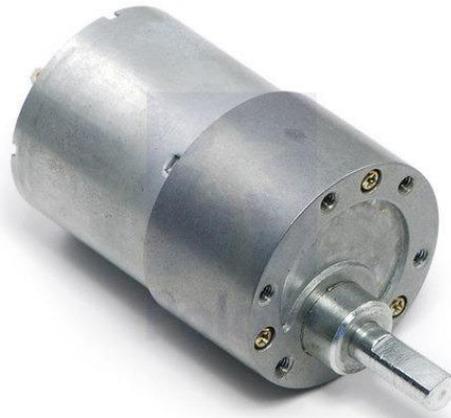
Una vez obtenido los valores del motor, se tiene los siguientes datos que el motor debe tener:

$$P = 0,828W$$

$$\tau = 40,77 \text{ onz} \cdot \text{in}$$

$$n = 34,898 \text{ rpm}$$

Pololu ofrece una amplia gama de moto reductores, al analizar las opciones existentes el motor que satisface todos los requerimientos es el Motor reductor Pololu 37D x 57L de una relación de transmisión de 131:1.

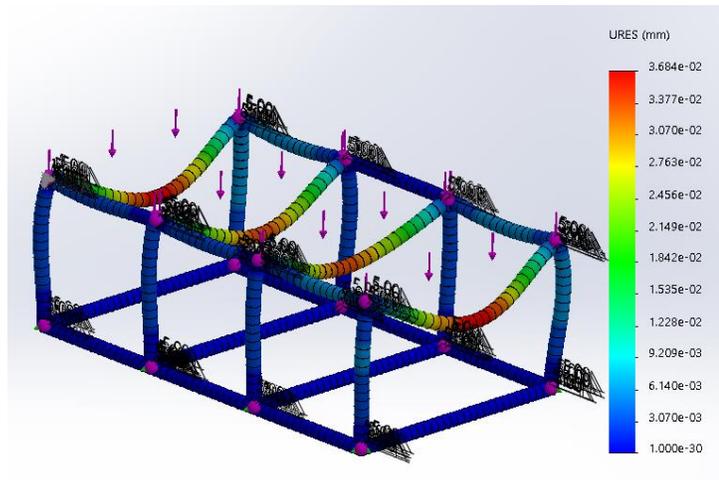


## DRIVER DEL MOTOR



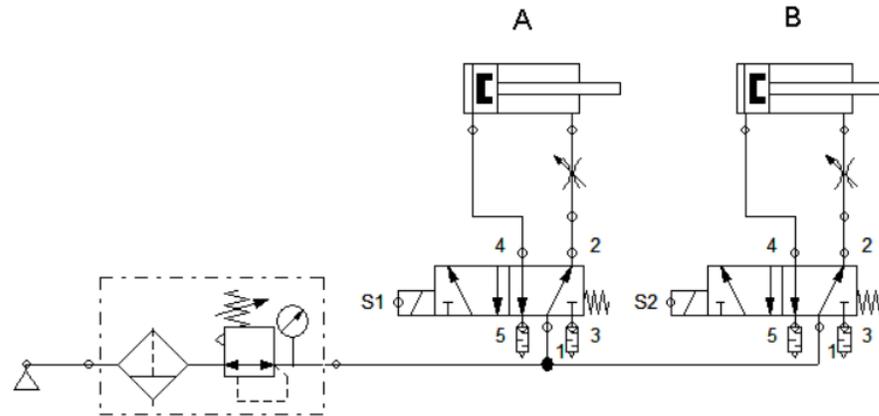
Características técnicas	Datos
Alimentación para motor	6.5V – 27V
Corriente Max salida	7A
Potencia salida total	160 W
PWM velocidad	10 KHZ
Pines de control	In 1, In 2
Alimentación	5V DC

## ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA BÁSICA

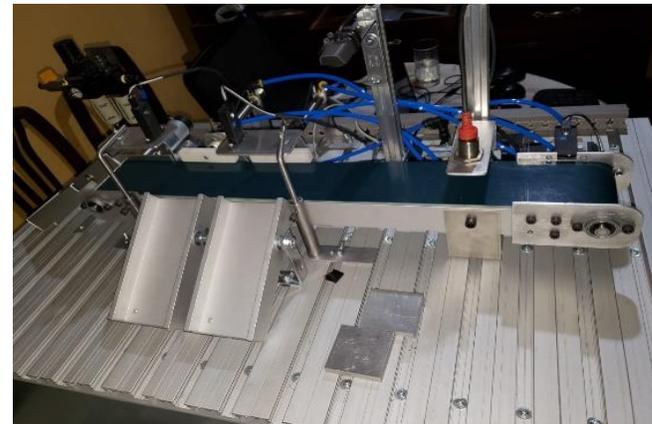
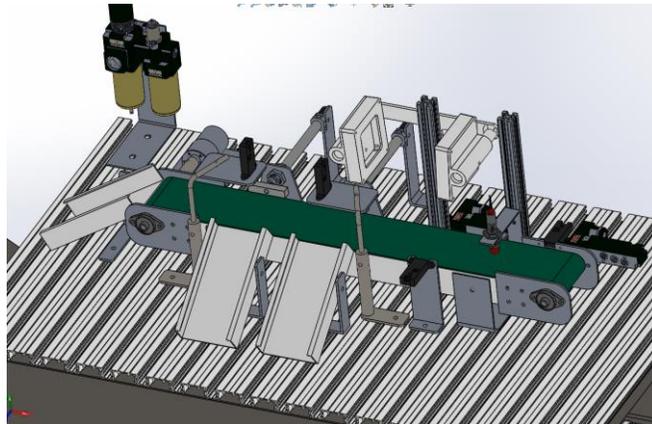


La deformación máxima de la estructura base es de 0.0368mm en los puntos medios de los ángulos como se puede apreciar en la Figura 37, considerando que la fuerza total aplicada en la parte superior de la estructura base es uniforme gracias a una placa de acero AISI 1080 colocada en la parte superior.

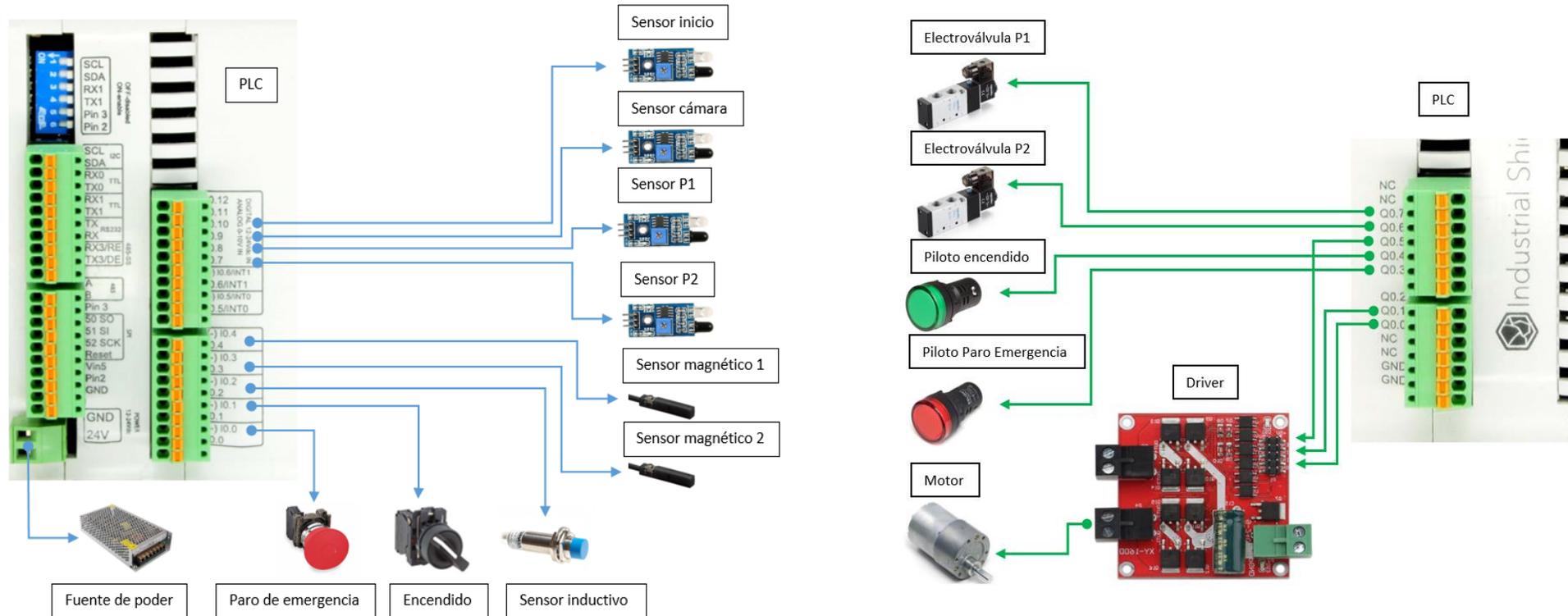
# SISTEMAS NEUMÁTICOS



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO

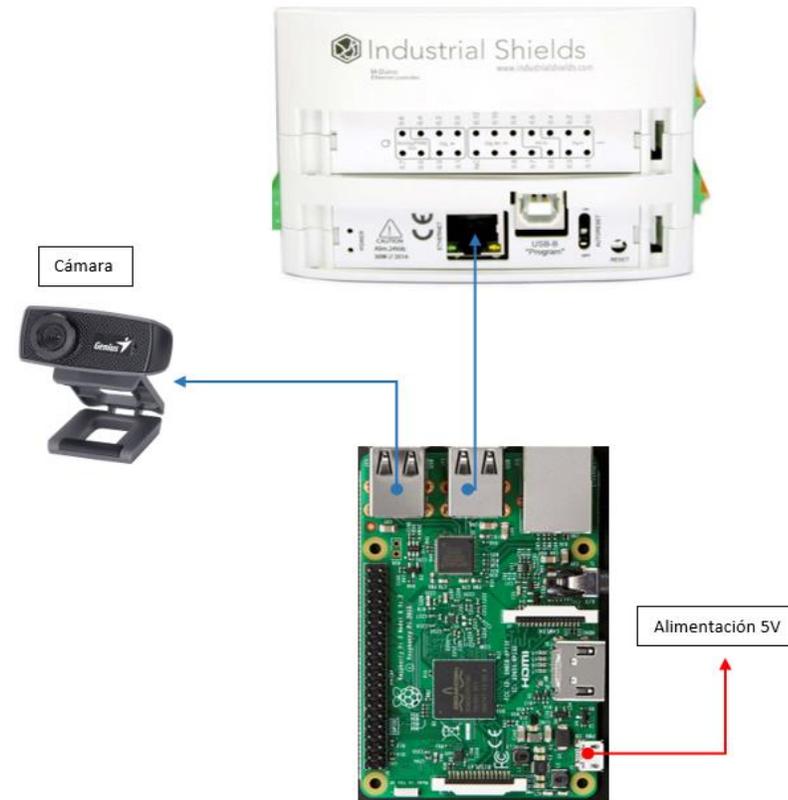


# Conexión de Sensores y Actuadores



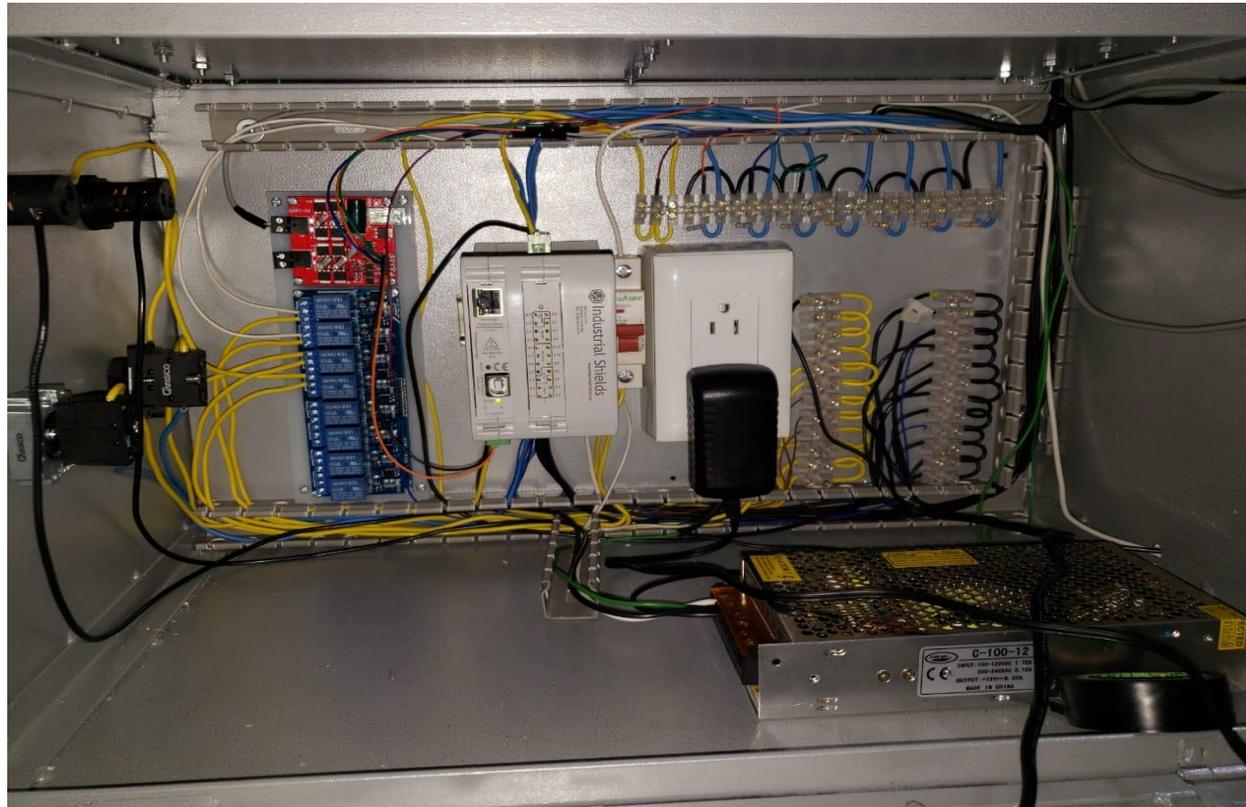


# Conexión de la cámara y Raspberry Pi



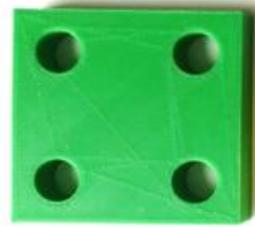


# Implementación electrónica



# Sistema de control de calidad y adquisición de datos

Piezas a clasificar:



(a) Cuadrado no metálico verde



(b) Círculo no metálico amarillo

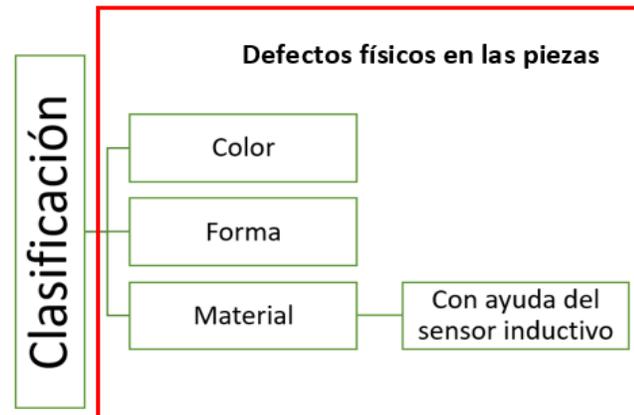


(b) Cuadrado metálico gris



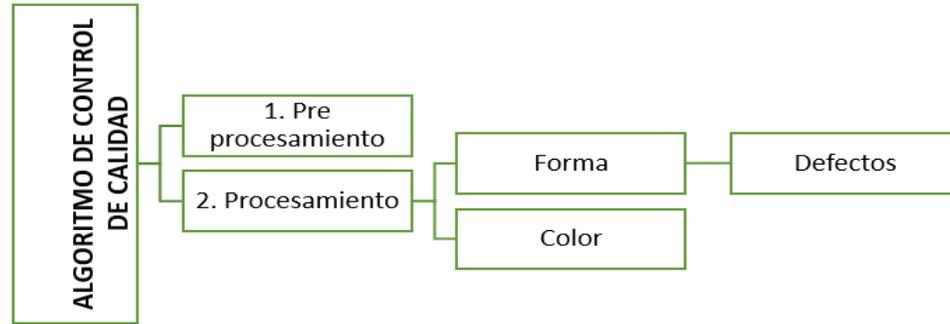
(b) Círculo no metálico verde

Categorías de clasificación:

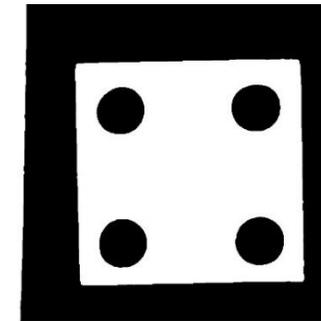
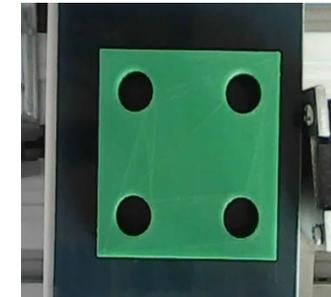
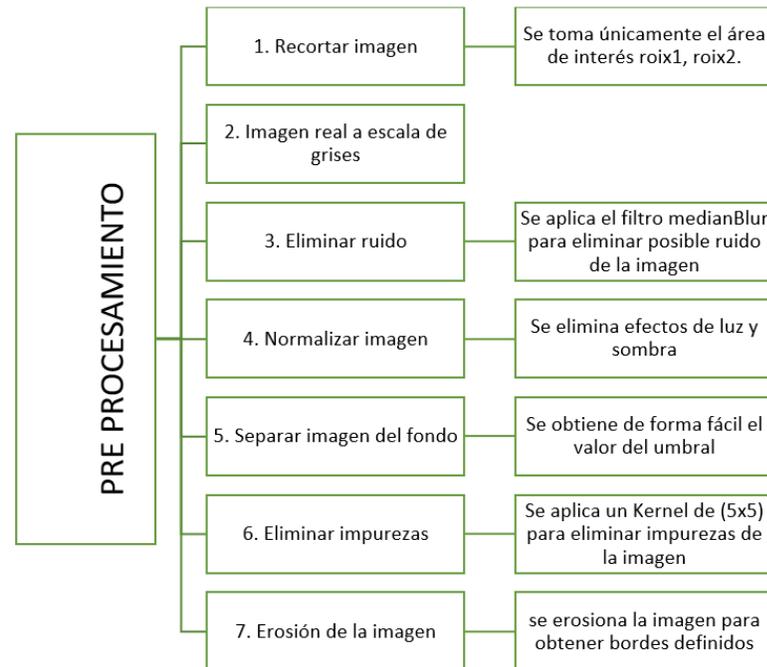




# Algoritmo de Control de calidad

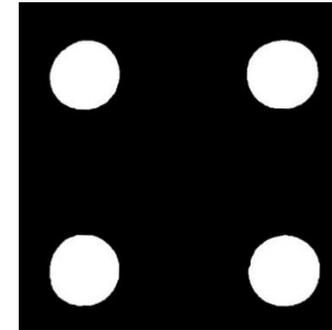
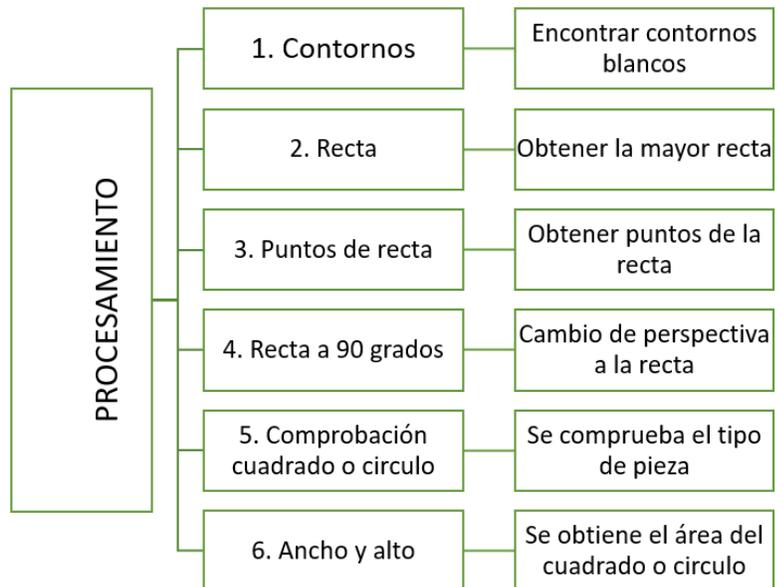


## Preprocesamiento

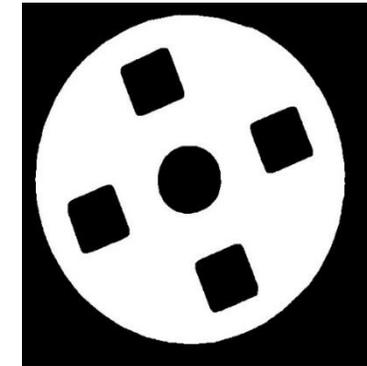
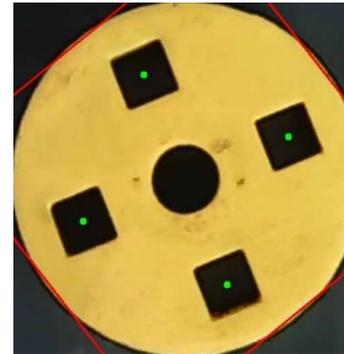
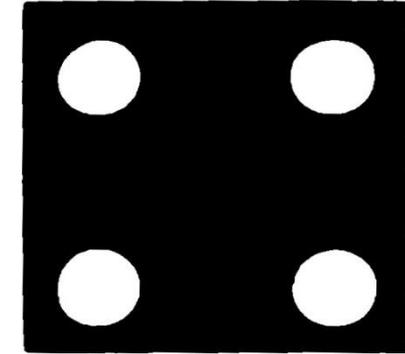
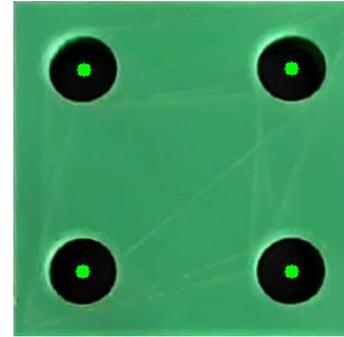
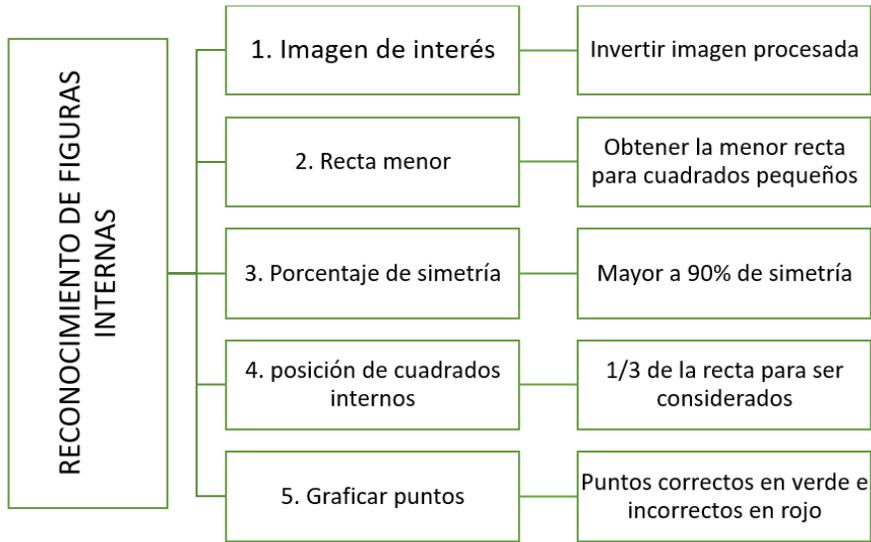




# Procesamiento

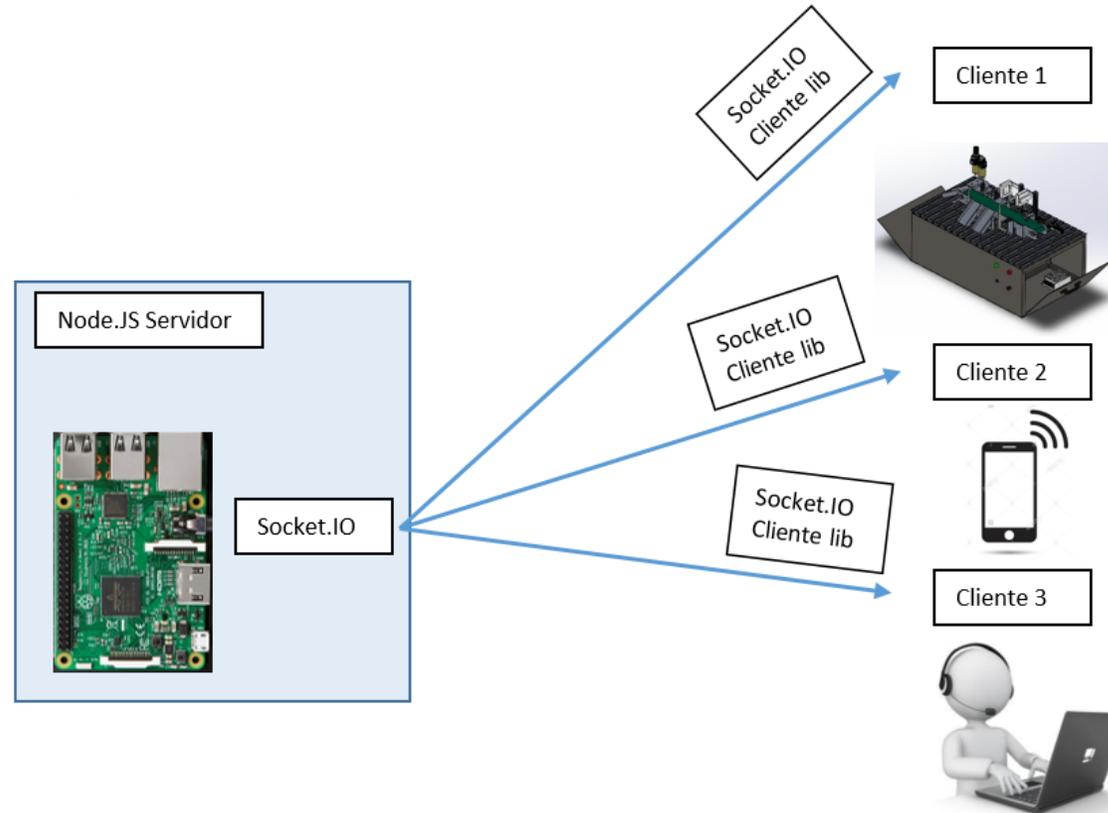


# Reconocimiento de figuras internas y color





# Servidor Web





# Pruebas y Análisis de resultados

- Prueba de Almacenamiento de datos

	N. de datos enviados	N. de datos registrados	Porcentaje de aciertos
Piezas	10	10	100%
Eventos de emergencia	10	10	100%

- Prueba de envío y recepción de Datos

	N. de ejecuciones	Ejecución de la acción	Porcentaje de acierto
Encendido	5	SI	100%
Paro de emergencia	5	SI	100%
Pistón 1	5	SI	100%
Pistón 2	5	SI	100%



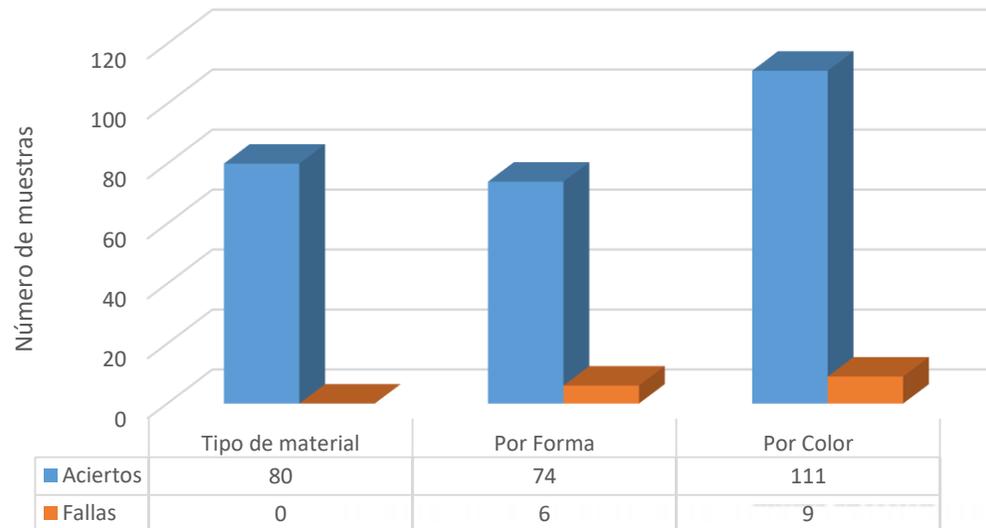


- Prueba de envío de datos del servidor Web

	N. de ejecuciones	Ejecución de la acción	Porcentaje de acierto
Sensor de inicio	5	SI	100%
Sensor inductivo	5	SI	100%
Sensor de la cámara	5	SI	100%
Sensor del pistón 1	5	SI	100%
Sensor del pistón 2	5	SI	100%

- Pruebas de Clasificación

TABULACIÓN DE DATOS





# Comprobación de Hipótesis

- **Variable Independiente:**  
Supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos.
- **Variable dependiente:**  
Sistema Ciber-Físico con software y hardware libre.
- **Hipótesis Nula (H0):**  
No es factible implementar un sistema Ciber-Físico para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos.
- **Hipótesis Alternativa (H1):**  
Es factible implementar un sistema Ciber-Físico para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos.





# Método de Chi Cuadrado

## Frecuencias Observadas

Clasificación Correcta	Clasificación por tipo de material	Clasificación por forma	Clasificación por color	TOTAL
SI	80	74	111	265
NO	0	6	9	15
TOTAL	80	80	120	280

## Frecuencias Esperadas

Clasificación Correcta	Clasificación por tipo de material	Clasificación por forma	Clasificación por color
SI	75,71	75,71	113,57
NO	4,29	4,29	6,43





# Método de Chi Cuadrado

	0,001	0,005	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10
g.d.l									
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236

$$6,340 > 5,991$$

Por tal motivo se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que es factible desarrollar un sistema Ciber-Físico con software y hardware libre para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos.





## CONCLUSIONES

- Se diseñó un módulo Ciber-Físico con software y hardware libre para el análisis de datos en tiempo real en el control de calidad de empaquetado de productos, para la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga obteniendo una confiabilidad de un 96% del sistema, siendo la principal desventaja la medición de los objetos por visión artificial.
- La incorporación de software y hardware libre permitió automatizar todo el proceso del módulo Ciber-Físico sin necesidad de recurrir a licencias privativas, mostrando posibilidades de aplicar esta tecnología a las industrias ecuatorianas.
- Se diseñó el módulo Ciber-Físico con arquitectura modular de tipo bus, esto permite configurar los componentes en cualquier ubicación, haciéndolo flexible para realizar otras aplicaciones según las necesidades del usuario.
- Se implementó un servidor web Node.JS con comunicación Socket.IO capaz de enviar y recibir datos al 100% monitoreando el estado en tiempo real de todos los componentes y proceso del módulo Ciber-Físico.
- Se implementó una interfaz gráfica amigable con el usuario que muestra en tiempo real alarmas, históricos, estados de entradas y salidas del PLC y las imágenes procesadas de las piezas analizadas, con el fin de mantener al usuario informado todo el tiempo del proceso del módulo Ciber-Físico.





## CONCLUSIONES

- El monitoreo del módulo Ciber-Físico puede ser visualizado en cualquier navegador de internet tanto en PC como en dispositivos móviles.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas a los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga de la carrera de ingeniería Mecatrónica mostraron resultados positivos en los aspectos de funcionalidad, estética e interfaz gráfica.
- La implementación de un sistema Ciber-Físico con software libre y hardware libre es económico que uno privativo, resultando hasta 10 veces más económico.

