



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: 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**

**AUTORES: BORJA CARRERA, DARÍO JAVIER
CHICAIZA MANOTOA, BYRON FABIAN**

DIRECTORA: ING: CONSTANTE PROCEL, PATRICIA NATALY

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**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**” fue realizado por los señores **Borja Carrera Darío Javier y Chicaiza Manotoa Byron Fabian**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de Enero del 2019.

.....
Ing. Patricia Nataly Constante Prócel M. Sc.

C.C.: 0503354029



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Borja Carrera Darío Javier** y **Chicaiza Manotoa Byron Fabian**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**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**” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 29 de Enero del 2019.

Borja Carrera Darío Javier

C.C.: 1721441093

Chicaiza Manotoa Byron Fabian

C.C.: 1804640280



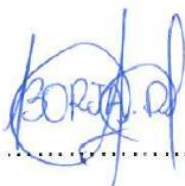
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Borja Carrera Darío Javier** y **Chicaiza Manotoa Byron Fabian** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**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**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 29 de Enero del 2019.



Borja Carrera Darío Javier

C.C.: 1721441093



Chicaiza Manotoa Byron Fabian

C.C.: 1804640280

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico el presente proyecto de grado a Dios quien ha sido luz y guía en este largo camino. Además, una dedicatoria especial a mis amados padres Vicente y Vilma, por sus consejos, apoyo incondicional durante toda mi vida y hoy ven reflejado el esfuerzo que día a día realizan por mí, es un orgullo y bendición para mi tenerlos como padres. A mi querido hermano Stalin por sus palabras de aliento y apoyo. A mi Abuelita Eloísa por haberme abierto las puertas de su hogar durante todo el tiempo de realización de este proyecto. A todos mis tíos, primos y amigos que de una u otra manera me han brindado su apoyo.

Darío

Este trabajo va dedicado a quienes estuvieron a mi lado sin interés, a quienes con su apoyo me ayudaron a no perder los ánimos y me impulsaron a cumplir mis sueños.

Dedicado a mi madre que me ha acompañado en este duro camino, que con su amor y ejemplo me han incentivado a seguir a delante cada día.

Fabian

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar este paso importante en nuestras vidas, de igual forma a nuestros padres por su esfuerzo y demás compañeros que formaron parte de nuestra vida universitaria.

Expresamos nuestra gratitud a la ingeniera Patricia Constante por guiarnos ayudarnos en el desarrollo de este proyecto de titulación.

A nuestros amigos, por todos los momentos compartidos y palabras de aliento, los llevaremos siempre en nuestras memorias.

GRACIAS

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii

CAPÍTULO I**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

1.1. Introducción.....	1
1.2. Internet de las cosas	1
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Elementos del IOT.....	5
1.2.3. Arquitectura del IOT	6
1.2.4. Aplicaciones del IOT.....	7

1.3. Sistemas Ciber-Físicos.....	7
1.3.1. Principios básicos de los sistemas Ciber-Físicos	9
1.3.2. Arquitectura 5C	10
1.3.3. Áreas de aplicación de los sistemas Ciber-Físicos	12
1.4. Hardware libre	14
1.5. Software Libre	15
1.6. Visión artificial	18
1.6.1. Aplicaciones de Visión artificial	18
1.6.2 Configuración básica de un sistema de visión artificial.....	18
1.6.3. Procesamiento de imágenes	19
1.7. OpenCV.....	19
1.8. Servidor web	19
1.8.1. Aplicación en el lado del servidor	20
1.8.2. Node.js	20
1.8.3. Socket	20
1.8.4. Socket.IO.....	21

CAPÍTULO II

DISEÑO CONCEPTUAL Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1. Introducción.....	22
------------------------	----

2.1.1. Objetivos	23
2.2. Diseño del concepto	24
2.3. Diseño del sistema	25
2.4. Selección de componentes a utilizarse	26
2.5. Selección de componentes del subsistema mecánico	26
2.5.1. Material de la estructura	27
2.5.2. Selección del material	27
2.5.3. Arquitectura	28
2.5.4. Selección del tipo de arquitectura	29
2.6. Selección de componentes del subsistema de clasificación	29
2.6.1. Sistema de activación de los actuadores	30
2.6.2. Selección de tipo de sistema de activación de los actuadores.....	30
2.7. Selección de los componentes del subsistema electrónico.....	31
2.7.1. Sensores de presencia.....	31
2.7.2. Selección de sensores de presencia.....	32
2.7.3. Selección del sensor detector de metal.....	33
2.7.4. Selección del sensor detector de metal.....	33
2.7.5. PLC	34
2.7.6. Selección del PLC	35
2.8. Selección de componentes del subsistema de control de calidad.....	36

2.8.1. Cámara.....	36
2.8.2. Selección de la cámara	37
2.8.3. Tarjeta microcontroladora.....	38
2.8.4. Selección de la tarjeta microcontroladora.....	38
2.9. Servidor web	39
2.9.1. Tipo de comunicación.....	40
2.9.2. Interfaz gráfica.....	40

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO

3.1. Introducción.....	41
3.2. Diseño mecánico	41
3.2.1. Producto	41
3.2.2. Diseño de la banda transportadora	42
3.2.3. Determinación de la longitud y ancho de la banda transportadora.....	43
3.2.4. Soporte banda trasportadora.....	45
3.2.5. Eje motriz de la banda transportadora.....	48
3.2.6. Selección del motor para la banda transportadora	56
3.2.7. Cálculos actuadores neumáticos.....	58
3.2.8. Selección bandeja de clasificación	63

3.2.9. Diseño de la estructura.....	63
3.2.10. Análisis estático de la estructura base	67
3.2.11. Diseño del sistema neumático.....	68
3.2.12. Implementación mecánica sistema Ciber-Físico.	68
3.3. Diseño eléctrico.....	69
3.3.1 Conexión de sensores y actuadores	70
3.3.2. Conexión cámara Raspberry pi y PLC	71
3.3.3. Selección de la fuente de alimentación.	72
3.3.4. Implementación electrónica del sistema Ciber-Físico	73

CAPÍTULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD Y ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1. Introducción.....	74
4.2 Algoritmo de control de calidad con visión artificial	74
4.2.1. Categorías de clasificación.....	74
4.3. Algoritmo de control de calidad	75
4.3.1. Pre procesamiento:	75
4.3.2. Procesamiento	77
4.3.3. Reconocimiento figuras internas y color.....	78

4.4. Servidor Web.....	79
4.5. Interfaz gráfica.....	80

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Introducción.....	82
5.2. Prueba de almacenamiento de datos en el historial.....	82
5.3. Prueba de envío y recepción de datos	83
5.3.1. Prueba 1: envió de datos del servidor web al módulo	83
5.3.2. Prueba 2: envió de datos del módulo al servidor web	85
5.4. Prueba de clasificación.....	88
5.4.1. Clasificación por tipo de material.....	88
5.4.2. Clasificación por la forma	89
5.4.3. Clasificación por Color.....	89
5.5. Pruebas de Funcionamiento con los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga.....	91
5.6. Validación de la hipótesis	91
5.7. Análisis económico.....	95

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	97
6.2. Recomendaciones.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo del nacimiento del Internet de las cosas	3
Figura 2. Dimensiones del Internet de las cosas	5
Figura 3. Elementos del IOT	6
Figura 4. Arquitectura básica del IOT	6
Figura 5. Evolución en el sector Industrial	9
Figura 6. Arquitectura 5C.....	12
Figura 7. Placa de Hardware libre.....	15
Figura 8. Ciclo de diseño de hardware reconfigurable.....	15
Figura 9. Libertades del software libre	16
Figura 10. Software Libre.....	17
Figura 11. Subsistemas físicos de un subsistema de visión artificial.....	18
Figura 12. Parámetros etapa de procesamiento	19
Figura 13. Diagrama de Subsistemas – Sistema Ciber-Físico.....	26
Figura 14. Materiales seleccionados.....	28
Figura 15. Arquitectura modular de bus.....	29

Figura 16. Sistema Neumático.....	31
Figura 17. Módulo detector Arduino.....	33
Figura 18. Sensor inductivo	34
Figura 19. Módulo relé Arduino.....	36
Figura 20. Genius Facecam 1000x.....	38
Figura 21. Raspberry Pi 3 B.....	39
Figura 22. Medidas globales de la pieza.....	42
Figura 23. Etapas de la banda transportadora.....	42
Figura 24. Dimensiones de la pieza mecanizada	43
Figura 25. Ancho banda.....	44
Figura 26. Tubo rectangular banda.....	45
Figura 27. Sección tubo rectangular	46
Figura 28. Diagrama V-M del eje motriz de la banda transportadora	49
Figura 29. Diseño eje motriz	50
Figura 30. Motor Pololu 131:1].....	56
Figura 31. Driver Drok.....	57
Figura 32. Esquema del cilindro con el acople	58
Figura 33. Estructura del módulo Ciber-Físico.....	64
Figura 34. Sección transversal de la estructura.....	65
Figura 35. Suma de secciones sección transversal.....	65
Figura 36. Deformación estructura.....	67
Figura 37. Diagrama fase movimiento actuadores.....	68
Figura 38. Secuencia neumática de los pistones.....	68
Figura 39. Ensamble mecánico sistema Ciber-Físico	69

Figura 40. Esquema de conexiones.....	69
Figura 41. Conexión entradas PLC.....	70
Figura 42. Conexión salida PLC	71
Figura 43. Conexión entre la cámara a la Raspberry pi y el PLC	71
Figura 44. Implantación electrónica	73
Figura 45. Piezas mecanizadas que se pondrán a prueba	74
Figura 46. Categorías de clasificación.....	75
Figura 47. Algoritmo visión	75
Figura 48. Pre procesamiento.....	76
Figura 49. Resultado pre procesamiento	76
Figura 50. Procesamiento.....	77
Figura 51. Imagen procesada	77
Figura 52. Reconocimiento de figuras internas.....	78
Figura 53. Obtención de figuras internas cuadrado	78
Figura 54. Obtención de imagen interna círculo	79
Figura 55. Servidor web Node.js.....	79
Figura 56. Muestras de clasificación y eventos de emergencia.....	82
Figura 57. Pruebas de envío de datos	84
Figura 58. Pruebas del cilindro neumático.....	84
Figura 59. Activación del sensor de la cámara	85
Figura 60. Activación del sensor de la cámara	86
Figura 61. Activación del sensor inductivo.....	86
Figura 62. Activación sensor del pistón 1	87
Figura 63. Tabulación de las pruebas realizadas.....	90

Figura 64. Tabla de valores de Chi cuadrado	94
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Necesidades del sistema</i>	24
Tabla 2. <i>Métricas</i>	24
Tabla 3. <i>Resultados de la Matriz QFD</i>	25
Tabla 4. <i>Método de evaluación de las características técnicas</i>	26
Tabla 5. <i>Alternativas de Materiales</i>	27
Tabla 6. <i>Evaluación alternativas de Material</i>	27
Tabla 7. <i>Alternativas de Arquitectura</i>	28
Tabla 8. <i>Evaluación del tipo de Arquitectura</i>	29
Tabla 9. <i>Alternativas del sistema de activación de los actuadores</i>	30
Tabla 10. <i>Evaluación del sistema de activación de los actuadores</i>	30
Tabla 11. <i>Alternativas sensores de presencia</i>	32
Tabla 12. <i>Evaluación sensor de presencia</i>	32
Tabla 13. <i>Alternativas sensor de metal</i>	33
Tabla 14. <i>Evaluación sensor de metal</i>	33
Tabla 15. <i>Alternativas PLC</i>	34
Tabla 16. <i>Evaluación tipo PLC</i>	35
Tabla 17. <i>Alternativas cámara</i>	37
Tabla 18. <i>Evaluación tipo de Cámara</i>	37
Tabla 19. <i>Alternativas tarjeta controladora</i>	38
Tabla 20. <i>Evaluación tarjeta microcontroladora</i>	39

Tabla 21. <i>Catálogo de Aluminios de tubo rectangular</i>	45
Tabla 22. <i>Cálculos secciones tubo rectangular</i>	46
Tabla 23. Concentración de esfuerzos.....	50
Tabla 24. <i>Características técnicas motor Pololu 131:1</i>	57
Tabla 25. Diámetros comerciales de cilindros con vástago doble efecto serie CM2.....	60
Tabla 26. Carreras estándar de cilindros con vástago de doble efecto CM2	61
Tabla 27. Catálogo de canaleta sin aleta de Aluminio.....	63
Tabla 28. <i>Suma de secciones sección transversal</i>	66
Tabla 30. <i>Entradas PLC</i>	72
Tabla 31. <i>Salidas PLC</i>	72
Tabla 32. <i>Registro de datos en el historial</i>	83
Tabla 33. <i>Registro de las muestras de la prueba 2</i>	85
Tabla 34. <i>Registro de muestras de la prueba</i>	87
Tabla 35. <i>Registro de la muestra de clasificación por material.</i>	88
Tabla 36. <i>Registro de la muestra de clasificación por forma</i>	89
Tabla 37. <i>Registro de la muestra de clasificación por color</i>	89
Tabla 38. <i>Frecuencias Observadas</i>	93
Tabla 39. <i>Frecuencias Esperadas</i>	93
Tabla 40. <i>Gastos del Proyecto</i>	95

RESUMEN

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 módulo Ciber - Físico cuenta con una banda transportadora, un sistema de clasificación neumático, sensores y actuadores, un PLC y además un sistema de adquisición de datos en tiempo real mediante una interfaz gráfica. Los controles de calidad de las piezas serán hechos con métodos de visión artificial. El sistema será capaz de clasificar piezas por, material, color y forma. La interfaz gráfica permitirá al usuario ver en tiempo real el funcionamiento del módulo, a la vez acceder a datos como históricos, gráficas, alertas generados por el módulo con la ayuda de un navegador de internet tanto en PC como dispositivos móviles. Este proyecto pretende ser la base de automatización de una empresa ecuatoriana permitiendo introducirse a la actual industria 4.0 sin necesidad de recurrir a software con licencia privativas, también será un apoyo para a los alumnos de la carrera de Mecatrónica para realizar prácticas de laboratorio en la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA CIBER-FÍSICO**
- **ANÁLISIS DE ADQUISICIÓN DE DATOS**
- **MONITOREO EN TIEMPO REAL**

ABSTRACT

The present work deals with the design and implementation of a Cyber - Physical system with software and free hardware for the supervision and analysis of data in real time for the packaging of products, which is focused on the analysis prior to the packaging of products that is the quality control in parts, the Cyber - Physical module has a conveyor belt, a pneumatic classification system, sensors and actuators, a PLC and also a real time data acquisition system through a graphical interface. The quality controls of the pieces will be made with artificial vision methods. The system will be able to classify pieces by material, color and shape. The graphic interface will allow the user to see in real time the operation of the module, at the same time access data such as historical, graphic, alerts generated by the module with the help of an internet browser on both PC and mobile devices. This project aims to be the base of automation of an Ecuadorian company allowing introduction to the current industry 4.0 without recourse to privately licensed software, it will also be a support for the students of the career of Mechatronics to perform laboratory practices at the University of the armed forces ESPE extension Latacunga.

KEYWORDS:

- **CYBER-PHYSICAL SYSTEM**
- **ANALYSIS OF DATA ACQUISITION**
- **REAL-TIME MONITORING**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción

El desarrollo tecnológico que ha experimentado el mundo con el Smartphone, computadoras, iPad y un sin número de dispositivos que están conectados a la red, permite a los usuarios enviar y recibir información desde cualquier lugar en el que se encuentre, también el desarrollo en el área de la domótica ha generado un interés en varios sectores industriales por implementar estos avances tecnológicos en varios procesos de producción para aumentar su competitividad e ingresos para sus empresas.

Es así que en el año 2011 el sector industrial alemán muestra interés por estas tecnologías y empieza la búsqueda de un término o definición que agrupe la aplicación de las nuevas tecnologías en la industria, debido a esto deciden crear un grupo de trabajo llamado industria 4.0, el cual arroja sus primeros resultados en el año 2013 con un informe donde se da a conocer el concepto de la cuarta revolución industrial, en la que viene marcada por el apareamiento de los sistemas Ciber-Físicos, que es el conjunto de dispositivos conectados a internet que se encargan de monitorear y controlar los procesos físicos en tiempo real. Dicho en otras palabras es la aplicación del internet de las cosas en el sector industrial (Cruz & Oliete, 2015).

1.2. Internet de las cosas

Esta idea, aunque suena algo futurista o reciente, se la empezó a desarrollar en el año de 1990 por Jhon Romkey y Simon Hacket quienes fabricaron su tostadora inteligente la cual se podía controlar de una forma remota a través de un computador donde podían

encender o apagar y de igual forma también establecer el tiempo de tostado del pan. (Evaluando Software, 2015)

En el año de 1999 fue donde por primera se introduce el término de internet de las cosas por el ingeniero Bill Joy, en el cual indica la viabilidad para conectar dos dispositivos a través de internet y poder automatizar y controlar los diversos procesos que desarrollan a diario. (Evaluando Software, 2015)

Pero fue el 12 de Julio de 2009 cuando por primera vez se utilizó (Open Source Initiative, 2007) el término internet de las cosas (IOT) por sus siglas en inglés, en un artículo publicado en la RFID Journal en la cual el británico Kevin Ashton establecía el concepto de conectar las cosas que nos rodea a la red con el fin de poder saber su posición, estado en cualquier instante, información sobre todo el entorno que le rodea. (Arenas, 2016)

De acuerdo a un estudio realizado por el Grupo de Soluciones empresariales basadas en internet (IBSG) de Cisco (Evans, 2011) estima que “ el internet de las cosas nació en algún punto entre 2008 y 2009” (p. 3). Debido a que en ese intervalo de tiempo fue donde existió más dispositivos electrónicos conectados a internet que personas en el planeta.

Para un futuro presagia el IBSG de Cisco (Evans, 2011) que “ habrá 25 mil millones de dispositivos conectados a internet para el 2015 y 50 mil millones para el 2020”(p.3). En esos cálculos hacen referencia que no se toma en cuenta los avances rápidos de la tecnología

En la figura 1 se detalla el aumento de dispositivo conectados a la red con el pasar de los años y las proyecciones a un futuro.

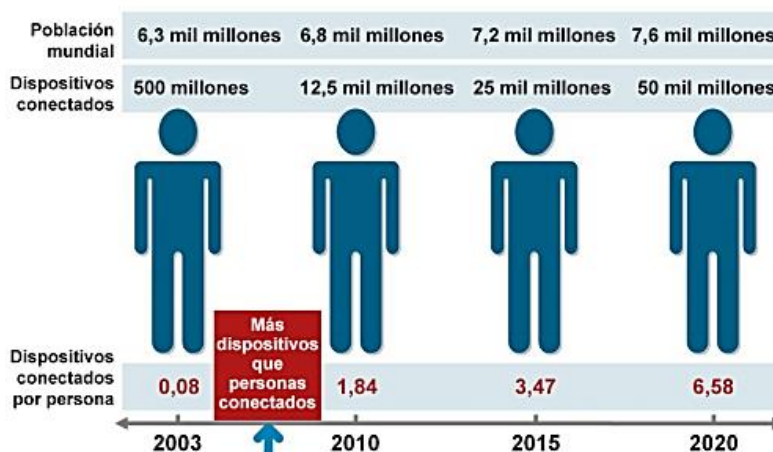


Figura 1. Línea de tiempo del nacimiento del Internet de las cosas
Fuente: (IBSG, 2011)

1.2.1. Definición

Hoy en día es difícil encontrar una definición universal para este término debido a que el IOT está en pleno desarrollo, varias instituciones o grupos de investigación han tratado de dar una definición, en la que describen una idea particular de lo que es el IOT y los atributos que brinda, se enuncian algunas de ellas como:

De acuerdo al Consejo de arquitectura de internet (IAB) por sus siglas en inglés, indica en el artículo “RFC 7452: Architectural Considerations in Smart Object Networking” (Consideraciones arquitectónicas en redes de objetos inteligentes) que:

El término Internet de las Cosas (IoT) denota una tendencia en que un gran número de dispositivos embebidos utilizan los servicios de comunicación que ofrecen los protocolos de Internet. A estos dispositivos suelen llamarles “objetos inteligentes” y no son operados directamente por un ser humano, sino que existen como componentes en edificios o vehículos o se extienden en el medio ambiente (IAB, 2015, pág. 1).

Otra de las instituciones que ha expuesto una definición y recomendaciones sobre este tema es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en el documento Overview of the Internet of things (Visión general del internet de las cosas) publicado en el año 2012 indica que el Internet de las cosas es:

Una infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación presente y futura. (ITU, 2012, pág. 7).

Otra definición que proponen Navani, Jain y Singh es que el IOT:

Es la capacidad de conectarse, comunicarse y administrar de forma remota una cantidad incalculable de dispositivos automatizados en red, desde la fábrica hasta el quirófano del hospital y el sótano residencial. Es un escenario en el que las tecnologías de almacenamiento, computación y comunicación están integradas en los objetos cotidianos. (Navani, Jain, & Maninder, 2017)

Después de exponer estas tres definiciones se puede indicar que el internet de las cosas, es la conexión de objetos a la red de internet utilizando protocolos de comunicación que les permite interactuar desde cualquier lugar, instante con otros objetos para prestar o usar algún servicio.

Estos objetos inteligentes no son controlados por el ser humano, cuentan con algoritmos de programación que ejecutan todas las acciones preestablecidas.

En la Figura 2 se detalla cada una de las dimensiones y tipos de conexión que tienen el internet de las cosas.

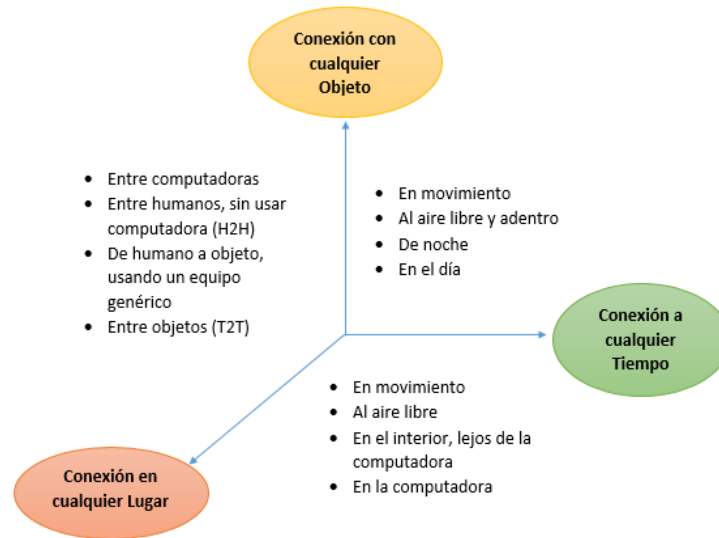


Figura 2. Dimensiones del Internet de las cosas

Fuente: (Navani, Jain, & Maninder, 2017)

1.2.2. Elementos del IOT

Los componentes básicos necesarios que debe cumplir un IOT para ser funcional de acuerdo a (Navani, Jain, & Maninder, 2017) son:

- Identificación
- Dispositivos de detección
- Comunicación
- Computación
- Servicios
- Semántica

En la figura 3 se indica cada uno de los elementos que debe estar integrado en una aplicación del internet de las cosas.

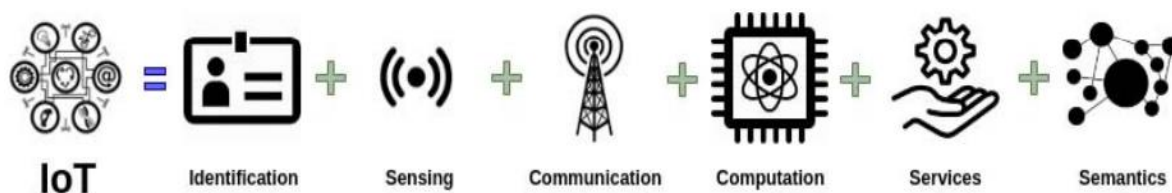


Figura 3. Elementos del IOT
Fuente: (Navani, Jain, & Maninder, 2017)

1.2.3. Arquitectura del IOT

En un principio cuando se inició el desarrollo del IOT el modelo más destacado era la arquitectura de capa, la cual consta de tres capas que se muestran en la figura 4.

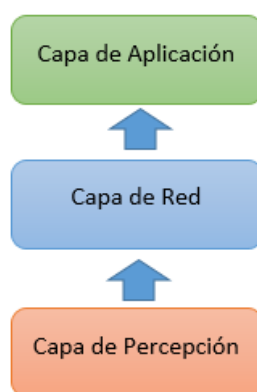


Figura 4. Arquitectura básica del IOT

- **Capa de percepción:** Esta también se la conoce como capa 1, ya que aquí constituida por dispositivos y sensores, los cuales se encargan de identificar objetos, recopilar datos e información (Navani, Jain, & Maninder, 2017).
- **Capa de Red:** A esta capa también se la denomina de transmisión, es la que está encargada de transmitir y procesar los datos proporcionados por la capa de percepción (Navani, Jain, & Maninder, 2017).
- **Capa de aplicación:** Esta capa se encarga de determinar las necesidades industriales y la división social del IOT.

De acuerdo a una investigación de varias iniciativas de mercado, la escuela de organización industrial de España ha establecido una estructura en la cual se considera los avances tecnológicos y los modelos de comunicación TCP/IP, de acuerdo a (Cruz & Oliete, 2015) esta arquitectura está constituida por las áreas:

- Objetos conectados
- Tecnologías de red
- Protocolos de comunicación
- Plata forma IOT, (puede ser Big Data o Small Data)
- Aplicaciones de usuario

1.2.4. Aplicaciones del IOT

Existen varias aplicaciones que se le pueden dar al internet de las cosas, estas se pueden clasificar en función de su repetibilidad, cobertura, escala, disponibilidad de red, impacto y participación del usuario. De acuerdo a (Navani, Jain, & Maninder, 2017) esas consideraciones se las ha clasificado en cuatro categorías principales que son:

- Personal y Hogar
- Empresa
- Utilidades
- Móvil

1.3. Sistemas Ciber-Físicos

El surgimiento de los sistemas Ciber-Físicos se debe al avance de nuevas tecnologías en las últimas décadas, esto ha generado que el sector industrial quiera formar parte de

estos avances y empiece a usar paulatinamente la automatización y conectividad en sus procesos de producción.

Debido a que los sistemas Ciber-Físicos nacieron aproximadamente hace unos cinco años y se encuentran en pleno desarrollo, aún no existe un concepto universal que se pueda tomar para definirlo, pero existen ciertas instituciones como la fundación americana NSF (Grupo Garatu, 2016) describe a los sistemas Ciber-físicos como: Sistemas hechos de componentes físicos e informáticos, que con el tiempo superaran a los sistemas actuales integrados en su capacidad de adaptación , escalamiento, y también de seguridad.

Otro organismo que también hace referencia sobre este tema es el programa europeo Horizonte 2020 (Investin Spain, 2017) el cual dice que los sistemas Ciber-Físicos son: Una nueva generación de tecnologías de información y comunicación que colaboran con el IoT, dando un amplio número de aplicaciones y servicios jamás implementados.

También, ECSEL tiene una idea la cual dice que: Las siguientes generaciones de los sistemas de tecnologías de información y comunicación estarán interconectados, los mismos que serán autónomos he independientes, capaces de monitorear y controlar procesos físicos en diversos campos (Valencia, 2019).

Analizando detenidamente estos conceptos se puede decir que los sistemas Ciber-Físicos son una nueva generación de sistemas inteligentes de la industria 4.0, que usando el IoT puede supervisar, coordinar, transferir e intercambiar información a través de la red en tiempo real de un objeto, proceso o servicio.

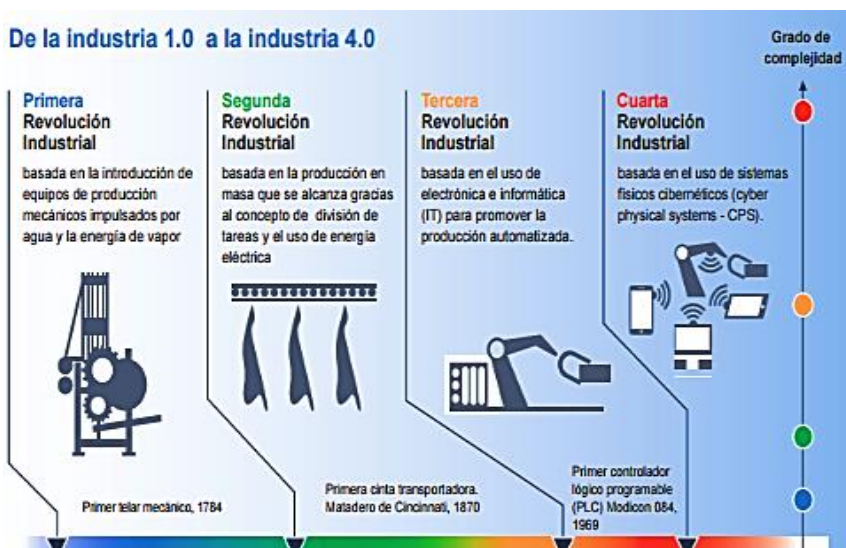


Figura 5. Evolución en el sector Industrial

Fuente: (Miranda, 2016)

1.3.1. Principios básicos de los sistemas Ciber-Físicos

De acuerdo a una investigación realizada por la Universidad Técnica de Dortmund, ciertas características básicas que debe tener un sistema Ciber-Físico y no necesariamente todas son:

- **Virtualización:** Esto nos indica que la empresa debe tener toda la información en la red de los componentes de la empresa ya sean sensores, actuadores y sistemas, de igual forma debería tener simulaciones de los procesos que cumple.
- **Interoperabilidad:** El sistema debe tener la capacidad de que todos sus equipos y los operarios de la fabrican deben estar interconectados utilizando el internet de las cosas.
- **Capacidades de tiempo real:** El equipo o sistema debe permitir al operario acceder a información, analizar y tomar acciones en tiempo real en cualquier lugar que se encuentre.

- **Orientación al servicio:** Debe dar la oportunidad de que se puedan crear más aplicaciones, servicios haciendo que se genere un valor añadido.
- **Modularidad:** De permitir que se puedan implementar nuevos equipos o realizar cambios de elementos a la máquina sin afectan el correcto funcionamiento de la misma.

Estos parámetros se han establecido con la finalidad de ser un guía que permita a la industria en un futuro mejorar todos sus procesos de producción, debido que al contar con equipos que les permitirán hacer un auto diagnóstico, auto ajuste y una auto optimización de los recursos, permitiendo mejorar el ambiente de trabajo, las condiciones laborales de sus trabajadores e incrementar sus ganancias.

1.3.2. Arquitectura 5C

La estructura de 5C para un sistema Ciber-Físico tiene la finalidad de ser una guía para la aplicación en el área de la fabricación. De acuerdo a (Lee, Bagheri, & Kao, 2014) en forma general un CPS consta de dos componentes funcionales que son:

- La conectividad avanzada que garantiza la adquisición de información en tiempo real del mundo físico y espacio cibernético.
- La administración de datos, análisis y capacidad computacional que compone el espacio cibernético.

Dichos componentes no son claramente específicos para la implementación de un CPS, es por eso la arquitectura 5C propone un flujograma secuencial de cómo construir un CPS, empezando con la adquisición de datos hasta la creación del valor final (Lee, Bagheri, & Kao, 2014). Se detalla cada uno de los niveles que las componen.

- **Conexión inteligente:** Para que los datos obtenidos de las máquinas sean precisos y confiables se debe considerar dos factores, el primero es que el método y los protocolos sean robusto y fáciles para transportar todos los tipos de datos que se generen al servidor central. El otro factor es seleccionar los sensores adecuados para la adquisición de información (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).
- **Conversión de datos a información:** Seleccionar las herramientas y métodos para deducir información relevante a partir de los datos obtenidos (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).
- **Ciber:** Este nivel actúa como un centro de información central donde recibe los datos enviados por las máquinas, y de ahí realizar un análisis específico para obtener una mejor comprensión del estado de las máquinas (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).
- **Cognición:** En este nivel realizan gráficos de información adecuados con los que se pueda transferir por completo los conocimientos adquiridos a los usuarios con la finalidad de que puedan tomar una decisión sobre la prioridad de las tareas para optimizar el proceso de mantenimiento (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).
- **Configuración:** Este nivel es en el cual se hace la retroalimentación del espacio cibernético al espacio físico y actúa como control de supervisión para que las máquinas se configuren automáticamente y sean auto adaptativas (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).

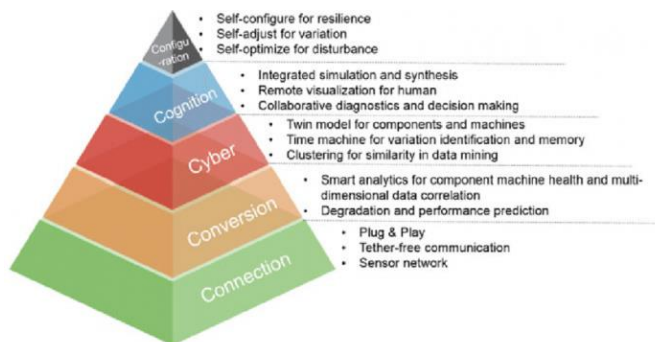


Figura 6. Arquitectura 5C

Fuente: (CP, 2018)

1.3.3. Áreas de aplicación de los sistemas Ciber-Físicos

Con el apareamiento de los sistemas Ciber-Físicos existe la oportunidad para que las empresas dedicadas al ámbito de la informática desarrollen software para que gestionen la información que proporcionen los dispositivos inteligentes y sensores en tiempo, y con ello facilitar el manejo de esa información al operario.

- **Servicios de software:** de acuerdo a un informe realizado por Networked European Software and Services Initiative (NESSI) por sus siglas en inglés indica que los principales retos que deben afrontar son:
- **Arquitectura basada en instancia para una red de negocio de las cosas:** esta arquitectura se podrá representar de forma natural todos los objetos relevantes en la red de negocio, facilitando a las empresas el ser más ágiles en colaboraciones muy dinámicas con muchos compañeros externos y ganar visibilidad extrema a extremo para seguir y monitorizar la genealogía de las cosas (NESSI, 2015).
- **Arquitectura de servicio para servicios basados en software sobre CPS:** estos futuros servicios contribuirán a que el usuario de negocio tenga una guía, deben tener 4 características que los diferencian de las aplicaciones de negocio

actuales: auto explicativos, adaptables/flexibles, autoadaptables y procesos flexibles. (NESSI, 2015)

- **La nube:** los servicios de almacenamiento en la nube son una herramienta que puede contribuir a los sistemas Ciber-Físicos ya que es práctico. Como se puede observar la computación en la nube puede ser de gran ayuda para la integración entre componentes computacionales y físicos (NESSI, 2015).

De acuerdo al informe desarrollado por el NESSI establece que los retos que tiene esta área en los sistemas Ciber-Físicos son:

- Recolección, análisis y actuación de datos en tiempo real
- Multi-arrendamiento en infraestructuras CPS
- Acuerdos de nivel de servicio en la nube fiables y predecibles

Además de lo anterior, hay que tener en cuenta las posibilidades que ofrece la nube en cuanto a escalabilidad, elasticidad y disponibilidad. También decir que el mantenimiento de aplicaciones en la nube es más sencillo y efectivo en coste, ya que no se requiere instalar la aplicación en cada ordenador y el multi-arrendamiento permite la compartición de recursos y costes a lo largo del conjunto de usuarios. (NESSI, 2015)

- **Big Data:** a medida que los dispositivos se van conectando a la red generando información, estos datos son heterogéneos, ya que no tienen un orden, son de gran tamaño y eso genera un inconveniente al querer analizar esa información. Para ello el Big Data genera una solución, ya que se encarga de extraer la información y organizarla de una mejor manera haciendo que sea más fácil acceder a los datos que requiere el usuario. En un futuro se cree que la integración

entre el Big Data y los sistemas Ciber-Físicos tendrán un crecimiento para la industria esto permitirá ser competitivos en el mercado.

Con un informe que se expuso por NESSI indica que los retos que tendrá que afrontar el Big Data sobre los sistemas Ciber-Físicos son:

- Gestión de la producción masiva de datos.
- Almacenamiento y procesado distribuido de datos.
- Monetización de la combinación Big Data y CPS.

Además de lo anterior, hay que tener en cuenta las posibilidades que ofrece el Big Data analítico para la adaptación dinámica que requieren los CPS, así como las posibilidades de personificar productos y servicios que permite dicha combinación. Por último, recogemos el análisis realizado en el marco del recién terminado proyecto europeo CyPhERS16, donde se desarrolló una agenda estratégica de investigación en el ámbito de los sistemas Ciber-Físicos. (NESSI, 2015)

1.4. Hardware libre

El hardware libre no cuenta con una definición clara por lo que cada autor lo interpreta de diferentes formas, pero se basan en las ideas que se aplican en el software libre que son: libertad de uso, estudio, modificación, distribución, y de redistribución de las mejoras que va teniendo con el paso de los años (Gonzalez, Gonzalez, & Gomez, 2003).

Para un mejor análisis los autores (Gonzalez, Gonzalez, & Gomez, 2003) han establecido la siguiente clasificación de acuerdo a la naturaleza:

- **Hardware estático:** Es un conjunto de componentes que conforman a un sistema electrónico el cual se lo puede tocar, pero aplicadas a los planos del hardware ya que con ellos se puede usar, modificar y distribuir.



Figura 7. Placa de Hardware libre
Fuente: (Arduino, 2018)

- **Hardware reconfigurable:** Es el que está escrito en un lenguaje HDL (lenguaje de descripción hardware), el cual permite especificar con todo detalle la estructura y funcionalidad. Se desarrolla de una manera muy similar a como se hace con el software.

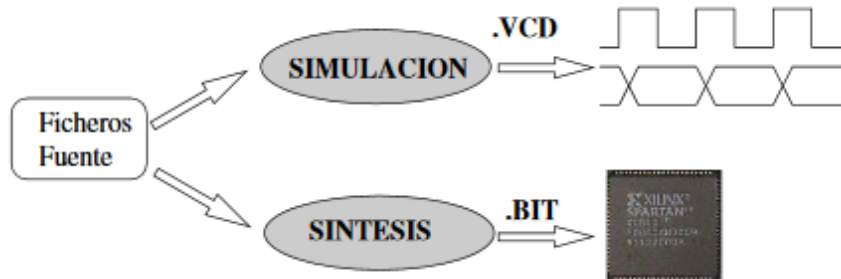


Figura 8. Ciclo de diseño de hardware reconfigurable
Fuente: (Gonzalez, Gonzalez, & Gomez, 2003)

1.5. Software Libre

En un principio el software se lo consideraba una herramienta y venía integrada en las computadoras para que los usuarios puedan utilizar, para esa época se compartían las aplicaciones que desarrollaban los programadores con los usuarios libremente. A

medida que los avances tecnológicos avanzaban y las computadoras eran más pequeñas y avanzadas los desarrolladores vieron una oportunidad de negocio en la venta de software para operar las máquinas, empezando a distribuir licencias para el uso de los programas, los cuales al usuario le imponía restricciones para modificar el código fuente.

Esto empezó a generar muchos problemas en los usuarios, ya que si alguno encontraba algún error y deseaba corregirlo tenía que comunicar a la empresa para que lo haga. Al encontrarse en esta realidad Richard Stallman empieza a un proyecto al que lo denomino GNU, en el cual intento formar una comunidad de personas en las que se coopere para el desarrollo de software y se lo comparta de una forma libre como lo era anteriormente. En el año de 1985 Stallman estableció la Fundación de Software Libre (FSF) en el cual se indica que para que un Software se lo considere libre debe tener cumplir las libertades detalladas en la figura 9.

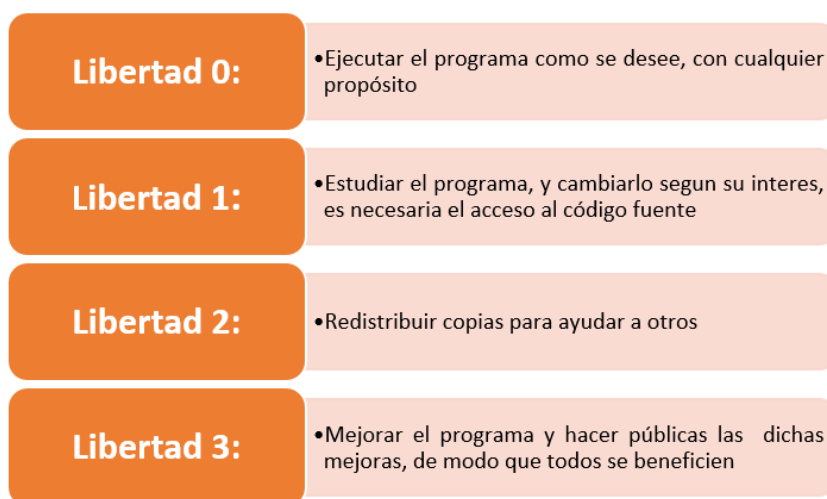


Figura 9. Libertades del software libre
Fuente: (Free Software Foundation, 2009)

En el año de 1998 se formó la Iniciativa de código abierto (OSI) con la finalidad ser una organización educativa de defensa y administración de Software libre. Ellos han

empezado a establecer ciertos lineamientos en el otorgamiento licencias por parte de los desarrolladores de la comunidad con la finalidad de evitar que los softwares que se vayan desarrollando por los integrantes de la comunidad se privaticen, para esto han establecido diez condiciones que deben cumplir y son:

- Libre distribución.
- Código fuente libre.
- Modificaciones del código permitido.
- Integridad del código.
- Sin discriminación de personas o grupos.
- Sin discriminación de áreas de iniciativa.
- Igual derecho de la licencia.
- No debe ser específica de un solo producto
- No obligar a otro software a ser de código abierto cuando se distribuyen juntos.
- No requiere aceptación de licencia (Open Source Initiative, 2007) .



Figura 10. Software Libre
Fuente: (Universidad de Costa Rica, 2015)

1.6. Visión artificial

Se puede definir como una parte de la inteligencia artificial, que con el uso algoritmos y técnicas permite la obtención, procesamiento y análisis de imágenes. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, almacenamiento de la información, procesado e interpretación de resultados (BUSTAMANTE, 2014).

1.6.1. Aplicaciones de Visión artificial

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots)
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares. Mediciones tridimensionales.

1.6.2 Configuración básica de un sistema de visión artificial

Según (BUSTAMANTE, 2014) un sistema de visión artificial está conformado por los subsistemas que se detallan en la figura 11.



Figura 11. Subsistemas físicos de un subsistema de visión artificial
Fuente: (BUSTAMANTE, 2014)

1.6.3. Procesamiento de imágenes

La reprocesamiento de una imagen consta de aplicar métodos o algoritmos que ayuden a la imagen a eliminar información no deseada, como ruidos, en esta etapa se considera solo los aspectos importantes a analizar, como los puntos de interés, esto ayuda a que la información obtenida sea la adecuada, algunos parámetros que se usan en el procesamiento de imagen se detallan en la figura 12.

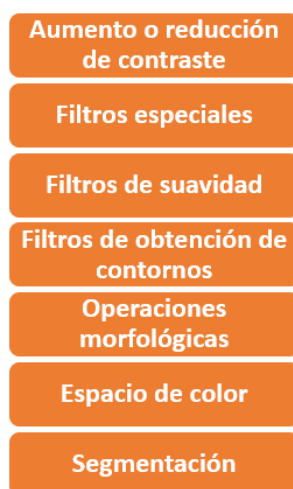


Figura 12. Parámetros etapa de procesamiento
Fuente: (BUSTAMANTE, 2014)

1.7. OpenCV

OpenCV es una librería software de recursos abiertos de visión artificial y machine learning. La librería posee algoritmos orientados al procesamiento de imágenes en tiempo real. Esta librería es libre y gratuita, es capaz de implementar redes neuronales basadas en visión artificial gracias a sus librerías, y su soporte es muy extendido en los diversos lenguajes de programación.

1.8. Servidor web

Es un programa que gestiona y suministra información entre los clientes conectados usando conexiones bidireccionales y/o unidireccionales y síncronas o asíncronas una

respuesta en cualquier lenguaje. El código acogido por el cliente es ejecutado por documentos en HTML (EcuRed, 2018).

1.8.1. Aplicación en el lado del servidor

Son los programas diseñados para que el servidor web procese la información y realice una tarea programada (EcuRed, 2018). Las aplicaciones del lado del servidor que más se utilizan son:

- Ruby
- PHP
- Python
- Perl
- ASP

1.8.2. Node.js

Es un entorno de JavaScript de ejecución multi-plataforma de código libre, este se encuentra optimizado para realizar aplicaciones en la web, por ser ligero y veloz, en otras palabras Node.js es otro modo de ejecutar JavaScript en un servidor. Tiene una gran comunidad dedicada a realizar paquetes, es uno de los más usados a nivel mundial (García, 2018).

1.8.3. Socket

Es la comunicación entre aplicaciones que realiza dos máquinas en las cuales hace que reciba o emita información.

Si se compara al sistema de comunicación de las personas el socket hace las veces de sistema de comunicación y el teléfono al sistema de comunicación entre dos personas (EcuRed, 2018).

1.8.4. Socket.IO

Permite la comunicación bidireccional basada en eventos en tiempo real. Consiste en (Socket.io, 2018):

- Un servidor Node.js
- Una biblioteca de cliente JavaScript para el navegador (o un cliente Node.js)

Algunas implementaciones en otros idiomas también están disponibles:

- Java
- C ++
- Rápido
- Dardo

CAPÍTULO II

DISEÑO CONCEPTUAL Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1. Introducción

La industria metalmecánica del Ecuador constituye un pilar fundamental en la cadena productiva del país, por su alto valor agregado y articulación con diversos sectores industriales (Lázaro, 2017).

El estudio realizado por FLACSO revela que el nivel de automatización en los procesos productivos de la PYMES es bajo, 1.96 en una escala de 5 (Aguiar, 2013).

Según datos del Ministerio de Productividad en agosto del 2014 el 75% del empleo está generado por las Pequeñas y Medianas Industrias lo que constituye más del 98% de las 500.000 unidades productivas con las que cuenta Ecuador (TCS Industrial, 2014).

La forma de producción es metalmecánica ya que carece de avances tecnológicos y debido a los aranceles que se aplican en el Ecuador su coste sería elevado (Lázaro, 2017). Esta carencia imposibilita aumentar la calidad y producción en las empresas ecuatorianas de sus productos ya que el costo de licencias de software elevado, así mismo la inserción de nuevas tecnologías de la actual industria como sistemas inteligentes como los CPS están lejos de las perspectivas de las empresas ecuatorianas por barreras económicas.

En el presente capítulo se realiza el diseño conceptual de un sistema Ciber-Físico con software y hardware libre para monitoreo en tiempo real del control de calidad de piezas para el proceso siguiente que es el empaquetamiento, el módulo al contar con licencias de software y hardware libre disminuye el costo de implementación del sistema

2.1.1. Objetivos

- **Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema Ciber-Físico básico con software y hardware libre para la supervisión y análisis de datos en tiempo real en el proceso de control de calidad para el empaquetado de productos.

- **Objetivos específicos**

- Investigar el funcionamiento y beneficio de los sistemas ciberfísicos mediante el uso de fuentes bibliográficas para la implementación de un sistema ciberfísico en el laboratorio de mecatrónica para las prácticas de los estudiantes de la carrera
- Investigar y describir las ventajas y desventajas que nos ofrece el software y hardware libre en procesos industriales mediante la investigación en fuentes bibliográficas para implementar en el sistema ciberfísico
- Diseñar e implementar un sistema ciberfísico de control de calidad con visión artificial utilizando software y hardware libre para el empaquetado de productos.
- Desarrollar el código fuente que permita realizar un proceso previamente establecido del módulo de control de calidad.
- Realizar pruebas para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema ciberfísico.

2.2. Diseño del concepto

Para establecer los requerimientos del módulo se analiza todas las características de un sistema Ciber-Físico, también se toma en cuenta el problema principal expuesto en el apartado 2.1 del presente capítulo, se realiza la recopilación de información y se establece las necesidades que se detalla en la tabla 1.

Tabla 1.

Necesidades del sistema

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

Con las necesidades en la tabla 1 se tiene las métricas que son mediciones cuantitativas de las calidades de las necesidades como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2.

Métricas

Nro. Métrica	Nro. de necesidad	Métrica	Unidad
1	1	Almacenamiento	GB
2	2	Protocolos de comunicación	Ethernet, USB, serial
3	3,6	Velocidad de comunicación	Mbps
4	4	Características PLC	Subj
5	5	Arquitectura	Ranura, Bus, Seccional
6	6,7,8	Software	Subj
7	7,8	Hardware	Libre, Privativo
8	8	Tiempo para aprender	S
9	9	Resistencia	Pa
10	3	Interfaz	.Subj
11	10	Dimensiones	Mm

Después de realizar la matriz QFD que se encuentra en el Anexo A, se define las relaciones entre necesidades y métricas, así como las correlaciones que existe entre cada una de ellas, se obtiene los resultados que se detallan en la tabla 3, que están ordenados de mayor a menor de acuerdo al porcentaje de incidencia.

Tabla 3.

Resultados de la Matriz QFD

Nro.	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%

2.3. Diseño del sistema

El módulo Ciber-Físico será capaz de realizar el control de calidad de piezas en tres métodos, tipo de materia, forma y color, además adquisición y análisis de datos en tiempo real, contará con sensores, actuadores y elementos eléctricos usualmente ocupados en la industria como: PLC, Relés, fuentes de poder, Motor DC, Driver Motor. Para ello se establece los subsistemas en la figura 13.

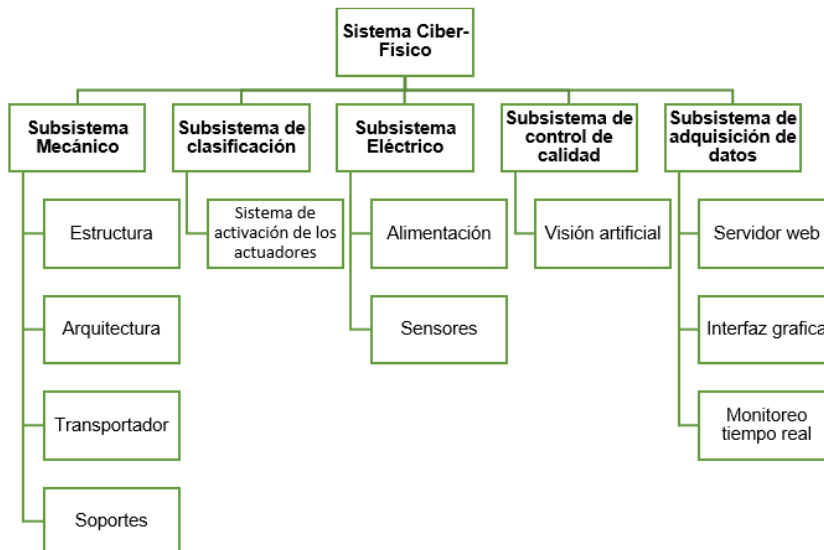


Figura 13. Diagrama de Subsistemas – Sistema Ciber-Físico

2.4. Selección de componentes a utilizarse

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 & Epingner, 2013) Tabla 4.

Tabla 4.

Método de evaluación de las características técnicas

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

Fuente: (Ulrich & Epingner, 2013)

2.5. Selección de componentes del subsistema mecánico

El presente apartado engloba la selección del material de la estructura, la arquitectura, los demás componentes serán seleccionados en la etapa de diseño, ya que estos dependen de cálculos posteriores.

2.5.1. Material de la estructura

La función de la estructura es alojar a todos los subsistemas del sistema Ciber-Físico, por lo cual se busca que este hecho de un material resistente, anticorrosivo y fácil de soldar para lo cual las propiedades del material cumplen un papel muy impórtate, en la tabla 5 se analizan las opciones más comunes en el mercado.

Tabla 5.
Alternativas de Materiales

	Acero Inoxidable	Aluminio
Resistencia	Grado de resistencia elevado	Menos resistente que el acero.
Peso	7800 Kg/dm ³	2700 Kg/dm ³
Practicidad	Más duro esto se debe a su resistencia al deterioro.	El aluminio es bastante suave, por lo que es fácil de cortar y moldear.
Magnético	Si	No
Corrosión	Sus aleaciones le dan características anticorrosivas.	Resistencia a oxidación y corrosión
Temperatura de trabajo	-50 a 500 (C°)	-250 a 150 (C°)
Soldadura	Fácil de soldar.	Soldadura complicada.
Costo	Elevado	Económico

2.5.2. Selección del material

Para la selección del material se evalúan aspectos como: resistencia, soldadura, practicidad, corrosión, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.
Evaluación alternativas de Material

Criterio de Selección	Peso	A Acero inoxidable		B Aluminio	
		Calif.	Evaluación ponderada	Calif.	Evaluación ponderada
Resistencia	40%	4	1,6	2	0,8
Soldadura	30%	4	1,2	2	0,6
Practicidad	20%	2	0,4	3	0,6
Corrosión	10%	3	0,3	3	0,3
total			3,5		2,3
Lugar			1		2
Continuar?			SI		NO

La alternativa A es la mejor opción en la construcción de la estructura al ser un material resistente y fácil de soldar, mientras que la opción B lo hace idóneo para la construcción de soportes y demás partes del módulo que no requieren soldadura al poseer una alta practicidad como se detalla en la tabla 6.



a) Acero



b) aluminio

Figura 14. Materiales seleccionados

Fuente: (DIPAC, 2019)

2.5.3. Arquitectura

En el módulo Ciber-Físico la arquitectura permite colocar y calibrar los componentes en la configuración que se desee, los tipos de arquitectura que se detalla en la tabla 7.

Tabla 7.

Alternativas de Arquitectura

	Arquitectura tipo ranura	Arquitectura tipo bus	Arquitectura tipo seccional
Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> Trozos del producto no pueden ser intercambiados 	<ul style="list-style-type: none"> Bus en común entre trozos. Comunicación entre elementos Para procesos industriales 	<ul style="list-style-type: none"> Todas las interfaces son del mismo tipo No posee un solo elemento al cual unir los diferentes trozos.
Ensamblaje	Fácil ensamblaje	Fácil ensamblaje	Fácil ensamblaje
Construcción	Piramidal	Lineal	Cuadrada

2.5.4. Selección del tipo de arquitectura

Para la selección del tipo de arquitectura se evalúa los aspectos como: flexibilidad, ensamble y construcción que se detalla en la tabla 8.

Tabla 8.

Evaluación del tipo de Arquitectura

Criterio de selección	Peso	A Arquitectura tipo ranura		B Arquitectura tipo bus		C Arquitectura tipo seccional	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Flexibilidad	40%	2	0,8	3	1,2	1	0,4
Ensamblaje	30%	3	0,9	3	0,9	1	0,3
construcción	30%	2	0,6	3	0,9	1	0,3
Total			2,3		3		1
Lugar			2		1		3
Continuar?			NO		SI		NO

La alternativa adecuada es la opción B de acuerdo con la Tabla 8, 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 como se observa en la figura 15.



Figura 15. Arquitectura modular de bus

Fuente: (Ulrich & Epingner, 2013)

2.6. Selección de componentes del subsistema de clasificación

El subsistema de clasificación es el encargado de colocar las piezas que ya previamente pasaron el control de calidad, para esta función se opta por utilizar actuadores que empujen la pieza a un contenedor.

2.6.1. Sistema de activación de los actuadores

Los sistemas para la activación de un actuador de empuje más comunes usados en la industria son los neumáticos e hidráulicos que se detallan en la tabla 9.

Tabla 9.

Alternativas del sistema de activación de los actuadores

	Neumático	Hidráulico
Tipo de trabajo	Repetitivo	Pesado
Presión	Altas presiones	Bajas presiones
Medio	Aire	Aceites
Compresión	Se comprime	No se comprime
Mantenimiento	Fácil	Difícil
Vida útil	Depende de la actividad a desempeñar.	Proporciona una vida útil larga.
Costo	Económico	Costos elevados

2.6.2. Selección de tipo de sistema de activación de los actuadores.

Para la selección del tipo de sistema de activación de los actuadores se evalúan los aspectos como: tipo de trabajo, presión, mantenimiento y vida útil que se detalla en la tabla 10.

Tabla 10.

Evaluación del sistema de activación de los actuadores

Criterio de selección	Peso	A Neumático		B Hidráulico	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Tipo de trabajo	35%	3	1,05	2	0,7
Presión	30%	3	0,9	3	0,9
Vida útil	20%	3	0,6	3	0,6
Mantenimiento	15%	3	0,45	2	0,3
Total			3	2,5	
Lugar			1	2	
Continuar?			SI	NO	

De acuerdo al tipo de trabajo que se desea realizar en el módulo la opción A es la adecuada de acuerdo con la tabla 10 para el subsistema de clasificación, ya que no requiere de tanta presión al empujar la pieza al contenedor, y al ser un proceso repetitivo el sistema neumático de la figura 16 es el adecuado.

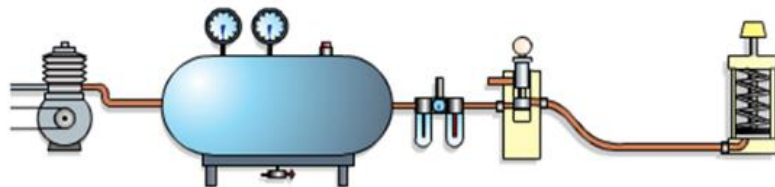


Figura 16. Sistema Neumático

Fuente: (Tecnología, n.d.)

2.7. Selección de los componentes del subsistema electrónico

El subsistema electrónico está conformado por sensores de presencia para detectar la pieza al momento de clasificarlas, de un sensor detector de metales para separar las piezas metálicas y no metálicas, además para controlar todo el proceso del módulo Ciber-Físico cuenta con un autómata, y para la alimentación de todos estos dispositivos cuenta con una fuente de poder, otros elementos serán seleccionados más adelante ya que requieren de cálculos posteriores.

2.7.1. Sensores de presencia

Existen varios sensores para detectar la presencia de un objeto, dichos sensores varían entre ellos por sus métodos de detección, resolución, u otras características, los más usados y comunes en el mercado se detallan en la tabla 11.

Tabla 11.
Alternativas de sensores de presencia

	Módulo detector Arduino	Sensor BGS
Alimentación	5V DC	12V - 24V DC
Método de detección	Supresión de fondo	Supresión de fondo
Distancia de detección	3cm – 5cm	3cm – 2m
Calibración	Simple	Requiere otro módulo
Tipo de Señal	5V análogo	24V análogo o digital
Costo	Económico	Costo elevado

2.7.2. Selección de sensores de presencia

Para la selección de los sensores de presencia se evalúan aspectos tales como: distancia de detección, calibración, método de detección, tipo de señal los mismos que se detalla en la tabla 12.

Tabla 12.
Evaluación del sensor de presencia

Criterio de selección	Peso	A		B	
		Módulo detector Arduino		Sensor BGS	
		Calif.	Eval. Pond.	Cali f.	Eval. Pond.
Distancia de detección	35%	3	1,05	3	1,05
Calibración	30%	4	1,2	2	0,6
Tipo de Señal	20%	3	0,6	3	0,6
Método de detección	15%	3	0,45	3	0,45
	Total		3,3		2,7
	Lugar		1		2
	Continuar?		SI		NO

De acuerdo con la tabla 12, la opción ideal es la A que se observa en la figura 17, ya las piezas que se requiere detectar son pequeñas y no requieren de una distancia mayor a los 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.



Figura 17. Módulo detector Arduino

Fuente: (Llamas, 2018)

2.7.3. Selección del sensor detector de metal

Para la detección de metales en objetos existen gran variedad de sensores especializados, difieren entre ellos por sus características como la distancia de detección, pero cumplen la misma función, los sensores más usados y comunes en el mercado se detallan en la tabla 13.

Tabla 13.

Alternativas del sensor de metal

	Sensor inductivo	Sensor [SN04-N]
Método de detección	Campo magnético	Campo magnético
Distancia de detección	2mm – 35mm	2mm – 3.8mm
Alimentación	5V – 30V	10V – 30V
Tipo de Señal	5V Digital	5V análogo o digital
Costo	Económico	Económico

2.7.4. Selección del sensor detector de metal

Para la selección del sensor de metal se evalúan aspectos tales como: distancia de detección, tipo de señal, alimentación en la tabla 14.

Tabla 14.

Evaluación del sensor de metal

Criterio de selección	Peso	A Sensor inductivo		B Sensor [SN04-N]	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Distancia de detección	40%	3	1,2	2	0,8
Tipo de Señal	30%	3	0,6	3	0,6
Alimentación	25%	3	0,75	3	0,75

CONTINUÁ



Total	2,55	2,15
Lugar	1	2
Continuar?	SI	NO

De acuerdo con la tabla 14, la opción ideal es la A ya que, al poseer una distancia mayor, los objetos en análisis no rozaran con el sensor causando daños, o desestabilizándolo, el tipo de sensor a usar se puede apreciar en la figura 18.



Figura 18. Sensor inductivo

Fuente: (Chavez, 2016)

2.7.5. PLC

El PLC es el encargado de activar y desactivar las entradas y salidas del módulo previamente programado, haciendo que el proceso sea automático de acuerdo a la programación previa del mismo, en el mercado existen varios autómatas, para la evaluación se establece los de tipo libre que se detalla en la tabla 15.

Tabla 15.
Alternativas PLC

	M-DUINO PLC Arduino 21 I/Os Analog/Digital Plus	CONTROLLINO MAXI & MAXI PURE
Licencia	libre	Libre
Soporte	cubierto	No cubierto
Comunicación	Ethernet USB RS485 RS232 I2C Modbus Bus	USB RS485 Half-Full I2C SPI

CONTINUÁ



Número de entradas	13 Entradas: (6x) Analógicas (0-10Vdc) / Digitales (5-24Vdc) configurable mediante software. (7x) Digitales aisladas (5-24Vdc).	12 salidas, clasificadas a 12 V o 24 V a 2 A máx.
Número salidas	8 Salidas: (8x) Digitales Aisladas (5-24Vdc) / (3 de las cuales) PWM Aisladas (3 de las cuales) Analógicas (0- 10Vdc) configurable mediante switch.	12 Entradas / Salidas
Alimentación	5V – 24V DC	12V – 30V DC
Aislamiento entradas	Opto aisladas	No aisladas

2.7.6. Selección del PLC

Para la selección del PLC se evalúan los aspectos como: soporte, número de entradas/salidas, aislamiento entradas, alimentación que se detalla en la tabla 16.

Tabla 16.
Evaluación tipo PLC

Criterio de selección	Peso	A M-DUINO PLC Arduino 21 I/Os Analog/Digital Plus		B CONTROLLINO MAXI & MAXI PURE	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Soporte	40%	4	1,6	2	0,8
Número de entradas/ salidas	30%	3	0,9	3	0,9
Aislamiento entradas	20%	4	0,8	2	0,4
Alimentación	10%	3	0,3	3	0,3
	Total		2,55		2,15
	Lugar		3,6		2,4
	Continuar?		SI		NO

De acuerdo con la tabla 16, la opción ideal es la A, ya que la empresa que produce 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, el PLC seleccionado se aprecia en la figura 19.



Figura 19. Módulo relé Arduino
Fuente: (Shields, 2019)

2.8. Selección de componentes del subsistema de control de calidad

Para el control de calidad de las piezas del módulo Ciber-Físico se empleará técnicas de visión artificial, para lo cual requiere de una cámara para captar las imágenes y a su vez de un dispositivo capaz de procesar esta información, y enviarla al PLC.

2.8.1. 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, las alternativas más comunes del mercado se detallan en la tabla 17.

Tabla 17.
Alternativas de cámaras

	Genius Facecam 1000x	ANERA cámara
Resolución	1, 1280X720, 640X480	1, 640X480
Megapíxel	1.3 Megapíxeles	2 Megapíxeles
Iluminación	Corrección automática	Sin corrección
Enfoque	manual	manual
Sensor	CMOS	CMOS
Disposición física	Matricial	Matricial
Compatibilidad	Windows, Linux	Windows
Costo	Económico	Económico

2.8.2. Selección de la cámara

En la evaluación de la cámara se toman en cuenta los aspectos como: resolución, iluminación, enfoque, tipo de sensor que se detalla en la tabla 18.

Tabla 18.
Evaluación tipo de Cámara

Criterio de selección	peso	A Genius Facecam 1000x		B ANERA cámara	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Resolución	30%	3	0,9	2	0,6
Iluminación	30%	4	1,2	2	0,6
Enfoque	20%	3	0,6	3	0,6
Sensor	20%	3	0,6	3	0,6
	Total		3,3		2,4
	Lugar		1		2
	Continuar?		SI		NO

La opción adecuada según la tabla 18, es la A de la figura 16, la resolución y corrección de iluminación ayudan a reducir proceso de tratamiento de imagen además de poseer un enfoque manual que ayuda al momento de la calibración con el objetivo.



Figura 20. Genius Facecam 1000x
Fuente: (GENIUS, 2019)

2.8.3. Tarjeta microcontroladora

La función de este dispositivo es la de alojar al servidor, también es la de hacer el procesamiento de imagen para el control de calidad, para lo cual se tienen las opciones más comunes del mercado detallado en la tabla 19.

Tabla 19.

Alternativas de la tarjeta controladora

	Raspberry pi 3	PC
Procesador	Quad Core Cortex A7	Variedad
Memoria	Expandible por SD	Hasta 1 Tb
RAM	1 GB	Hasta 16 GB
Velocidad	900 MHZ	Hasta 3 MHZ
Tamaño	Pequeño	Grande
Sistema operativo	Linux	Windows, Linux
Puertos de entrada	4	4
Costo	Económico	Costoso

2.8.4. Selección de la tarjeta microcontroladora

En la evaluación de la tarjeta microcontroladora se toman en cuenta los aspectos: velocidad, Tamaño, RAM que se detalla en la tabla 20.

Tabla 20.
Evaluación de la tarjeta microcontroladora

Criterio de selección	peso	A Raspberry pi 3		B PC	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.
Procesador	40%	3	1,2	3	1,2
Tamaño	40%	4	1,6	2	0,8
RAM	20%	3	0,6	3	0,6
Total			3,4	2,6	
Lugar			1	2	
Continuar?			SI	NO	

De acuerdo con la tabla 20, la opción adecuada es la A que se detalla en la figura 21, ya que cumple con los parámetros suficientes para implementarla en el módulo, por su tamaño y diseño robusto.



Figura 21. Raspberry Pi 3 B

Fuente: (Luz, 2016)

2.9. Servidor web

el servidor web es el encargado de enviar información entre los clientes conectados vía internet, el módulo al ser un proceso orientado a objetos, es decir un proceso basado en estados se optó por implementar un servidor de tipo Node.js.

2.9.1. Tipo de comunicación

Socket.IO es una biblioteca que permite realizar aplicaciones en tiempo real, realiza una comunicación bidireccional, es decir puede enviar y recibir datos, está enfocada a eventos lo cual hace posible su uso en el módulo Ciber-Físico, ya que se propone controlar dicho módulo desde la comodidad de una página web.

2.9.2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica amigable con Node.js es HTML 5, esta página web contará con pestañas que permitan visualizar el proceso del módulo en tiempo real, así como la activación de sensores y actuadores desde la web, contendrá gráficas e historiales, estos parámetros son altamente usados en la industria para controlar los procesos de las plantas.

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO

3.1. Introducción

En el presente capítulo se realiza el diseño e implementación del subsistema mecánico y del subsistema electrónico y de todos los componentes que conforman cada uno de ellos, con los parámetros que se seleccionaron anteriormente en el CAPÍTULO II.

3.2. 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 los aspectos como: conexión de 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.

3.2.1. Producto

Para comenzar con el diseño mecánico del módulo Ciber-Físico es necesario establecer las medidas de las piezas que será objeto de análisis, las medidas seleccionadas son 50mm x 50mm, esta es el área que las piezas no deben sobrepasar, las piezas están hechas de Aluminio 6063 T5 y plástico con agujeros de diferentes formas para el control de calidad de estas, las dimensiones se muestran en la figura 22.

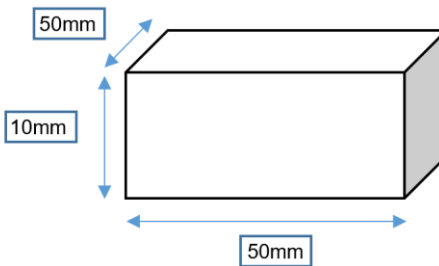


Figura 22. Medidas globales de la pieza

3.2.2. Diseño de la banda transportadora

Con las medidas globales de la pieza se establece 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 de 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.

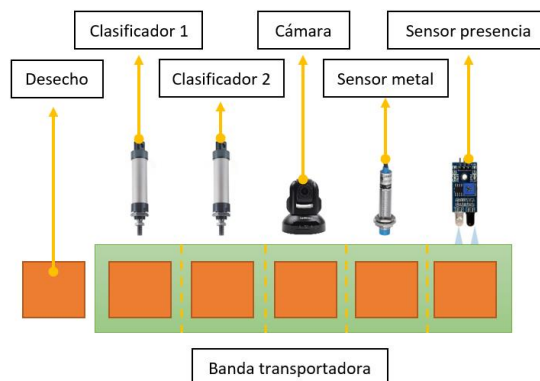


Figura 23. Etapas de la banda transportadora

La longitud del sistema de transporte está dada por el área necesaria a cubrir por cada etapa.

3.2.3. Determinación de la longitud y ancho de la banda transportadora

- **Longitud necesaria**

Para determinar la longitud de la banda transportadora se toma en cuenta el número de etapas, sin considerar la última etapa de desecho ya que estará conformada por una bandeja fuera de la banda.

Partiendo de las dimensiones del producto se establece los datos:

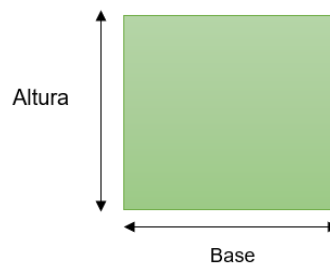


Figura 24. Dimensiones de la pieza mecanizada

Datos:

$$\text{Altura} = a = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Base} = b = 5 \text{ cm}$$

Distancia de separación de cada lado:

$$ds = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{etapas} = e = 5$$

de: distancia entre etapas

$$de = 2 * ds + b \quad (1)$$

$$de = 2 * 2.5 + 5$$

$$de = 10 \text{ cm}$$

Por lo tanto:

$$L = de * e \quad (2)$$

$$L = 50 \text{ cm}$$

Se establece 3cm por cada lado de la banda transportadora como margen de error al colocar la pieza se tiene que la longitud total de la banda es:

$$L_{banda} = L + error \quad (3)$$

$$L_{banda} = 56 \text{ cm}$$

- **Ancho**

Para establecer el ancho de la banda transportadora se considera el producto en su posición más crítica, colocada a 45 grados sobre la horizontal de la banda.

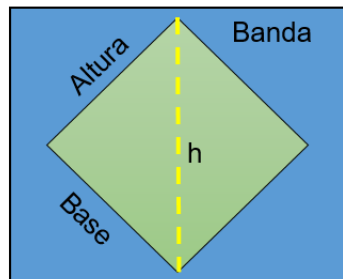


Figura 25. Ancho banda

Datos:

hipotenusa = h = ancho de la banda

$$h = \sqrt{5^2 * 5^2} \quad (4)$$

$$h = 7,56 \text{ cm}$$

Teniendo estos datos se selecciona el tipo de perfil de aluminio que servirá de soporte para la banda, el tubo rectangular de aluminio seleccionado es el 1762 T5.

Tabla 21.

Catálogo de Aluminios de tubo rectangular

Referencia	Base (B)		Altura (A)		Espesor mm	Peso kg/m
	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas		
1008	82.50	3 ¼	38.10	1 ½	2.00	1.264
1009	101.60	4	44.45	1 ¾	2.40	1.837
1016	50.80	2	38.10	1 ½	2.00	0.920
1239	76.20	3	38.10	1 ½	1.80	1.080
1243	50.80	2	25.40	1	1.90	0.746
1507	101.60	4	44.45	1 ¾	1.65	1.276
<u>1762</u>	<u>76.20</u>	<u>3</u>	<u>38.10</u>	<u>1 ½</u>	<u>1.30</u>	<u>0.787</u>
1763	50.80	2	25.40	1	1.20	0.480

Fuente: (CEDAL, 2008)

3.2.4. Soporte banda trasportadora

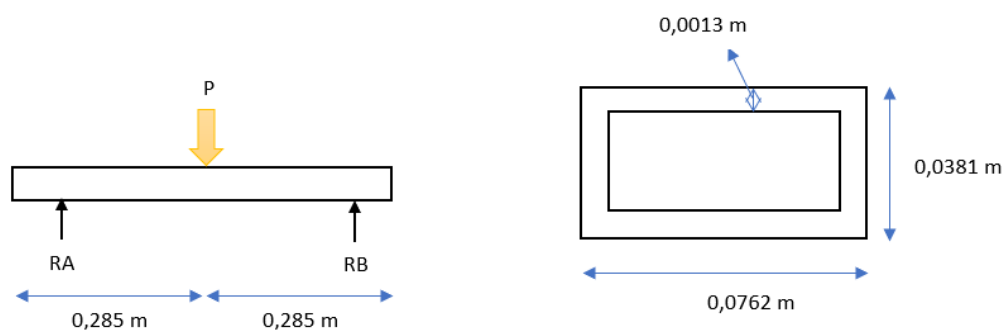


Figura 26. Tubo rectangular banda

Datos:

$$m = 0,03 \text{ kg}$$

$$P = 0,03 * 9,81$$

$$P = 0,2943 \text{ N} \quad (5)$$

$$M_A = M_B = 0,2943 \text{ N} * 0,285 \text{ m}$$

$$M_A = M_B = 0,0839 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad (6)$$

Se calcula la inercia, antes se requiere obtener eje neutro de la secci3n transversal.

$$\bar{y} = \frac{\sum A\bar{y}_i}{\sum A} \quad (7)$$

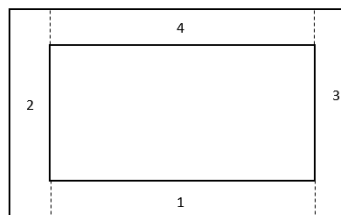


Figura 27. Secci3n tubo rectangular

Tabla 22.

Cálculos secciones del tubo rectangular

Figura	Área	\bar{y}_i	$A\bar{y}_i$
1	$99,06 \text{ mm}^2$	0,65 mm	$64,39 \text{ mm}^3$
2	$49,53 \text{ mm}^2$	19,05 mm	$943,55 \text{ mm}^3$
3	$49,53 \text{ mm}^2$	19,05 mm	$943,55 \text{ mm}^3$
4	$99,06 \text{ mm}^2$	19,7 mm	$1951,48 \text{ mm}^3$
	$297,18 \text{ mm}^2$		$3902,97 \text{ mm}^3$

$$\bar{y} = \frac{3902,97 \text{ mm}^3}{297,18 \text{ mm}^2}$$

$$\bar{y} = 13,133 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3 + Ad^2 \quad (8)$$

$$I = I_1 - I_2$$

$$I = \frac{1}{12}(0,0762 \text{ m})(0,0381\text{m})^3 + (0,0762 * 0,0381)(0,0131)^2 - \frac{1}{12}(0,0736\text{m})(0,0355)^3 \\ + (0,0736 * 0,0355)(0,0013)^2$$

$$I = 5,794 * 10^{-7}m^4$$

$$\sigma_T = \frac{Mc}{I} \quad (9)$$

$$\sigma_T = \frac{(0,0839 \text{ Nm})(0,0191 \text{ m})}{5,794 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_T = 276,577 \text{ Pa}$$

$$\sigma_c = \frac{(0,0839 \text{ Nm})(0,0191 \text{ m})}{5,794 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_c = -276,577 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \quad (10)$$

Consideramos $N = 2$; como un factor de seguridad aceptable

El S_y del aluminio 6063 T6 que se seleccionó es de : 241 MPa de acuerdo a (Budynas & Keith, 2008)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (11)$$

$$\sigma_d = \frac{241 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_d = 120,5 \text{ MPa}$$

Comprobamos que se cumpla la relación

$$\sigma_d \geq \sigma_T \quad (12)$$

$$120,5 \text{ MPa} \geq 276,577 \text{ Pa}$$

Al cumplirse esta relación se comprueba que la estructura es segura.

3.2.5. Eje motriz de la banda transportadora

La banda transportadora consta de dos ejes, para lo cual se procede a diseñar el eje más crítico, el eje motriz acoplado al motor.

El peso sobre la banda transportadora se representa con la letra W , se toma como máximo 0,25 kg, siendo la pieza de aluminio la más pesada con 0.100 kg.

Datos:

$$\text{Peso máx. sobre la banda} \rightarrow W = 0,25 \text{ kg} \rightarrow 2.45 \text{ N}$$

Carga distribuida:

$$W_c = \frac{W}{B} \quad (13)$$

$$W_c = \frac{2.45 \text{ N}}{0,076 \text{ m}}$$

$$W_c = 32,237 \text{ N/m}$$

- **Cálculo de las reacciones en el eje**

$$\sum Fy = 0$$

$$RA + RB = W$$

$$RA + RB = 2,45 \text{ N} \quad (14)$$

$$\sum MA = 0$$

$$RB(121,20\text{mm}) = Wc(60,6\text{mm})$$

$$121,20RB = (2,45 \text{ N})(60,6 \text{ mm})$$

$$RB = \frac{(2,45\text{N})(60,6 \text{ mm})}{121,20}$$

$$RB = 1,225 \text{ N}$$

$$RA + 1,225\text{N} = 2,45\text{N}$$

$$RA = 1,225 \text{ N} \quad (15)$$

$$(7) \text{ en } (6)$$

$$RA = 1,225 \text{ N} \quad (16)$$

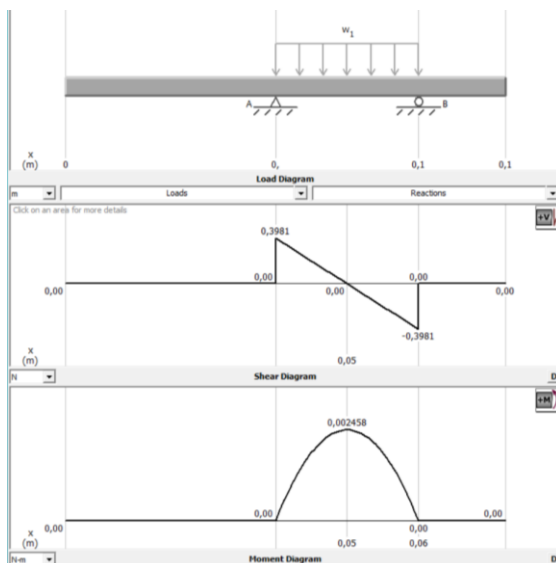


Figura 28. Diagrama V-M del eje motriz de la banda transportadora

De acuerdo a los datos obtenidos en la figura 28 que el momento máximo es:

$$M_{max} = 0,002458 \text{ N.m} \quad (17)$$

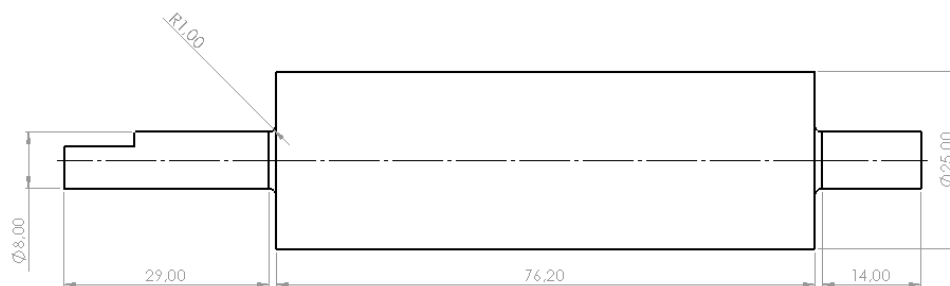


Figura 29. Diseño eje motriz

$$\frac{r}{d} = \frac{1,5}{8} = 0,1875 \quad (18)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{25}{8} = 3,125 \quad (19)$$

De la figura 29 en donde se detalla los factores de concentración de esfuerzos, se obtiene los valores de la tabla 23.

Tabla 23.

Concentración de esfuerzos

D/d	K_t
2	2,125
3	2,26
3,125	K_t

Se realiza una interpolación para obtener el valor correcto

$$\frac{2,26-2,125}{3-2} = \frac{K_t-2,125}{3,125-2} \quad (20)$$

$$\frac{0,135}{1} = \frac{K_t - 2,125}{1,125}$$

$$K_t = 2,277$$

- **Cálculo del esfuerzo máximo**

$$S = \frac{\pi D^3}{32} \quad (21)$$

$$S = \frac{\pi(25 * 10^{-3})^3}{32}$$

$$S = 153,398 * 10^{-8} m^3$$

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * K_t}{S} \quad (22)$$

$$\sigma = \frac{0,002458 * 2,277}{153,398 * 10^{-8} m^3}$$

$$\sigma = 0,00364 MPa$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{8} \quad (23)$$

$$S_y = 0,00364 MPa * 8$$

$$S_y = 0,029 MPa$$

Después de haber calculado el S_y se selecciona como material el Nylon cuyo $S_y = 41 MPa$

- **Área del material a transportar**

Las piezas que serán analizadas son un cuadrado y un círculo para lo cual obtendremos el área de cada uno de ellos.

Cuadrado

$$A = l \times l \quad (23)$$

$$A = 0,05 \times 0,05$$

$$A = 0,0025 m^2$$

Círculo

$$A = \pi \times r^2 \quad (24)$$

$$A = \pi \times (0,025)^2$$

$$A = 0,0020 m^2$$

- **Velocidad de la banda**

Para obtener la velocidad de la banda se tiene las consideraciones:

Productividad (N): 5 piezas x min

Longitud de la banda (L): 0,56 m

$$v = N \times L \quad (25)$$

$$v = 300 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}} \times 0,56 \text{ m}$$

$$v = 168 \frac{\text{m}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$v = 0,0466 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Velocidad Angular**

Aquí se determina las revoluciones necesarias para que el motor cumpla con los requerimientos, donde:

r_{cm} : radio del cilindro motriz = 0,0125 m

$$v = \omega \times r_{cm}$$

$$\omega = \frac{v}{r_{cm}} \quad (26)$$

$$\omega = \frac{0,0466 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\omega = 3,728 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$\omega = 35,60 \text{ rpm}$$

- **Holgura de la banda**

Datos:

. Ancho de la banda: 76,2 mm

$$C = 0,055 (B + 0,9) \quad (27)$$

$$C = 0,055 (3,002 + 0,9)$$

$$C = 0,2146 \text{ pulg} = 5,45 \text{ mm}$$

- **Ancho plano de la banda**

$$k = B - 2C \quad (28)$$

$$k = 76,2 \text{ mm} - 2 (5,45 \text{ mm})$$

$$k = 65,3 \text{ mm}$$

- **Fuerza necesaria para mover la banda sin carga (F1)**

Datos:

Masa del tambor motriz: 0,0514 kg

Masa del cilindro de retorno: 0,0506 kg

Masa de la banda: 0,233 kg

$$l_0 = 60 - 0,2L \quad (29)$$

$$l_0 = 60 - 0,2(0,55 \text{ m})$$

$$l_0 = 59,89 \text{ m}$$

Q_p = Masa de la banda y cilindros

$$Q_p = 0,0514 \text{ kg} + 0,0506 \text{ kg} + 0,233 \text{ kg} \quad (30)$$

$$Q_p = 0,335 \text{ kg}$$

q_p : Masa de la banda y cilindros por la longitud de trabajo

$$q_p = \frac{Q_p}{L} \quad (31)$$

$$q_p = \frac{0,335 \text{ kg}}{0,55 \text{ m}}$$

$$q_p = 0,6091 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

f' : coef. de fricción de los cilindros = 0,04

$$F_1 = f' * q_p * (L + l_0) \quad (32)$$

$$F_1 = 0,04 * 0,6091 * (0,55 \text{ m} + 59,89 \text{ m})$$

$$F_1 = 1,4726 \text{ kgf}$$

- **Fuerza para mover el material (F_2)**

Donde:

- **Q:** Masa que transporta la banda por hora

$$Q = Q_p * N \quad (33)$$

$$Q = 0,335 \text{ kg} * 300 \frac{\text{piezas}}{\text{hora}}$$

$$Q = 100,5 \frac{kg}{h}$$

$$F_2 = f' * \frac{Q}{3,6v} * (L + lo) \quad (34)$$

$$F_2 = (0,04) * \frac{100,5 \frac{kg}{h}}{3,6 \left(164,88 \frac{m}{h}\right)} * (0,55 m + 59,45 m)$$

$$F_2 = 0,406 kgf$$

- **Fuerza periférica total del cilindro motriz**

$$F_T = F_1 + F_2 \quad (35) \text{ y } (36)$$

$$F_T = 1,4726 kgf + 0,406 kgf$$

$$F_T = 1,8786 kgf = 18,4228 N \quad (37)$$

- **Potencia absorbida por el transportador**

$$P_t = F_T * v \quad (37) \text{ y } (26)$$

$$P_t = 18,4228 N * 0,0458 \frac{m}{s}$$

$$P_t = 0,844 W \quad (38)$$

- **Potencia motriz necesaria (P_m)**

$$P_m = \frac{P_t}{n} \quad (39)$$

$$P_m = \frac{0,844W}{0,80}$$

$$P_m = 1,055 W$$

3.2.6. Selección del motor para la banda transportadora

$$P = \frac{\tau * \pi * N}{30000} \quad (40)$$

$$\tau = \frac{P * 30000}{\pi * N}$$

$$\tau = \frac{(30000)(1.055 \times 10^{-3} \text{ Kw})}{\pi \times (34,989 \text{ rpm})}$$

$$\tau = 0,2879 \text{ Nm} = 40,77 \text{ onz} \cdot \text{in}$$

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

- $P = 0,828\text{W}$
- $\tau = 40,77 \text{ onz} \cdot \text{in}$
- $n = 34,898 \text{ rpm}$

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.



Figura 30. Motor Pololu 131:1]

En la tabla 24 se aprecia las características técnicas del motor.

Tabla 24.
Características técnicas motor Pololu 131:1

Características técnicas	Datos
Relación de transmisión:	131: 1
Velocidad sin carga a 12V:	80 rpm
Corriente sin carga a 12V:	300 mA
Bloqueo de corriente a 12V:	5000 mA
Par de torsión a 12V:	250 oz
Velocidad sin carga a 6V:	40 rpm
Corriente sin carga a 6V:	250 mA
Bloqueo de corriente a 6V:	2500 mA
Par de apriete a 6V:	125 oz

Fuente: (POLOLU, 2019)

Con los datos de la tabla 24 se selecciona el driver DROK (figura 31) cuyas características técnicas se detallan en la tabla 24.



Figura 31. Driver Drok

Tabla 24
Características Driver

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

3.2.7. Cálculos actuadores neumáticos

Para la clasificación de las piezas el módulo cuenta con dos actuadores que se encargaran de desplazar las piezas a contenedores, con el ancho de la banda se puede seleccionar el actuador adecuado con los datos.

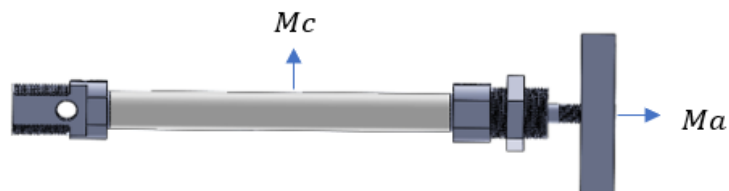


Figura 32. Esquema del cilindro con el acople

Carrera de 75 mm

La fuerza mayor o igual 2.25N.

Datos:

Masa del cilindro (Mc): 0,27 kg

Masa del acople (Ma): 0,3 kg

Masa de la pieza mecanizada: 0,25 kg

Masa total a vencer (Mt): 0,55 kg

Presión de trabajo: 0,05 MPa

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Ft}{\pi \cdot P}} \quad (41)$$

Donde:

D: Diámetro del embolo, en mm.

Ft: Fuerza teórica, en N.

P: Presión de trabajo, en Pa.

Peso de todas las cargas a desplazarse

$$W = 0,55 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = Fe = 5,39 \text{ N} \quad (42)$$

De acuerdo a esto la fuerza a vencer por el cilindro es de 1,57 N, tomando en consideración que se debe sumar el 10% de fuerza de rozamiento que se produce por el avance y retorno.

$$Fe = Ft - Fr \quad (43)$$

Donde:

Ft: Fuerza teórica, en N

Fe: Fuerza efectiva, en N

Fr: Fuerza de rozamiento 10% (0,1) en N.

Se calcula la fuerza teórica aplicando la ecuación 36:

$$Fr = 0,1 * Ft \quad (44)$$

$$Fe = Ft - 0,1Ft$$

$$Fe = 0,9Ft$$

Despejando la fuerza teórica

$$Ft = \frac{Fe}{0,9} \quad (45)$$

$$Ft = \frac{5,39 \text{ N}}{0,9}$$

$$F_t = 5,989 N$$

Reemplazamos la fuerza teórica en la ecuación 1:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,989 N}{\pi \cdot 0,05 \cdot 10^6 Pa}} \quad (46)$$

$$D = 0,00390 = 4 mm$$

Obteniendo un diámetro del émbolo del cilindro de 4 mm, con ese valor se selecciona en el catálogo de cilindros neumáticos de doble efecto con vástago simple SMC como detalla en tabla 25.

Tabla 25.

Diámetros comerciales de cilindros con vástago doble efecto serie CM2

Diámetro [mm]	20	25	32	40
Modelo	Neumático			
Acción	Doble efecto con vástago simple			
Fluido	Aire			
Presión de prueba	1.5 MPa			
Presión máx. de trabajo	1.0 MPa			
Presión mín. de trabajo	0.05 MPa			
Temperatura ambiente y de fluido	Sin detección magnética: -10°C a 70°C Con detección magnética: -10° a 60°C (sin congelación)			
Lubricación	No necesaria (sin lubricación)			
Tolerancia de longitud de carrera	+1.4 0 mm			
Velocidad del émbolo	50 a 750 mm/s			
Amortiguación	Tope elástico, amortiguación neumática			

Fuente: (SMC Corporation, s.f)

Con los datos obtenidos de la tabla 25, se selecciona el actuador con carrera de 75mm como se observa en la tabla 26.

Tabla 26.
Carreras estándar de cilindros con vástago de doble efecto CM2

Diámetro [mm]	Carrera estándar [mm] ^{Nota 1)}	Carrera máxima disponible [mm]
20		1000
25	25, 50, 75 ,	1500
32	100, 125, 150, 200, 250, 300	2000
40		

Fuente: (SMC Corporation, s.f)

De acuerdo a los requerimientos y especificaciones del fabricante expuestas en la tabla 25 y 26 se seleccionó un cilindro con un diámetro de 20 mm en la tabla 25 y una carrera de 75mm mostrado en la tabla 26.

- **Consumo de aire del cilindro**

$$V = A + A'(Carrera * n) * Rc \quad (47)$$

Donde:

V: consumo de aire

Rc: relación de compresión

A: Área del cilindro de avance

D: diámetro del cilindro

A': área del cilindro en el retorno

n: número de ciclos por minuto = 5 $\frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}$

- **Cálculo del área del cilindro en el avance**

$$A = 0.785D^2 \quad (48)$$

$$A = 0,785(20\text{mm})^2$$

$$A = 314 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo del área del cilindro en el retorno**

d: diámetro del vástago = 6mm

$$A' = 0,785(D^2 - d^2) \quad (49)$$

$$A' = 0,785(20^2 - 6^2)$$

$$A' = 285,74 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de la relación de compresión**

*Presión atmosférica (Patm): 1,013 * 10⁵ Pa*

Presión de trabajo (Ptrab): 0,05 MPa

$$Rc = \frac{Patm + Ptrab}{Patm} \quad (50)$$

$$Rc = \frac{(1,013 * 10^5 + 0,05 * 10^6)}{1,013 * 10^5}$$

$$Rc = 2$$

Remplazando en la ecuación 47

$$V = 314 \text{ mm}^2 + 285,74 \text{ mm}^2 (75 \text{ mm} * 5) * 2 \quad (51)$$

$$V = 214619 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

3.2.8. Selección bandeja de clasificación

Para la selección de las bandejas de clasificación se parte de las medidas de las piezas, se elige el perfil de aluminio 1773 T5 como se detalla en la tabla 27.

Tabla 27.

Catálogo de canaleta sin aleta de Aluminio

Referencia	Base (B)		Altura (A)		Espesor mm	Peso kg/m
	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas		
1004	101.60	4	44.40	1 3/4	2.40	1.341
1240	76.20	3	38.10	1 1/2	1.80	0.830
1510	101.60	4	44.40	1 3/4	1.65	0.936
1769	76.20	3	38.10	1 1/2	1.55	0.691
1773	76.20	3	25.40	1	1.55	0.560
2026	43.80	1 45/62	10.70	35/83	1.20	0.267
2079	50.80	2	25.40	1	1.25	0.370
2098	25.00	66/67	15.00	13/22	2.8(b) y 1.7(a)	0.298
2101	38.00	1 1/12	19.00	3/4	1.30	0.292

Fuente: (CEDAL, 2008)

3.2.9. Diseño de la estructura

La estructura soporta todos componentes del módulo Ciber-Físico figura 33, por lo cual para el diseño de la estructura se toma en cuenta todas las masas de los componentes como se detalla en la tabla de los otros componentes diseñados anteriormente.

$$Largo = 85 \text{ cm}$$

$$Ancho = 50 \text{ cm}$$

$$Alto = 30 \text{ cm}$$

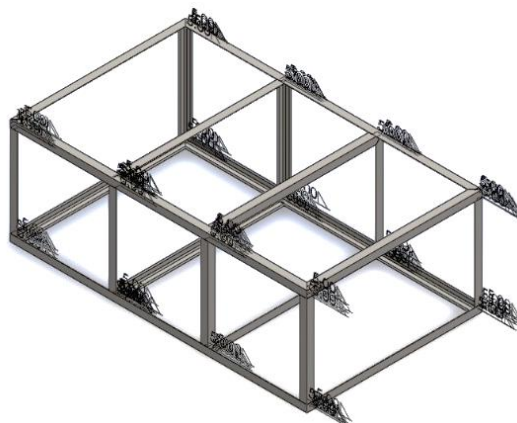


Figura 33. Estructura del módulo Ciber-Físico

El material usado para la estructura base es el perfil de acero comercial AISI 1080.

TABLA 25.

Masa de los componentes

Elemento	Cantidad	Peso Neto (kg)	Peso Total (kg)
Tapa acanalada	18	0,2073	3,73
Banda	1	1,9	1,9
Cilindros Neumáticos	2	0,3	0,6
Soporte Cilindros	2	0,1	0,2
Soporte cilindros traseros	2	0,08	0,16
Bandejas de clasificación	3	0,08	0,24
Soporte bandejas	3	0,04	0,12
cámara	1	0,2	0,2
Soporte cámara	1	0,5	0,5
Soporte Luz	1	0,4	0,4
Soporte sensor	2	0,2	0,4
Otros			2
Total			8,95

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 25 se procede a verificar si el diseño de la estructura es seguro, como se detalla en la figura 33.

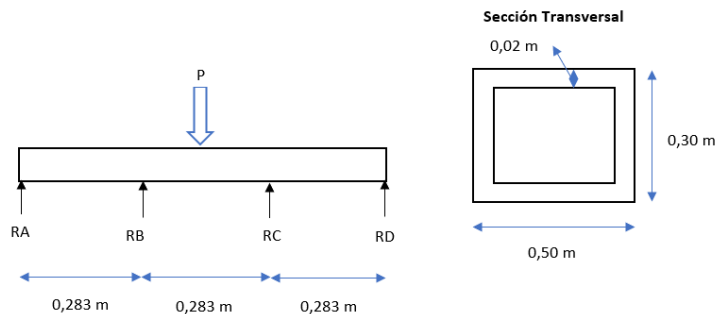


Figura 34. Sección transversal de la estructura

Datos:

Masa total = 8,95 kg

$$P = 8,95 * 9,81 \quad (52)$$

$$P = 87,80 \text{ N}$$

$$M_A = M_D = 87,80 \text{ N} * 0,439 \text{ m}$$

$$M_A = M_D = 38,544 \text{ Nm}$$

$$M_B = M_C = 87,80 \text{ N} * 0,156 \text{ m}$$

$$M_B = M_C = 13,697 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I} \quad (53)$$

Se calcula la inercia, pero antes se requiere obtener eje neutro de la sección transversal

$$\bar{y} = \frac{\sum A\bar{y}_i}{\sum A} \quad (54)$$

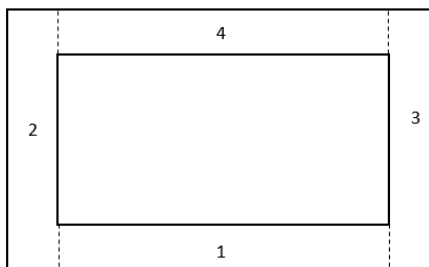


Figura 35. Suma de secciones sección transversal

Una vez determinadas todas las secciones transversales de la estructura se procede a calcular su área y momentos de inercia respectivamente como se detalla en la tabla 28.

Tabla 28.

Suma de secciones sección transversal.

Figura	Área	\bar{y}_i	$A\bar{y}_i$
1	10000 mm ²	10 mm	100000 mm ³
2	1200 mm ²	250 mm	300000 mm ³
3	1200 mm ²	250 mm	300000 mm ³
4	10000 mm ²	290 mm	2900000 mm ³
	224000 mm ²		3600000 mm ³

$$\bar{y} = \frac{3600000 \text{ mm}^3}{22400 \text{ mm}^2} \quad (55)$$

$$\bar{y} = 160,71 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3 + Ad^2$$

$$I = I_1 - I_2$$

$$I = \frac{1}{12}(0,5 \text{ m})(0,3 \text{ m})^3 + (0,5 * 0,3)(0,01071)^2 - \frac{1}{12}(0,46 \text{ m})(0,26)^3 + (0,46 * 0,26)(0,02)^2$$

$$I = 4,206 * 10^{-4} \text{ m}^4 \quad (56)$$

$$\sigma_T = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_T = \frac{(38,544 \text{ Nm})(0,15 \text{ m})}{4,206 * 10^{-4}} \quad (57)$$

$$\sigma_T = 13746,1 \text{ Pa}$$

$$\sigma_c = \frac{(38,544 \text{ Nm})(0,15 \text{ m})}{4,206 * 10^{-4}} \quad (58)$$

$$\sigma_c = -13746,1 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \quad (59)$$

Se considera $N = 2$; como un factor de seguridad aceptable, se tiene S_y del acero AISI 1080 que se seleccionó es de : 770 MPa de acuerdo a (Budynas & Keith, 2008)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (57)$$

$$\sigma_d = \frac{770 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_d = 385 \text{ MPa}$$

Comprobamos que se cumpla la relación

$$\sigma_d \geq \sigma_T \quad (58)$$

$$385 \text{ MPa} \geq 13746,1 \text{ Pa}$$

Al cumplirse esta relación se comprueba que la estructura es segura.

3.2.10. Análisis estático de la estructura base

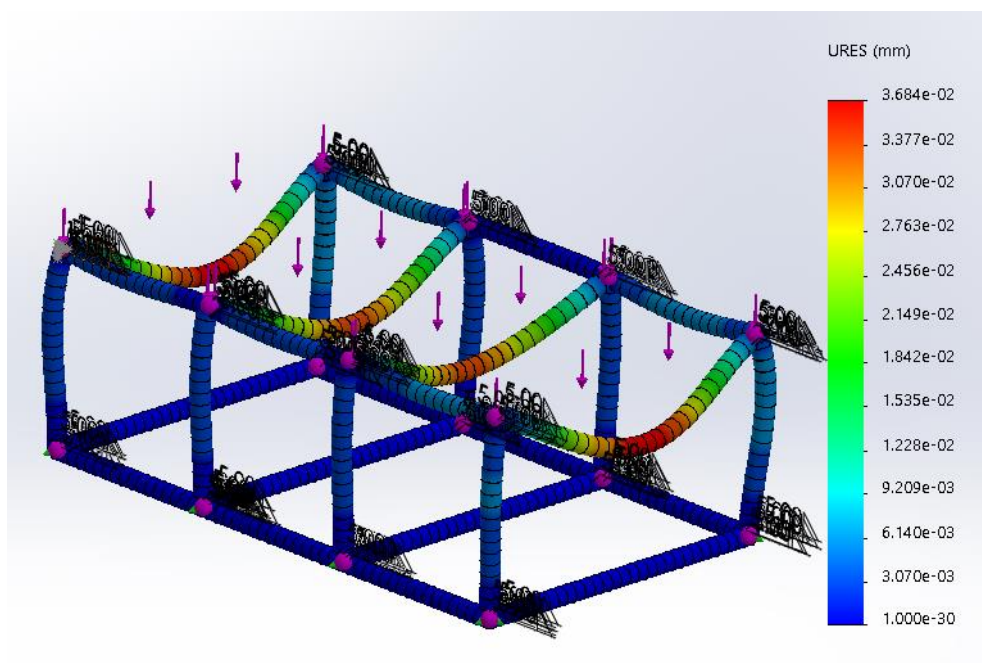


Figura 36. Deformación de la estructura

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 36, 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.

3.2.11. Diseño del sistema neumático

La función del actuador neumático es empujar la pieza y luego retraerse a su posición original, para ello se tiene el diagrama fase de movimiento de los actuadores:

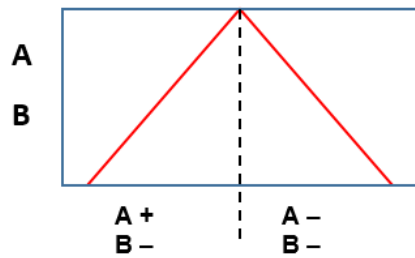


Figura 37. Diagrama fase movimiento actuadores

Al ser un sistema neumático activado por electroválvulas se establece el circuito de la figura 38, siendo s1 y s2 las salidas del PLC.

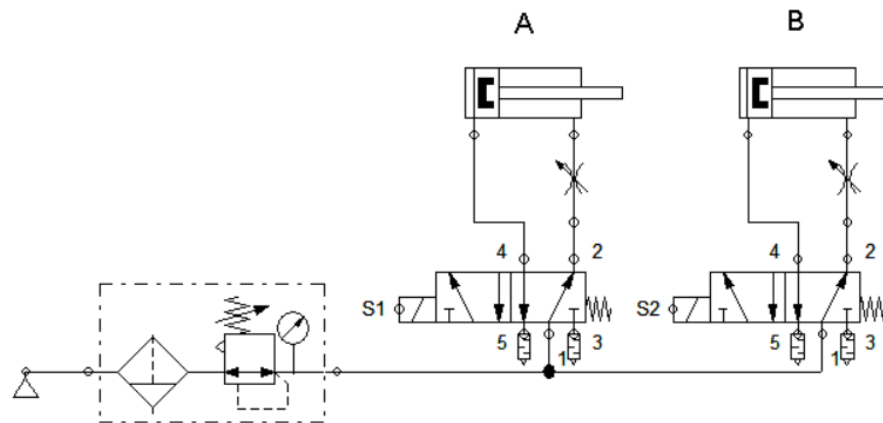
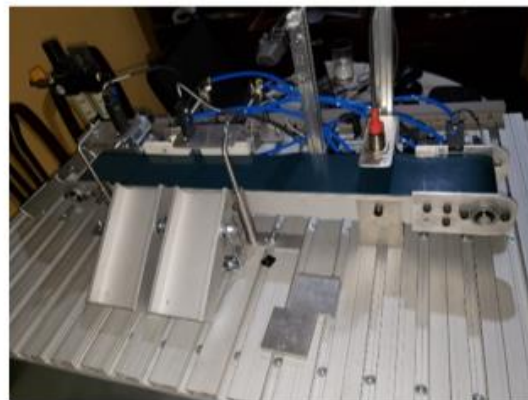
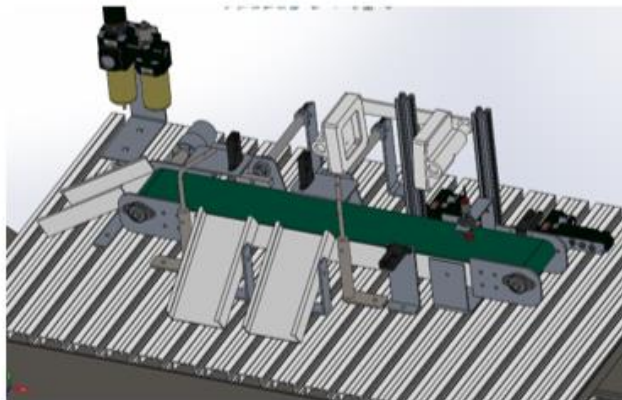


Figura 38. Secuencia neumática de los pistones

3.2.12. Implementación mecánica sistema Ciber-Físico.

Una vez concluido con los cálculos necesarios de los elementos que componen el módulo didáctico se procede a ensamblar cada elemento a la estructura, todos los pasos

y elementos usados se detallan en el Anexo A de presente proyecto, el resultado final se compara con el esperado que se detalla en la figura 39.



(A) Resultado esperado

(b) Resultado final

Figura 39. Ensamble mecánico sistema Ciber-Físico

3.3. Diseño eléctrico

En el presente apartado se establece las conexiones del PLC de los sensores y actuadores eléctricos utilizados en el módulo Ciber-Físico como también la conexión de la tarjeta Raspberry pi como se observa en la figura 40.

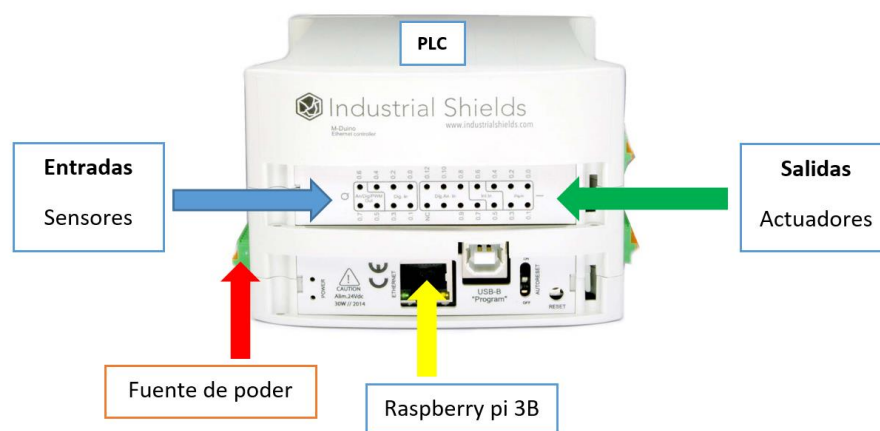


Figura 40. Esquema de conexiones

3.3.1 Conexión de sensores y actuadores

Las conexiones de los sensores y actuadores al PLC están hechas según las especificaciones técnicas de cada uno, cada elemento ocupa una entrada en el caso de sensores o pulsadores y una salida para los actuadores, estas conexiones se detallan en el Anexo C de este proyecto, las entradas están conformadas por sensores de presencia, y botones las mismas que se detallan en el esquema eléctrico de la figura 41.

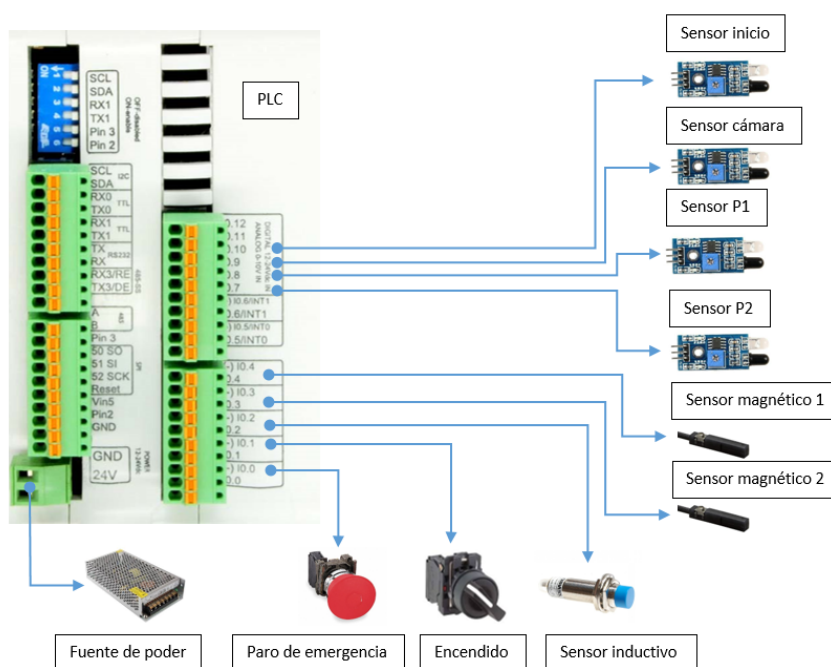


Figura 41. Conexión entradas PLC

Las salidas están conectadas al PLC mediante un banco de relés ya que estas al usar distintas tensiones pueden dañar al mismo, cada una ocupa un relé, que esta alimentado a 5V DC que es una tensión que soporta el PLC, estas conexiones se detallan en el Anexo C de este proyecto, las entradas están conformadas por electroválvulas, luces pilotos y salidas que están destinadas a controlar el driver que controla el motor de la banda transportadora, como se detalla en el esquema eléctrico de la figura 42.

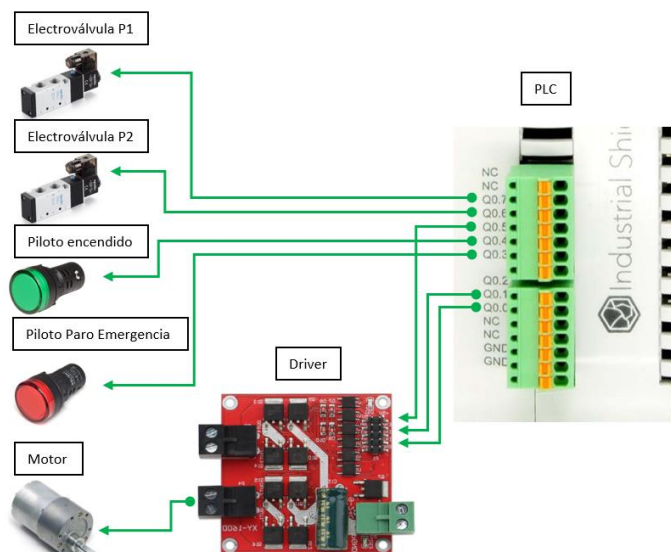


Figura 42. Conexión salida PLC

3.3.2. Conexión cámara Raspberry pi y PLC

La Raspberry pi es la encargada de procesar las imágenes adquiridas por la cámara y de acuerdo a los resultados envía la información hacia el PLC, en la figura 43 se detalla los puertos conectados entre de la tarjeta Raspberry pi con la cámara y el PLC

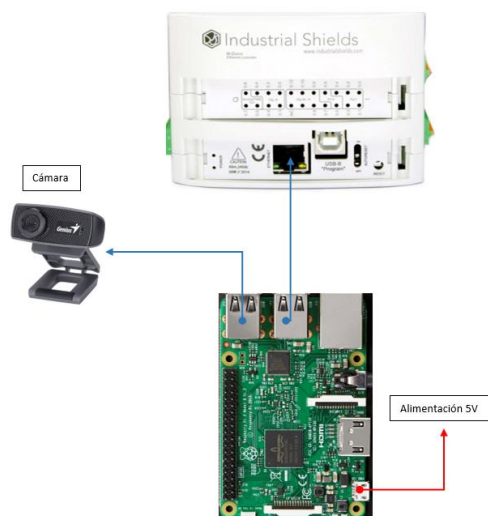


Figura 43. Conexión entre la cámara a la Raspberry pi y el PLC

3.3.3. Selección de la fuente de alimentación.

Para el funcionamiento de los distintos dispositivos electrónicos usados en el módulo se requiere de fuentes de poder capaces de suministrar energía a cada uno de ellos, para ello en la tabla 30 se detalla las entradas que ocupan cada sensor, así también la alimentación del mismo, para seleccionar la fuente de poder ideal.

Tabla 29.
Entradas PLC

Elemento	Cantidad	Entrada PLC	Alimentación
Encendido	1	I0_0	5V
Paro de emergencia	1	I0_1	5V
Sensor inicio	1	I0_5	5V
Sensor inductivo	1	I0_2	5V
Sensor cámara	1	I0_6	5V
Sensor clasificador 1	1	I0_7	5V
Sensor clasificador 2	1	I0_8	5V
Magnético clasificador 1	1	I0_3	5V
Magnético clasificador 2	1	I0_4	5V

También se apreciar en la tabla 31 las entradas asignadas a los actuadores y la alimentación de cada uno.

Tabla 30.
Salidas PLC

Elemento	Cantidad	Salida PLC	alimentación
Piloto encendido	1	Q0_0	5V
Piloto paro	1	Q0_1	5V
Electroválvula 1	1	Q0_2	24V
Electroválvula 2	1	Q0_3	24V
Driver	1	Q0_5, Q0_6, Q_07	5V
Motor	1	-	12V
Luz led	1	Q0_0	12V

Con los datos obtenidos en las tablas 30 y 31 se selecciona las fuentes de poder necesarias para alimentar a los sensores y actuadores del módulo,

El PLC necesita una fuente de alimentación de 5V – 24V y soporta hasta 2000mA,

- Fuente PLC: 24V 2A
- Fuente para el motor: 12V 7A.
- Para los demás sensores y actuadores q funcionan a 5V el PLC tiene una salida 3 salidas internas a 5V, las cuales son aprovecharas para conectar los elementos que fusionan a esta tensión.

3.3.4. Implementación electrónica del sistema Ciber-Físico

Con el soporte de los datos técnicos de cada uno de los elementos electrónicos se conecta cada uno de ellos al PLC, los esquemas eléctricos detallados en las figuras 42 y 43 se muestran ya implementados en la figura 44.

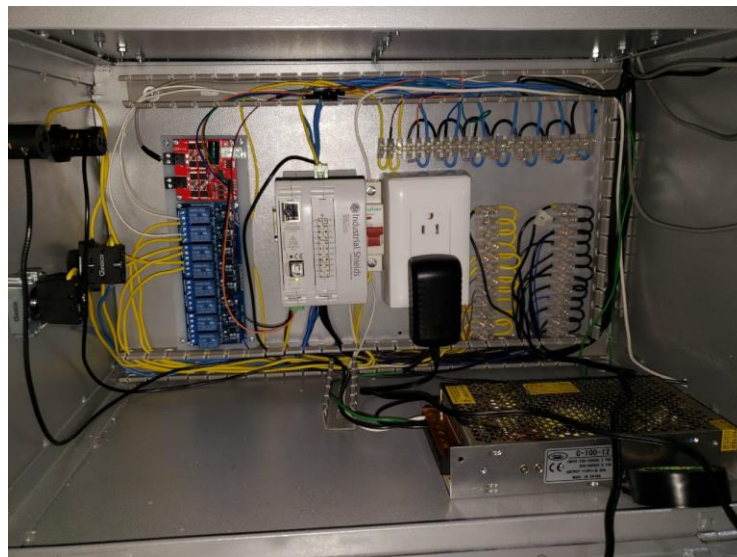


Figura 44. Implementación electrónica

CAPÍTULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD Y ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1. Introducción

En el presente capítulo se realiza el diseño del algoritmo de control de calidad por visión artificial, el diseño del servidor web, así como también de la interfaz gráfica en HTML.

4.2 Algoritmo de control de calidad con visión artificial

Las piezas diseñadas para que el módulo sea capaz de realizar control de calidad son de dos tipos metálicas y no metálicas, a la vez se componen de cuadrados y círculos, de color amarillo, verde y plateado color propio del aluminio, las mismas que tienen defectos con respecto a las originales, como se detalla en la figura 45.

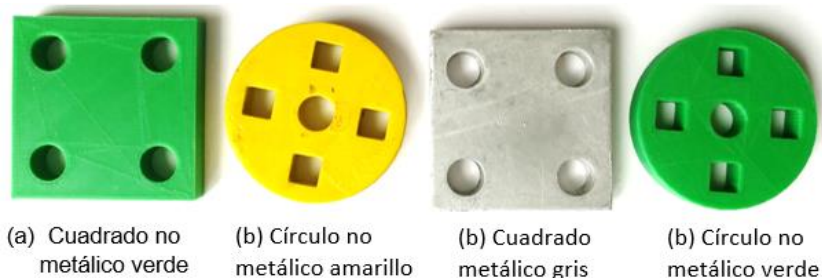


Figura 45. Piezas mecanizadas que se pondrán a prueba

4.2.1. Categorías de clasificación

Los parámetros que el algoritmo debe cumplir al momento de hacer el control de calidad son, color, forma, y material, este último con ayuda del sensor inductivo como se detalla en la figura 46. Todos estos aspectos se controlan, pero la principal característica

de clasificación es la de defectos físicos en las piezas, es decir si se desea clasificar piezas por color el módulo las desechara si esta tiene defectos de fabricación.

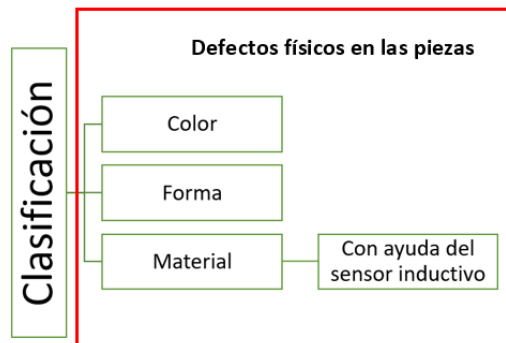


Figura 46. Categorías de clasificación.

4.3. Algoritmo de control de calidad

El algoritmo para la clasificación de las piezas tiene las etapas de procesamiento de imagen que se detalla en la figura 47.

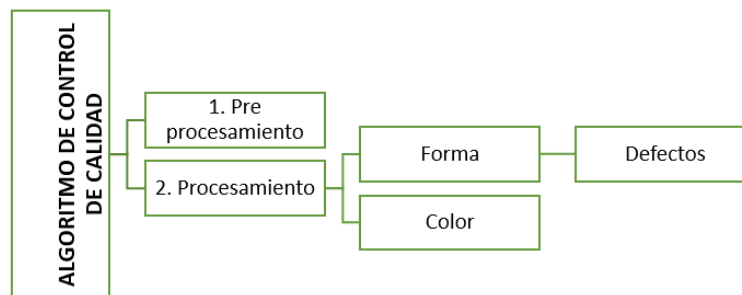


Figura 47. Algoritmo visión

4.3.1. Pre procesamiento:

En este proceso se trata a la imagen real para adecuarla para la etapa de procesamiento, en esta etapa se eliminan los puntos que no son de interés como se detalla en la figura 48.

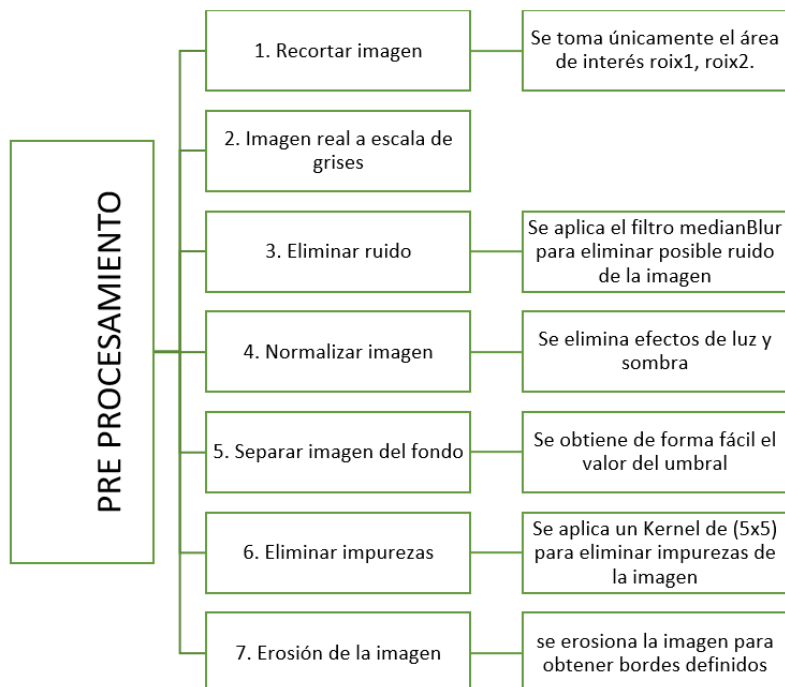


Figura 48. Pre procesamiento

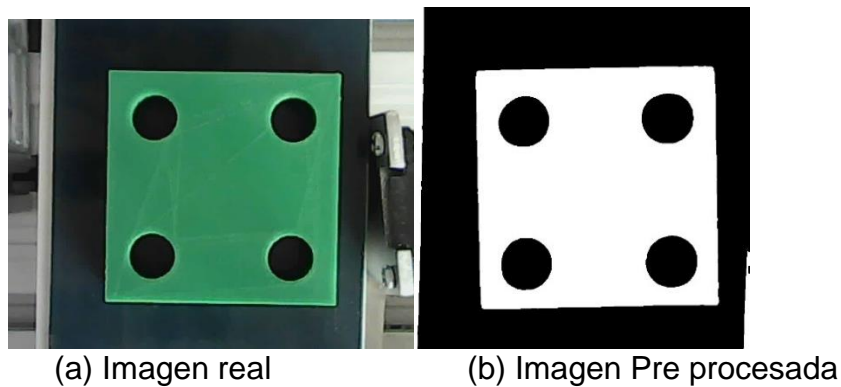


Figura 49. Resultado pre procesamiento

Los resultados obtenidos en la etapa del pre procesamiento se detallan en la figura 49, imagen (a) imagen real e imagen (b) imagen pre procesada.

4.3.2. Procesamiento

En esta etapa se procesa a la imagen anterior para identificar contornos, áreas o formas que esta puede tener, se detalla en la figura 50.

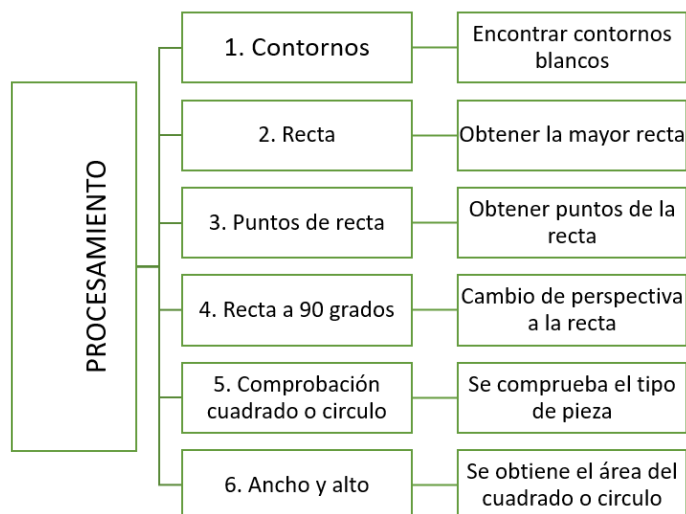


Figura 50. Procesamiento

El resultado de la imagen procesada se muestra en la figura 51, en la cual se observa que la imagen es nítida y se encuentra recta, gracias a las operaciones hechas en la figura 50.

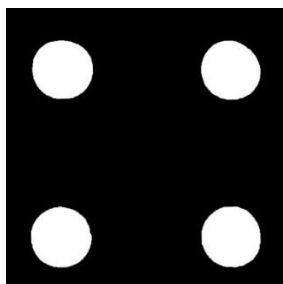


Figura 51. Imagen procesada

4.3.3. Reconocimiento figuras internas y color

Una vez determinado la forma de la pieza se realiza otro proceso para determinar las formas del interior y en base a medidas si estas formas son simétricas o no, en caso de no serlas estas se toman como defectuosas, se detalla en la figura 52.

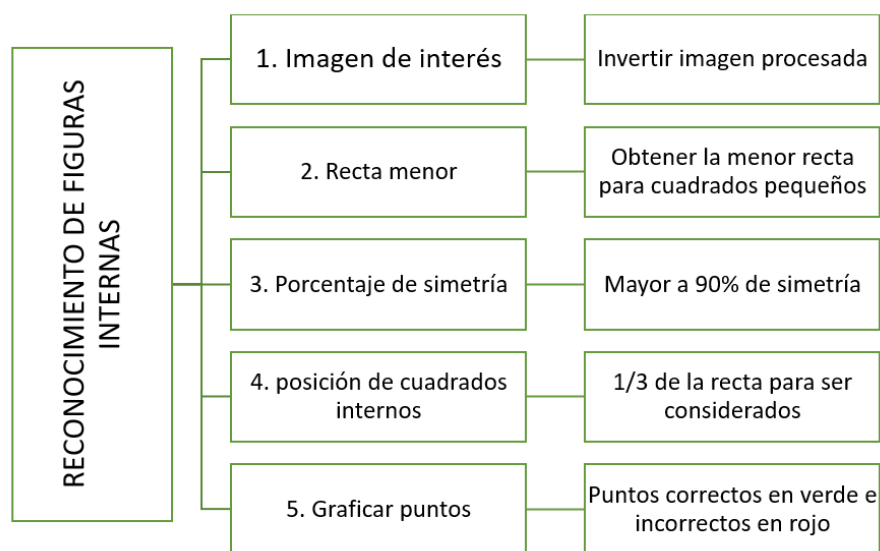


Figura 52. Reconocimiento de figuras internas

Los resultados de aplicar operaciones para encontrar los objetos internos se aprecian en las figuras 53 de cuadrados y 54 de círculos.

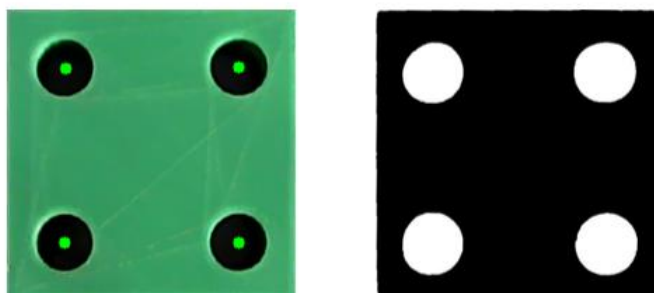


Figura 53. Obtención de figuras internas del cuadrado

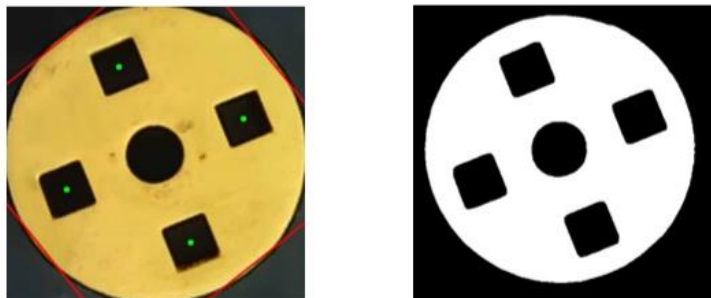


Figura 54. Obtención de imagen interna del círculo

4.4. Servidor Web

El servidor web es el encargado de enviar información emitida por sus clientes entre sus clientes, Node.js es una forma de ejecutar JavaScript en el servidor, es un entorno Javascript del lado del servidor basado en eventos, para el monitoreo en tiempo real de los estos eventos del módulo Ciber-Físico se usa Socket.IO que permite la comunicación bidireccional en tiempo real, que también está basada en eventos como se detalla en la figura 55.

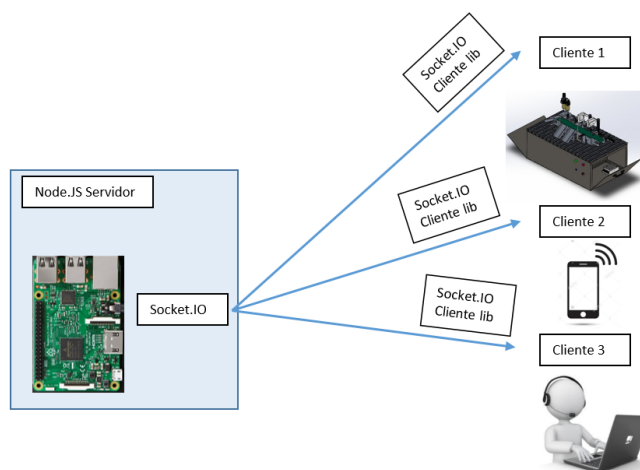


Figura 55. Servidor web Node.js

Para el envío y recepción de datos se usa la estructura JSON, que es capaz de serializar datos de texto común, enviarlos de manera rápida y eficaz.

4.5. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica para el monitoreo en tiempo real se realiza en HTML, está compuesta de 7 pestañas que son:

- **Inicio**

Se enuncia información básica del módulo, así como autores y palabras claves.

- **Monitoreo**

En esta ventana da información del estado de los sensores y de la última imagen procesada.

- **Visualizar proceso**

Esta ventana permite visualizar de manera gráfica todo el proceso del módulo, permitiendo acceder de dos maneras, modo administrador o modo visual, el modo administrador es el único que puede cambiar parámetros del modo

- **Calibración**

En esta ventana se visualizan los estados de los sensores de presencia, permitiendo calibrarlos y verificar el funcionamiento de los actuadores activándolos de forma remota.

- **Ajuste de parámetros**

En esta pestaña el usuario solo en modo administrador puede cambiar los parámetros del módulo, el ciclo de vida de los pistones, velocidad de la banda o resetear el sistema.

- **Historial**

Esta ventana se almacena la información de las piezas que se han analizado con fecha y hora en las que se hizo el análisis, también muestra históricos de eventos de emergencia y alarmas.

También se puede visualizar gráficas estadísticas del número de piezas buenas y malas que se han clasificado.

- **Información**

En esta pestaña se encuentra información descargable del módulo para los usuarios.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Introducción

En el presente capítulo se realizan pruebas de funcionamiento una vez culminado la implementación del sistema Ciber-Físico, los resultados obtenidos permiten corregir errores de diseño o de funcionamiento del sistema, por ende, optimizar el funcionamiento del mismo.

5.2. Prueba de almacenamiento de datos en el historial

Esta prueba consiste en verificar que el servidor web reciba la información de las piezas analizadas, también datos de las alarmas y paros de emergencia activados.

Primero se envía varias piezas de distintas formas, color y material, se verifica que toda la información quede almacenada en el historial. En la figura 56 se observa el resultado de las muestras que se obtuvieron

ID	Descripción	Fecha
84	Muestra Negro Material: Acero Forma: Cuadrado Color: Negro Pieza sin defectos	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:15
85	Muestra No Verde Material: Acero Forma: Cuadrado Color: Verde Pieza sin defectos	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:16
86	Muestra No Verde Material: Acero Forma: Cuadrado Color: Verde Pieza sin defectos	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:17
87	Muestra No Verde Material: Acero Forma: Cuadrado Color: Verde Pieza sin defectos	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:18

(a) Muestras de la clasificación

Evento	Tipo	Fecha
Activado el paro de emergencia	Emergencia	domingo, 13 de enero de 2019 11:56:33
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:14:59
No se ha activado el Pistón 1	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:10:07
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:05:32
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:05:33
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:05:34
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:05:09
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:56
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:42
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 16:00:33
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 15:58:00
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 15:57:56
Activado el paro de emergencia	Emergencia	Jueves, 13 de diciembre de 2018 15:57:52

(b) Muestras de eventos de emergencia

Figura 56. Muestras de clasificación y eventos de emergencia.

Luego se activa manualmente el paro de emergencia y se desconectara el aire de los pistones y se verificara que estos eventos se registren en el servidor. En tabla 32 se puede observar los resultados de la prueba.

Tabla 31.
Registro de datos en el historial

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

Como se observa en Tabla 32 el número de datos almacenados en el historial es igual al número de datos enviados obteniendo una confiabilidad del 100% en el almacenamiento de información enviada del módulo hacia el servidor Web.

5.3. Prueba de envío y recepción de datos

Esta prueba consiste en verificar el envío y recepción de datos en tiempo real entre el módulo y el servidor, para ello se activan entradas y se observa la activación de salidas del mismo.

Se procede a realizar dos tipos de pruebas, en la primera prueba se verifica el envío de datos del servidor web al módulo y en la segunda prueba se verifica la recepción de información del módulo al servidor.

5.3.1. Prueba 1: envío de datos del servidor web al módulo

En esta prueba se procede a encender la máquina y activar el paro de emergencia desde el servidor web. La ejecución de estas acciones se muestra en las figuras 57.

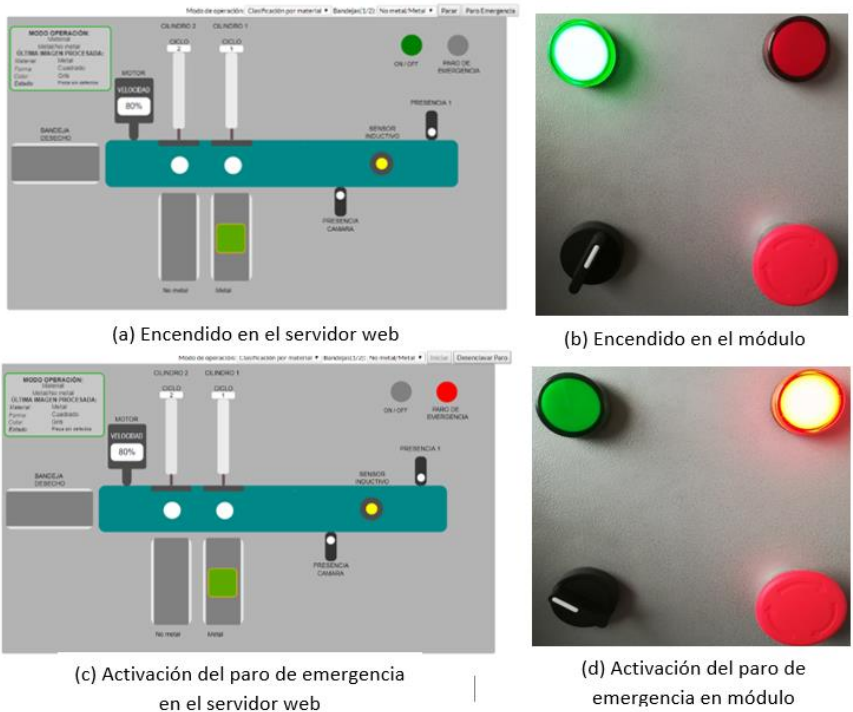


Figura 57. Pruebas de envío de datos

También se prueba la expansión y retracción de los pistones como se observa en la figura 58.

Nombre	Estado	Nombre	Estado
Actuadores			
Pistón 1	Activado	Pistón 2	Desactivado
Sensores			
Sensor Inicio		Sensor Inductivo	
Sensor Cámara		Sensor Pistón 1	
Sensor Pistón 2			
Iniciar Sistema	Iniciar	Parar Sistema	Paro Emergencia

(a) Activación de los pistones desde el servidor



(b) Retracción del pistón



(c) Extensión del pistón

Figura 58. Pruebas del cilindro neumático

Después de ejecutar 5 veces el encendido del módulo y el paro de emergencia se observó que las salidas se activaron 5 veces, obteniendo una confiabilidad del 100% en el envío de información del servidor web a la máquina como se observa en Tabla 33.

Tabla 32.

Registro de las muestras de la prueba 2

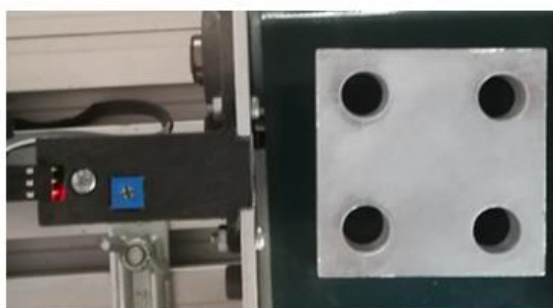
	N. de ejecuciones	Ejecución de la acción	Porcentaje de acierto
Encendido	5	SI	100%
Paro de emergencia	5	SI	100%
Pistón 1	5	SI	100%
Pistón 2	5	SI	100%

5.3.2. Prueba 2: envió de datos del módulo al servidor web

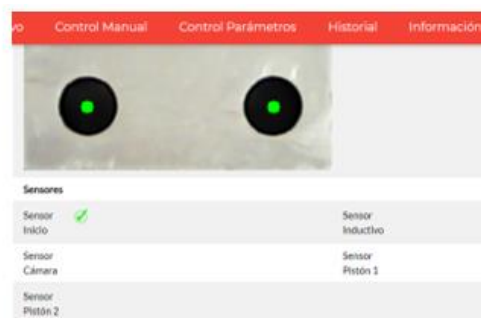
Esta prueba consiste en colocar las piezas en los sensores de presencia del módulo y verificar la activación en el servidor.

- **Activación del sensor de inicio**

Se coloca una pieza en el sensor del inicio y se verifica su activación, como se observa en la figura 59.



(a) Activación del sensor en el módulo



(b) Activación en el servidor

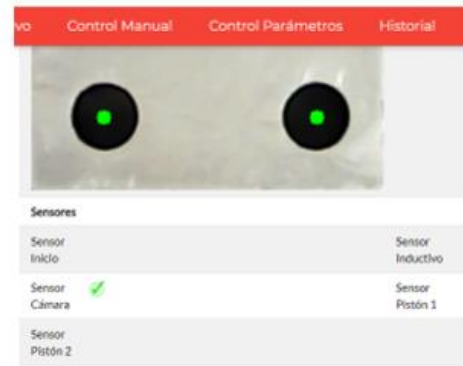
Figura 59. Activación del sensor de la cámara

- **Activación del sensor de la cámara**

Se coloca una pieza en el sensor de la cámara y se verifica su activación, como se observa en la figura 60.



(a) Activación del sensor en el módulo



(b) Activación en el servidor

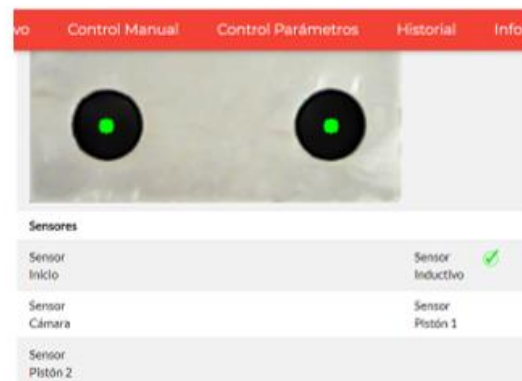
Figura 60. Activación del sensor de la cámara

- **Activación del sensor inductivo**

Se coloca una pieza metálica en el sensor inductivo y se verifica su activación, como se observa en la figura 61.



(a) Activación del sensor en el módulo



(b) Activación en el servidor

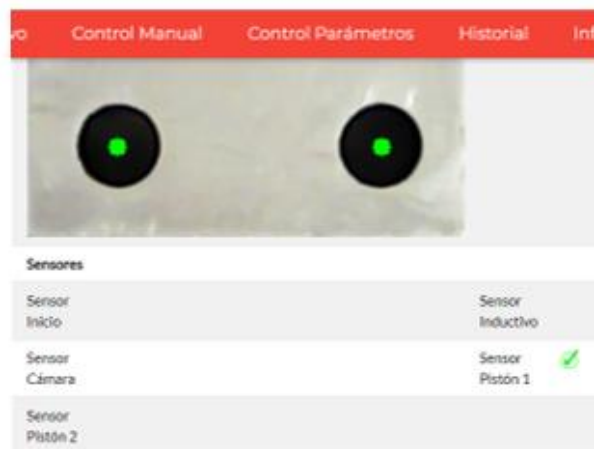
Figura 61. Activación del sensor inductivo

- **Activación del sensor del pistón 1**

Se coloca una pieza en el sensor inductivo y se verifica su activación, como se observa en la figura 62.



(a) Activación del sensor en el módulo



(b) Activación en el servidor

Figura 62. Activación sensor del pistón 1

Como se observa en la tabla 34, después de ejecutar 5 veces la activación de los sensores y registrado el accionamiento en el servidor Web, proporciona una confiabilidad del 100 % en la recepción de información del módulo al servidor web.

Tabla 33.

Registro de muestras de la prueba

	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%

las pruebas de envío y recepción de datos comprueban que la comunicación entre el módulo y el servidor web es óptima y permite supervisar en tiempo real todo lo que sucede en el módulo.

5.4. Prueba de clasificación

La prueba de clasificación consiste en tomar datos del número de aciertos del módulo al inspeccionar piezas en distintos modos:

- Pieza metálica sin defectos y con defectos.
- Pieza plástica cuadrada de color verde con 4 agujeros circulares sin defectos y con defectos.
- Pieza plástica circular de color verde con 4 agujeros cuadrados sin defectos y con defectos.
- Pieza plástica circular de color amarillo con 4 agujeros cuadrados sin defectos y con defectos.

5.4.1. Clasificación por tipo de material

El módulo se pone a prueba con 10 piezas metálicas y no metálicas, se obtienen los datos de la tabla 35.

Tabla 34.

Registro de la muestra de clasificación por material.

Tipo de material	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%
Metálicas	1	10	10	0	100
	2	10	10	0	100
No Metálicas	3	10	10	0	100
	4	10	10	0	100
	5	10	10	0	100

CONTINÚA 

Metálicas con error	6	10	10	0	100
Metálicas sin error	7	10	10	0	100
	8	10	10	0	100
TOTAL		80	80	0	

5.4.2. Clasificación por la forma

Se pone a prueba el módulo con 10 piezas Cuadradas y 10 Circulares, se obtiene los datos de la tabla 36.

Tabla 35.

Registro de la muestra de clasificación por forma

Forma de la Pieza	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%
Cuadrado	1	10	9	1	100
	2	10	10	0	100
Círculo	3	10	8	2	80
	4	10	10	0	100
Cuadrado con errores	5	10	9	1	90
	6	10	9	1	100
Círculo con errores	7	10	10	0	100
	8	10	9	1	90
Total		80	74	6	

5.4.3. Clasificación por Color

Se pone a prueba el módulo con 10 piezas amarillas, verdes y grises, se obtiene los datos de la tabla 37.

Tabla 36.

Registro de la muestra de clasificación por color

Color de la pieza	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%
Verde	1	10	10	0	100
	2	10	9	1	90

CONTINÚA 

Amarillo	3	10	9	2	80
	4	10	10	0	100
Gris	5	10	9	1	90
	6	10	10	0	100
Verde con errores	7	10	9	1	90
	8	10	10	0	90
Amarillo con errores	9	10	8	2	80
	10	10	10	0	100
Gris con errores	11	10	9	2	80
	12	10	10	0	100
		120	111	9	

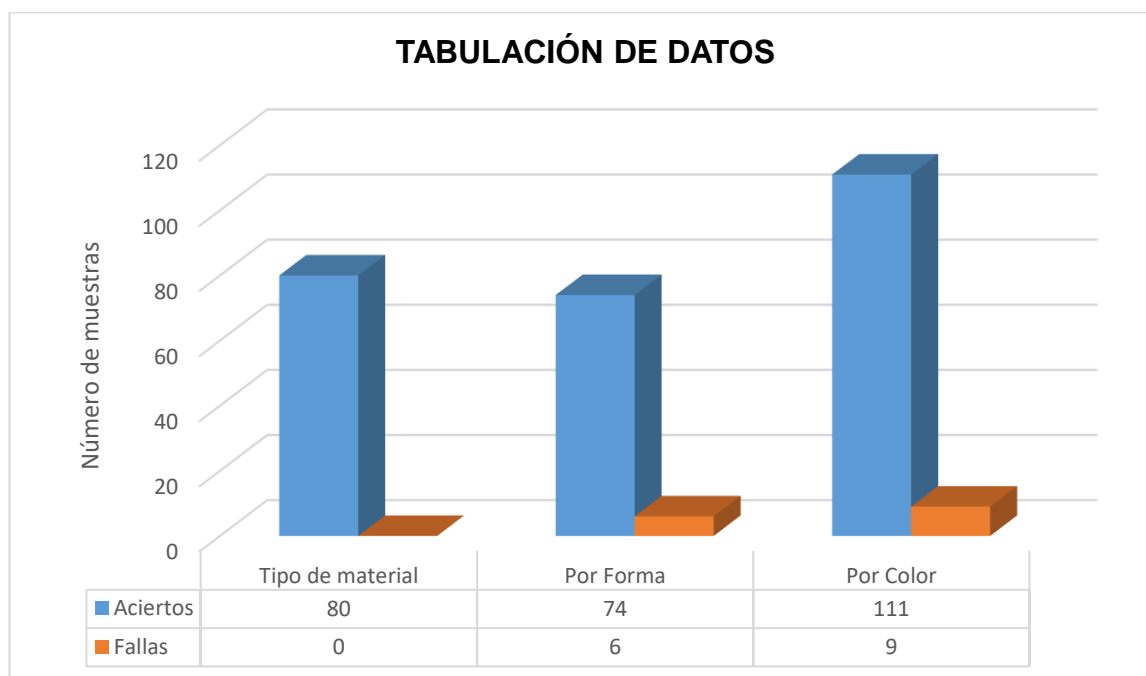


Figura 63. Tabulación de las pruebas realizadas

Con los datos obtenidos de las distintas pruebas se tiene los resultados:

- En la clasificación por el tipo de material, se tiene una confiabilidad del 100%, después que se realiza el análisis, el algoritmo de control de calidad ejecuta las acciones correspondientes para activar la banda y el pistón correspondiente de acuerdo a la bandeja que se haya indicado.

- En la clasificación por la forma de material, se tiene una confiabilidad de al menos el 96%. Después que se realiza el análisis, el algoritmo de control de calidad ejecuta las acciones correspondientes para activar la banda y el pistón correspondiente de acuerdo a la bandeja que se haya establecido
- En la clasificación por color, se tiene una confiabilidad de al menos el 96%. Después que se realiza el análisis, el algoritmo de control de calidad ejecuta las acciones correspondientes para activar la banda y el pistón correspondiente de acuerdo a la bandeja que se haya establecido.

5.5. Pruebas de Funcionamiento con los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga

El módulo Ciber-Físico fue presentado a los alumnos de la carrera Ing. Mecatrónica como parte de laboratorio, el cual consistía en la identificación y calibración de sensores y actuadores a través de la interfaz gráfica en tiempo real. Los resultados fueron positivos, los estudiantes se mostraron entusiasmados y curiosos a la vez al conocer el funcionamiento del módulo, como prueba de ellos se realizó una encuesta puntual cuyos los resultados fueron:

- Aspecto físico: 100% de aceptación
- Facilidad de uso: 100% de aceptación
- Aplicabilidad: 100% de aceptación

5.6. Validación de la hipótesis

La hipótesis que se plantea al inicio del proyecto es:

¿Se puede implementar un sistema Ciber-Físico con software y Hardware libre para la supervisión y análisis de datos en tiempo real para el empaquetado de productos?

De la que se obtiene las variables dependiente e independiente:

- **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.

Se utiliza el método de Chi-cuadrado para analizar las variables cuantitativas de acuerdo a su distribución de frecuencias, y llegar a determinar si cumple o no la hipótesis que se planteó. Para la ejecución de este método se plantea dos posibilidades, la hipótesis nula e hipótesis alternativa.

Se relacionan los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas para obtener la distribución de frecuencias.

Tabla 37.
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

Después de haber obtenido los datos mostrados en la Tabla 38, se calcula las frecuencias esperadas, que corresponden a los valores que se debería obtener si la hipótesis nula fuera verdadera.

$$E_{ij} = \frac{O_i O_j}{O} \quad (59)$$

Donde:

E_{ij}: Frecuencia esperada

O_i: Valor total de la fila

O_j: Valor total de la columna

O: Valor total de todas las muestras

Después de aplicar la fórmula para todas las frecuencias, se obtiene la tabla de frecuencias esperadas, que se observa en la tabla 39.

Tabla 38.
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

Con los valores de la tabla 36 se calcula el estadístico de prueba con la ecuación:

$$x^2 = \sum \frac{(f_o - f_E)^2}{f_E} \quad (60)$$

$$x^2 = \frac{(80 - 75,71)^2}{75,71} + \frac{(74 - 75,71)^2}{75,71} + \frac{(111 - 113,57)^2}{113,57} + \frac{(0 - 4,29)^2}{4,29} + \frac{(6 - 4,29)^2}{4,29} + \frac{(9 - 6,43)^2}{6,43}$$

$$x^2 = 6,340$$

Se establece un margen de error de 5% ($\alpha=0,05$), con eso se calcula el grado de libertad (v) de la prueba que se realizó, esto depende de la cantidad de filas y columnas de las tablas de distribución de frecuencia.

$$v = (\text{filas} - 1)(\text{columnas} - 1) \quad (61)$$

$$v = (2 - 1)(3 - 1) = 2$$

	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

Figura 64. Tabla de valores de Chi cuadrado

Fuente: (H, 2010)

Con estos datos se determina el valor de Chi-cuadrado de la figura 64, de acuerdo a esos valores el

$$x_{\text{teórico}}^2 = 5,991$$

Con los valores de Chi-cuadrado calculado y el Chi-cuadrado teórico, se compara de acuerdo a las consideraciones:

Si $x_{\text{calculado}}^2 > x_{\text{teórico}}^2$ se descarta H_0

Si $x_{calculado}^2 < x_{teórico}^2$ se descarta H_1

Comparando los valores que se obtuvo

$$6,340 > 5,991$$

Por este motivo se acepta la hipótesis alternativa y como es de esperar 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.

5.7. Análisis económico

En este punto se detallan todos los gastos que se incurrieron para la realización del proyecto. En la Tabla 39 se muestra los costos de los elementos y la cantidad utilizada.

Tabla 39.
Gastos del Proyecto

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
PLC	1	321,05	321,05
Tubo de Aluminio	1	6,55	6,55
Soporte de la banda	1	30	30
Ejes de la banda	2	10	20
Chumaceras	4	2,50	10
Cilindros delgados	2	53,10	95,58
electroválvula	2	41,57	74,83
Unidad de mantenimiento	1	70,76	70,76
silenciadores	2	1,70	3,06
Reguladores de caudal	4	4,58	16,49
Codos de 1/8	6	1,36	7,34
Sensores magnéticos	2	17,97	32,35
Manguera de 6 mm	5	1,11	5
Funda de tornillos	1	5,60	5,60
Varilla simple	1	15,86	15,86
Tubo en U	1	3	3
Banda	1	40	40
Corte de Aluminio	1	1	1
Motor	1	39,95	39,95

Continua 

Driver del motor	1	21,60	21,60
Soportes del motor	2	3,97	7,95
perfiles	2	6,025	12,05
laminas	1	26,77	26,77
pintura	1	20	20
manillas	2	0,50	1
chapas	2	1,25	2,50
bisagras	4	0,25	1
Fuente de 12V	1	22	22
Botones	4	2,10	8,40
Tarjeta micro SD	1	16	16
Aluminio del soporte	1	9	9
Platina de aluminio	3	0,77	4,75
Luz roja y verde	2	1,52	3,04
Selector	1	1,79	1,79
Pulsador	1	2,51	2,51
Riel DIN	1	2,60	2,60
Sensor inductivo	1	28,60	28,60
Sensor infrarrojo	4	10	10
Cables	1	5	5
Banco de relés	1	7	7
Fuente de 24V	1	10	10
Impresiones en 3D	1	80	80
Cámara Web	1	20	20
Aceite unidad de mantenimiento	1	5	5
Toma corriente	1	2,50	2,50
Otros		50	50
TOTAL			\$ 1179,48

El costo total para la realización de este proyecto es de 1179,48 dólares americanos, sin tomar costos de diseño, programación y ensamble que fue realizada por los autores, lo que indica que el valor es accesible en comparación de la estación de clasificación-amortiguamiento de AMATROL que tiene un costo de 10475 dólares, sin brindar muchas libertades para que el usuario realice más aplicaciones de las que vienen establecidas por el fabricante.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. 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.

- 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.

6.2. Recomendaciones

- Para la visualización de gráficas en el sitio web es indispensable contar con conexión a internet, ya que los complementos gráficos necesitan datos de la red.
- Los sensores de presencia e inductivo requieren de una calibración previa según la altura del objeto que se desee analizar aparte de los diseñados en este proyecto.
- La iluminación de la cámara requiere ser calibrada de acuerdo al ambiente en la que se encuentre.

Referencias Bibliográficas

- Aguiar, V. (2013). *Estudios industriales de la micro, pequeña y mediana empresa*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de Flacso, Mipro: http://www.industrias.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/ESTUDIOS_INDUSTRIALES_MIPYMES.pdf
- Arduino. (2018). *Arduino*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arenas, M. (2016). *OWASP*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de https://www.owasp.org/images/3/36/loT_CyberSecurity.pdf
- Budynas, R., & Keith, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill.
- BUSTAMANTE, S.-H. Y. (03 de 2014). Recuperado el 21 de Julio de 2018, de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-4500/UCE4968_01.pdf
- BUSTAMANTE, S.-H. Y. (2014). *ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN*. Recuperado el 29 de Julio de 2018, de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-4500/UCE4968_01.pdf
- Castro, M. J. (17 de 02 de 2010). *infoALEPH*. Recuperado el 02 de Agosto de 2018, de <https://infoaleph.wordpress.com/2010/02/17/software-libre-y-software-de-codigo-abierto-no-es-lo-mismo-pero-es-igual/>
- CEDAL. (2 de Julio de 2008). Recuperado el 20 de Julio de 2018, de Scrib: <https://es.scribd.com/doc/3789262/Cedal-Catalogo-de-Ensamblajes-de-Aluminio>

Chavez, R. (01 de 19 de 2016). *HETPRO*. Recuperado el 02 de Julio de 2018, de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-inductivo/>

CP. (04 de 08 de 2018). *Ciberfabrica*. Recuperado el 05 de Agosto de 2018, de <https://www.ciberfabrica.com/arquitectura-5c-sistemas-ciberfisicos/>

Cruz, M., & Oliete, P. (2015). *Escuela de Organización Industrial*. Recuperado el 1 de Julio de 2018, de <https://www.eoi.es/es/file/20417/download?token=FSUSqFit>

DIPAC. (2019). *Productos*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2018, de <http://www.dipacmanta.com/perfiles/angulo-importado>

Dueñas, C. P. (2009). *Introducción a la Visión Artificial*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf

EcuRed. (2018). Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de https://www.ecured.cu/Servidor_Web#Protocolos_del_Servidor_Web

Evaluando Software. (23 de 12 de 2015). *Evaluando Software*. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de <http://www.evaluandosoftware.com/campos-de-aplicacion-de-internet-of-things-o-internet-de-las-cosas/>

Evans, D. (Abril de 2011). *Academia*. Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34766160/internet-of-things-iot-ibsg.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1526490576>

&Signature=8upM%2BmaNzIseI%2BI7tkzWav7az5s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInternet-of-th

Ferran, J. (s.f.). *Tecnología Industrial 2*. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de http://tecnoin2jf.blogspot.com/p/blog-page_19.html

Free Software Foundation. (2009). *El sistema operativo GNU*. Recuperado el 07 de Octubre de 2018, de <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>

García, S. (18 de 10 de 2018). *330homs*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <https://blog.330ohms.com/2018/10/18/raspberry-pi-javascript-node-js/>

GENIUS. (2019). *FaceCam 1000X*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2018, de <http://us.geniusnet.com/product/facecam-1000x>

Gonzalez, I., Gonzalez, J., & Gomez, F. (6 de 09 de 2003). *Universidad Autónoma de Madrid*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de <http://ftp1.nluug.nl/ftp/pub/ftp/os/Linux/doc/LuCaS/Presentaciones/200309hispalinux/8/8.pdf>

Gracia, L. (09 de 10 de 2013). *UN POCO DE JAVA Y +*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de <https://unpocodejava.com/2013/10/09/que-es-opencv/>

Grupo Garatu. (2016). *Garatu It Solutions*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <https://grupogaratu.com/que-son-sistemas-ciber-fisicos-cps/>

H, S. (2010). *Universidad de Atacama*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2018, de <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2010/eyp2/Tabla%20Chi-Cuadrado.pdf>

IAB. (20 de 03 de 2015). *Internet Architecture Board*. Recuperado el 19 de Diciembre de 2018, de <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

IBSG, C. (Abril de 2011). https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf. Recuperado el 16 de Noviembre de 2018, de https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf

Investin Spain. (Junio de 2017). *ICEX*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de <http://www.investinspain.org/invest/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde2/nju1/~edisp/doc2016655168.pdf>

ITU. (15 de Junio de 2012). *Union Internacional de Telecomunicaciones*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-l/es>

KEYENCE. (2019). *¿Qué es un sensor de proximidad inductivos?* Recuperado el 30 de Septiembre de 2018, de <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>

Lázaro, G. (2017). *ICEX*. Recuperado el 22 de Junio de 2018, de <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2018777220.html?idPais=EC>

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2014). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0 based manufacturing systems. *ScienceDirect*, 2-3. Recuperado el 2 de Octubre de 2018

Llamas, L. (2018). *DETECTOR DE OBSTÁCULOS CON SENSOR INFRARROJO Y ARDUINO*. Recuperado el 29 de Mayo de 2018, de <https://www.luisllamas.es/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>

Luz, S. D. (27 de Febrero de 2016). *La Raspberry Pi 3 Model B llevará Wi-Fi y Bluetooth incorporado*. Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de <https://www.redeszone.net/2016/02/27/la-raspberry-pi-3-model-b-llevara-wi-fi-y-bluetooth-incorporado/>

Mecatronica. (s.f.). *MODULO RELE 8 CANALES*. Recuperado el 06 de Octubre de 2018, de <https://www.mactronica.com.co/modulo-rele-canales-43990644xJM>

Miranda, A. (22 de 06 de 2016). *nctech*. Recuperado el 08 de Julio de 2018, de <https://nctech.com.mx/blog/2016/06/22/Industria-4.0-by-NC-Tech/>

Navani, D., Jain, S., & Maninder, S. (2017). The Internet of Things(IoT): A Study of Architectural Elements . *IEEE*, 1-6.

NESSI. (2015). *Networked European Software and Services Initiative*. Recuperado el 02 de Agosto de 2018, de http://www.nessi-europe.com/Files/Private/NESSI_CPS_White_Paper_issue_1.pdf

Open Source Initiative. (22 de 03 de 2007). *Open Source Initiative*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de <https://opensource.org/osd>

POLOLU. (2019). *POLOLU*. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de <https://www.pololu.com/product/1107>

Shields, I. (2019). *M-DUINO PLC Arduino Ethernet 21 I/Os Analog/Digital PLUS*.

Recuperado el 18 de Junio de 2018, de https://www.industrialshields.com/es_ES/shop/product/is-mduino-21-m-duino-plc-arduino-ethernet-21-i-os-analog-digital-plus-3?category=1

SMC Corporation. (s.f). Recuperado el 14 de Junio de 2018, de SMC:

https://content2.smcetech.com/pdf/CM2-Z-C_ES.pdf

Socket.io. (2018). Recuperado el 13 de Junio de 2018, de <https://socket.io/docs/>

Stack overflow. (Marzo de 2016). Recuperado el 16 de Octubre de 2018, de Stack

overflow: <https://stackoverflow.com/questions/36207858/socket-io-assigning-custom-socket-id>

TCS Industrial. (2014). *Automatización para Pymes*. Recuperado el 12 de Septiembre de

2018, de <http://www.tcsindustrial.com/automatizacion-pymes/>

Tecnología. (s.f.). *Sistemas Neumaticos*. Recuperado el 10 de Julio de 2018, de

http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm

Ulrich, K., & Epingler, S. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos*. México, DF.:

McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Universidad de Costa Rica. (15 de 09 de 2015). *Universidad de Costa Rica*. Recuperado

el 30 de Julio de 2018, de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2015/09/15/sede-de-occidente-inicia-proceso-de-migracion-a-software-libre.html>

Valencia, C. (17 de 01 de 2019). *Tecnología para los negocios*. Recuperado el 20 de Julio

de 2018, de

<https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/sistemas-ciberfisicos-la-respuesta-a-las-necesidades-de-la-sociedad-y-la-industria/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **BORJA CARRERA, DARIO JAVIER Y CHICAIZA MANOTOA, BYRON FABIAN.**

En la ciudad de Latacunga, a los **29 días del mes de enero del 2019.**

.....
Ing. Patricia Constante

DIRECTORA DEL PROYECTO

.....
Ing. Vicente Hatto

DIRECTOR DE CARRERA

.....
Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO