

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y**  
**Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE  
CALIDAD DE ACCESORIOS DE PVC POR VISIÓN ARTIFICIAL Y MACHINE  
LEARNING**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Choquehuayta Baca, Edward Andree**

para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Electrónico**

Con Especialidad en:

**Automatización y Control**

Asesora:

**Mg. Delgado Barra, Lucy Angela**

**Arequipa - Perú**

**2021**

## DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA ELECTRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 07 de Enero del 2021

**Dictamen: 000567-C-EPIE-2021**

Visto el borrador de tesis del expediente 000567, presentado por:

**2013221281 - CHOQUEHUAYTA BACA EDWARD ANDREE**

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE  
ACCESORIOS DE PVC POR VISIÓN ARTIFICIAL Y MACHINE LEARNING**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1531 - RIVERA CHAVEZ VICTOR HUGO  
DICTAMINADOR**



**1546 - DELGADO BARRA LUCY ANGELA  
DICTAMINADOR**



**2465 - ZEGARRA GAGO HENRY CHRISTIAN  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

*La presente tesis está dedicada a Dios porque me ha dado salud y la fortaleza para concluir una de mis metas como profesional, a mis padres, a mis hermanos, a mi familia, a mis amigos y a todas las personas que me apoyaron a dar este paso importante en mi vida profesional.*



## AGRADECIMIENTO

*Primeramente, Agradezco a Dios.*

*A mis padres Lucio y Margarita que gracias a su esfuerzo puedo concluir un paso más en mi vida profesional.*

*A mi abuela que me acompaña desde el cielo, a mis abuelos que aún me acompañan, por creer siempre en mí y darme todas las oportunidades para lograr mis metas que se van cumpliendo día a día, a mi hermana Sidey, por ser mi ejemplo a seguir y por todo su apoyo incondicional, a mi hermano Alan por ese carisma tan afectuoso.*

*Finalmente, a toda mi familia que siempre creyó en mí, por ser la base de mi formación, ya que cada uno de ellos ha aportado grandes cosas en mi vida, además de enseñarme de lo importante que es el amor y el vínculo familiar.*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar e implementar un prototipo para el control de calidad en el proceso de fabricación de accesorios de PVC usando Visión Artificial y Machine Learning, por lo que se consideró para la presente tesis diferentes productos a analizar como accesorios de tuberías, envases y empaques. Este proceso propuesto para el control de calidad ayudará a la optimización y a la mejora de inspección y selección de la producción. Se utilizaron herramientas disponibles en la industria como servidores, protocolos de comunicación, controladores, actuadores, sensores, etc. Para poder apreciar la ventaja de acoplamiento entre ellas, la toma de decisiones está sujeto a un PLC, el monitoreo de la clasificación se visualiza desde un SCADA desarrollado en C#, además de contar con una base de datos MySQL (historizador) donde estarán almacenados todos los datos, y como base redundante en la plataforma de almacenamiento en la nube, Firebase. Se utilizan las clases Aforge.NET y K-Means, con el fin de evaluar el aprendizaje del proceso mediante imágenes con Visión Artificial y Machine Learning.

El procesamiento de imágenes nos ayuda a obtener el color, dimensión, y otras características del objeto que se necesiten para la clasificación e historización de los datos. El monitoreo constante nos ahorra tiempo, consumo de recursos, entre otros factores de producción, sin olvidar de la toma de decisiones inmediatas. Los resultados obtenidos de manera experimental, son satisfactorios, puesto que se compararon los datos físicos con los datos obtenidos, al igual que la clasificación por software y por visualización del ojo humano.

**Palabras Clave:** Procesamiento Digital de Imágenes, Visión Artificial, Machine Learning, K-Means, OPC UA, PLC, SCADA, Firebase.

## ABSTRACT

The main objective of this research work is to design and implement a prototype for quality control in the manufacturing process of PVC accessories using Artificial Vision and Machine Learning, so considered different product to be analyzed as pipe accessories, containers and packaging. This proposed process for quality control assist to optimize and improve inspection and production selection. Tools available in the industry such as servers, communication protocol, controllers, actuators, sensor, etc. to appreciate the advantage of coupling between them, the decision making is subject to a PLC, the monitoring of the classification is visualized from a SCADA developed in C #, in addition to having a database MySQL (historize) where all the data will be stored, and as a redundant base in the cloud storage platform, Firebase. The Aforge.NET and K-Means libraries are used, in order evaluate the learning of the process through images with Artificial Vision and Machine Learning.

Image processing assist us to obtain the color, dimension, and other characteristics of the object that are needed for the classification and historicization of the data. Constant monitoring saves us time, resource consumption, among other production factors, without forgetting immediate decision making. The results obtained experimentally are satisfactory, since the physical data were compared with the data obtained, as well as the classification by software and by visualization of the human eye.

**Keywords:** Digital Image Processing, Computer Vision, Machine Learning, K-Means, OPC UA, PLC, SCADA, Firebase.

## INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano interactúa con el medio que lo rodea a través de sus sentidos, además de existir receptores específicos para el dolor como el tacto que forma parte de los sensores, capaz de detectar cualquier cambio como temperatura, humedad, etc. Enviando señales neuroeléctricas al cerebro. El oído puede interpretar señales de audio enviando señales al cerebro para interpretar comunicación, música, etc. La nariz, la boca que nos permiten sentir olores, gusto y de igual manera envía información que el cerebro puede interpretar como agradable o desagradable, pero uno de los sentidos más importantes y más evolucionado para tener la percepción de nuestro entorno es la vista, toda esta información de colores, texturas, profundidad, etc. Se dirige al cerebro para la toma de decisiones espontáneas o deliberadas, sin embargo, existe diversidad de dispositivos que pueden percibir otros espectros electromagnéticos, por lo que no pueden ser visualizadas solo con el ojo humano, así como las ondas de comunicación o rayos gamma.

Estos dispositivos que pueden apreciar estos espectros están basados en visión artificial o también conocido como procesamiento de imágenes por computador, es una de las ramas de inteligencia artificial, estos sistemas requieren de una cámara para poder procesar imágenes, interpretando los objetos mediante un análisis matricial. En la actualidad las aplicaciones de visión artificial están mejorando de manera continua, esto se debe al desarrollo de aplicaciones, a través de lenguajes de programación, de plataformas gratuitas y compatibilidad de sistemas operativos, las más resaltantes son: detección y seguimientos de objetos, análisis de inteligencia artificial en imágenes médicas, satelitales y análisis de terrenos por drones, control de calidad de productos en la producción industrial, minería, reconocimiento de rostros, huellas dactilares, iris, etc.

Los avances de visión artificial proporcionan una alternativa de evaluación automatizada rentable, que suple la inspección manual, la cual se convierte en una solución optimizada, versátil y eficaz. Otra de las ramas de la Inteligencia Artificial es Machine Learning, conocido también como aprendizaje automático, donde un algoritmo toma las decisiones de forma autónoma, a través del aprendizaje de datos, por lo que los datos recopilados de las imágenes procesadas deben interactuar con el algoritmo desarrollado, para que la clasificación y el control de calidad sea aún más eficiente.

Muchas de las actividades de desarrollo de producción dentro de nuestro país no cuentan con el control y la automatización adecuada para procesos de control de calidad, así como en la minería, agricultura, extracción de recursos, entre otros; por lo que el tiempo, energía y recursos son unos de los factores más importantes y necesarios para la mayor producción de calidad con el menor costo posible. Algunas fábricas que ya están automatizadas y contienen una lógica de control, donde diferentes controladores como PLC (Programmable Logic Controller), DCS (Distributed Control System), etc. Toman las decisiones de control de la producción, por lo que los costos de implementación solo se adicionarían al sistema de procesamiento de imágenes, la comunicación entre controladores de diferentes marcas o la comunicación compleja de controladores con los sistemas operativos de computadoras presentaban problemas, entonces para estos problemas se deben implementar soluciones de primera y actuales, como la comunicación OPC UA (OLE for Process Control Unified Architecture) para interactuar todos los procesos en una sola sala de control, es decir un servidor central con clientes controlados.

El presente informe está organizado de la siguiente manera: el capítulo I presenta la parte de planteamiento metodológico como el enunciado, identificación y descripción del problema; estado del arte justificación, variables y objetivos de la investigación; en el capítulo II comprende de todo el desarrollo del marco teórico para el desarrollo del prototipo, además de herramientas, software y hardware utilizados; el capítulo III se encuentra el diseño del software y el hardware del prototipo a implementar, donde se describe el concepto de la solución, sistema de control de calidad, estructura y su funcionamiento.

El capítulo IV presenta la implementación del proyecto, filosofía de control, procesamiento de imágenes e interfaz de visualización de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition); para el capítulo V, se aprecia el trabajo experimental, análisis de pruebas y resultados. Finalmente se encuentran las conclusiones y recomendaciones para realizar mejoras al trabajo de investigación en diferentes rubros con procesamiento de imágenes.

## ÍNDICE

<b>DICTAMEN APROBATORIO</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. TÍTULO DEL PROYECTO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6. ANÁLISIS DE VARIABLES</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6.1. Variable independiente</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6.2. Variables dependientes</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6.3. Indicadores de variables</b> .....	<b>6</b>
<b>1.7. OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.7.1. Objetivo general</b> .....	<b>6</b>
<b>1.7.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>6</b>
<b>2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. VISIÓN ARTIFICIAL</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.1. Definición</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.2. Control de calidad</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.3. Componentes de visión artificial</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.3.1. Sistema de iluminación</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.3.2. Sistema de lentes</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3.3. Sensor de imagen óptico</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.3.4. Sistemas de comunicación</b> .....	<b>16</b>

2.1.3.5.	<b>Procesamiento de imágenes</b> .....	16
2.1.4.	<b>Etapas para la aplicación de visión artificial</b> .....	17
2.2.	<b>MACHINE LEARNING</b> .....	19
2.2.1.	<b>Definición</b> .....	19
2.2.2.	<b>Componentes de machine learning</b> .....	19
2.2.2.1.	<b>Origen de la información</b> .....	19
2.2.2.2.	<b>Técnicas y algoritmos</b> .....	20
2.2.2.3.	<b>Capacidad de autoaprendizaje</b> .....	20
2.2.2.4.	<b>Sistemas y software</b> .....	20
2.2.3.	<b>Técnicas de machine learning</b> .....	20
2.2.4.	<b>Técnicas para el análisis de información estructurada</b> .....	21
2.2.4.1.	<b>Aprendizaje supervisado</b> .....	21
2.2.4.1.1.	<b>Redes neuronales artificiales (ANNs)</b> .....	22
2.2.4.1.2.	<b>Máquinas de vector soporte (SVM)</b> .....	22
2.2.4.1.3.	<b>Clasificadores bayesianos</b> .....	23
2.2.4.1.4.	<b>Árboles de regresión y clasificación (CART)</b> .....	23
2.2.4.2.	<b>Aprendizaje no supervisado</b> .....	23
2.2.4.2.1.	<b>Clustering (K-means)</b> .....	24
2.2.4.2.2.	<b>Métodos de reducción</b> .....	26
2.2.5.	<b>Técnicas para el análisis de información no estructurada</b> .....	26
2.2.5.1.	<b>Información de texto</b> .....	26
2.2.5.2.	<b>Información de audio</b> .....	26
2.2.5.3.	<b>Visión artificial</b> .....	27
2.3.	<b>INSTRUMENTACIÓN</b> .....	28
2.3.1.	<b>Cámara varifocal</b> .....	28
2.3.2.	<b>Sensor óptico</b> .....	30
2.3.3.	<b>Pistón neumático</b> .....	31

2.4.	PLC .....	32
2.4.1.	Compact PLC.....	34
2.4.1.1.	Logo 8 .....	35
2.4.2.	Modular PLC .....	36
2.5.	SOFTWARE DE TRABAJO.....	39
2.5.1.	OPC UA KEPServerEx.....	39
2.5.2.	Visual Studio C#.Net .....	41
2.5.3.	Logo Soft comfort .....	44
2.5.4.	MySQL Workbench .....	45
2.5.5.	Firestore.....	46
2.6.	PRODUCTOS DE PVC .....	47
3.	CAPÍTULO III DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE .....	50
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO.....	50
3.2.	HARDWARE .....	55
3.2.1.	Diseño de estructura.....	55
3.2.2.	Tablero de control .....	56
3.2.2.1.	Selección de elementos del tablero.....	59
3.2.3.	Panel de control manual.....	63
3.2.4.	Faja transportadora .....	65
3.2.5.	Sensores y actuadores.....	68
3.2.5.1.	Sensor óptico.....	68
3.2.5.2.	Pistón neumático .....	69
3.2.6.	Sistema de control de calidad .....	72
3.2.6.1.	Selección de la cámara .....	72
3.2.6.2.	Sistema de iluminación .....	74
3.3.	SOFTWARE .....	75
3.3.1.	Base de datos .....	76

3.3.1.1.	Base de datos en MySQL .....	76
3.3.1.2.	Base de datos en Firebase .....	77
3.3.2.	Plataforma de ingreso .....	78
3.3.3.	Comunicación OPC UA .....	79
3.3.4.	Menú de procesamiento de imágenes.....	80
3.3.5.	Procesamiento por visión artificial y machine learning.....	81
3.3.5.1.	Interlocks.....	81
3.3.5.2.	Librerías de visión artificial .....	82
3.3.5.3.	Algoritmos de visión artificial .....	83
3.3.5.4.	Visualización de cámara .....	83
3.3.5.5.	Algoritmos de machine learning .....	84
3.3.5.6.	Histogramas .....	86
3.3.5.7.	Control de calidad .....	86
3.3.5.8.	SCADA de panel automático.....	86
3.3.5.9.	Tendencias y exportación de datos .....	87
3.3.6.	Otras aplicaciones de procesamiento de imágenes. ....	88
3.3.7.	Filosofía de control del PLC .....	88
4.	CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	89
4.1.	IMPLEMENTACIÓN ESTRUCTURAL.....	89
4.1.1.	Tablero de control manual y automático .....	90
4.1.2.	Panel manual del prototipo.....	90
4.1.3.	Módulo de la cámara e iluminación.....	91
4.1.4.	Ejecución de sensores y actuadores .....	92
4.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.....	93
4.2.1.	Implementación de base de datos MySQL .....	93
4.2.2.	Implementación de base de datos Firebase .....	96
4.2.3.	Registro e ingreso de usuarios .....	98

4.2.4.	Menú de procesamiento de imágenes y conexión OPC UA .....	99
4.2.5.	Aplicación de VA en imágenes de accesorios de PVC .....	101
4.2.6.	Aplicación K-Means ML en imágenes de accesorios de PVC .....	105
4.2.7.	Interfaz de visualización SCADA.....	112
4.2.8.	Tendencia de calidad de productos.....	114
4.2.9.	Interfaz de otras aplicaciones .....	115
4.2.10.	Programación del PLC .....	118
5.	<b>CAPÍTULO V EVALUACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	<b>120</b>
5.1.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA PRUEBAS .....</b>	<b>120</b>
5.1.1.	Control de calidad de empaque.....	120
5.1.2.	Control de calidad de tubería codo .....	121
5.1.3.	Control de calidad de envases.....	123
5.1.4.	Control de calidad de unión de tubería universal .....	125
5.2.	<b>RESULTADOS DE COMPARACIÓN Y CONFIABILIDAD .....</b>	<b>127</b>
5.2.1.	Comparación de dimensiones de los accesorios.....	127
5.2.2.	Incertidumbre y confiabilidad del procesamiento.....	131
5.3.	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>135</b>
6.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>138</b>
7.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
8.	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>141</b>
9.	<b>ANEXOS.....</b>	<b>145</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

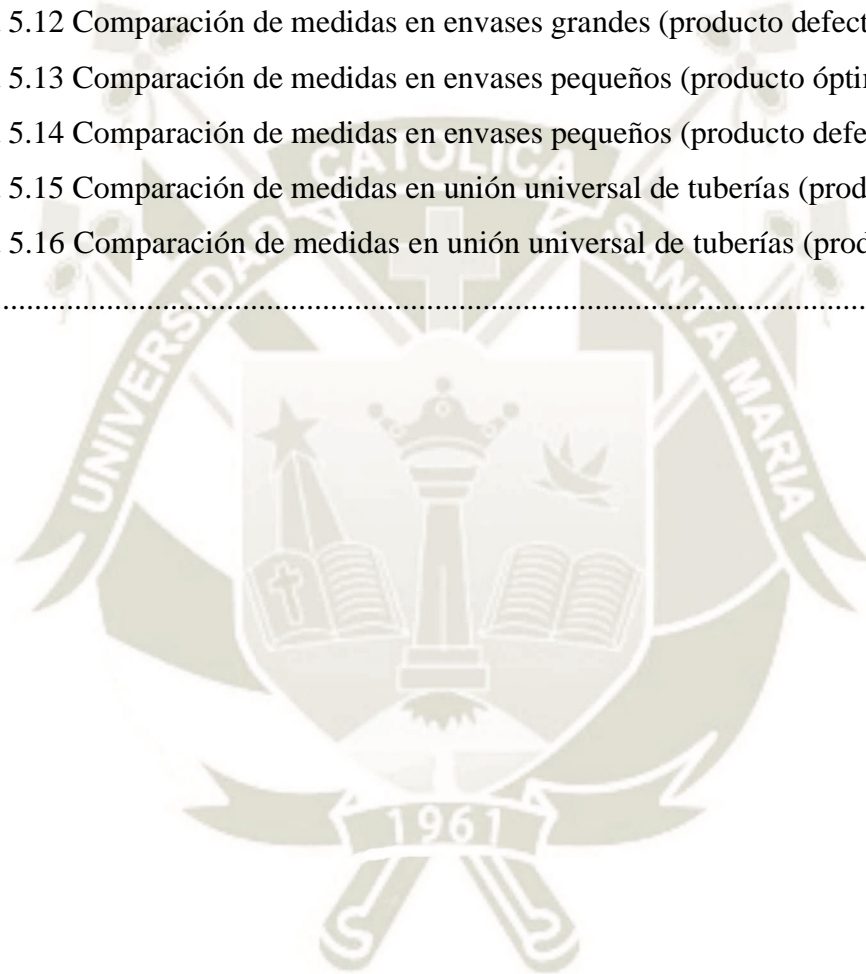
Figura 2.1 Componentes de visión artificial.....	10
Figura 2.2 Iluminación difusa tipo domo .....	11
Figura 2.3 Iluminación frontal - anillo de luz.....	11
Figura 2.4 Iluminación lateral .....	12
Figura 2.5 Iluminación darkfield .....	12
Figura 2.6 Iluminación backlight.....	13
Figura 2.7 Ángulos de cobertura .....	14
Figura 2.8 Sensor CCD (Charge Coupled Devices) .....	15
Figura 2.9 Sensor CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).....	15
Figura 2.10 Protocolos de comunicación para cámaras industriales .....	16
Figura 2.11 Etapas y niveles de procesamiento de visión artificial.....	17
Figura 2.12 Técnicas de ML de información estructurada.....	21
Figura 2.13 Técnicas de ML de información no estructurada.....	21
Figura 2.14 Aplicación del método K-Means .....	25
Figura 2.15 Cadenas de Márkov.....	27
Figura 2.16 Histograma de imagen.....	28
Figura 2.17 Cámara varifocal ELP Sensor Aptina CMOS .....	30
Figura 2.18 Sensor óptico reflex.....	31
Figura 2.19 Pistón neumático de doble efecto.....	32
Figura 2.20 Estructura interna de un PLC .....	33
Figura 2.21 PLC Compacto AB CompactLogix 5370 .....	35
Figura 2.22 NanoPLC Logo 8 – Siemens.....	35
Figura 2.23 PLC Modular small Onrom CJ2 .....	37
Figura 2.24 PLC Modular Medium AC500 - ABB .....	38
Figura 2.25 PLC Modular Large Delta AS300.....	38
Figura 2.26 Interfaz KEPServexEx V6.7.10460 .....	39
Figura 2.27 Túnel KEPServerEX Sevidor UA - Cliente UA .....	41
Figura 2.28 Diagrama de compilación C# en .NET Framework.....	43
Figura 2.29 Interfaz Microsoft Visual Studio Community 2019 V16.4.2.....	43
Figura 2.30 Interfaz Logo Soft Comfort V8.2.....	45
Figura 2.31 Interfaz MySQL Workbench v8.0.....	46
Figura 2.32 Interfaz Firebase.....	47

Figura 2.33 Diagrama de Formación de PVC .....	48
Figura 3.1 Modelo de prototipo.....	50
Figura 3.2 Accesorios de PVC .....	53
Figura 3.3 Flujograma principal de funcionamiento del prototipo.....	54
Figura 3.4 Diagrama de bloques del prototipo .....	55
Figura 3.5 Isométrico de la estructura de soporte del prototipo .....	56
Figura 3.6 Diagrama de bloques de fuente de alimentación eléctrica.....	56
Figura 3.7 Tablero de control .....	57
Figura 3.8 Plano de Conexión Manual, Automático y Fuente 24V DC.....	58
Figura 3.9 Plano de Conexión 12V DC.....	59
Figura 3.10 Interruptor termomagnético .....	60
Figura 3.11 Relay 2NO/2NC .....	61
Figura 3.12 Bornera porta fusible.....	62
Figura 3.13 Bornera de conexión 4mm .....	63
Figura 3.14 Pulsador de emergencia.....	63
Figura 3.15 Selector Chint.....	64
Figura 3.16 Pulsador XB2-BA42 .....	64
Figura 3.17 Indicador piloto .....	65
Figura 3.18 Panel de control manual .....	65
Figura 3.19 Polín N°1 (unidad mm).....	66
Figura 3.20 Polín N°2-6 (unidad mm).....	66
Figura 3.21 Polín N°7 (unidad mm).....	66
Figura 3.22 Estructura de la faja transportadora.....	67
Figura 3.23 Motor de la faja transportadora .....	68
Figura 3.24 Sensor óptico reflectivo Electric Option .....	69
Figura 3.25 Pistón neumático de cilindro plano DZF-doble efecto .....	69
Figura 3.26 Electroválvula 5/2 KLOD .....	70
Figura 3.27 Estructura de la faja transportadora con sensores, actuadores y chutes.....	71
Figura 3.28 Módulo de la cámara en faja transportadora .....	72
Figura 3.29 CMOS Aptina MI5100 1/2.5" de 5MP ELP .....	74
Figura 3.30 Posición de cinta LED módulo cámara.....	75
Figura 3.31 Diagrama de bases de datos .....	76
Figura 3.32 Diagrama de estructura en MySQL.....	77
Figura 3.33 Diagrama de estructura en Firebase .....	78

Figura 3.34 Diagrama de estructura de la plataforma de ingreso .....	79
Figura 3.35 Diagrama de estructura de comunicación OPC UA.....	80
Figura 3.36 Diagrama de menú de procesamiento de imágenes .....	81
Figura 3.37 Arquitectura de la interfaz de procesamiento de accesorios de PVC.....	84
Figura 3.38 Flujograma de algoritmo de machine learning.....	85
Figura 3.39 Histograma vertical y horizontal.....	86
Figura 3.40 Arquitectura de la interfaz SCADA .....	87
Figura 3.41 Arquitectura de la interfaz de tendencias .....	87
Figura 4.1 Prototipo de control de calidad por VA y ML .....	89
Figura 4.2 Tablero de control implementado .....	90
Figura 4.3 Panel manual del prototipo.....	90
Figura 4.4 Módulo de cámara e iluminación.....	91
Figura 4.5 Sensor óptico activado .....	92
Figura 4.6 Pistón neumático en funcionamiento .....	93
Figura 4.7 Servidor local MySQL .....	93
Figura 4.8 Estructura en MySQL .....	94
Figura 4.9 Tabla de datos pvc_empaque .....	94
Figura 4.10 Tabla de datos pvc_envase_g.....	94
Figura 4.11 Tabla de datos pvc_envase_p.....	95
Figura 4.12 Tabla de datos pvc_tub_codo.....	95
Figura 4.13 Tabla de datos pvc_tub_union .....	95
Figura 4.14 Tabla de datos usuarios_va_ml .....	96
Figura 4.15 Database CCALIDADML .....	96
Figura 4.16 Campos de CCALIDADML .....	97
Figura 4.17 Ingreso de usuarios.....	98
Figura 4.18 Registro de usuarios .....	98
Figura 4.19 Certificado de KEPServerEx.....	99
Figura 4.20 Estructura de conectividad KEPServerEx.....	100
Figura 4.21 Asignación de tags LOGO 8 .....	100
Figura 4.22 Menú de procesamiento de imágenes y conexión establecida OPC UA .....	101
Figura 4.23 Clasificación de programación de los accesorios.....	102
Figura 4.24 VA en accesorios de empaques.....	102
Figura 4.25 VA en accesorios de tuberías codo .....	103
Figura 4.26 VA y ML en accesorios de envases grandes.....	103

Figura 4.27 VA y ML en accesorios de envases pequeños .....	104
Figura 4.28 VA y ML en accesorios de tubería de unión universal .....	104
Figura 4.29 Lista de accesorios PVC.....	105
Figura 4.30 Panel de datos para ML.....	106
Figura 4.31 Lista de imágenes de la carpeta seleccionada .....	107
Figura 4.32 Procesamiento de la lista de imágenes .....	107
Figura 4.33 Código de programación de histogramas horizontal.....	108
Figura 4.34 Código de programación de histogramas vertical .....	108
Figura 4.35 Ubicación de los centroides en la matriz.....	109
Figura 4.36 clasificación del producto principal .....	110
Figura 4.37 Histograma vertical y horizontal con VA y ML .....	110
Figura 4.38 Imágenes de unión universal para el procesamiento de ML .....	111
Figura 4.39 Imágenes de envases grandes para el procesamiento de ML.....	111
Figura 4.40 Imágenes de envases pequeños para el procesamiento de ML .....	112
Figura 4.41 SCADA de la faja transportadora .....	113
Figura 4.42 Interfaz de procesamiento de accesorios de PVC .....	113
Figura 4.43 Interfaz de tendencia de calidad de accesorios .....	114
Figura 4.44 Tendencia y datos de accesorios .....	115
Figura 4.45 Interfaz de procesamiento de imágenes en otras aplicaciones .....	115
Figura 4.46 Procesamiento de tabletas farmacéuticas .....	116
Figura 4.47 Procesamiento de tomografía.....	116
Figura 4.48 Procesamiento de terrenos agrícolas .....	117
Figura 4.49 Procesamiento de burbujas en flotación.....	117
Figura 4.50 Lógica de control diagrama de bloques .....	119
Figura 5.1 Control de calidad mediante VA en empaques (producto óptimo).....	120
Figura 5.2 Control de calidad mediante VA en empaques (producto defectuoso).....	121
Figura 5.3 Control de calidad mediante VA en tubo codo para agua.....	122
Figura 5.4 Control de calidad mediante VA en tubo codo para electricidad.....	122
Figura 5.5 Control de calidad mediante VA y ML en envase grande (producto óptimo) .	123
Figura 5.6 Control de calidad mediante VA y ML en envase pequeño (producto óptimo) .....	124
Figura 5.7 Control de calidad mediante VA y ML en envase grande (producto defectuoso) .....	124

Figura 5.8 Control de calidad mediante VA y ML en envase pequeño (producto defectuoso) .....	125
Figura 5.9 Control de calidad mediante VA y ML en tubería de unión universal (producto óptimo).....	126
Figura 5.10 Control de calidad mediante VA y ML en tubería de unión universal (producto defectuoso).....	126
Figura 5.11 Comparación de medidas en envases grandes (producto óptimo) .....	127
Figura 5.12 Comparación de medidas en envases grandes (producto defectuoso) .....	128
Figura 5.13 Comparación de medidas en envases pequeños (producto óptimo).....	129
Figura 5.14 Comparación de medidas en envases pequeños (producto defectuoso).....	129
Figura 5.15 Comparación de medidas en unión universal de tuberías (producto óptimo)	130
Figura 5.16 Comparación de medidas en unión universal de tuberías (producto defectuoso) .....	130



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de la cámara ELP Aptina CMOS MI5100 .....	29
Tabla 2.2 Características NanoPLC 8.....	36
Tabla 3.1 Características del interruptor termomagnético 10A.....	60
Tabla 3.2 Características de Relay RSB2A080BD .....	61
Tabla 3.3 Cálculo de potencia del tablero .....	62
Tabla 3.4 Datos medidos del motor de la faja transportadora .....	67
Tabla 3.5 Características sensor óptico .....	68
Tabla 3.6 Características del pistón neumático .....	70
Tabla 3.7 Características de la electroválvula KLOD .....	71
Tabla 3.8 Asignación de datos OPC UA .....	80
Tabla 4.1 Asignación de dirección PLC.....	118
Tabla 5.1 Resultados de confiabilidad – Empaques de PVC .....	131
Tabla 5.2 Resultados de confiabilidad – tubos codo de PVC.....	132
Tabla 5.3 Resultados de confiabilidad – envases grandes de PVC .....	133
Tabla 5.4 Resultados de confiabilidad – envases pequeños de PVC.....	134
Tabla 5.5 Resultados de confiabilidad – unión universal de tuberías de PVC.....	135
Tabla 5.6 Análisis económico de estructura de soporte .....	135
Tabla 5.7 Análisis económico de componentes adquiridos.....	136
Tabla 5.8 Análisis de costo total del prototipo .....	137

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

#### 1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

“Diseño e implementación de un prototipo para el control de calidad de accesorios de PVC por Visión Artificial y Machine Learning”.

#### 1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en las industrias los costos, recursos y tiempo son los factores más importantes para la producción, por lo que dependen de personal capacitado o de una automatización básica; las pequeñas industrias no aplican automatización en sus plantas por el tema de costos, licenciamientos y programas con precios muy elevados, pero lo que no debe de pasar desapercibido es la calidad de sus productos, ya que ellos son la imagen de la producción de la empresa, puesto que no se realiza el control de calidad a toda la producción, sino un pequeño muestreo de cada lote de producción.

El conocimiento de estos procesos automatizados es escaso y de precio elevado, pero es importante expandir esta información a las pequeñas empresas con una relación de costo y beneficio de desarrollos en la comunidad, como por ejemplo para el control de calidad de la agricultura, producción de manufactura, o de productos embazado para la exportación.

Estos programas o sistemas como control de calidad actualmente en el Perú son escasos, puesto que lo ofrecen empresas de países extranjeros como Alemania, Brasil, Chile, España, Japón, Suecia, etc. Por lo que son pocas las investigaciones y desarrollo para implementar esta tecnología en las diferentes fábricas a nivel nacional.

#### 1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la industria plástica muchos de los procesos son automatizados, puesto que sus factores de producción apuntan a un producto de calidad, debido a que sus productos son dirigidos a diferentes rubros del país, como la construcción, minería, hidrocarburos, etc. Pero

internamente en la producción existen los errores o productos defectuosos, por lo que vuelven nuevamente al proceso inicial para no perder su materia de fabricación, donde la máquina de fabricación pueda que expulse un producto defectuoso o la inspección humana sea errónea.

El control de calidad en la agricultura es un tema delicado, puesto que algunas industrias distribuyen sus productos localmente o son exportadas, en este proceso se separa manualmente por dimensión, madurez y otras características, o simplemente se toma una muestra aleatoria de un lote de producción.

En la minería los diferentes procesos automatizados que pasa el mineral para la extracción de cada elemento debe estar optimizado, como por ejemplo el proceso de chancado que contiene las cámaras de alta resolución para la captura de imagen de las rocas y observar la dimensión y el F80 de la producción, otro proceso que utilizan el procesamiento de imágenes es el de flotación, visto que se guían por la dimensión, color y durabilidad de las burbujas, para ejecutar el sistema experto en los reactivos que se usan para este proceso, pero no todas las compañías mineras tienen implantado este sistema por los costos elevados de traer tecnología de otros países.

Para la verificación de fabricación de piezas metálicas se necesita cortes de precisión, dimensiones exactas, por lo que se necesita un control de visión exacta en la cual distinga los defectos de estas piezas y se tome la decisión de clasificación. Los productos como embazados de bebidas pasan por un control de calidad manual, donde el operador tiene que revisar manualmente cada botella para clasificar el producto, por lo que toma tiempo y retraso en la producción.

Entonces, como hemos mencionado anteriormente estos y muchos problemas más son muy comunes en las industrias por falta de presupuesto para la automatización y aplicación de control avanzado, también la falta de información e investigación es escasa, por lo que en la presente investigación, para el desarrollo de VA (Visión Artificial) y ML (Machine Learning) se utilizarán accesorios de PVC (Policloruro de vinilo), como empaques, tuberías y envases en estado de óptima y defectuosa calidad, el PVC es un material maleable que, a pesar de la fabricación en moldes, suele presentarse productos defectuosos, la cual se puede identificar percibiendo su forma, textura o color.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE

El control de calidad mediante procesamiento digital de imágenes es una aplicación, donde su demanda está creciendo en las industrias automatizadas, por lo que fue necesario estudiar los antecedentes de esta nueva tecnología.

En Perú son escasas las referencias de proyectos de investigación similares de desarrollo de una aplicación de procesamiento de imágenes con comunicación OPC UA a PLC o DCS, pero si es cierto que se han realizado estudios parecidos con otros productos. En los siguientes puntos se hace referencia a los proyectos donde se aplican técnicas de procesamiento de imágenes para la evaluación de distintos productos industriales.

EL procesamiento digital de frutas como las chirimoyas en Callahuanca, denominado como “El paraíso de la Chirimoya”, se diseñó el sistema para medir la *Annona Cherimola* Mill (chirimoya) donde se realiza la clasificación por una dimensión de 10 x 12 cm, empleando etapas de procesamiento de ajustes como segmentación y contraste donde exitosamente clasificó exitosamente 91 de 91 chirimoyas de categorías Extra y Primera, dando un 100% de efectividad, este proyecto fue realizado bajo la plataforma de arduino. (Valdivia Arias, 2016)

El diseño un sistema de visión artificial para la clasificación de granos de cacao según las características externas como el tamaño en la fase final del secado, obteniendo un 88.4% de acierto en la clasificación, el proyecto fue desarrollado con librerías de OpenCV usando como controlador un Raspberry Pi. (Viera Maza, 2017)

La clasificación de defectos en las frutas, fue desarrollado utilizando el algoritmo de retroprogramación, encargado de detectar y cuantificar los defectos de las naranjas, donde la efectividad de los resultados fue mayor al 90%, concluyendo que todos los parámetros de inspección visual como el aroma, pulpa, azúcar, ácidos, etc. No son perceptibles mediante las imágenes. (Leonario Pencue & León Téllez, 2003)

En Arequipa, se diseñó un sistema para la identificación y clasificación de figuras geométricas por formas y colores mediante visión artificial en Labview 7.0 de NI,

desarrollando un lenguaje programación visual implantando por algoritmos y diagrama de bloques en el computador, con el fin de comparar patrones. (Sanchez Caceres, 2013)

En Finlandia, se realizó una aplicación para el control de calidad en una fábrica que produce piezas en miniatura, se automatizó con PLC Simatic 300 en un entorno de desarrollo de programa grafico de NI Labview, utilizando NI OPC para la comunicación con el PLC, la clasificación lo realizo mediante un brazo giratorio y pistones neumáticos, dando con resultados del 100% de clasificación satisfactoria. (Pokharel, 2013)

En Southern se ha implementado sistemas expertos en chancado y flotación; en chancado se implementó las cámaras SPLIT que realiza procesamiento digital de imágenes, toma las principales características del mineral dimensión, granulometría, F80 etc. Del mismo modo se implementó cámaras en el circuito de flotación para recompilar datos de las burbujas como dimensión, estabilidad, velocidad, durabilidad y otras características para la toma de decisiones de los reactivos inducidos, se incrementó un 3% más de mineral y se mejoró en la estabilización del circuito de flotación, la filosofía de control fue desarrolla en DCS System x800A de ABB mediante la comunicación OPC. (Minero, 2016)

Con la misma metodología de implementación de sistemas expertos en minerías mediante procesamiento digital de imágenes, Minera Barrick Misquichilca, Laguna Norte, sus sistemas expertos basado en fuzzy logic en chancado primario y secundario son satisfactorios, en referencia a la tecnología de control predictivo para la optimización del control de los procesos en el mismo controlador DCS. La tecnología 800xA APC se basa en el control predictivo basado en modelos, con el marco sólido para el diseño y la implementación de controladores multivariables. (Minero, 2016)

El proyecto para la identificación de la rugosidad superficial a partir de las marcas que se registren sobre el material al paso de cada herramienta, la medición que se realizó se hizo de forma indirecta, mediante la comparación del patrón a diferentes velocidades y la rugosidad medida por cada velocidad, para esto realizaron el cálculo correspondiente para elegir la cámara, como los FPS, Enfoque, dimensión de la lente, monocromática o de color, utilizando una cámara Genie HM640 y desarrollando un plataforma en C++. (Doctor, 2020)

## 1.5. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación es necesaria para la optimización del control de calidad en productos industriales en el Perú.

La toma de decisiones a través de VA (Visión Artificial) y ML (Machine Learning) es una de las nuevas tendencias en tecnologías que forma parte de la inteligencia artificial; otra tecnología actual para la comunicación entre controladores, la instrumentación y los servidores de monitoreo es OPC UA (OLE for Process Control Unified Architecture), todos los datos de estas nuevas tendencias se pueden visualizar mediante un servidor en línea o almacenamiento en la nube que forman parte de la Industria 4.0.

Muchas de las actividades de desarrollo de producción dentro de nuestro país no cuentan con la automatización adecuada para procesos de control de calidad, así como en la minería, agricultura, extracción de recursos, donde la mayor producción de calidad debe concertar con el menor costo posible, la inspección asistida por computadora, permite a la automatización accesible a lograr de manera objetiva, rápida y precisa de las decisiones con respecto a las características necesarias para que el producto logre satisfacer las expectativas del consumidor, cabe destacar que el desarrollo de esta implementación de software puede realizar la clasificación de diferentes productos mencionados anteriormente, pero se enfocará principalmente en productos de PVC.

## 1.6. ANÁLISIS DE VARIABLES

### 1.6.1. *Variable independiente*

Uso de sistema de control por Visión Artificial y Machine Learning para la clasificación de objetos y optimizar el control de calidad del producto.

### 1.6.2. *Variables dependientes*

Análisis de imágenes, control de clasificación de objetos y control de calidad.

### **1.6.3. Indicadores de variables**

- Análisis de imágenes: procesamiento de imágenes de los objetos, a través de histogramas, resolución y número de pixels.
- Control de clasificación de objetos: funcionamiento del SCADA mediante de sensores y actuadores.
- Control de calidad: monitoreo de imágenes para la recopilación de las características y parámetros de la clasificación de objetos.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un prototipo para el control de calidad de accesorios de PVC por Visión Artificial y Machine Learning.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema de clasificación de accesorios de PVC, para la interpretación de la distribución mediante un controlador, sensores y actuadores.
- Implementar el módulo que será representado por una faja transportadora a escala montado con un sistema de cámara e iluminación y la parte de control desarrollada por un controlador, sensor óptico y sistema neumático.
- Desarrollar la interfaz gráfica con librerías de Visión Artificial como Aforge.NET y aprendizaje por Machine Learning con K-Means en C#.
- Identificar y analizar el procesamiento digital de imágenes como la dimensión, color, y otras características del objeto, para clasificar los accesorios de PVC de buena y defectuosa calidad.

- Desarrollar la comunicación mediante OPC UA con el controlador a utilizar y el SCADA donde se visualizarán los parámetros analizados en tiempo real y la ejecución del módulo de clasificación.
- Calcular y calibrar la iluminación adecuada para la optimización de captura de imágenes.
- Implementar un algoritmo de programación para el aprendizaje automático no supervisado en visual studio con machine learning.
- Realizar una historización en una base datos MySQL y en una base de datos redundante en Firebase, para poder tener información acumulada y poder observar el control de calidad mediante datos del procesamiento de imágenes.
- Realizar la comparación entre las decisiones del algoritmo y las decisiones por la vista humana, además de las medidas de los accesorios mediante un instrumento de medición y por computador.
- Demostrar el uso de visión e inteligencia artificial en otros procesos en la actualidad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. VISIÓN ARTIFICIAL

##### 2.1.1. Definición

El origen de la visión artificial por computador está sujeto a “The Summer Vision Project” a cargo del MIT en 1966, en ese momento se pensaba que en un verano se podía resolver todo el proyecto, pero ahora tenemos todo un campo científico con más de 50 años que aún está lejos de ser resuelto por completo. (MIT, 1996)

La VA (Visión Artificial) por computador es parte de la IA (Inteligencia Artificial), se define como un campo científico que extrae información de las imágenes digitales, el tipo de información obtenida de una imagen puede variar desde la identificación, espacio de medición por navegación o aplicaciones de realidad aumentada; además se puede construir algoritmos que pueden entender el contenido de la información de las imágenes y utilizarlo para otras aplicaciones.

VA está pensada para el procesamiento de imágenes en tiempo real, en efecto este procesamiento se realiza de manera instantánea al obtener la imagen, de modo que representa una imagen realista en tiempo real, es decir información 3D de la imagen 2D del objeto. (King Su Fu, 1988)

Las imágenes digitales son la combinación de diferentes niveles de intensidad de luz, cada punto de en una imagen digital es una representación del valor de pixel que corresponde a las coordenadas “x” e “y” en el plano de la imagen, definiendo la intensidad en ese punto. Se ha convertido en una herramienta industrial por más de 30 años y está creciendo como una gran tendencia para el procesamiento de imágenes y diferentes aplicaciones como mediciones, conteos, clasificación de objetos, control de calidad y orientación robótica, estas se han convertido en una gran herramienta para la producción en la inspección y análisis de diferentes productos, visto que reduce el costo, el esfuerzo y el tiempo con un nivel significativo de confiabilidad y precisión. (COGNEX, 2016)

### ***2.1.2. Control de calidad***

La calidad de un producto está determinada por una serie de características, las cuales son evaluadas y deben satisfacer su aptitud de uso, sus niveles de evaluación deben ser balanceados para obtener los valores óptimos, sin sacrificar la calidad y los costos de producción.

El control de calidad a través de procesamiento de imágenes digitales, es hoy en día una tendencia en las industrias, visto que las aplicaciones de visión artificial son tendencias de mejoras continuas como la detección y seguimientos de objetos, análisis de inteligencia artificial en imágenes médicas, análisis de terrenos por drones o satélites, control de calidad de productos en la producción industrial, reconocimiento de rostros, huellas dactilares, iris, etc. Esta tendencia se debe al desarrollo de softwares libres, lenguajes de programación y compatibilidad de sistemas operativos, las empresas optan por equipos industriales para la toma de imágenes, para poder visualizar, inspeccionar y documentar como historización de los diferentes productos que se pueden fabricar.

Los factores más importantes para la producción son los costos, recursos y tiempo, por lo que dependen de la automatización desarrollada o de personal capacitado, pero lo que no debe de pasar desapercibido es la calidad de sus productos, puesto que ello es la imagen de la producción de la empresa. (Díaz, 2006)

### ***2.1.3. Componentes de visión artificial***

Un sistema de VA (Visión Artificial), depende de diversos elementos o componentes que trabajan conjuntamente para extraer, procesar y analizar diversas imágenes, para obtener diferentes características para las respectivas tomas de decisiones con la finalidad de aumentar la calidad de la producción a través del control y una automatización eficaz, en la Figura 2.1 podemos apreciar los principales componentes de un sistema de control por VA. (BCNVISION, BCNVISION visión artificial, 2017)

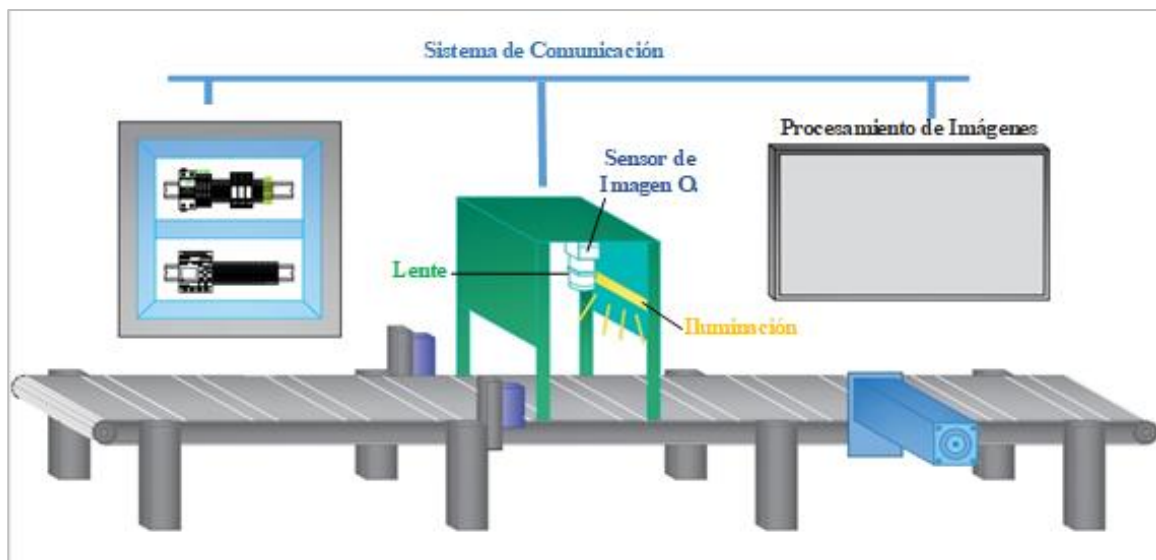


Figura 2.1 Componentes de visión artificial

*Fuente:* (BCNVISION, BCNVISION visión artificial, 2017)

### 2.1.3.1. Sistema de iluminación

La iluminación es el componente clave para cualquier sistema de Visión Artificial, visto que es la que determina la recepción de la intensidad, el ángulo y la longitud de onda que recibe el lente. Existe variedad de técnicas de iluminación para diferentes aplicaciones:

- Iluminación tipo domo: es emitida dentro de una cúpula esférica que como resultado obtenemos una luz difusa desde todas las direcciones para eliminar sombras y reflejos, mitigando impurezas y alisando texturas o curvaturas no deseadas, recomendada para inspecciones de instrumentos médicos, CD, etc. Las ventajas que se aprecian son la exclusión de sombras y la mitigación de polvo, relieves y texturas no deseadas, pero a pesar de ser una buena técnica de iluminación es una de las más costosas. (BCNVISION, BCNVISION-Marketingbcnvision, 2017)

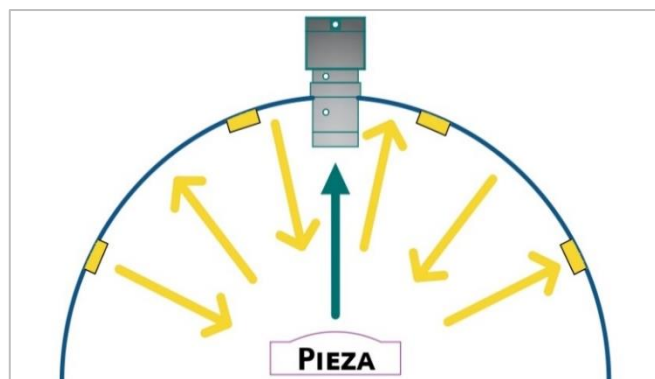


Figura 2.2 Iluminación difusa tipo domo

*Fuente: Elaboración propia*

- Iluminación frontal: la iluminación está posicionada conjuntamente con la cámara, mirando la pieza como se muestra la Figura 2.3, la iluminación se obtiene mediante un anillo de luz, se recomienda para inspección para textiles, material con pocos reflejos, detección de colores. Las ventajas que se pueden apreciar es la mitigación de sombras, además se puede usar a una gran distancia entre la pieza y la cámara, si la distancia es cercana al objeto se presenta el inconveniente de percibir intensos reflejos superficiales reflectantes. (BCNVISION, BCNVISION-Marketingbcnvision, 2017)

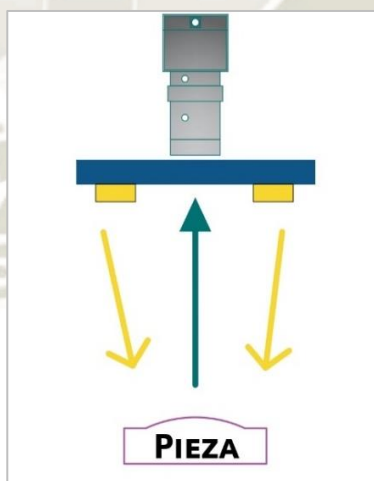


Figura 2.3 Iluminación frontal - anillo de luz

*Fuente: Elaboración propia*

- Iluminación lateral: la iluminación se posiciona lateralmente a la cámara, la clave de esta iluminación es el grado de inclinación con respecto a la posición de la pieza a

identificar, es ideal para resaltar bordes, texturas o fisuras no deseadas, resaltando sombras definidas, si el ángulo de inclinación no es preciso, se producirán sombras abundantes en todo el relieve y contorno de la pieza. (BCNVISION, BCNVISION-Marketingbcnvision, 2017)

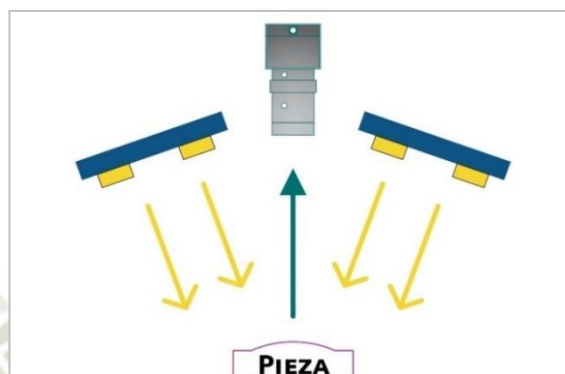


Figura 2.4 Iluminación lateral

*Fuente: Elaboración propia*

- Iluminación darkfield: esta iluminación es emitida por un ángulo muy pequeño por todas las direcciones desde un anillo de luz, está cerca de la pieza para resaltar los defectos superficiales o caracteres en una superficie con muy poco contraste, no se recomienda usar con superficies que absorban luz. (BCNVISION, BCNVISION-Marketingbcnvision, 2017)

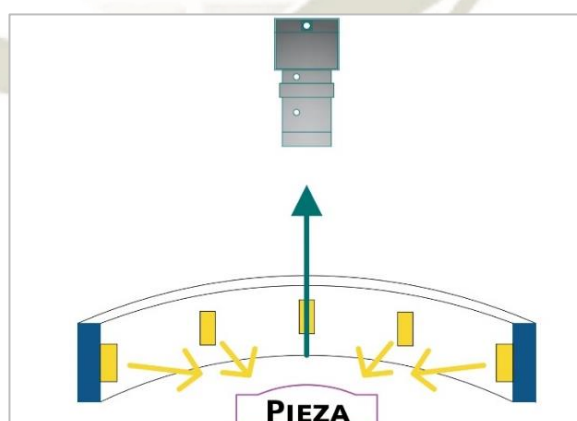


Figura 2.5 Iluminación darkfield

*Fuente: Elaboración propia*

- Iluminación backlight: conocida como luz de fondo, esta iluminación está posicionada desde la parte posterior de la pieza, la cámara se dirige directamente a la pieza, por lo que la luz tiene que ser uniforme en toda su superficie, produciendo

una sombra que será reconocida por el fondo blanco de la iluminación; es ideal para la inspección de la silueta de la pieza u objeto gracias a su alto contraste, podemos inspeccionar materiales transparentes para detectar manchas o impurezas no deseadas como envases de vidrio o plásticos traslucidos, se recomienda usar cold ligh. (BCNVISION, BCNVISION-Marketingbcnvision, 2017)

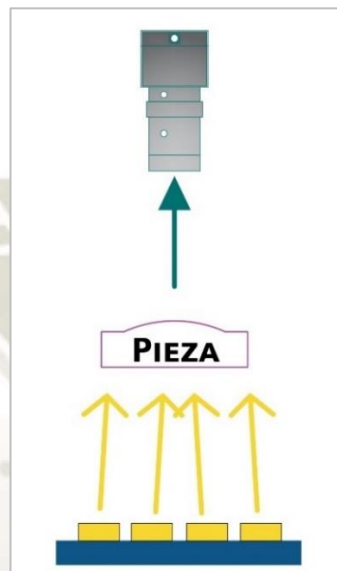


Figura 2.6 Iluminación backlight

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.3.2. Sistema de lentes

La lente es un componente con un mecanismo complejo de vidrios cóncavos o convexos su función es guiar los rayos de luz para replicar una imagen con la mayor precisión hacia el sensor digital, su objetivo es mitigar los errores ópticos, estos ocurren cuando los puntos específicos de la imagen capturada no se traducen en los mismos puntos hasta el sensor cuando pasa por el lente, esto es la causa de las imágenes borrosas o errores cromáticos. La distancia focal es uno de los elementos más importantes en la funcionalidad de la lente, puesto a que esta regula el ángulo de visión, además que determina cuanto se ampliará la pieza dura la toma fotográfica, la perspectiva dependerá completamente de la ubicación de la pieza en relación con la posición de la cámara. En función al ángulo de cobertura, los objetivos se pueden clasificar en:

- Angulares: el campo visual de este lente está en el rango de los  $60^\circ$  y los  $90^\circ$ , existen objetivos angulares con ángulos de cobertura de  $90^\circ$  a  $180^\circ$  que son conocidos como “ojos de pez”.
- Normales: su ángulo de cobertura está en torno a los  $45^\circ$ , similar a la visión humana.
- Teleobjetivo: el ángulo de cobertura está entre los  $28^\circ$  y  $8^\circ$ , o posiblemente menor en el caso de teleobjetivos grandes (Carrillo de Albornoz, 2012).

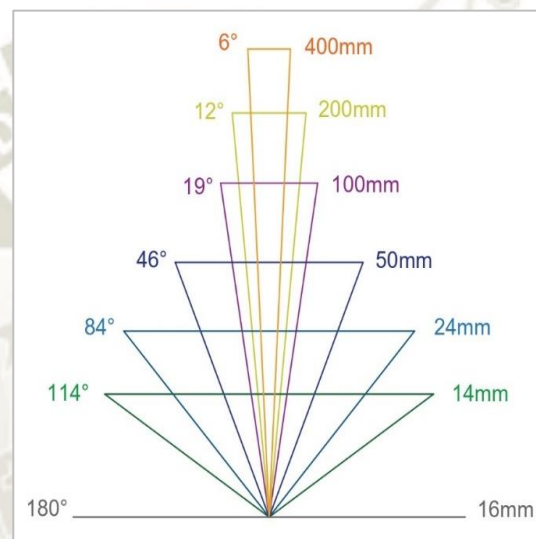


Figura 2.7 Ángulos de cobertura

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.3.3. Sensor de imagen óptico

Otro componente de la cámara digital es el sensor de imagen, que está conformado principalmente por millones de celdas, conocido también por la referencia de megapíxeles (celdas fotosensibles), su función principal es transmitir información y poder recrear la captura en imagen. Actualmente los CCD (Charge Coupled Devices), incluye una variedad de condensadores que transbordan la carga eléctrica vinculada con la magnitud de luz del pixel, el circuito de control que está en el sensor, ordenará que los capacitores transmitan el contenido respectivamente al capacitor más próximo, cuando el contenido esté en el último capacitor de la matriz, se descargará la información a un amplificador y finalmente, es procesada hasta la tarjeta de control. (ELPROCUS, ELECTRONICS | PROJECTS | FOCUS, 2020)

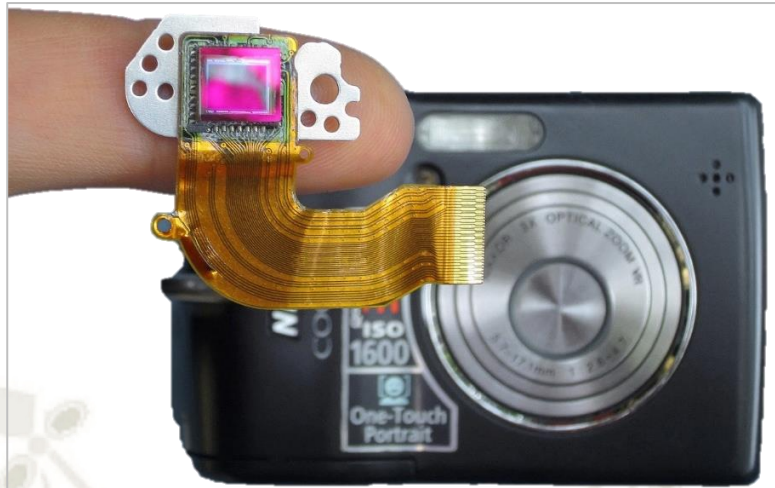


Figura 2.8 Sensor CCD (Charge Coupled Devices)

*Fuente: <https://pixabay.com/es/15icro/ccd-digitales-c%C3%A1mara-sensor-foto-880363/>*

Los sensores más usados en cámaras fotográficas son los CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), la cual incorpora fotodiodos y transistores de conmutación CMOS para cada pixel, al ser independiente cada pixel, se mejora la señal transmitida, al realizar la conmutación, la señal continuará a alta velocidad, siendo mejor que el sensor CCD. La función primordial es convertir los fotones en electrones, consecutivamente de realizar la conversión ADC, el amplificador que contiene el circuito de control disminuye el ruido de las señales eléctricas al momento de transferir la información. (ELPROCUS, ELECTRONICS | PROJECTS | FOCUS, 2020)



Figura 2.9 Sensor CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

*Fuente: <https://pixabay.com/es/15icro/sony-la-rx1-full-frame-de-35-mm-4704983/>*

#### 2.1.3.4. Sistemas de comunicación

Finalmente, otro de los componentes para obtener el procesamiento de imágenes es la comunicación a través de la cámara hasta el servidor donde se realiza el procesamiento, en la actualidad las cámaras industriales tienen una amplia variación de protocolos de comunicación como pueden ser:


CANopen	TCP/IP	Ethernet IP	PROFINET	USB 2.0	USB 3.0	USB 3.1	USB 3.2
							

Figura 2.10 Protocolos de comunicación para cámaras industriales

*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.1.3.5. Procesamiento de imágenes

Una imagen digital está definida como una función bidimensional con respecto a la ecuación ( 1 ).

$$f(x, y) \quad (1)$$

Donde las coordenadas en el plano son “x” e “y”, se pueden denominar también coordenadas espaciales, y la función “f” es la intensidad o el nivel en dependencia de las coordenadas anteriores, sus valores son unidades finitas y discretas, entonces definimos que una imagen digital está compuesta por finitos elementos, las cuales son llamadas píxeles que se ubican en lugares y valores específicos. El objetivo de la programación en el computador es para reconocer, acondicionar y enseñar las características de la imagen, todo a partir de las imágenes bidimensionales, existen tres tipos de procesamiento de imágenes digitales, en la Figura 2.11 se aprecia estos niveles de procesamiento.

- Low level digital image processing: el procesamiento de imágenes digitales de bajo nivel, denominado también preprocesamiento, se emplea en aplicación de filtros, mitigación de ruidos y la mejora del contraste.

- Middle level digital image processing: el procesamiento de imágenes digitales de nivel medio, denominado también segmentación, se emplea en la fragmentación y organización de objetos individuales, caracterizado por la extracción de atributos de la imagen.
- High level digital image processing: el procesamiento de imágenes digitales de nivel alto, se aplica en el análisis del resultado para el reconocimiento e interpretación de las imágenes segmentadas (Mejía Vilet, 2004).

#### 2.1.4. Etapas para la aplicación de visión artificial

Una vez visto los componentes y haber realizado el acondicionamiento de estos, a través de cálculos, calibraciones u otros detalles necesarios para el procesamiento de imágenes (capítulo III), se procede a emplear las etapas para la aplicación de visión artificial.

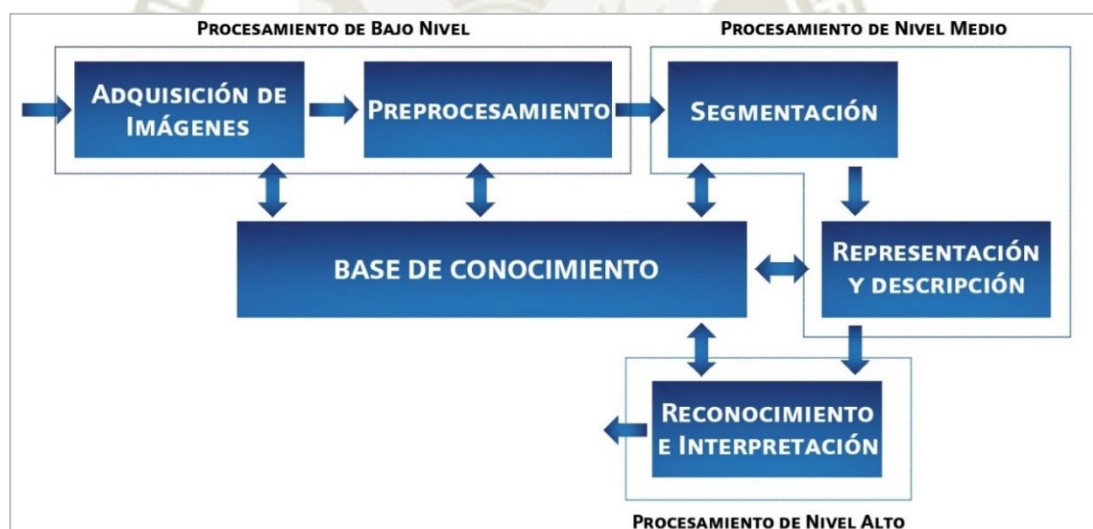


Figura 2.11 Etapas y niveles de procesamiento de visión artificial

*Fuente:* (Platero Dueñas, 2009)

Primeramente, se comienza por el procesamiento digital de imágenes de nivel bajo, donde se realiza la adquisición de imágenes para pasar por el preprocesamiento, con la finalidad de mejorar la calidad de información, se introduce diferentes operaciones como la eliminación de ruido, mejora de contraste, enriquecimiento de intensidad de brillo, resaltar áreas o texturas, la mitigación de imperfecciones o la acentuación de características como bordes. (Platero Dueñas, 2009)

En el procesamiento digital de imágenes de nivel medio, se encuentra la etapa de segmentación, siendo una de las más importantes, puesto que facilita la solución del problema, donde la imagen es fraccionada en partes para poder distinguir las características las cuales tengan relación con las piezas u objetos utilizados, existen muchas técnicas de poder localizar los aspectos como puede ser:

- Técnica basada por contornos o bordes: permite detectar la discontinuidad de contornos o el número de contornos de la pieza a reconocer, es ideal para detectar bordes de una pieza o los contornos requeridos para la identificación de imperfecciones no deseada; no se recomienda usar para la identificación de muchos contornos e imágenes de bajo contraste.
- Técnica basada por regiones: analiza las regiones fragmentadas que pueden estar formados por filtros, colores u otra característica para identificar el área a reconocer, perfecto para detectar áreas homogéneas; no se recomienda luminosidad que pueda provocar ruido en la toma de imágenes.
- Técnica por umbral: se caracteriza por la fragmentación de los píxeles con respecto al nivel de intensidad, ideal para el análisis de imágenes con regiones oscuras basados en los picos del histograma.
- Técnica basada en ecuaciones diferenciales parciales: principalmente basada en ecuaciones que mejoran criterios de los defectos de la imagen, su complejidad computacional es alta, las ecuaciones más comunes de desarrollar son: filtro de difusión isotrópico no lineales, y la restauración convexa de variación no cuadrática, que son usadas para la mejora de bordes y la eliminación de ruido respectivamente, recomendada para aplicaciones críticas con tiempo limitado.
- Técnica basada en Machine Learning y Redes Neuronales: esta técnica está desarrollada para el aprendizaje con respecto a las características resaltantes de la imagen, para la toma de decisiones, se recomienda para el uso de imágenes de clasificación no supervisada, es una de las técnicas más complejas por lo que requiere bastante tiempo de desarrollo. (Mejía Vilet, 2004)

De la segmentación dependerá la representación y visualización final de la imagen, por lo que finalmente, el algoritmo desarrollado en el nivel alto para el reconocimiento e interpretación del procesamiento, se deban obtener resultados eficientes (Platero Dueñas, 2009).

## **2.2. MACHINE LEARNING**

### **2.2.1. Definición**

El origen de machine learning está sujeto a Alan Turing, quien crea el famoso test de Turing para su investigación si realmente una maquina era inteligente, consistía en que la maquina tenía que fingir ser un humano y no un computador para poder engañar a un humano. (Muggleton)

ML (Machine Learning) o más conocido como aprendizaje automático, es una de las ramas de la IA (Inteligencia Artificial), se define como el desarrollo de técnicas las cuales permitan que el algoritmo de un sistema tome las decisiones de forma autónoma mediante el aprendizaje de datos, por esta razón los modelos y algoritmos que se elaboran se definen como un conjunto de métodos las cuales detectan los patrones en los datos procesados para manipularlos y predecir datos futuros o para tomar otro tipo de decisiones en diferentes entornos o sistemas. El proceso de aprendizaje está relacionado con la estadística en conciliación con el almacenamiento y análisis de gran cantidad de datos (Big Data).

En ML existen gran variedad de aplicaciones como: asistencia virtual, sector financiero, marketing, publicidad y redes sociales, comunicaciones, salud y medicina, seguridad, automatizaciones industriales, Smart Cities, etc. (Solutions, 2018).

### **2.2.2. Componentes de machine learning**

#### **2.2.2.1. Origen de la información**

- Datos estructuras y no estructurados.
- Múltiples orígenes de los datos.

- Acceso sencillo y en constantes crecimiento: redes sociales, bases de datos públicos o privados, internet de las cosas, etc.
- Datos en tiempo real.

#### **2.2.2.2. Técnicas y algoritmos**

- Fundamento estadístico y matemático con aplicaciones en IA.
- Reconocimiento de patrones ocultos en los datos, sin la aceptación de hipótesis previas.
- Uso de métodos de razonamiento inductivo.

#### **2.2.2.3. Capacidad de autoaprendizaje**

- Autoaprendizaje y reentrenamiento de datos.
- Busca de patrones en los datos y su relación sin reducción.
- Mantenimiento de sus algoritmos predictivos a lo largo del tiempo para su adaptación.
- Combinación de modelos y de la calibración de los algoritmos.
- No se asegura la posibilidad de identificar el origen.

#### **2.2.2.4. Sistemas y software**

- Requiere mayor velocidad de procesamiento y la capacidad de almacenamiento de datos.
- Combinación de diversos softwares para la ejecución.

### ***2.2.3. Técnicas de machine learning***

Existen diversas técnicas, pero estas van a depender del tipo de información y del paradigma de aprendizaje, la selección va a depender del objetivo del modelo a construir, así como el tipo de información que se maneja (Solutions, 2018).

## TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN ESTRUCTURADA

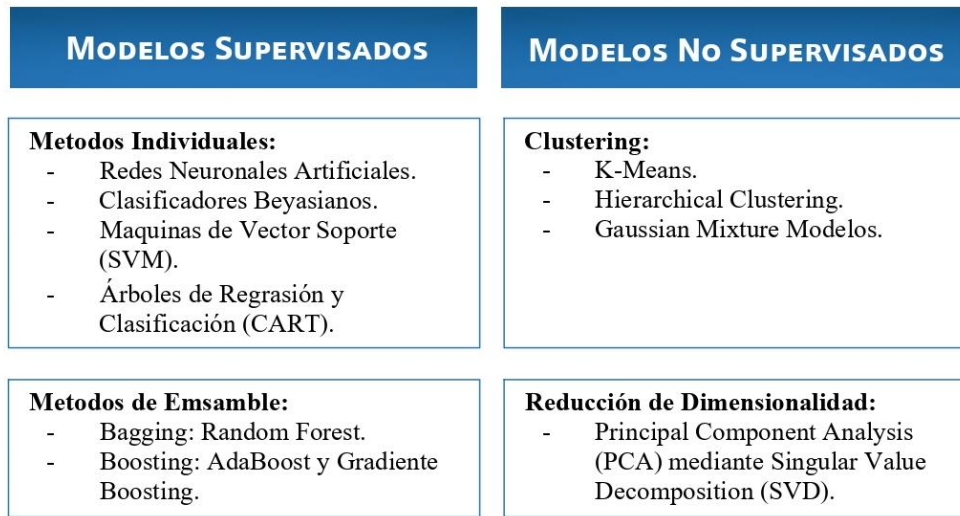


Figura 2.12 Técnicas de ML de información estructurada

Fuente: (Solutions, 2018)

## TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN NO ESTRUCTURADA

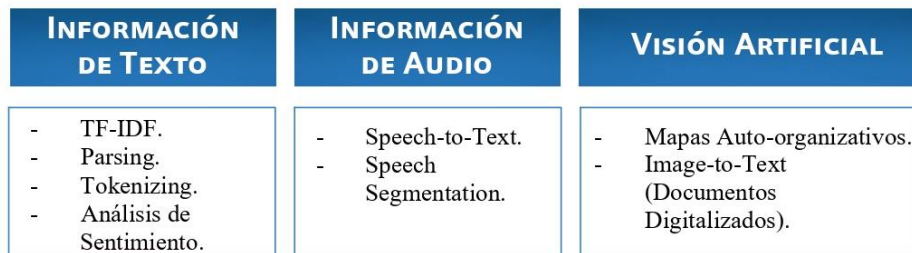


Figura 2.13 Técnicas de ML de información no estructurada

Fuente: (Solutions, 2018)

### 2.2.4. Técnicas para el análisis de información estructurada

#### 2.2.4.1. Aprendizaje supervisado

Para construir este algoritmo, se requiere la información de los datos a utilizar, para que así se dé la construcción del modelo de predicción o clasificación de una cantidad de datos, entonces la finalidad del aprendizaje supervisado es entrenar un conjunto de variables “x” en una variable de salida “y”, a partir de los datos de entrenamiento de la ecuación ( 2 ), donde N es el tamaño de la muestra de la población.

$$\Delta = \{(x_i, y_i), i \in 1, \dots, N\} \quad (2)$$

Se da un problema de regresión, cuando la variable de salida “y” es continua, y un problema de clasificación, cuando la variable de salida “y” es nominal o discreta. Dentro de las técnicas que están dentro de aprendizaje supervisado resaltan los métodos individuales (Figura 2.12), se denominan así porque se usan de forma aislada:

#### **2.2.4.1.1. Redes neuronales artificiales (ANNs)**

Se define como modelos matemáticos multivariantes no lineales, las cuales utilizan procedimientos iterativos, como finalidad de mitigar una determinada función de error y clasificar de esta manera las observaciones, estas redes están compuestas por neuronas conectadas entre ellas, a través de nodos y capas, las conexiones imitan a las dendritas y a los axones del sistema nervioso biológico, se debe tener en cuenta que se puede emplear en aprendizaje no supervisado. Una de las ventajas del uso de esta técnica es separar regiones de forma no lineal, pero se dificulta con la interpretación de los resultados y la restricción a la hora de incorporar la negociación de datos con respecto a la estructura de pesos.

Para aplicaciones más complejas se usan redes neuronales con múltiples capas, a estos modelos se le denominan como aprendizaje profundo o más conocido como Deep Learning, estos modelos trabajan de la mano con Big Data, estos métodos se pueden emplear para procesos de reconocimiento a través de visión artificial o en generar textos automáticamente. (Solutions, 2018)

#### **2.2.4.1.2. Máquinas de vector soporte (SVM)**

Este modelo resuelve las dificultades que muestran los datos complejos, visto que la relación de datos tiene que ser no lineales, es decir clasificar las observaciones en diversos grupos, pero estos no deben de ser separables por un hiperplano (recta que divide un plano de N dimensiones en dos mitades) en el espacio dimensional definido por los datos, por lo que el conjunto de datos debe infiltrarse en un espacio de dimensión superior, donde una función debe permitir poder ordenar los datos en el nuevo espacio, a través de un hiperplano de dicha

dimensión, por lo tanto se realiza la búsqueda de un hiperplano equidistante a los puntos más cercanos de cada grupo. (Solutions, 2018)

#### **2.2.4.1.3. Clasificadores bayesianos**

Modelos basados en el teorema de probabilidad condicionada de Bayes, utilizan la información percibida de las variables explicativas. Los clasificadores asignan la probabilidad a la presencia y ausencia de otras características, siendo una técnica simple, pero de uso robusto para ordenar observaciones en un conjunto de grupos o clases. (Solutions, 2018)

#### **2.2.4.1.4. Árboles de regresión y clasificación (CART)**

Cuando la variable objetivo es continua, se le denomina árboles de regresión, y si la variable objetivo es categórica, se hace referencia al árbol de clasificación. Son técnicas donde se analizan los datos para predecir la retribución de muestras en grupos predefinidos en función de una serie de variables predictivas; además de ser modelos sencillos y factibles de interpretar, pues son lo más valorados por los analistas. Estos métodos de predicción son limitados, puesto a que realizan una partición ortogonal en el espacio, por lo la muestra se convierte en silos, limitando la capacidad de predecir, esto se debe al sobreentrenamiento de datos. (Solutions, 2018)

#### **2.2.4.2. Aprendizaje no supervisado**

Este método de aprendizaje no habilita la muestra de construcción para la predicción de un variable, por consecuente no se dispone la variable de salida “y” por lo que el conjunto de datos resulta diferente (ecuación ( 3 )), donde N es el tamaño de las muestras.

$$\Delta = \{x_i, i \in 1, \dots, N\} \quad (3)$$

Para la solución a estos problemas, se necesita encontrar patrones o la relación de datos, entonces el proceso de modelización se comienza con la primera fase del descubrimiento del conocimiento (Knowledge discovey), las cuales son:

- Entendimiento de los datos: en esta etapa se inicia con la preparación y el análisis descriptivo de los datos.
- Preparación de los datos: en la segunda etapa se realiza el tratamiento de los datos erróneos, análisis multivariante, combinación de variables nuevas a partir de las disponibles o la eliminación de variables repetitivas.
- Selección de la técnica apropiada y aplicación de procesos de regularización: en la tercera etapa se transforma la información para la modelización, por lo que se considera los siguientes métodos característicos como la homogenización del rango de variables e identificación de variables relevantes.

#### 2.2.4.2.1. *Clustering (K-means)*

El problema de agrupación de datos con respecto a sus parámetros y atributos sigue siendo estudiado, debido a su uso en aplicaciones para el aprendizaje no supervisado, ejecutándose en diferentes aplicaciones como el aprendizaje por computador, minería de datos, clasificación de patrones, etc. Se define como un modelo para identificar grupos de atributos similares en un conjunto de datos, los cuales están asociados con vectores multidimensionales.

Existen muchos métodos que permiten agrupar los datos en un terminado número de grupos, pero uno de los más utilizados es K-Means, siendo uno de los más relevantes por ser relativamente simple, con la finalidad de agrupar datos similares y descubrir datos subyacentes, para lograr este objetivo de agrupación se busca un número “K” de centroides iniciales.

Los clústers se definen como una colección de datos agrupados, donde el centroide es la ubicación real o imaginaria que representa el centro del grupo, la convergencia de datos no será óptima si es que no se tiene una gran cantidad de datos.

La principal función del algoritmo K-means en ML es posicionar los datos a un grupo de “K” centroides, que se usarán como el principio de los puntos para cada grupo, donde se realizan cálculos repetitivos para que las posiciones de los centroides sean óptimas, el cálculo es exitoso cuando los centroides han establecido su posición, sin tener cambios en los datos originales de la agrupación (Figura 2.14). (Solutions, 2018)

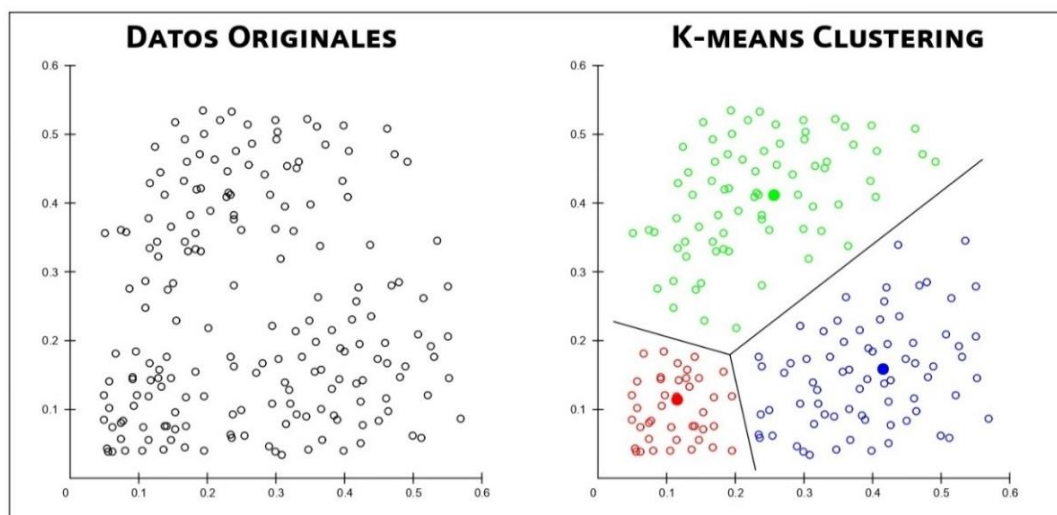


Figura 2.14 Aplicación del método K-Means

*Fuente: Elaboración propia*

Se tiene en consideración cuatro pasos para identificar este algoritmo:

- Paso 1, Inicialización: el conjunto de datos a particionar se divide en grupos por cada centroide, algunos algoritmos necesitan establecer el número de centroides, mientras que en algoritmos más complejos procesan los datos y se determina el número de centroides por cálculos.
- Paso 2, Clasificación: se calcula la distancia entre los datos y los centroides más cercanos, con la finalidad de incorporar el dato al grupo con el centroide correcto.
- Paso 3, Cálculo de centroides: si el grupo generado no es óptimo se vuelve a generar el cálculo de la posición del centroide.

- Paso 4, Condición de convergencia: este método converge cuando no existe el intercambio de datos entre los grupos, es decir cuando alcanza un cierto número de iteraciones dado inicialmente o cuando la diferencia entre los centroides de dos iteraciones consecutivas es más pequeña que un umbral asignado. Si aún no se cumple la convergencia se vuelve a repetir los tres últimos pasos. (Solutions, 2018)

#### **2.2.4.2.2. Métodos de reducción**

Los métodos de reducción de dimensionalidad procuran disminuir el número de dimensiones del espacio de análisis, establecido por el conjunto de variables explicativas, una de las técnicas de más populares es el Análisis de Componentes Principales (PCA), la cual transforma un conjunto de variables correlacionadas con otras variables sin correlación, es decir con menor cantidad de variables, definidas también como componentes principales. (Solutions, 2018)

#### **2.2.5. Técnicas para el análisis de información no estructurada**

##### **2.2.5.1. Información de texto**

Los modelos de clasificación de texto funcionan asignando categóricamente los datos con respecto a su contenido, permitiendo realizar tareas como detectar sentimientos del texto, identificar la temática y detectar el idioma escrito. Por otra parte, los modelos de extracción de texto, identifican y obtienen ciertas características de la información que está presente en el texto, para ello se utilizan tareas como la identificación de palabras clave más relevantes, reconocimiento del nombre de personas o empresas, e incluso el resumen de un texto. (Solutions, 2018)

##### **2.2.5.2. Información de audio**

La transformación de las señales de audio de conversación en texto, es una de los métodos más usados la cual se segmenta la señal para comparar la frecuencia y la amplitud, para que así reconozca cada letra o sílaba hablada y convertir a escrito. Otro método caracterizado por segmentar distintas frases de una conversación con texto, es decir etiqueta a través de cadenas de Márkov. (Solutions, 2018)

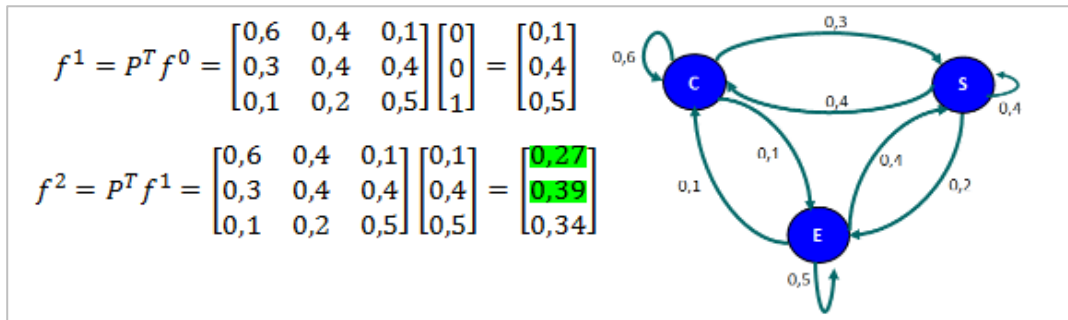


Figura 2.15 Cadenas de Márkov

Fuente: <https://www.gestiondeoperaciones.net/cadenas-de-markov/preguntas-frecuentes-de-cadenas-de-markov/>

### 2.2.5.3. Visión artificial

Existen diversos métodos para la aplicación de ML en VA, siendo uno de los más populares el algoritmo de vecinos más cercanos (KNN), donde se clasifica a una imagen, a través del entrenamiento de imágenes anteriores, realizando el mapeo de autorreconocimiento, como complementación a este método se le agrega un algoritmo de aprendizaje por conjuntos, donde los datos de la imagen se interpretan con histogramas de forma vertical y horizontalmente (Figura 2.16), donde el vector de información se convierte en un dato para el conjunto matricial, se aplica el método de K-means para ubicar los centroides, donde se realizará un entrenamiento y finalmente la clasificación de la imagen.

En la industria actualmente requieren el reconocimiento de códigos QR o barras de códigos, siendo el método más eficiente la transformación de los códigos por imagen a texto, donde consecuentemente dependerá de cada empresa la clasificación de sus productos. No se debe dejar de pasar por alto el método Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR), la cual consiste en la digitalización de documento por computadora. (Solutions, 2018)

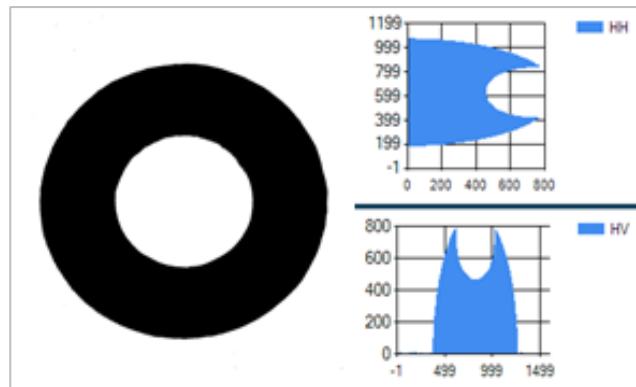


Figura 2.16 Histograma de imagen

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.3. INSTRUMENTACIÓN

### 2.3.1. Cámara varifocal

Se definen como cámaras con lentes de focal variable, la cual nos permite rectificar el campo de visión de forma manual para tener un enfoque ideal, la calibración del zoom dependerá de nuestro objetivo, donde la variación tiene que ser manual, al igual que el enfoque deseado, esto lentos son más flexibles, brindando la compensación del diseño óptico, favoreciendo a los parámetros como la apertura máxima, el tamaño, el rango de longitud focal e incluso la intensidad de luz entrante. (Nikon, 2020)

Existen muchos sensores para el uso de estas cámaras, el sensor Aptina CMOS es uno de las más populares y es el que se usará para el desarrollo de este prototipo. El sensor CMOS MI5100 de 5MP, presenta el avance actual de la tecnología Aptina, logrando bajar el ruido para lograr una calidad de imagen basada en la relación señal-ruido, además de mejorar con la sensibilidad con poca luz, siendo mejor que los sensores CCD, cabe resaltar la relación costo-beneficio, estas son las siguientes características (Tabla 2.1):

Tabla 2.1 Características de la cámara ELP Aptina CMOS MI5100

Modelo	ELP-USB500W05G-SFV
Sensor	<b>Aptina MI5100</b>
Dimensión del Lente	1/2.5" (4:3)
Dimensión del Pixel	<b>2.2um</b>
Área de la Imagen	5.7mm x 4.28mm
Resolución de Enfoque	3mm
Formato de la Imagen	MJPEG / YUV2(YUYV)
Frame y Resolución	2592x1944 @ 15fps MJPEG
	2048x1536 @ 15fps MJPEG
	1600x1200 @ 15fps MJPEG
	1280x1024 @ 15fps MJPEG
	1920x1080 @ 30fps MJPEG
	1280x720 @ 30fps MJPEG
Mínima Iluminación	800x600 @ 30fps MJPEG
	<b>640x480 @ 30fps MJPEG</b>
	0. 1lux
Tipo de Obturador	Obturador Electrónico / Exposición por cuadros
Conectividad de Puerto	USB2.0 High Speed
Ajuste de Parámetros	brillo, contraste, saturación, tono, nitidez, Gamma, Ganancia, balance de blancos, contraste de retroiluminación, exposición.
Tensión de Funcionamiento	5V DC
Corriente de trabajo	150mA~200mA
Dimensión de la Lente	5 – 50 mm, Opcional 2.8 – 12 mm
Placa Tamaño/Peso	31X41mm / 300g

*Fuente: <http://www.webcamerausb.com/elp-5mp-high-resolution-usb20-webcam-aptina-sensor-550mm-varifocal-lens-usb-cctv-camera-for-parking-system-p-238.html>*

Para poder trabajar con video se debe determinar la relación de los cuadros por segundo con respecto a la resolución de la imagen, se debe tener en cuenta la velocidad de transferencia de información desde el sensor hasta el computador, el ajuste de apertura depende del sistema de iluminación extra que se use. Se recomienda dar mantenimiento de limpieza en la lente con un paño de microfibra seco.

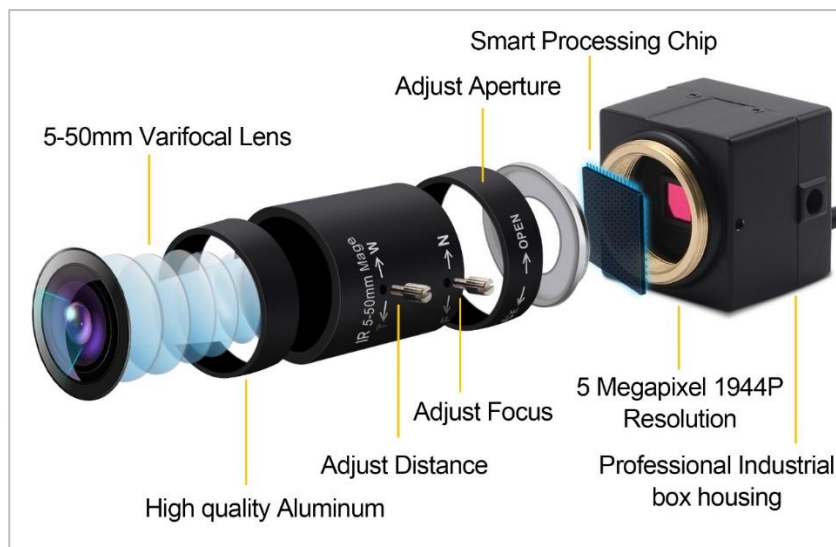


Figura 2.17 Cámara varifocal ELP Sensor Aptina CMOS

Fuente: <http://www.webcamerausb.com/elp-5mp-high-resolution-usb20-webcam-aptina-sensor-550mm-varifocal-lens-usb-cctv-camera-for-parking-system-p-238.html>

### 2.3.2. Sensor óptico

Un Sensor óptico es un dispositivo que emite luz que puede ser visible o infrarroja, desde un punto emisor hasta un punto receptor, la cual detecta si hay presencia o alguna interferencia entre la emisión y la recepción del haz de luz. Tiene muchas ventajas como detectar objetos, sin tener contacto ni efecto en él; su respuesta de detección es de alta velocidad; el rango de detección puede sobrepasar más de los 20m, además de detectar objetos menores a 1mm. Se pueden clasificar en las siguientes categorías (Autonics, 2018):

- De barrera: se necesita de un sensor emisor y un receptor, el objeto se detecta midiendo la diferencia de intensidad de la luz que viaja desde el emisor hasta el receptor
- Reflectivo: un solo dispositivo contiene el emisor y el receptor, pero la diferencia es que se usa un cuerpo con alta reflectividad para reflejar el haz de luz que emite el emisor.

- Retro reflectivo polarizado: contiene un filtro polarizado, con la finalidad de recibir la luz reflejada únicamente del cuerpo con reflectividad, se recomienda para detectar piezas con superficies brillantes.
- Difuso reflectivo: en este dispositivo están juntos el emisor y el receptor, donde la luz reflejada se recibirá desde el objeto a detectar.
- Amplificador de fibra óptica: este sensor se divide en dos cuerpos, el amplificador y la fibra óptica, la cual detectan objetos menores a 1mm y su instalación es ideal para lugares estrechos.

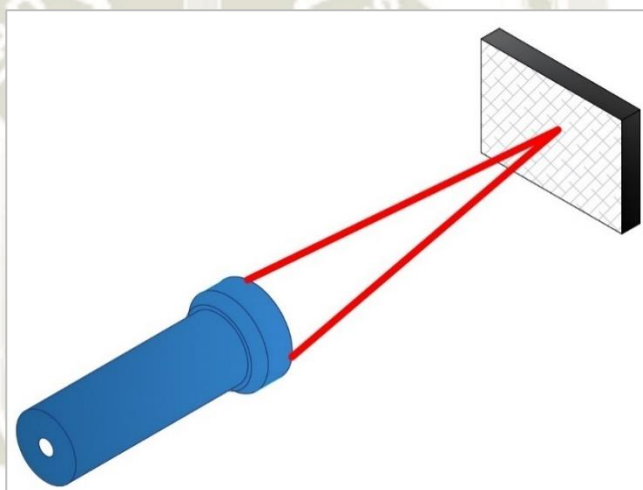


Figura 2.18 Sensor óptico reflex

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.3. Pistón neumático

El pistón neumático es un actuador que se encarga de convertir el aire comprimido en movimiento mecánico lineal, a esta transformación se le denomina energía cinética, una vez hecha la transferencia de aire, hasta el pistón, el cilindro se desplaza linealmente, se recomienda el uso de un cilindro compacto o cilindro plano de doble efecto para la clasificación de productos. (Festo, 2020)

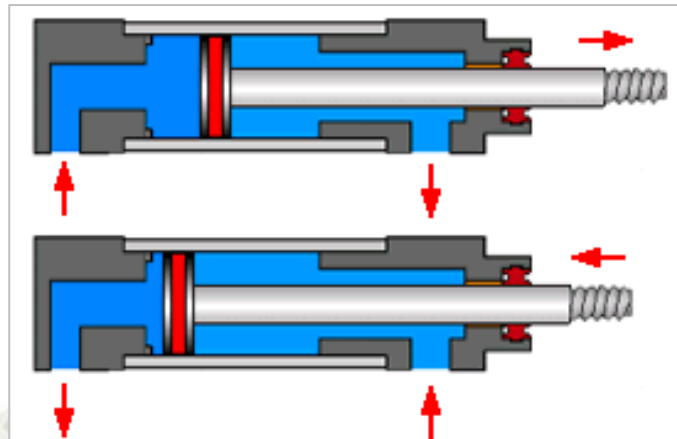


Figura 2.19 Pistón neumático de doble efecto

Fuente: [https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/RGFM/RGFM03/es\\_DFM\\_RGFM03](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/RGFM/RGFM03/es_DFM_RGFM03)

La electroválvula o válvula neumática es un dispositivo que controla la dirección de la presión de aire, el cual se pretende usar una válvula neumática de con distribución de 5/2 vías, esta se activará mediante una señal de mando desde el PLC, accionándolo por su electroimán, para luego conectar la válvula al pistón neumático. La velocidad de avance es igual a la velocidad de retorno y dependerá del regulador de caudal, un manómetro es ideal para visualizar la magnitud.

#### 2.4. PLC

Los Controladores Lógicos Programables (PLC), son dispositivos industriales para la automatización de procesos, puesto que controlan procesos secuenciales, operando mediante funciones lógicas, funciones complejas, cálculos, etc. Está compuesto básicamente en 3 partes:

- Hardware: este corresponde a la parte física, como el circuito, procesador, batería, entradas y salidas, etc.
- Firmware: es el programa que viene instalado por el fabricante, que corresponde al sistema principal del PLC.
- Software: corresponde a la filosofía de control que el usuario desarrolla para su proceso de automatización (Technology, 2014).

La estructura interna del PLC está compuesta principalmente por tres bloques (Figura 2.20):

- Bloque de entradas: encargado de adaptar y codificar las señales analógicas y digitales del PLC, con la finalidad de recibir la información de los dispositivos de entrada.
- Bloque de la Unidad Central de Procesos: este bloque procesa la filosofía de control del usuario e interpreta las instrucciones a ejercer, además de la comunicación constante con dispositivos de visualización, instrumentación etc.
- Bloque de salida: encargado de adaptar y decodificar las señales analógicas y digitales del PLC, con la finalidad de emitir la información a los dispositivos de salida controlados (INET, 2012).

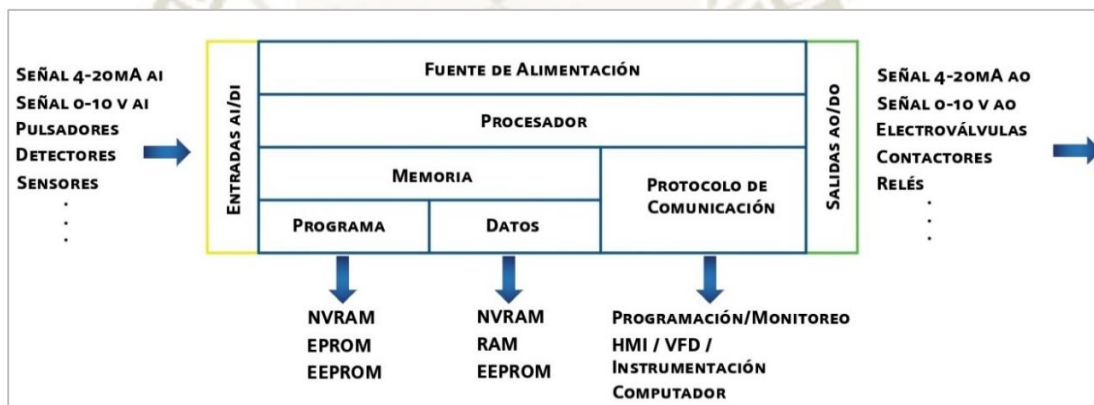


Figura 2.20 Estructura interna de un PLC

*Fuente:* (INET, 2012)

Existen muchos lenguajes programación para los PLC, pero según la norma IEC1131-3, se han definido 5 tipos de lenguaje de programación, su estructura y funcionalidad son diferentes, pero se pueden emplear con normalidad en la programación de un PLC (IEEC, 2011).

- Diagramas de bloques (FBD): es un lenguaje de alto nivel puesto que permite resumir funciones básicas en bloques, adecuado para proceso de baja complejidad, sus gráficos aparecen como circuitos integrados.

- Diagrama de funciones secuenciales (SFC): denominado como Grafset, este método gráfico está elaborado por etapas, transiciones y acciones secuencialmente.
- Diagramas de contactos (KOP): denominado también como Ladder, es uno de los lenguajes más usados en la programación por su facilidad de entendimiento y uso.
- Diagrama de texto estructurado (ST): este lenguaje requiere conocimiento en programación básica de tipo texto, es ideal para la programación de instrucciones por funciones para una potente elaboración y ejecución de control.
- Lista de Instrucciones (LI): se trata de un lenguaje de texto muy similar a Assembler, recomendable para programas cortos.

Actualmente los PLC constituyen a una base tecnológica importante para la automatización de procesos industriales, incluso en la Industria 4.0, en el internet de las cosas (IoT) y el servicio de control industrial inteligente (SICS). Existen dos principales tipos de PLC, las cuales están integrados de la siguiente manera:

#### **2.4.1. Compact PLC**

El PLC compacto está construido por varios módulos dentro de una sola estructura. Esto quiere decir que las entradas, el procesador y las salidas están unidas de manera compacta en una carcasa, las entradas y salidas están determinadas por los diferentes fabricantes, actualmente se está incorporando un socket a los PLC para poder ampliar diferentes módulos como las entradas, salidas, comunicación y entre otros Gateway que pueda complementar a la función requerida. Incorporan uno o más canales de comunicación, con el fin de usar un canal para la programación, simulación o el monitoreo de variables a través un SCADA, y otra para la conexión al bus de campo; incluso algunas fabricantes han optado por colocar un HMI. Es recomendable para el uso de aplicaciones pequeñas, puesto a que son la solución para sustituir la lógica cableada de relays, disminuyendo espacio y costos.



Figura 2.21 PLC Compacto AB CompactLogix 5370

Fuente: <https://www.rockwellautomation.com/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers.html>

Dentro de este tipo de PLC se ha categorizado a dispositivos compactos de menores prestaciones para usos de proyectos básicos, denominado MicroPLC y NanoPLC (Figura 2.22) es un controlador potente para su categoría, puesto que actualmente incluye una web service y poder visualizar su funcionamiento remotamente. (Muthukrishnan, 2020)

#### 2.4.1.1. Logo 8

En la presente tesis se empleará un NanoPLC LOGO 8 de la marca Siemens, este controlador incluye un pequeño HMI; a continuación, se muestran sus principales características (Tabla 2.2):



Figura 2.22 NanoPLC Logo 8 – Siemens

Fuente: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-basic-modules>

Tabla 2.2 Características NanoPLC 8

LOGO8	6ED1052-1MD08-0BA0
Display:	Sí
Valor Nominal (DC):	12 VDC / 24 VDC
Rango de Tensión (DC):	10.8V – 28.8V
N° de Entradas Digitales:	8 (4 aptas como AI 0-10V)
N° de Salidas Digitales:	4 (Relay)
Intensidad de Salida (A):	10 <sup>a</sup>
Protocolos de Comunicación:	Comunicación S7 Ethernet IP Modbus TCP/IP Comunicación GPRS KNX
Web Service:	Sí
Ancho:	71.5 mm
Altura:	90 mm
Profundidad:	60 mm

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1052-1MD08-0BA0>

#### 2.4.2. Modular PLC

El PLC modular permite múltiples expansiones del sistema mediante el uso de módulos, de ahí el término “modular”. Los módulos brindan al controlador lógico programable características adicionales como un mayor número de unidades de entradas y salidas (E/S), generalmente son más fáciles de usar porque cada componente es independiente entre sí. La fuente de alimentación, el módulo de comunicaciones y el módulo de E/S están todos separados del microcontrolador real, por lo que debe conectarlos manualmente entre sí para crear su sistema de control del autómeta.

Un tipo de PLC modular es el PLC montado en rack, su módulo de comunicaciones (Bus de Campo) reside en el propio rack, por lo que todas las conexiones están centralizadas.

Los PLC modulares se dividen en PLC Small, Medium y Large según el tamaño de la memoria del programa y el número de entradas y salidas:

- Small PLC: es un PLC de tamaño pequeño que está diseñado como una unidad compacta y robusta montada o colocada al lado del equipo a controlar. La capacidad de expansión de este módulo de entradas y salidas del PLC está limitada a uno o dos módulos. (ELPROCUS, ELECTRONICS | PROJECTS | FOCUS, 2020)



Figura 2.23 PLC Modular small Omron CJ2

Fuente: <https://industrial.omron.es/es/products/cj2>

- Medium PLC: se utiliza principalmente en las industrias, lo que permite la conexión de muchos módulos montados en la placa posterior del sistema. Algunos cientos de puntos de entrada y salida se proporcionan agregando tarjetas de E/S adicionales y, además de estos, este PLC proporciona funciones de módulo de comunicación. (ELPROCUS, ELECTRONICS | PROJECTS | FOCUS, 2020)



Figura 2.24 PLC Modular Medium AC500 - ABB

Fuente: <https://new.abb.com/plc/es/38microsoft-programables-plc/ac500>

- Large PLC: se utilizan para funciones de control de procesos complejas, las capacidades de estos PLC son bastante superiores a las de los Medium PLC en términos de memoria, lenguajes de programación, puntos de E/S y módulos de comunicación, etc. En su mayoría, estos PLC se utilizan en sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), plantas más grandes, sistemas de control distribuido, etc. (ELPROCUS, ELECTRONICS | PROJECTS | FOCUS, 2020)



Figura 2.25 PLC Modular Large Delta AS300

Fuente: <https://es.delta-americas.com/as300>

## 2.5. SOFTWARE DE TRABAJO

Para la presente tesis se definirán todos los softwares que se usaron para el diseño del hardware y para la programación e implementación del software que se usará para la intercomunicación con el módulo.

### 2.5.1. OPC UA KEPServerEx

La Arquitectura Unificada OPC (UA), fue lanzada en el año 2008, definiéndola como una plataforma independiente a la arquitectura de servicios orientados, que integra un completo funcionamiento con las especificaciones del OPC clásico. Permite el intercambio de información entre múltiples dispositivos, no hay restricción, ni límite para las aplicaciones de control por parte de los fabricantes, aunque el hardware y el software provengan de diferentes marcas, este estándar posibilita la comunicación en tiempo real. En la Figura 2.26 observamos la interfaz de KEPServerEx V6.7.1046.0, donde se realizará la comunicación libre de la información.

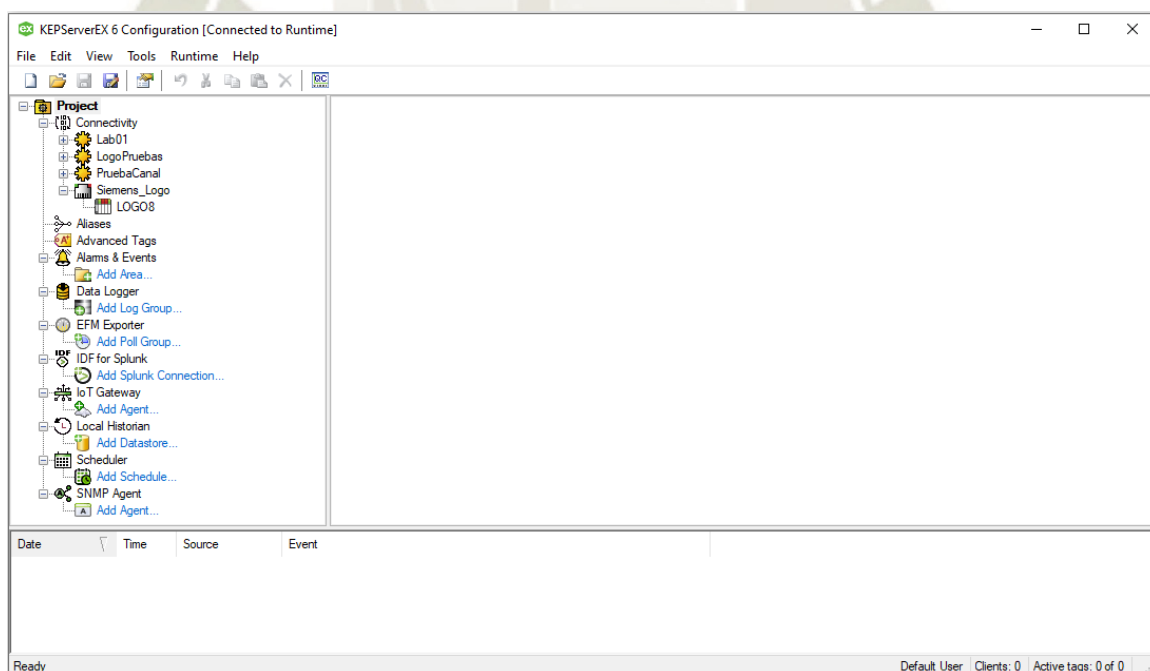


Figura 2.26 Interfaz KEPServexEx V6.7.10460

*Fuente: Programa de inicio KEPServerEx*

Un servidor de OPC está en constante comunicación con PLCs de campo, HMI, RTU, u otros dispositivos. El enfoque de múltiples capas en OPC UA, logra los objetivos de las especificaciones del OPC Clásico:

- **Equivalencia Funcional:** OPC UA es diseñado para mejorar y superar las capacidades del OPC Clásico, es por eso que todas sus especificaciones son asignados al OPC UA.
- **Independencia de la Plataforma:** OPC UA proporciona toda la infraestructura para el funcionamiento libre de maquina a máquina, desde un microcontrolador hasta en la nube.
- **Seguro:** siempre es primordial elegir la seguridad, OPC UA es compatible con firewall, y al mismo tiempo aborda los problemas de seguridad al proporcionar un conjunto de controles, lo cual su comunicación es cifrada, autenticada y de auditoría.
- **Extensible:** es capaz de incorporar tecnologías y metodologías innovadoras, como nuevos protocolos de transporte, algoritmos de seguridad, estándares de codificación, pero siempre manteniendo la compatibilidad con los productos existentes conectados.
- **Modelado de información integral:** convierte los datos en información, con capacidades completas orientada a objetos (Kepware, 2020).

La interfaz del servidor OPC UA en KEPServerEx, según la integración de los sistemas de control en el estándar ISA 95, provee aplicaciones de cliente en sistemas como MES y SCADA; además de un acceso seguro sin problema a los datos de automatización.

OPC UA es un protocolo de comunicaciones moderno que está acogiendo cada vez más por la recopilación y el control de datos mediante aplicaciones locales, plataformas IoT y de la Industria 4.0. Es un estándar libre que permite al servidor de OPC UA KEPServerEx se conecte sin problemas a las aplicaciones OPC UA en cualquier sistema operativo y clientes

web. Actualmente certificado con el estándar UA 1.02 por Foundation OPC. (Kepware, 2020)

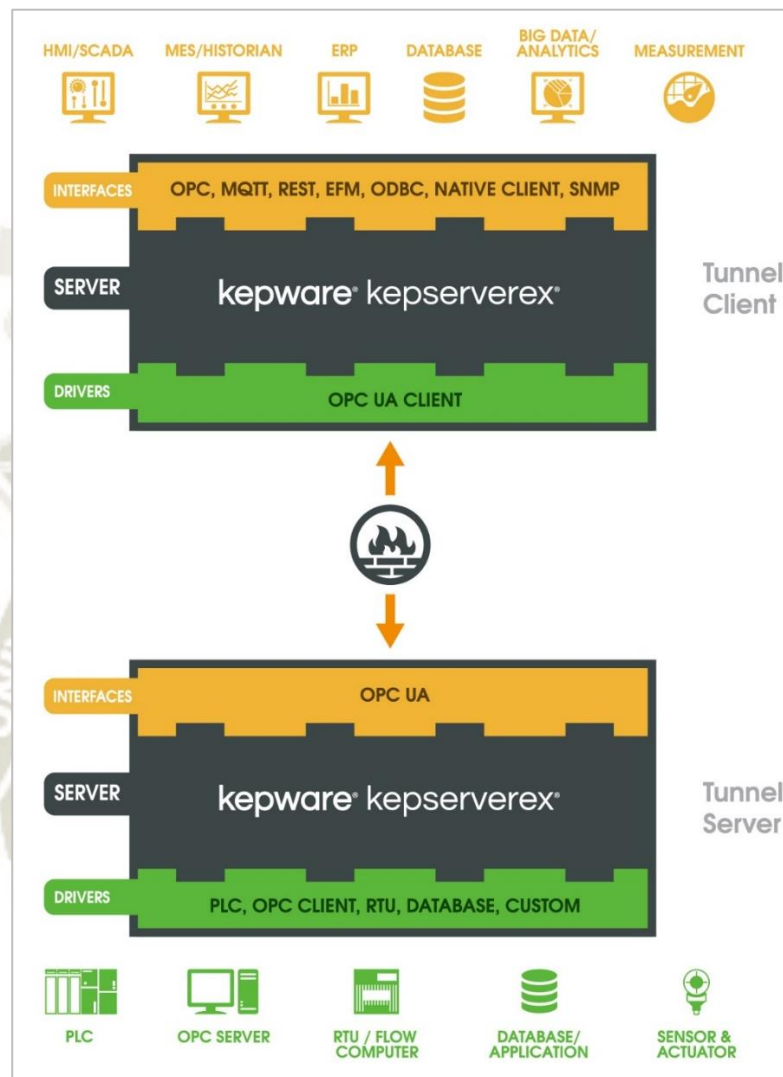


Figura 2.27 Túnel KEPServerEX Sevidor UA - Cliente UA

Fuente: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/drivers/opc-ua-client/>

KEPServerEx funciona como un túnel y como un servidor del túnel en diferentes instancias, emparejando la interfaz del servidor UA con el cliente, transfiriendo datos de forma segura y confiable (Figura 2.27).

### 2.5.2. Visual Studio C#.Net

C# es un lenguaje de programación diseñado para crear aplicaciones, es de código abierto y con protocolos de seguridad, siendo uno de los más eficaces orientado a objetos. Basados

en la plataforma de compilación “Roslyn”, de tal forma que proporciona Programación de Aplicaciones con Interfaz (API) de análisis de código complejo. La sintaxis de C# está pensada para mejorar las complicaciones del lenguaje C++, incluso proporciona características como variables que acepten el valor de tipo null, enumeraciones, delegación de funciones, expresiones Lambda y el acceso directo a la memoria. Puesto que es un lenguaje orientado a objetos, admite conceptos de herencia, encapsulación y polimorfismo, todas las variables y métodos, incluyendo el método Main, son encapsulados dentro de las clases de definición. Una clase puede heredar directamente desde una clase principal, por lo que se puede implementar una gran variedad de clases. Los programas desarrollados con C# se ejecutan en .NET Framework, un elemento integrado en windows, la cual incluye un sistema de ejecución denominado Common Language Runtime (CLR) y un conjunto de librerías tipo clase. CLR es la implementación desarrollada por parte de Microsoft, de Common Language Infrastructure (CLI), un estándar internacional que es la base para desarrollar entornos de ejecución.

El código desarrollado se compila en un Intermediate Language (IL) que se ajusta a las especificaciones de CLI, el código y los recursos de IL como mapas de bits y las cadenas de bits se almacenan en un archivo ejecutable llamado assembly, comúnmente con una extensión de .exe o.dll. Un assembly contiene un manifiesto que proporciona la información de la versión, nominaciones, y los requisitos de seguridad para su ejecución.

Una vez verificado toda información del manifiesto, se procede con la ejecución del programa desarrollado, assembly se carga en CLR y realiza la compilación en Just-In-Time (JIT) para convertir el código IL en instrucciones nativas de la máquina, proporcionando otros servicios relacionado con el manejo de excepciones, errores y la administración de recursos. El código ejecutado en CLR se denomina código administrado, que es compilado en lenguaje de la maquina nativa, dirigida a un sistema en específico.

En la Figura 2.28 se ilustra las relaciones en tiempo de compilación y el tiempo de ejecución de los archivos de código fuente en C#, las librerías de clases en .NET Framework, assembly y CLR (Microsoft, 2015).

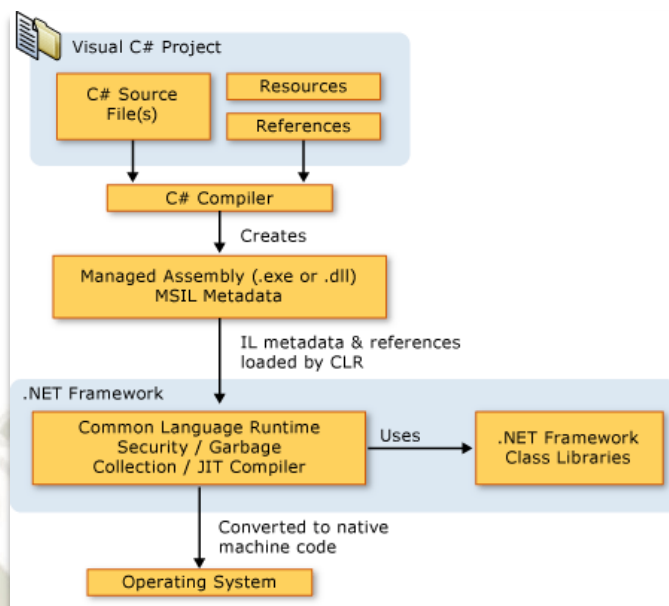


Figura 2.28 Diagrama de compilación C# en .NET Framework

Fuente: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/getting-started/introduction-to-the-csharp-language-and-the-net-framework>

En la Figura 2.29 apreciamos la interfaz de desarrollo de Microsoft Visual Studio Community 2019 V16.4.2 donde se realizará el desarrollo del código de programación.

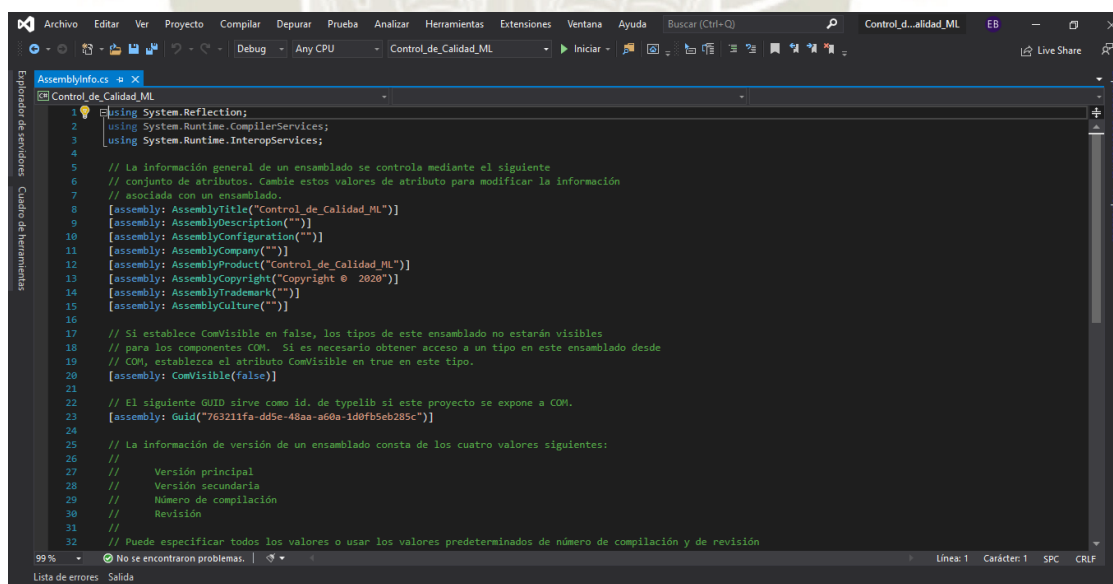


Figura 2.29 Interfaz Microsoft Visual Studio Community 2019 V16.4.2

Fuente: Programa de inicio Visual Studio Community

### 2.5.3. Logo *Soft comfort*

Logo Soft Comfort es un software que permite una configuración fácil y rápida, permitiendo crear la programación que el usuario necesite. Permite la programación en dos tipos de lenguaje de programación, diagrama de bloques (FBD) y diagrama de contactos (KOP), el software incluye funciones personalizadas para la facilidad de uso (Siemens, 2020):

- 8 funciones básicas.
- 14 funciones de temporizador.
- 3 funciones de contador.
- 13 funciones analógicas.
- 8 misceláneos.
- 1 data log.

Su configuración de comunicación y visualización es automática, permitiendo mostrar hasta 16 dispositivos en la red. Gracias a su espacio se puede visualizar 3 proyectos en ventanas paralelas. Se ha demostrado que es muy útil realiza la programación paso a paso y poder simularlo sin el PLC en físico, este enfoque evita los problemas y no requerir mucho tiempo en la solución, el programa de conmutación simulado permite realizar la simulación de señales analógicas con valores de parámetros reales como temperatura, nivel, etc. Además, se pueden simular funciones de conmutación dependientes de la hora y fecha.

Permite la creación de macrobloques como clases en una biblioteca de macros, evitando que las partes del programa se repitan con frecuencia. Cuando el programa esté concluido y se realice las pruebas con el PLC en físico, este software permite visualiza los parámetros del PLC en tiempo real. Por último, cuenta con toda la información necesaria de los bloques y otra documentación necesaria para el desarrollo del programa. Su interfaz de programación es amigable para el desarrollo de la programación (Figura 2.30). (Siemens, 2020)

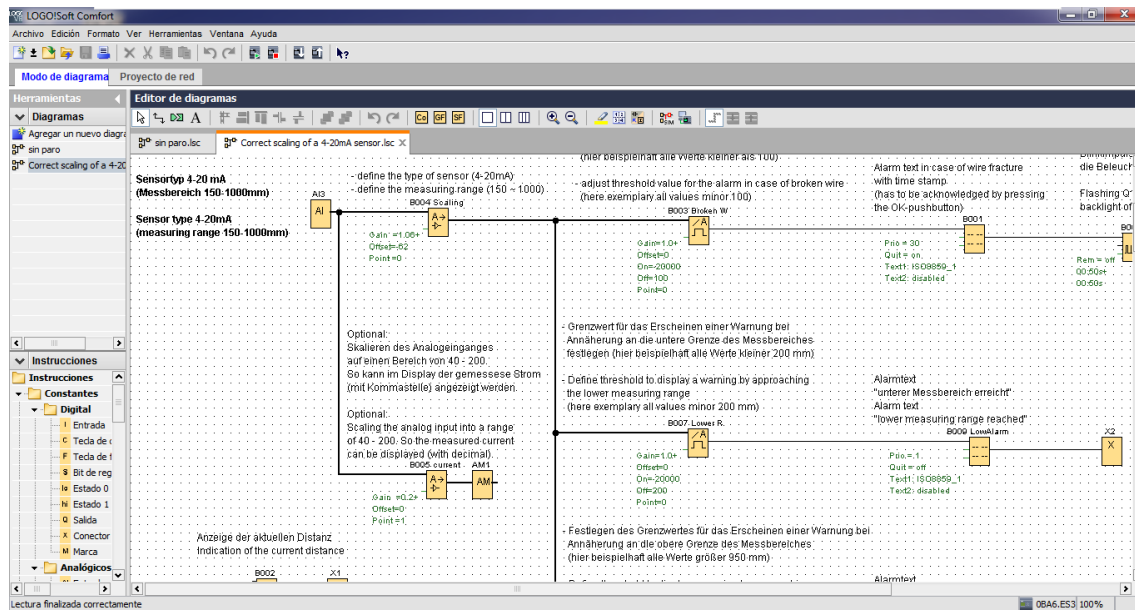


Figura 2.30 Interfaz Logo Soft Comfort V8.2

Fuente: Programa de inicio Logo Soft confort V8.2

#### 2.5.4. MySQL Workbench

MySQL Workbench es un software gráfico para trabajar con servidores de base de datos en MySQL, es totalmente compatible con las versiones superiores a V5.6. su funcionalidad de MySQL Workbench cubre los siguientes cinco temas principales:

- **SQL development:** permite la creación y administración de conexiones a servidores de base de datos, además de permitir la configuración de conexión, incluso provee la capacidad de ejecutar consultas en las conexiones de la base editor SQL.
- **Data modeling:** permite diseñar y crear modelos de un esquema gráfico de base de datos, realiza ingeniería inversa y directa entre un esquema y una base de datos en tiempo real, para así editar los aspectos de la base de datos, usando el editor de tablas, este proporciona funciones para editar tablas, columnas, activadores, índices, opciones, particiones, inserciones y rutinas.
- **Server administration:** permite la administración general del servidor MySQL mediante la administración de usuarios, realizando copias de seguridad, inspección de datos, visualización del estado y el seguimiento de la base de datos en el servidor.

- Data migration: permite migrar los datos desde Microsoft SQL Server, SQLite, Microsoft Access, Sybase ASE, SQL Anywhere, PostgreSQL y otras tablas, objetos y datos RDBMS a MySQL.
- MySQL Enterprise Support: compatible con todos los productos de MySQL (MySQL, 2020):

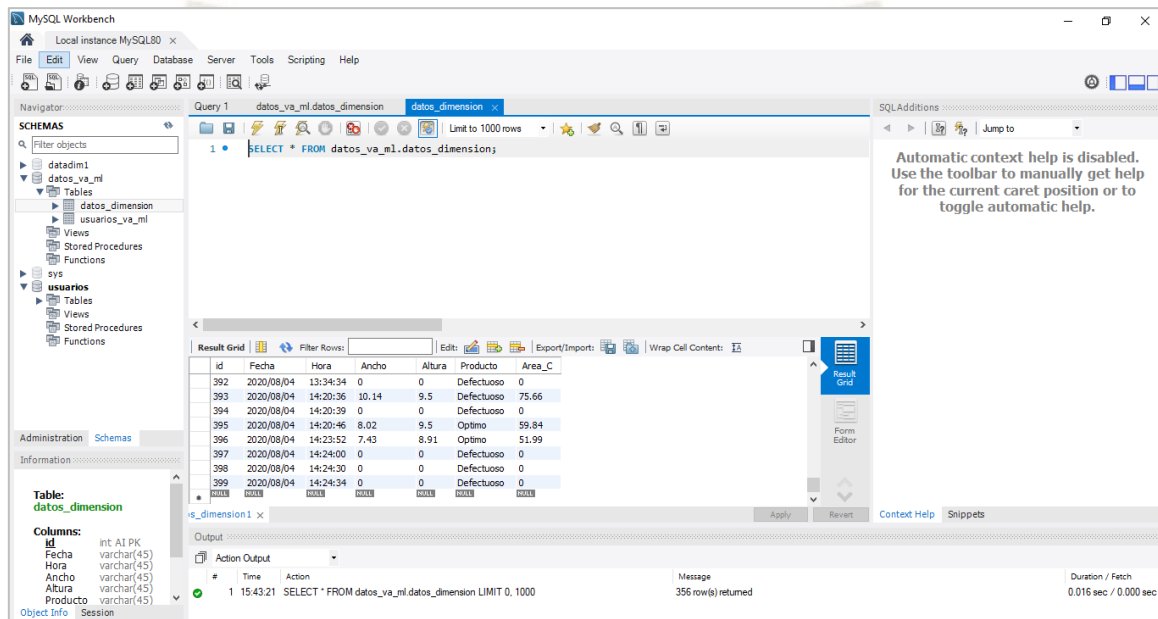


Figura 2.31 Interfaz MySQL Workbench v8.0

Fuente: Programa de inicio MySQL Workbench

### 2.5.5. Firebase

Firebase es una plataforma digital que permite el almacenamiento de datos, la cual está catalogada como un servidor NoSQL, desarrollado por Google, esta herramienta nos ayuda al desarrollo de aplicaciones, mejorando el rendimiento con el manejo de datos en la nube. Soporta diversas plataformas como Android, iOS, Web, Unity, Admin, C++, C#, etc. La cual lo hace una herramienta de código abierto. Los servicios que ofrece, son de gran variedad como:

- Datos en tiempo real.
- Autenticación de usuarios.
- Nube de almacenamiento.

- Hosting
- Configuración remota.
- Notificaciones.
- Análisis de Datos.

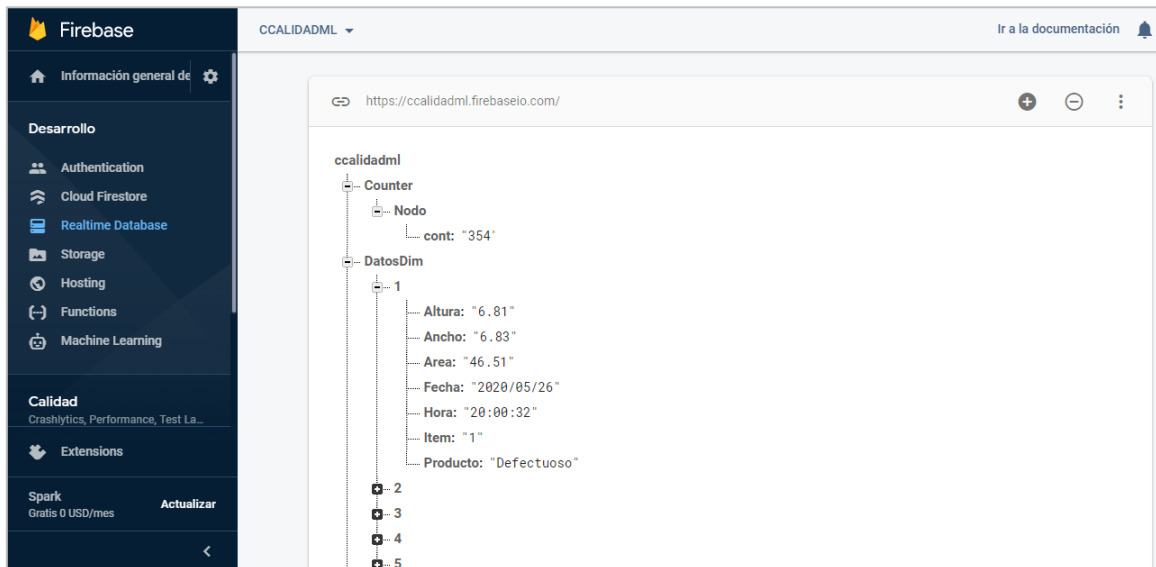


Figura 2.32 Interfaz Firebase

*Fuente: Programa de inicio Firebase*

## 2.6. PRODUCTOS DE PVC

El PVC (Policloruro de Vinilo) es un polímetro termoplástico, la cual se obtiene de dos materias primas naturales.

- El 57% es ClNa (Cloruro de Sodio).
- El 43% es Petróleo.

El PVC es un plástico con menor proporción y dependencia del petróleo, por lo que es una materia limitada. Solo el 4% del consumo total del petróleo es usado para fabricar materiales de plástico, por lo que solo una octava parte corresponde al PVC. (Bruera & Suarez, 2018)

El ClNa es sal común y es un recurso inagotable, de este se deriva el cloro, y del petróleo se deriva el Etileno, ambos elementos componen el Dicloro Etano, cuando se eleva a altas temperaturas, se convierte en gas denominado CVM (Cloruro de Vinilo). Se realiza un

proceso de polimerización (emulsión, suspensión en masa y solución), el CVM se transforma en un polvo fino, blanco y químicamente inerte denominado resina de PVC, a partir de la resina se pueden obtener productos rígidos y flexibles. (Bruera & Suarez, 2018)

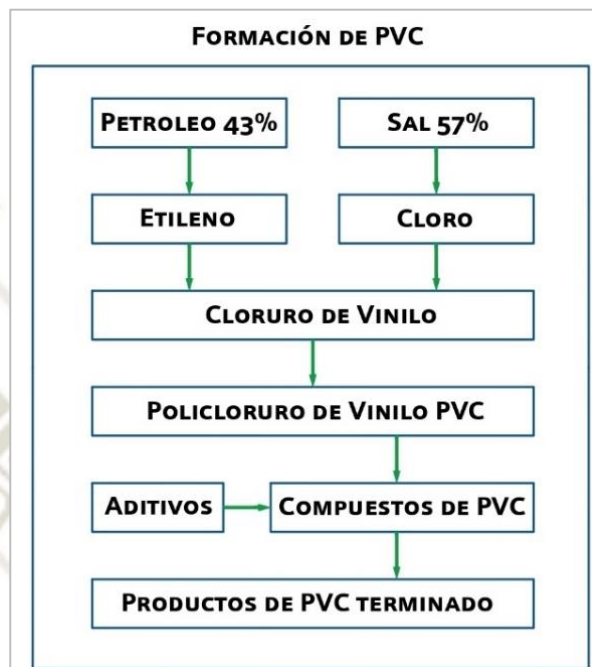


Figura 2.33 Diagrama de Formación de PVC

*Fuente:* (Bruera & Suarez, 2018)

El PVC es un material termoplástico, es decir un material de plástico, que al calentarse pasan a un estado viscoso para poder moldearlo fácilmente, al enfriarse recupera su consistencia inicial, pero con la forma que se ha pretendido obtener. algunas de las principales características del PVC son:

- Su rango de temperatura de trabajo es de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .
- Elevada resistencia química.
- Inmune a casi todos los tipos de corrosión.
- Altamente resistente a los deterioros por microorganismo.
- Resistente a lluvia, vientos y aguas de mar (impermeable).
- Resistente a la luz ultravioleta del sol, con aditivos extra.
- No contaminante
- Aislante térmico, acústico y eléctrico
- Autoextinguible.

Actualmente muchos productos están hechos de PVC como envases, ventanas, tuberías (las cuales reemplaza a las tuberías de hierro), cables, techos, juguetes, pavimento, recubrimiento, bolsas de transfusiones sanguíneas, calzados, etc. (Bruera & Suarez, 2018).



## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

Para la elaboración de estructura de funciones existe muchas metodologías de diseño como pueden ser la norma VDI2221 desarrollada por el GAE (German Association of Engineers), metodología waterfall (desarrollo en cascada), diseño por RAD (Rapid Application Development), entre otras; en la presente tesis mientras se realizaba la investigación se optó por la metodología prototyping, por lo que es una versión preliminar de un sistema de información con fines de demostración o evaluación, es un método menos formal de desarrollo, incluso puede ser parte del producto final. (Maida & Pacienza, 2015)

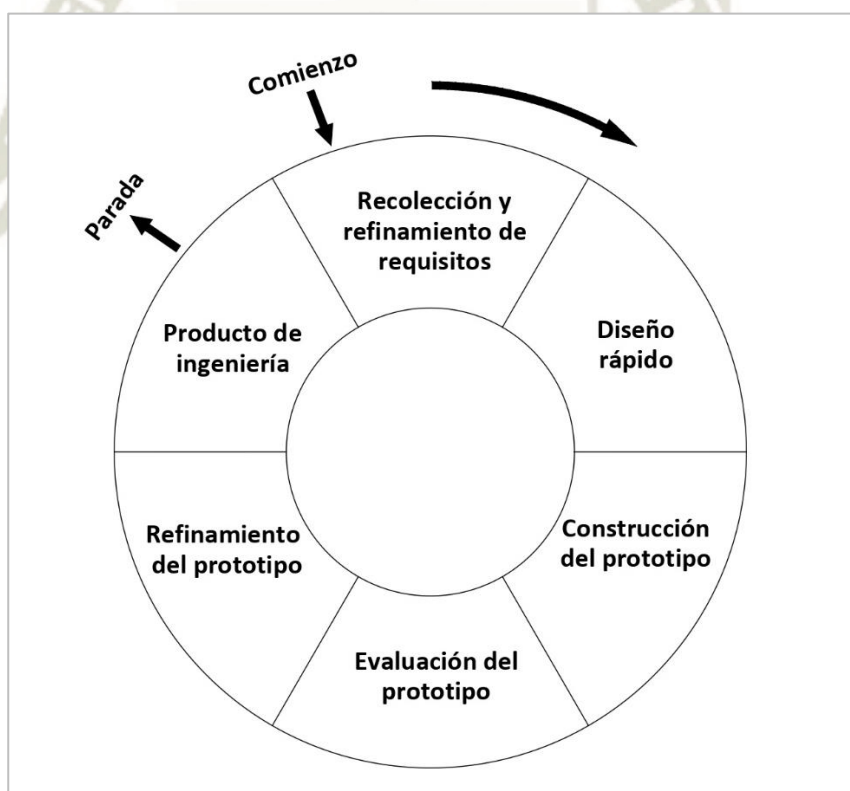


Figura 3.1 Metodología de prototipo

Fuente: (Maida & Pacienza, 2015)

- Recolección y refinamiento de requisitos: consiste en comprender el problema para analizar y recolectar los requisitos necesarios, con la finalidad de cubrir todos los objetivos deseados, además incluye la planificación de las actividades a realizar.
- Diseño rápido: en esta fase se debe construir un modelo del sistema, a partir de la recolección de requisitos, la cual debe incluir la definición de la estructura, arquitectura del sistema y la apariencia del contenido.
- Construcción del prototipo: a partir del diseño se debe construir el prototipo, implementando la hardware y software de control.
- Evaluación: en este punto se realiza las pruebas necesarias con la revisión de los requisitos definidos inicialmente, si requiere un cambio o nuevos requisitos deben anotarse para el refinamiento.
- Refinamiento del prototipo: se procede con el refinamiento de los datos evaluados para reajustar los parámetros solicitados, para nuevamente evaluar hasta que los requisitos queden formalizados.
- Producto de ingeniería: el método de prototipo sirve fundamentalmente para el análisis de requisitos, después de haber realizado el levantamiento de requisitos, el diseño e implementación del prototipo, este proceso se debe repetir consecutivamente hasta tener un producto pulido, sin observaciones y totalmente formalizado para proceder con el desarrollo del producto final. (Maida & Pacienza, 2015)

El prototipo es la creación del diseño y la implementación parcial de un sistema, con el propósito de aprender sobre los requerimientos, por lo que es construido de una manera rápida y económica. La metodología mencionada es útil para los requerimientos cambiantes, de la misma forma cuando se quiere probar una nueva arquitectura o tecnología. (Maida & Pacienza, 2015)

La función principal del prototipo es identificar las características de los objetos que serán analizados y clasificados automáticamente por procesamiento de imágenes mediante VA y por el procesamiento de ML, clusters (K-means). Se deberá realizar el diseño y la implementación de la estructura de soporte del prototipo, la faja transportadora, y el sistema de la cámara, para la visualización óptima del funcionamiento.

Se debe disponer de un seleccionador que permitirá el funcionamiento de manera manual, nula o automática del módulo, el modo manual habilitará el funcionamiento de la faja transportadora mediante pulsadores de START y STOP con sus respectivos indicadores pilotos; el modo automático funcionará mediante el SCADA y el PLC, para la toma de decisiones con respecto al análisis de imágenes. La cámara e iluminación deben estar calibradas para la mejor toma de imágenes con respecto a los cálculos de diseño.

El software de la interfaz SCADA a desarrollar debe estar implementado con conexión al módulo de la cámara y con comunicación OPC UA al PLC para la toma de decisiones. El procesamiento de imágenes estará relacionado con la librería Aforge.NET para poder interpretar las características de los objetos (Figura 3.2).

Los accesorios que se usaran en la presente tesis, como ejemplos para el análisis de imágenes accesorios de PVC son:

- 1 envase grande de 175ml.
- 2 envase pequeño de 16ml.
- 3 empaque de teflón.
- 4 tubo codo de ½" para electricidad.
- 5 tubo codo de ½" para agua.
- 6 unión universal de tubería de ½".

La clasificación de empaques y tubos codos estará vinculado solo con la librería de VA y la clasificación de accesorios como envases y tubos de unión universal de ½" estará sujeto al desarrollo de la clase K-means y la librería de VA. Los datos extraídos deben estar registrados en una base de datos en MySQL y como redundancia en Firebase. La tendencia de productos clasificados debe visualizarse por fechas en una nueva ventana. El PLC con el

que se trabajará en el desarrollo de la presente tesis es el Logo 8 de la marca Siemens, donde se deben realizar las conexiones de entrada como el indicador de M/O/A del selector y el sensor óptico; las salidas estarán sujetas al motor de la faja transportadora, la luz lateral del módulo de la cámara y la electroválvula que accionara el pistón neumático.



Figura 3.2 Accesorios de PVC

*Fuente: Elaboración propia*

El tamaño del diseño del prototipo debe ser a escala de una faja transportadora, donde se realice la clasificación o el reconocimiento de calidad, durante este capítulo se explicará las dimensiones del diseño, las cuales deben ser suficientes para aplicar este procesamiento de imágenes en los accesorios de la Figura 3.2, la implementación de este, debe representar una proceso implementado de forma real, por lo que los costos de inversión no deben exceder al 15% de una implementación de tamaño real, por consecuente los precios deben ser cómodos y accesibles para el prototipado de un producto final, en el capítulo V se apreciará el análisis económico de los gastos que se realizaron para la implementación del prototipo.

En el diagrama de la Figura 3.3 se puede apreciar el flujograma principal de funcionamiento del prototipo.

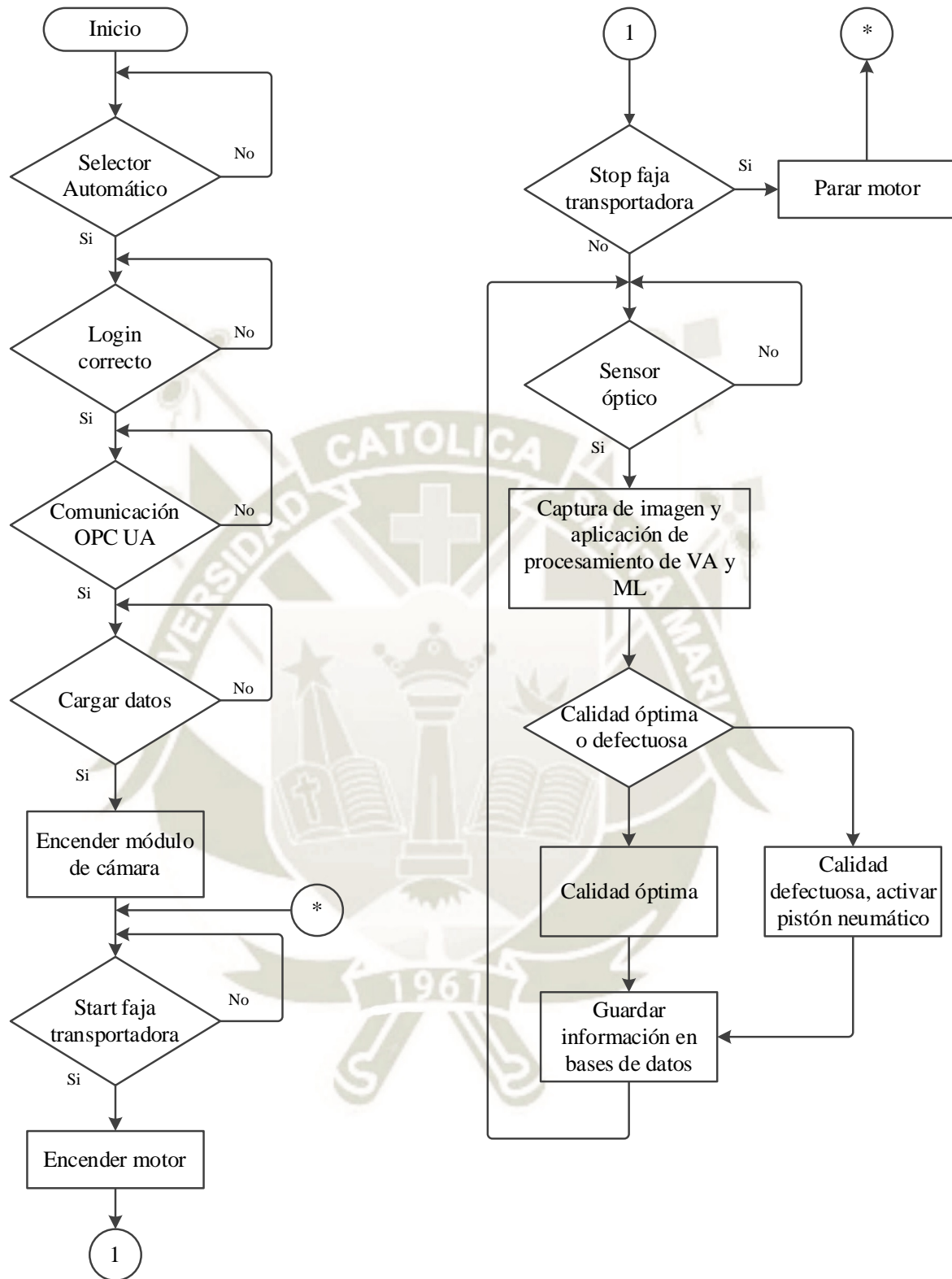


Figura 3.3 Flujograma principal de funcionamiento del prototipo

*Fuente: Elaboración propia*

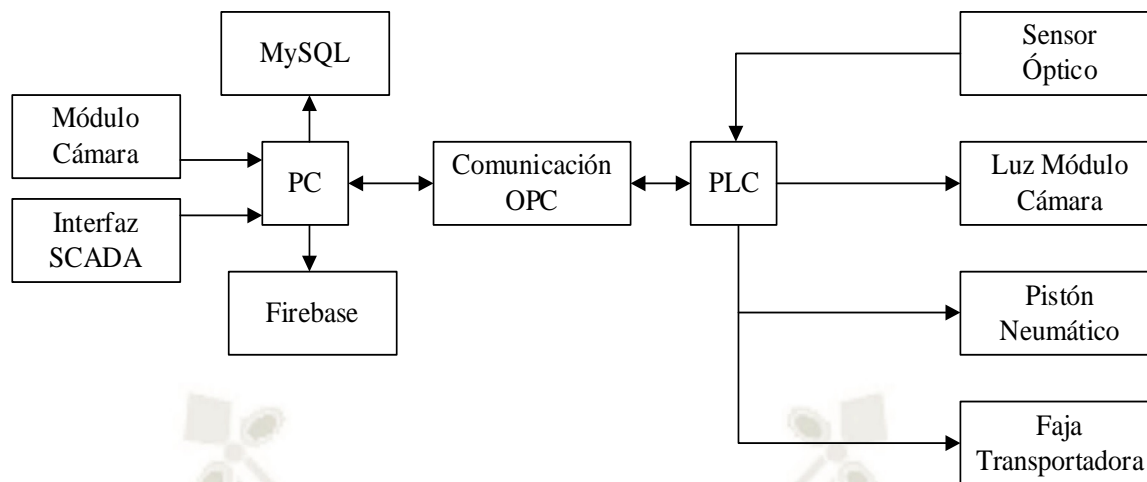


Figura 3.4 Diagrama de bloques del prototipo

*Fuente: Elaboración propia*

## 3.2. HARDWARE

### 3.2.1. Diseño de estructura

La estructura de soporte está diseñada para la distribución óptima de los diferentes componentes del prototipo.

- El tablero estará sujeto a la estructura principal (50 cm x 50 cm).
- Plataforma del módulo (180 cm x 70 cm).
- Superficie para el compresor de aire (80 cm x 70 cm).

En la Figura 3.5 se aprecia el diseño de la estructura de soporte del prototipo de forma isométrica, en la parte del tablero se encuentra una plancha metálica para sostener el tablero de control, la plataforma será la base para sostener la faja transportadora y en la plataforma inferior se colocará el compresor para el flujo de aire.

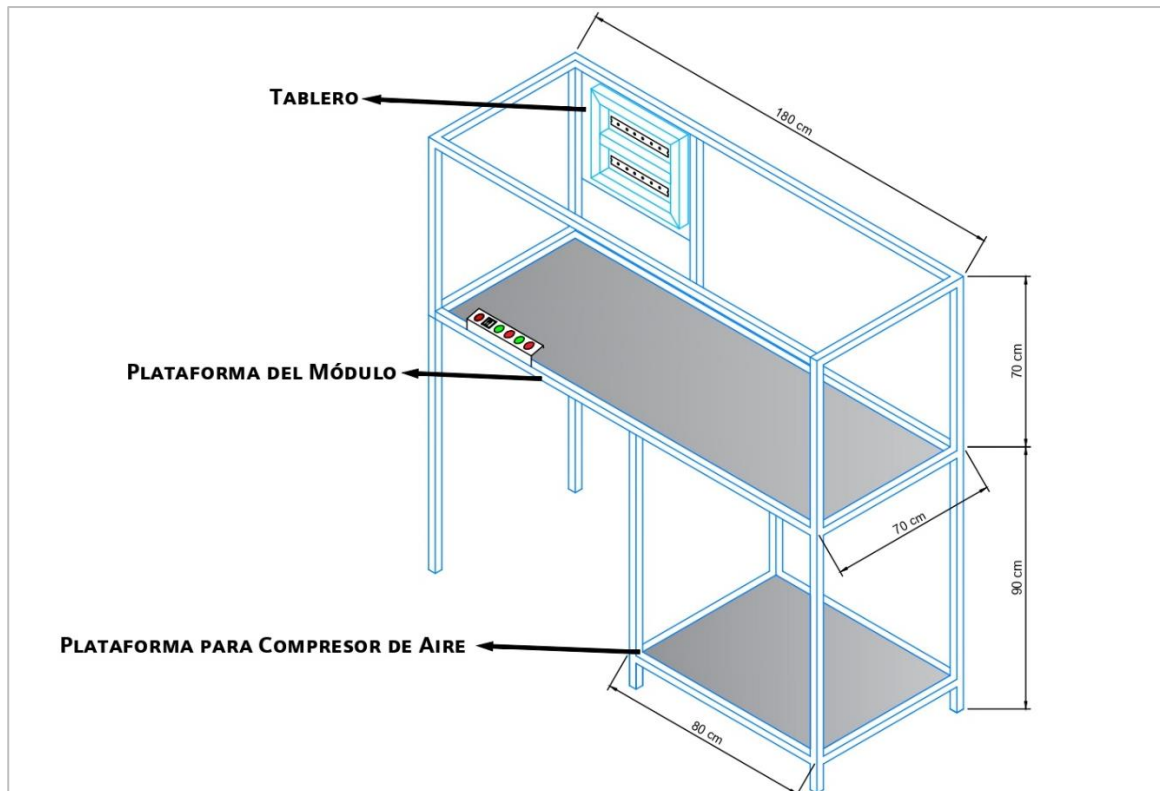


Figura 3.5 Isométrico de la estructura de soporte del prototipo

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2. Tablero de control

El tablero de control está posicionado en la parte superior de la estructura, donde los componentes para la lógica cableada del control manual y automático estará distribuida como se muestra en la Figura 3.6, el cableado y la distribución de los componentes cumple con la norma IEC 61439-1, las fuentes switching o conmutadas estarán posicionadas en la parte posterior del tablero:

- 220V AC a 24V DC de 5A (Tablero de control).
- 220V AC a 12V DC de 5A (Faja transportadora, iluminación).

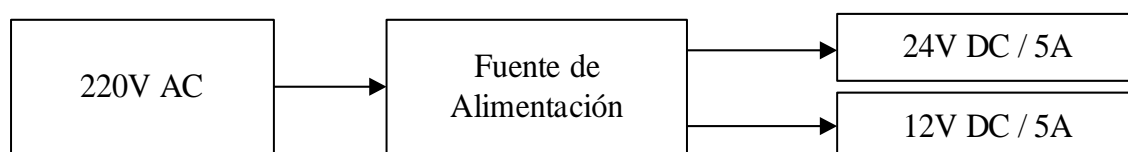


Figura 3.6 Diagrama de bloques de fuente de alimentación eléctrica

*Fuente: Elaboración propia*

El tablero de control donde estará toda la lógica cableada y los diferentes dispositivos usados, se distribuirá como se muestra en la Figura 3.7.

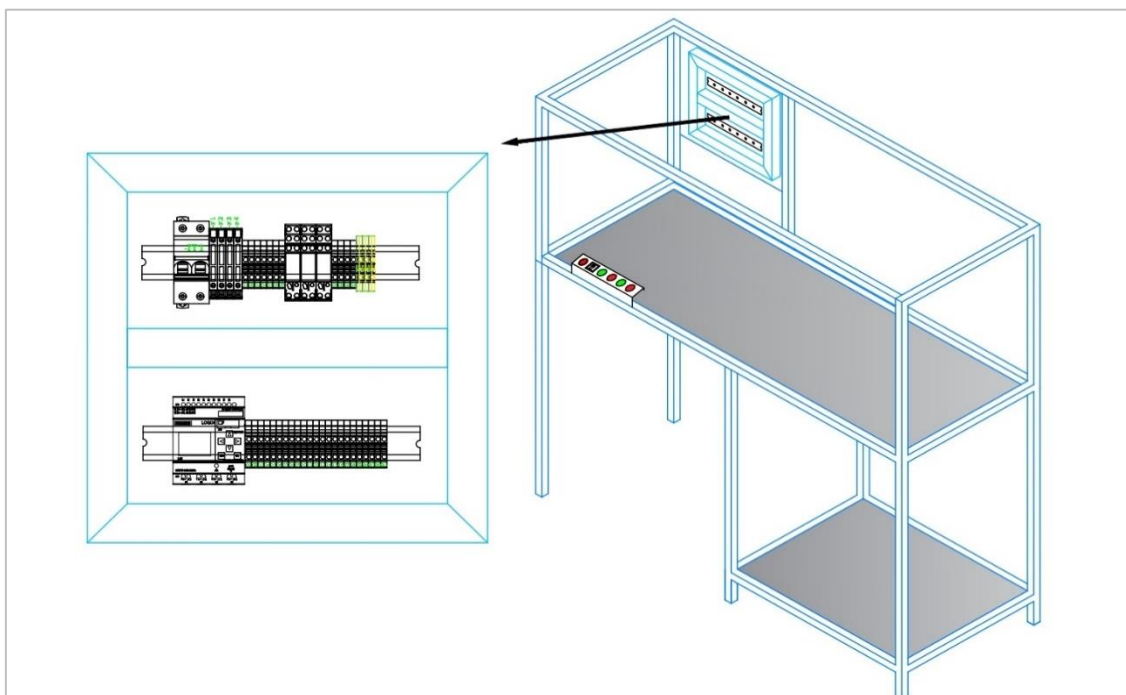


Figura 3.7 Tablero de control

*Fuente: Elaboración propia*

El tablero cuenta con dos secciones, donde la parte superior estará la protección del prototipo, la habilitación del funcionamiento manual y la división de tensión 24V DC y 12V DC. En la parte inferior se encontrará el nanoPLC LOGO 8 con sus borneras de conexión para el uso de control automático.

En el siguiente plano (Figura 3.8) se muestra la alimentación del prototipo de 220V AC con una llave termomagnética hacia la fuente switching de 24V DC 5A con su respectiva puesta a tierra y su fusible, donde alimentará a la sección manual y automática del prototipo, dependiendo de la posición del selector. Las borneras y los fusibles están enumerados para la facilidad de las conexiones que se realicen, además de que cada componente está con su nomenclatura correspondiente.

El modo manual se ejecutará mediante pulsadores start (verde) y stop (rojo), donde un relay realizará el autoenclavamiento para el funcionamiento de la faja transportadora, esta acción estará vinculada con los indicadores piloto start (verde) y stop (rojo). El modo automático

recibe la señal del selector en la posición de automático y la entrada del sensor óptico, donde se habilitará el funcionamiento de los actuadores dependiendo de la decisión desde el SCADA, asimismo los indicadores piloto start y stop encenderán con respecto arranque o paro de la faja transportador respectivamente.

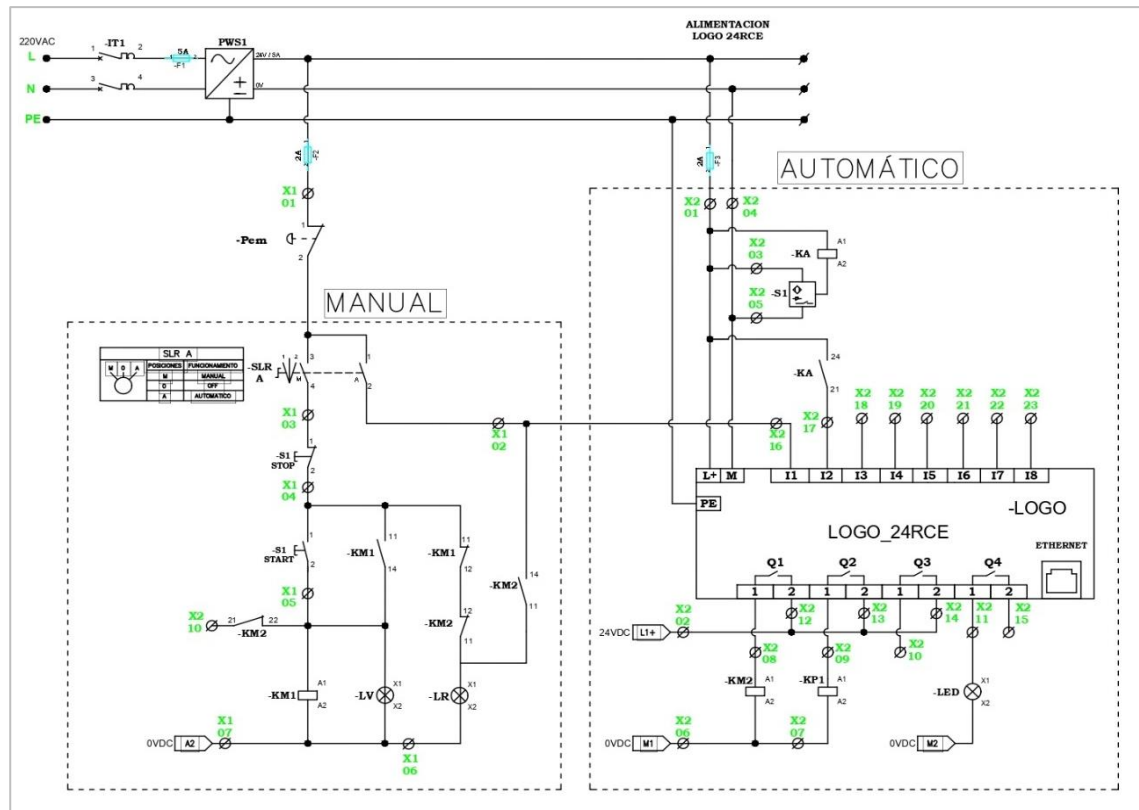


Figura 3.8 Plano de Conexión Manual, Automático y Fuente 24V DC

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Figura 3.9 apreciamos la conexión de la fuente switching de 12V DC 5A, la cual alimentará al motor de la faja transportadora y la iluminación del módulo de la cámara mediante relays habilitado por el PLC. Cabe resaltar que los planos cumplen la simbología establecida por la norma IEC 1082-1.

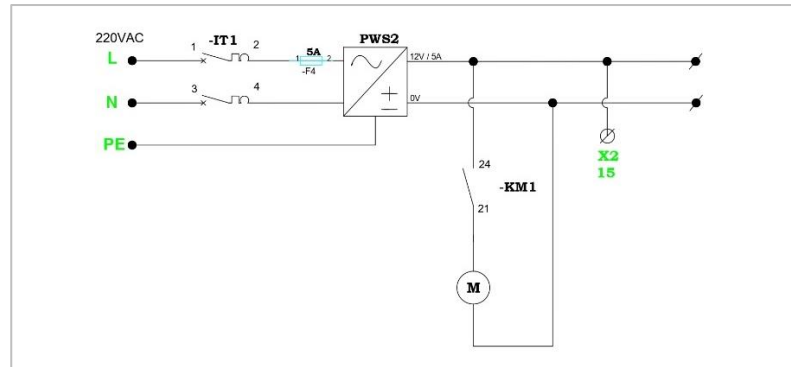


Figura 3.9 Plano de Conexión 12V DC

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.2.2.1. Selección de elementos del tablero

Estos son los siguientes dispositivos que se seleccionaron para el tablero de control, con su cálculo correspondiente.

- Interruptor termomagnético: el interruptor termomagnético que se seleccionó es de la marca Schneider que soporta hasta 10A, la cual es ideal para el uso del módulo, puesto que garantiza la protección indicada por el fabricante, para ello se realizó el siguiente cálculo:
  - Voltaje secundario = 24V | Corriente secundaria = 0.667 A.
  - Voltaje terciario = 12V | Corriente terciaria = 2.8 A.
  - Voltaje primario = 220V

Donde la corriente primaria es:

$$I. Primaria = \frac{[(V. Secundario \times I. Secundaria) + (V. Terciario \times I. Terciaria)]}{V. Primaria} \quad (4)$$

$$I. Primaria = \frac{[(24V \times 0.667A) + (12V \times 2.8A)]}{220V}$$

$$I. Primaria = 0.225A$$

Por lo que la corriente primaria es menor a la corriente nominal ( $I_n$ ) del interruptor termomagnético.

Tabla 3.1 Características del interruptor termomagnético 10A

Modelo	Circuit Breaker Easy9 Schneider
Código:	EZ9F56210
Corriente nominal (In):	10A
Poder de corte en servicio (Ics):	6KA
Durabilidad eléctrica:	4000 ciclos
Durabilidad mecánica:	10000 ciclos

Fuente: <https://www.se.com/pe/es/product/EZ9F56210/miniature-circuit-breaker%2C-easy9%2C-2p%2C-10-a%2C-c-curve%2C-10000-a/>



Figura 3.10 Interruptor termomagnético

Fuente: <https://www.se.com/pe/es/product/EZ9F56210/miniature-circuit-breaker%2C-easy9%2C-2p%2C-10-a%2C-c-curve%2C-10000-a/>

- Zelio Relay Plug-in: este dispositivo sirve para el funcionamiento del circuito de fuerza del motor de la faja transportadora en modo manual y automático, además como relay auxiliar para el sensor óptico NPN, en la siguiente tabla se muestra algunas de las características del dispositivo.

Tabla 3.2 Características de Relay RSB2A080BD

Modelo	Plug-In Relay Schneider
Código:	RSB2A080BD
Tensión Nominal de Empleo:	16.8...36V DC
Corriente min de Conmutación:	10mA
Duración de Maniobra:	20ms
Contactos:	2NO/2NC
Carga Nominal Resistiva:	8A/250VAC   8A/28VDC
Durabilidad Eléctrica:	1000000 ciclos   8A NO   4A NC
Durabilidad Mecánica:	30000000 ciclos

Fuente: <https://www.se.com/es/es/product/RSB2A080BD/interface-plug-in-relay%2C-8-a%2C-2-co%2C-24-v-dc/>



Figura 3.11 Relay 2NO/2NC

Fuente: <https://www.se.com/es/es/product/RSB2A080BD/interface-plug-in-relay%2C-8-a%2C-2-co%2C-24-v-dc/>

- Bornera porta fusible: se utilizará portafusibles para la protección de los dispositivos como para las fuentes de alimentación DC y LOGO 8, el consumo de corriente se observa en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Cálculo de potencia del tablero

Descripción	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Indicador Piloto	2	24	0.018	0.432
Logo 8	1	24	0.100	2.400
Relay	3	24	0.010	0.720
Sensor óptico	1	24	0.300	7.200
Electroválvula	1	24	0.200	4.800
Motor	1	12	1.800	21.600
Luces	2	12	0.5	12
Consumo Total del Tablero			3.466	49.58

*Fuente: Elaboración propia*

Entonces los fusibles que se usaran son:

- Fusible de 5A para las fuentes switching de 12 VDC.
- Fusible de 5A para las fuentes switching de 24 VDC.
- Fusible de 0.5A para el Logo 8.
- Fusible de 2A para el Motor.

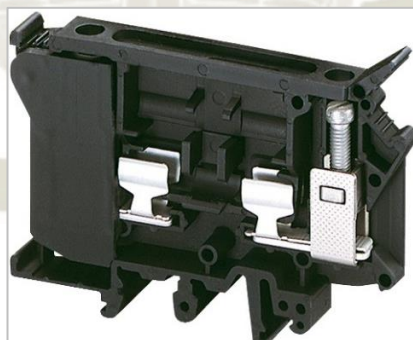


Figura 3.12 Bornera porta fusible

*Fuente: <https://www.se.com/cl/es/product/NSYTRV42SF6/borne-de-conexi%C3%B3n-tornillo---portafusible-2-puntos---6.3mm---gris/>*

- Bornera de conexión 4mm: se utilizarán 3 grupos de borneras debidamente enumeradas en la marca Lexo de 4mm para riel din, además de borneras a tierra debidamente marcadas de color verde con amarillo.

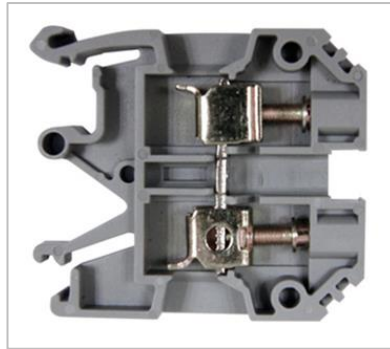


Figura 3.13 Bornera de conexión 4mm

Fuente: <https://conelectric.cl/2273-borne-conexion-riel-din-de-4mm-lexo.html>

### 3.2.3. Panel de control manual

El panel de control manual permitirá el arranque y la parada del motor de la faja transportadora con los siguientes elementos:

- Parada de emergencia: este pulsador de la marca Chint nos permitirá para todo el proceso, sea en manual o automático.



Figura 3.14 Pulsador de emergencia

Fuente: [http://chintperu.com/productos.php?ic=17&c=pulsador\\_](http://chintperu.com/productos.php?ic=17&c=pulsador_)

- Selector M-0-A: este selector nos permitirá seleccionar entre el modo manual el cual permite la habilitación del uso de los contactores y pulsadores, y el modo automático enviará la señal hasta el PLC, para que mediante su entrada se cree un interlock para el funcionamiento desde el SCADA.



Figura 3.15 Selector Chint

Fuente: <https://chintmex.com/tienda/productos-de-baja-tension-electrica/lw-32-universal-change-over-switch/>

- Pulsadores: los pulsadores que se usaran en este panel son de color rojo para stop y verde para start, estos pulsadores estarán habilitados solo en el modo manual, más no en el modo automático.



Figura 3.16 Pulsador XB2-BA42

Fuente: [https://es.made-in-china.com/co\\_daquan1996/product\\_Xb2-Ba42-Push-Button-Switch\\_erysoeehg.html](https://es.made-in-china.com/co_daquan1996/product_Xb2-Ba42-Push-Button-Switch_erysoeehg.html)

- Indicadores piloto: los indicadores piloto que se usaran en este panel son de color rojo para indicar el paro y verde para el arranque de la faja transportadora, estos estarán habilitados en modo manual y automático.



Figura 3.17 Indicador piloto

Fuente: <https://www.amazon.es/DealMux-AD16-22D-Verde-Indicador-L%C3%A2mpada/dp/B078LSS5V>

Entonces el panel de control manual quedaría ubicado como se muestra en la Figura 3.18.

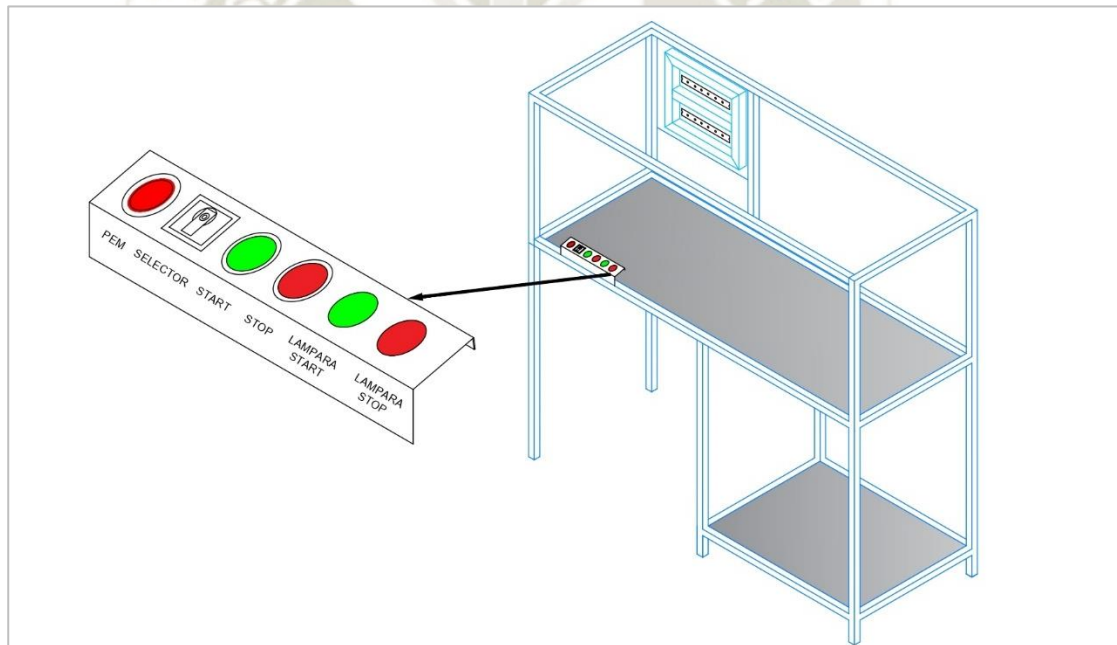


Figura 3.18 Panel de control manual

Fuente: *Elaboración propia*

#### 3.2.4. Faja transportadora

La faja transportadora para el prototipo debe ser ligera y de bajo costo, por lo que se considera el aluminio como soporte principal para los polines, la faja y el motor. La estructura contiene siete polines la cual se han distribuido de manera equidistante, el primer polín contiene un revolvimiento para el ajuste de la faja (Figura 3.19).

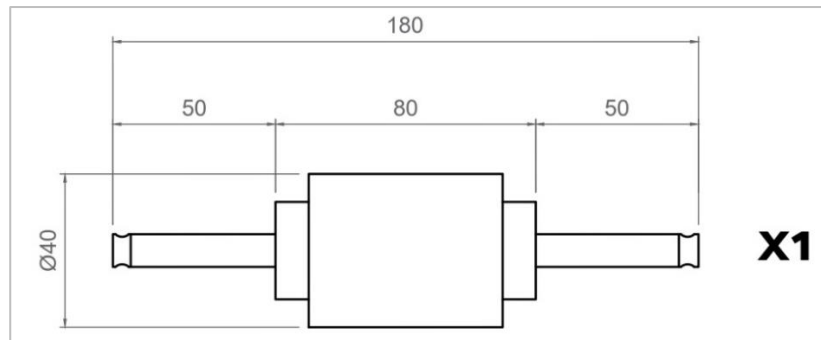


Figura 3.19 Polín N°1 (unidad mm)

*Fuente: Elaboración propia*

Desde el segundo hasta el sexto polín tiene la misma medida para que la faja se mantenga uniforme durante la rotación (Figura 3.20).

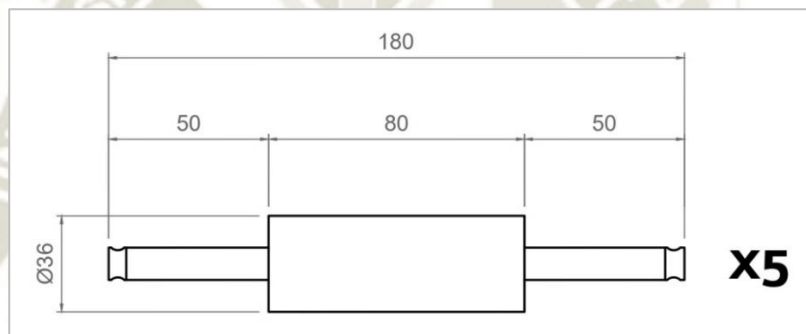


Figura 3.20 Polín N°2-6 (unidad mm)

*Fuente: Elaboración propia*

El último polín tiene una mayor medida en el rodamiento, puesto que es el que va a alinear la faja para que no tenga una rotación errónea (Figura 3.21).

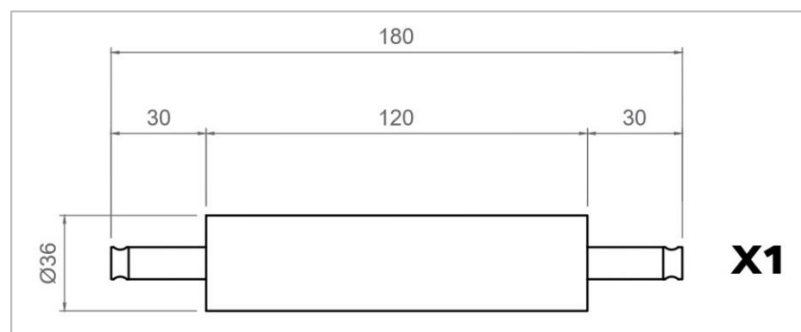


Figura 3.21 Polín N°7 (unidad mm)

*Fuente: Elaboración propia*

El material de la faja que se usará para este prototipo es de goma caucho y lona con empalme vulcanizado, teniendo un largo de 105 cm y un ancho de 10 cm, su objetivo principal es transportar el objeto o la pieza que se pretende analizar para su respectiva clasificación. En la Figura 3.22 se aprecia el diseño de la estructura, los polines y la faja transportadora, dando como medidas de todo el módulo de la faja transportadora de 18cm x 106cm.

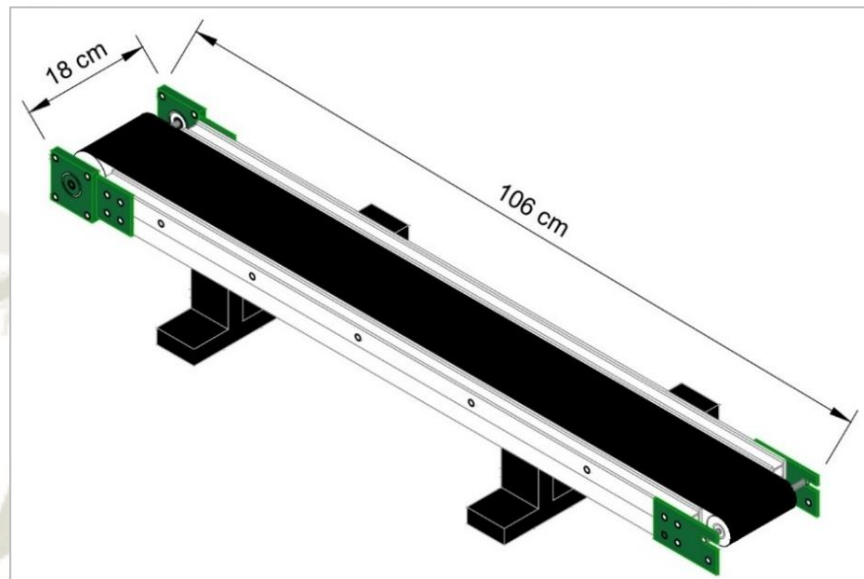


Figura 3.22 Estructura de la faja transportadora

*Fuente: Elaboración propia*

El motor que se pretende usar es un motor reciclado, por lo que se realiza el mantenimiento necesario para su uso eficiente, en vista de que su placa de datos estaba desgastada, se realiza las respectivas pruebas para el uso de corriente con una pinza amperimétrica, y luego se halla el consumo de potencia del motor dando como resultado lo siguiente:

Tabla 3.4 Datos medidos del motor de la faja transportadora

Motor	Halcón 45 ZD1332
Fuente de alimentación:	12V DC
Corriente s/c carga:	1.5A   1.8A
Potencia Consumo:	21.6 W
Baja Velocidad:	40 ± 5 rpm
Par de Parada:	30 N m

*Fuente: Elaboración Propia*

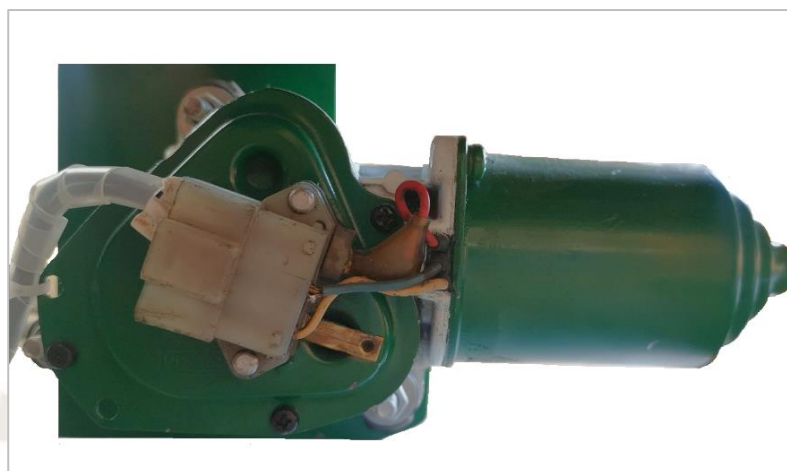


Figura 3.23 Motor de la faja transportadora

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.2.5. Sensores y actuadores

#### 3.2.5.1. Sensor óptico

Para la detección de los objetos o piezas que se analizarán antes de entrar al módulo de la cámara es necesario un sensor de presencia, por lo que se ha considerado un sensor óptico reflectivo (S1) o más conocido como sensor de barrera, al ser un prototipo no se requiere de un sensor de altas prestaciones, por lo que se considera un sensor de bajo costo y de buen alcance, por lo cual se escoge el siguiente sensor:

Tabla 3.5 Características sensor óptico

Sensor óptico reflex	Electric Option E3F-R2C4
Tipo:	NPN NO-NC
Fuente de alimentación:	6...36V DC
Corriente de consumo:	0.3A
Alcance de sensado:	2 m
Diámetro:	18 mm

*Fuente: Hoja de datos E3F-R2C4*



Figura 3.24 Sensor óptico reflectivo Electric Option

Fuente: <https://www.amazon.es/E30-R4PA-3-Alambres-interruptor-sensor-fotoel%C3%A9ctrico/dp/B01EZZNDXG>

### 3.2.5.2. Pistón neumático

Para la clasificación de los objetos o piezas que se analizarán, después de salir del módulo de la cámara es necesario un accionamiento de separación que puede ser mediante un brazo robótico, un base de rotación, en este caso se realizará por un pistón neumático que impulsará al objeto hacia un chute, la cual será accionado por una electroválvula mediante una señal de mando desde el PLC dejando fluir el aire del compresor para ejercer el movimiento. Para este prototipo se usará un pistón neumático de cilindro plano DZF reciclado de la marca Festo, la cual no presenta ningún daño por lo que su funcionamiento es eficiente.



Figura 3.25 Pistón neumático de cilindro plano DZF-doble efecto

Fuente: [https://www.festo.com/us/en/p/flat-cylinder-metric-id\\_DZF/](https://www.festo.com/us/en/p/flat-cylinder-metric-id_DZF/)

El módulo trabajará con una presión de 6 bar recomendado por el fabricante, puesto que solo trabajará un cilindro para esta clasificación y no requiere mayor fuerza de trabajo, este pistón presenta las siguientes especificaciones de uso:

Tabla 3.6 Características del pistón neumático

Pistón Neumático	FESTO Doble Efecto
Tipo:	DZF-40-160-A-P-A
Diámetro del émbolo:	40 mm
Carrera:	160 mm
Presión de funcionamiento:	1...10 bar
Fuerza teórica de avance:	633 N
Fuerza teórica de retroceso:	633 N

Fuente: [https://www.festo.com/us/en/p/flat-cylinder-metric-id\\_DZF/](https://www.festo.com/us/en/p/flat-cylinder-metric-id_DZF/)

La presión de aire provendrá del compresor de aire de la marca Truper que emite una presión máxima de 8 bar con una capacidad de 25 L, la cual ya contiene un regulador de presión de fábrica. La electroválvula que se usará es de la marca KLOD, distribuida en 5/2 vías, se distribuirá con dos opciones neumáticas de 1 a 2 (entrada) y de 4 a 5 (salida), o de 1 a 4 (entrada) y de 2 a 3 (salida), dependiendo de la activación mediante una señal de mando desde el PLC, accionado por su electroimán, para luego conectar la válvula al pistón neumático. La velocidad de avance es igual a la velocidad de retorno y dependerá del regulador de caudal, con el apoyo del manómetro que contiene la compresora se podrá visualizar la magnitud a 6 bar.

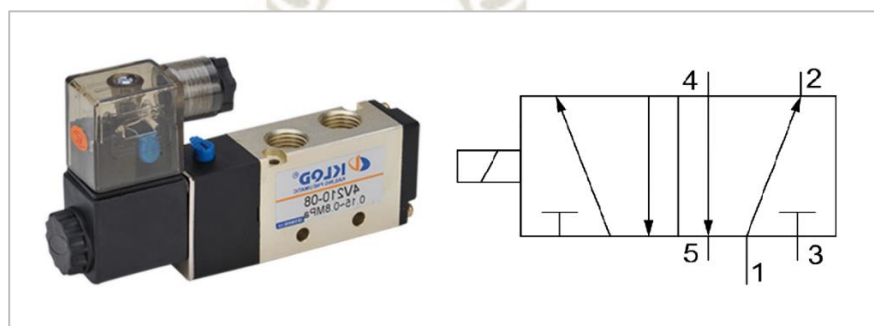


Figura 3.26 Electroválvula 5/2 KLOD

Fuente: *Elaboración propia*

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones principales que se deben conocer de la electroválvula:

Tabla 3.7 Características de la electroválvula KLOD

Electroválvula	KLOD
Tipo:	4V210-08
Fuente de alimentación:	24 V DC
Corriente de consumo:	0.2 A
Potencia consumida:	4.8 W
Vías:	5/2
Área efectiva:	16mm <sup>2</sup> (CV =0.89)
Tiempo de Respuesta:	0.05 seg.
Presión de trabajo:	0.15...0.8Mpa   1.5...8 bar

*Fuente: Hoja de datos catalogo KLOD*

Por consiguiente, las posiciones del sensor óptico y el pistón neumático se ubicarán encima de la estructura de la faja transportadora, cabe resaltar que se posicionarán chutes de entrada y de descarga, así como se muestra la siguiente imagen.

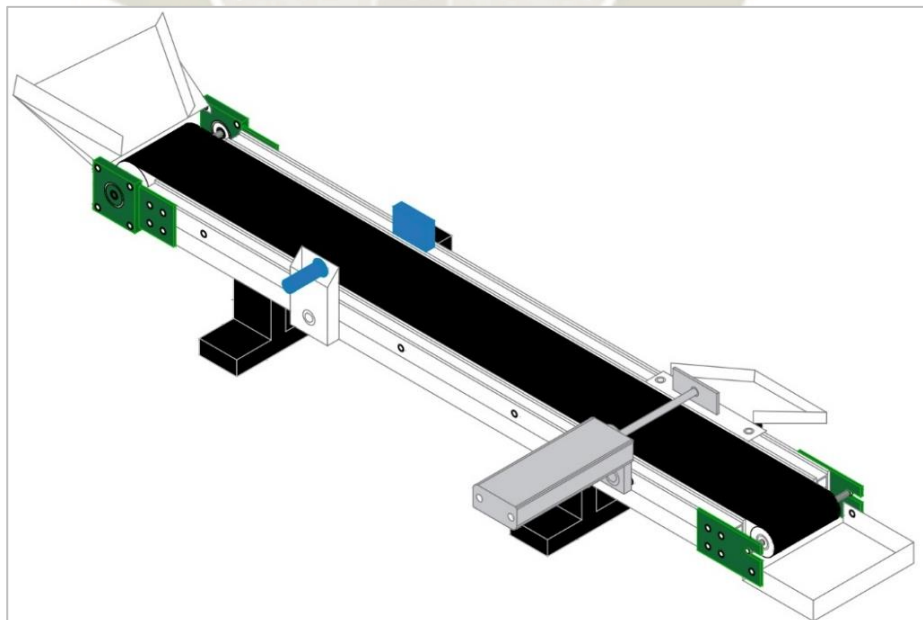


Figura 3.27 Estructura de la faja transportadora con sensores, actuadores y chutes

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.6. Sistema de control de calidad

El diseño del módulo de la cámara estará posicionado encima de la estructura de la faja transportadora, entre el sensor óptico reflex y el pistón neumático, donde la cámara podrá analizar los diferentes objetos de entrada (Figura 3.28).

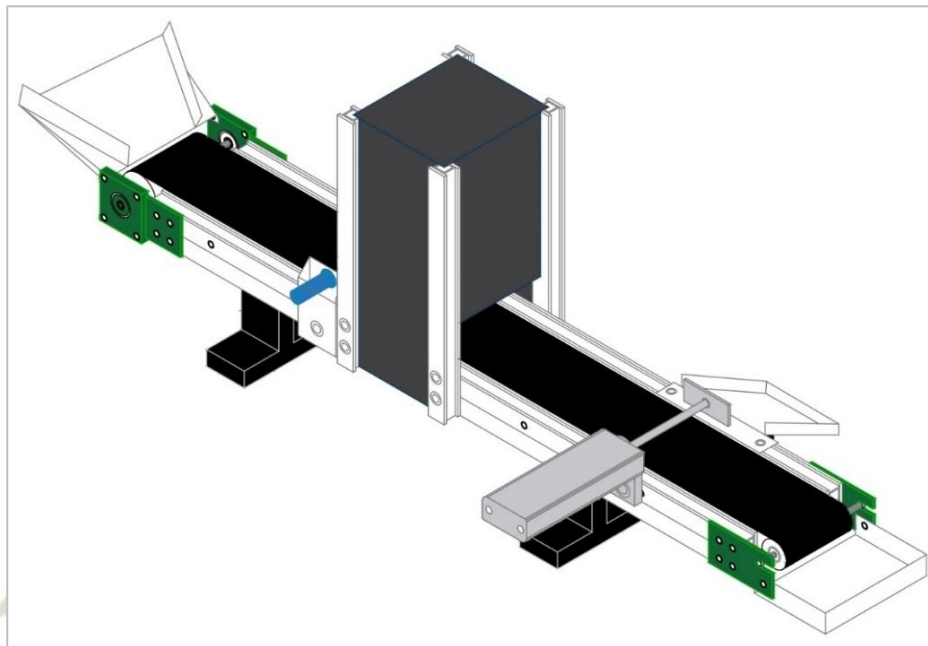


Figura 3.28 Módulo de la cámara en faja transportadora

*Fuente: Elaboración propia*

Para el análisis de los objetos, uno de los componentes internos dentro de este módulo es la cámara, para ello se realizará el cálculo correspondiente de su velocidad, enfoque, contraste y otros parámetros para obtener la mejor percepción de los objetos.

#### 3.2.6.1. Selección de la cámara

En vista de ser un prototipo a implementar se debe seleccionar una cámara eficiente que cumpla con las expectativas adecuadas, pero a su vez de un precio accesible, para el cálculo es necesario ver las hojas de datos de las cámaras que se pretenden usar. En la presente tesis se tomaron los datos de la cámara Varifocal CMOS Aptina MI5100 1/2.5" de 5MP de la marca ELP, puesto que tiene una gran variedad de selección en su resolución con respecto a su velocidad de captura, eligiendo el formato de 640 x 480 a 30 fps (sabiendo que a más

pixeles el tamaño de las imágenes a procesar aumenta), a continuación, se explicará la selección de la cámara con el respectivo cálculo, según (Bässmann, 2020).

El primer paso es capturar el área del objeto real, considerando que el área puede ser considerablemente más grande que el objeto, el campo de visión que tendrá la cámara es de 200mm x 200mm.

El segundo paso es determinar el tamaño del sensor, en el mercado ya están establecidos las diferentes dimensiones de los sensores para las cámaras, la cámara que se usará tiene un sensor de 1/2.5" con las dimensiones de 7.18mm de diagonal, 5.76mm de ancho y 4.29mm de altura.

El tercer paso es verificar si es suficiente área de dimensión de captura para el sensor o se requiere de un lente, en esta situación la marca de la cámara varifocal ofrece una lente de 5-50m y de 2.8-12mm.

El cuarto paso es determinar la distancia desde la lente hasta el área del objeto, en este caso la distancia desde la lente hasta la cámara será de 160mm.

El quinto paso es elegir nuestra dimensión de resolución de pixeles del enfoque con relación del objeto, por lo tanto, se mapea los ejes "X", donde la resolución de pixeles por mm ( $R_p$ ) es:

$$R_p = \frac{\text{Campo de visión } X(\text{mm})}{\text{Numero de Pixeles } X} \quad (5)$$

$$R_p = \frac{200\text{mm}}{640\text{pixel}}$$

$$R_p = 0.312\text{mm/pixel}$$

El sexto paso es calcular la distancia focal usando la siguiente formula ( $D_f$ ):

$$D_f = \frac{\text{Dist. de trabajo} \times \text{Dim. del sensor}}{(\text{Campo de visión } X(\text{mm}) + \text{Dim. del sensor})} \quad (6)$$

$$D_f = \frac{160\text{mm} \times 5.76\text{mm}}{200\text{mm} + 5.76\text{mm}}$$

$$D_f = 4.47\text{mm}$$

El séptimo paso es verificar el cálculo con la disponibilidad del lente, por lo que la distancia focal resultante es de 4.47mm, por consiguiente, el lente opcional que ofrece la marca de 2.8-12mm es suficiente para trabajar con el procesamiento de imágenes.

El octavo paso es la ubicación céntrica y nivelada de la cámara con respecto al objeto, se utilizará un punto laser rojo y un nivel para la mejor ubicación para la captura y procesamiento de imágenes.

El último paso es la calibración de la lente varifocal con respecto a los objetos que se usaran para el control de calidad, esta cámara tiene la opción de ajustar el enfoque del objetivo, el ingreso de luz al sensor, y el zoom de alcance (Bässmann, 2020).



Figura 3.29 CMOS Aptina MI5100 1/2.5" de 5MP ELP

Fuente: <http://www.webcamerausb.com/images/5mp%20camera%20manual%20focus.jpg>

### 3.2.6.2. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación tiene como objetivo mejor la intensidad de contraste en el campo de trabajo para facilitar la segmentación del objeto a analizar durante el procesamiento de imágenes, para este sistema la iluminación se usará cintas led SMD 5050 de 12V DC con una iluminación de 720 lúmenes por metro, estará posicionada por encima de la cámara a una altura de 260mm con el método de iluminación lateral.

Cada 50 mm hay 3 leds, por lo que cada led contiene 12 lúmenes.

$$LED_{lm} = \frac{720lm}{\frac{1000mm}{50mm} \times 3}$$

$$LED_{lm} = 12lm$$

De manera experimental se calibró la iluminación adecuada para este módulo, por lo que solo fue necesario dos cintas de 150mm ubicadas lateralmente (Figura 3.30).

$$V_{ilum} = 200mm \times 200mm \times 260mm = 0.010m^3$$

$$LED_{lm} = 12lm \times 9led \times 2 = 216lm$$

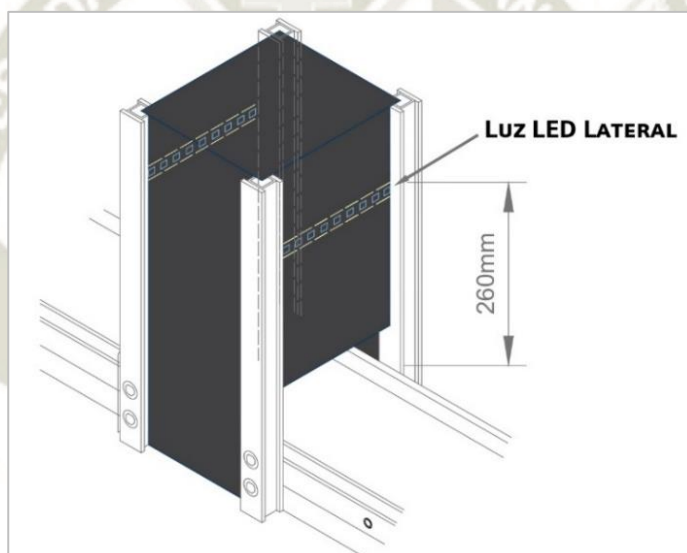


Figura 3.30 Posición de cinta LED módulo cámara

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3. SOFTWARE

Una vez finalizado con el diseño del hardware del prototipo, se procede con el diseño del software, con la finalidad de establecer la comunicación entre el computador y el módulo, por lo que se explicará el protagonismo que tendrán los diversos programas a usar.

### 3.3.1. Base de datos

Primeramente, para la aplicación del programa que se desarrollará, se requiere de una base de datos en el servidor local con MySQL, es decir una base de datos local en nuestro computador, y una base redundante con una cuenta registrada en Google para en la nube con la plataforma de Firebase; como es habitual en todo programa de corporación debe tener usuarios registrados y habilitados, por lo que se deberá crear una bases de datos en cada plataforma, donde se creará una tabla para el registro de datos de usuarios y otras tablas para los datos extraídos de los objetos analizados por imágenes, con la finalidad de tener la historización de los productos.

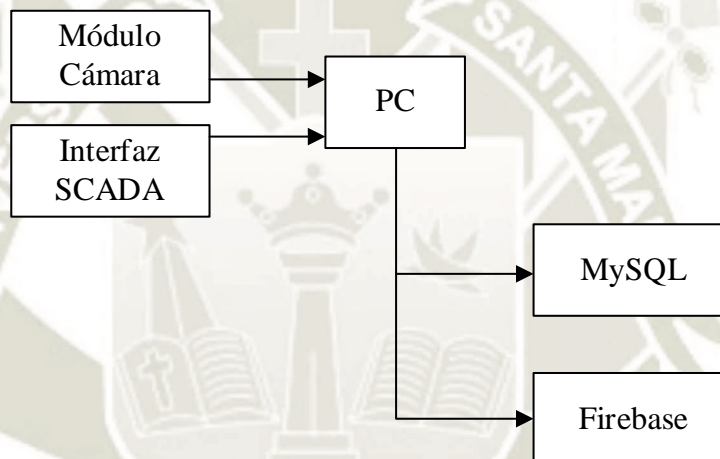


Figura 3.31 Diagrama de bases de datos

*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.3.1.1. Base de datos en MySQL

En la plataforma Workbench se debe crear una nueva base de datos local, donde se podrá crear un esquema que deberá contener 6 tablas en las cuales se pueda registrar los datos requeridos a nuestra conveniencia, así como se visualiza en el diagrama de la Figura 3.32.

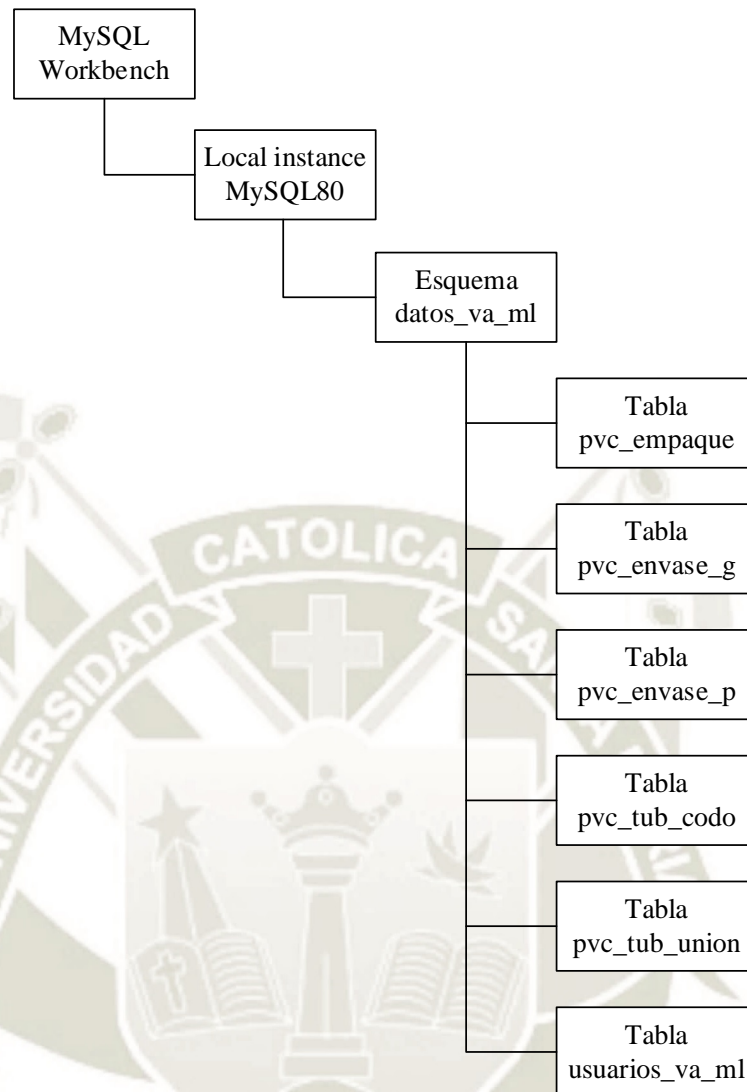


Figura 3.32 Diagrama de estructura en MySQL

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.1.2. Base de datos en Firebase

En la plataforma de Firebase se debe crear una nueva base de datos en la nube en tiempo real, por lo que debe tener la arquitectura semejante al diseño de MySQL, donde se debe crear un nuevo usuario y proyecto para establecer un nuevo esquema la cual tendrá 6 tablas para poder registrar los datos requeridos a nuestra conveniencia, así como se visualiza en el diagrama de la Figura 3.33.

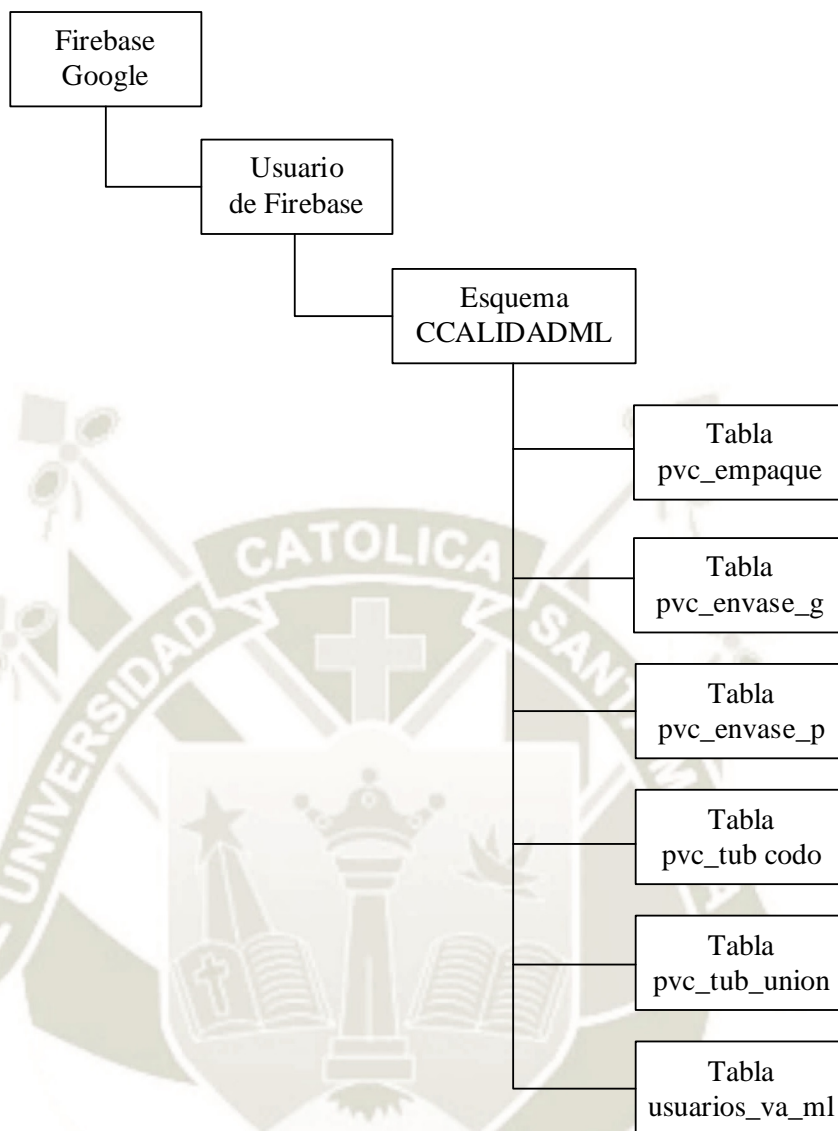


Figura 3.33 Diagrama de estructura en Firebase

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.2. Plataforma de ingreso

En la presente tesis el programa que se va a desarrollar se realizará en Visual Studio C#, teniendo en cuenta de que se ha creado la base de datos se podrá realizar la interfaz para el registro e ingreso por usuarios, entonces se debe tener una ventana para ingresar los datos de registro como usuario, contraseña, nombre, apellidos y DNI, para estar en la relación de usuarios habilitados. Después de realizar el registro se podrá ingresar al programa con el usuario y su respectiva contraseña, si los datos son erróneos o no registrados, deberá enviar un mensaje de alerta de error.

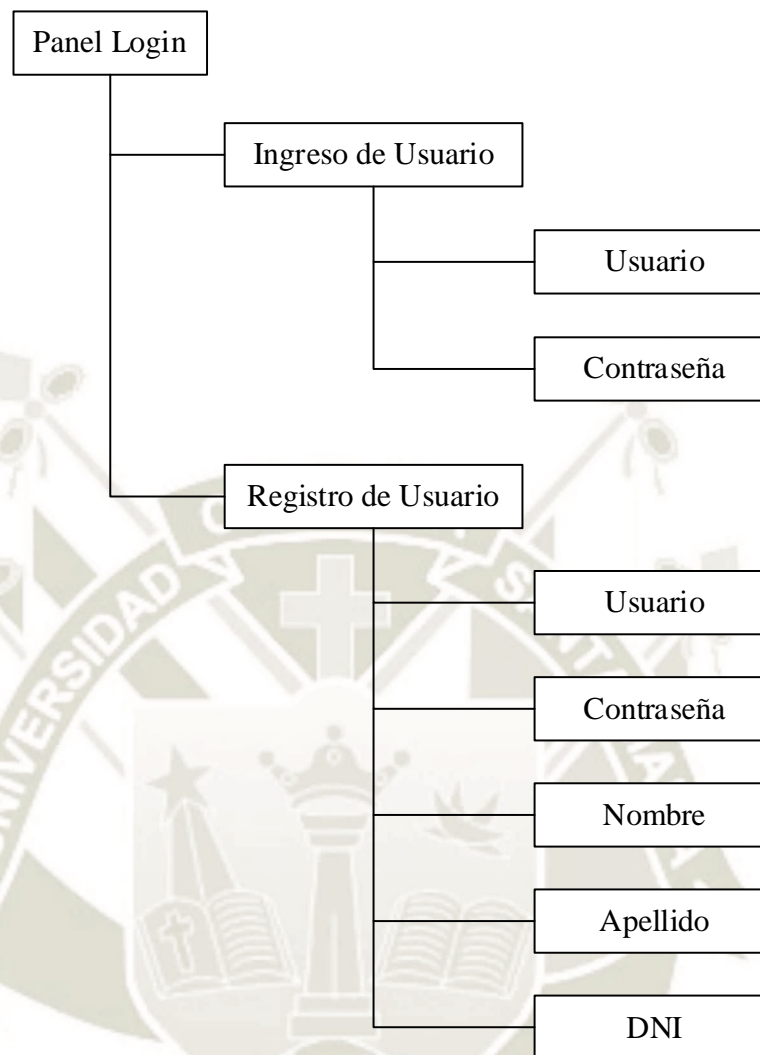


Figura 3.34 Diagrama de estructura de la plataforma de ingreso

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3. Comunicación OPC UA

Considerando que el ingreso ya se haya realizado el programa a desarrollar debe mostrar una interfaz de comunicación entre el computador y el PLC mediante comunicación OPC UA, para ello se debe realizar la programación de licenciamiento y permisos correspondientes entre el software de KEPServerEx y visual studio, para ello se debe crear un algoritmo de programación para establecer dicha comunicación, se debe tener en cuenta que esta nueva generación de OPC UA nos permite tener como servidor a nuestro PLC y nuestro programa de computador será nuestro cliente.



Figura 3.35 Diagrama de estructura de comunicación OPC UA

*Fuente: Elaboración propia*

La conexión debe ser eficiente y constante, por lo que en la tabla 3.8 se observa la asignación que deben tener las entradas, salidas y memorias para la sincronización de control desde el software desarrollado y el PLC.

Tabla 3.8 Asignación de datos OPC UA

E/S/M	Tag Name	Dirección OPC UA	Tipo de dato	Descripción KEPServerEX OPC UA
<b>Entradas</b>	Select_Auto	I0.0	Boolean	Señal de selector automático I1 - I0.0
	S1	I0.1	Boolean	Sensor óptico I2 - I0.1
<b>Salidas</b>	StopLR	Q0.0	Boolean	Stop lampara roja Q1
	KP1_Piston	Q0.1	Boolean	Pistón activado Q2
	Start_Motor	Q0.2	Boolean	Salida start ó stop faja Q3 KM2
	On_LED	Q0.3	Boolean	Encender led´s de cámara Q4
<b>Memorias</b>	Ind_Calidad	M0.0	Boolean	Indicador de calidad de pieza M1
	Cam_On	M0.1	Boolean	Activador de encendido de scada M2
	Start_Scada	M0.2	Boolean	Inicio de start scada Faja M3
	Foto_Cam	M0.3	Boolean	Indicador para tomar foto M4
	Verif_Piston	M0.4	Boolean	Verificación de pistón M5

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.4. Menú de procesamiento de imágenes

En el menú de procesamiento de imágenes tendrá dos opciones para elegir, la primera opción tendrá la visualización del panel del SCADA con el procesamiento y las características de las imágenes, la segunda opción tendrá permitido simular algunas aplicaciones extras con el procesamiento de imágenes.

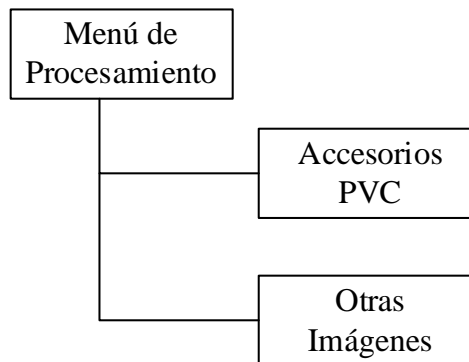


Figura 3.36 Diagrama de menú de procesamiento de imágenes

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5. *Procesamiento por visión artificial y machine learning*

La interfaz de la opción “Accesorios PVC” (Figura 3.36), deberá tener la visualización del funcionamiento completo del prototipo, a continuación, se explicará todo lo que se considerará para el funcionamiento óptimo.

#### 3.3.5.1. Interlocks

Se necesita prevenir estados no deseados para evitar el mal funcionamiento de las herramientas y los dispositivos que se usarán, entonces se tomaron en cuenta los siguientes criterios para el funcionamiento del prototipo:

- Primeramente, el usuario deberá estar registrado para el ingreso adecuado.
- Se debe establecer la comunicación OPC UA antes de ingresar al panel de visualización de “Accesorios PVC”.
- La faja transportadora no podrá arrancar sin antes encender el módulo de la cámara.
- El módulo de la cámara no podrá estar habilitada sin antes haber cargado los datos de aprendizaje.

- Los datos de aprendizaje no se podrán cargar sin antes tener los datos correspondientes, es decir tener muestras de las piezas a analizar en una carpeta seleccionada.
- Se deberá importar los datos para poder ver las tendencias con las características de los objetos analizados desde la base de datos.

### 3.3.5.2. Librerías de visión artificial

Las librerías que se usarán para el procesamiento de imágenes será la librería Aforge.NET Framework, en vista de que son de fuente gratuita y tiene las suficientes clases para el análisis en la presente tesis, además de ser compatible con visual studio C#; la imagen capturada por la cámara deberá pasar por el análisis de la Figura 2.11, con la finalidad de que el programa reconozca automáticamente la calidad o la clasificación del producto, en el capítulo IV se apreciará mejor el procesamiento de imágenes. Las clases que se usarán de esta librería son las siguientes:

- Blob: manchas en la imagen.
- BlobCounter: permite contar las manchas de la imagen.
- BlobsFiltering: filtrado de dimensiones de las manchas no deseadas.
- BrightnessCorrection: corrección de brillo.
- ColorFiltering: filtros de colores RGB.
- ConservativeSmoothing: suavizador de pixels.
- GrahamConvexHull: algoritmo de escaneo de Graham para encontrar cascos convexos.
- Image: métodos relacionados con la imagen principal.
- Invert: invertir el color analizado.
- NewFraneEventArgs: argumentos para un evento de fotograma nuevo desde la fuente video.
- VideoCaptureDevice: fuente de video para dispositivo de captura d video focal.

### 3.3.5.3. Algoritmos de visión artificial

Para el algoritmo de la programación se utilizará un “switch”, de modo que tendremos 5 “case” que usarán las clases mencionadas anteriormente, con la finalidad de que cada uno se independiente al procesamiento de imágenes con la pieza a analizar, para la toma de decisión correcta, donde cada “case” cumplirá con las siguientes funciones:

- Se debe aplicar los filtros de VA a las imágenes.
- Recolectar información como las dimensiones, fecha y hora.
- Clasificar los accesorios mediante el algoritmo de ML (Sección 3.3.5.5)
- Guardar la información en las plataformas de bases de datos.

```
switch (case)
{
    case 5: Tubería unión universal
    case 4: Tubería codo
    case 3: Envase Pequeño
    case 2: Envase Grande
    case 1: Empaque
}
```

### 3.3.5.4. Visualización de cámara

Primeramente, se tendrá que seleccionar la cámara que se desea visualizar desde una lista de las cámaras que receptiona el computador, la visualización de la cámara se verá dentro de la interfaz, donde el primer cuadro de imagen se visualizará el producto en tiempo real y el segundo cuadro de imagen se podrá apreciar la imagen con el filtro aplicado.

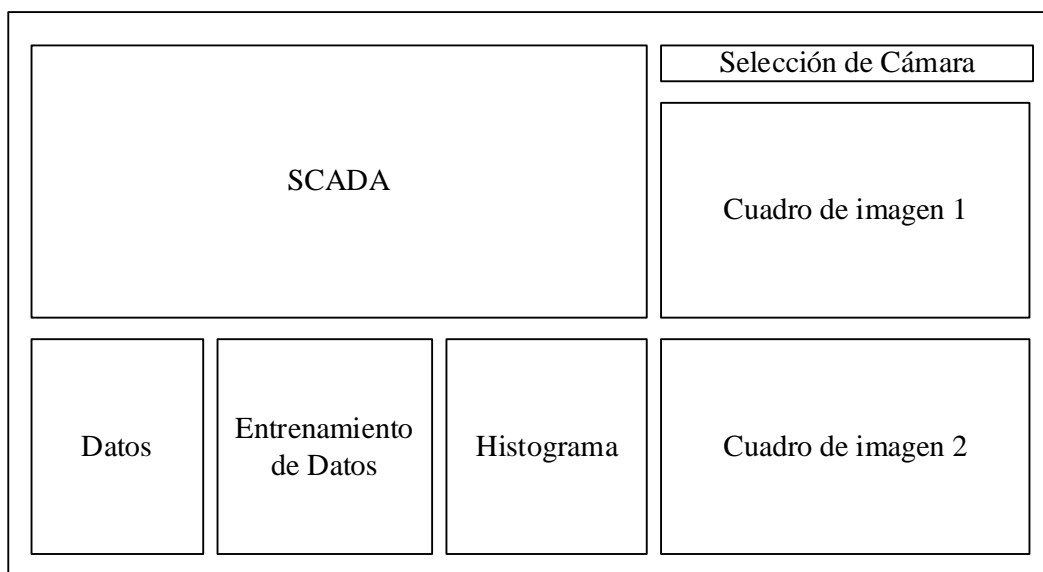


Figura 3.37 Arquitectura de la interfaz de procesamiento de accesorios de PVC

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5.5. Algoritmos de machine learning

Para el algoritmo de aprendizaje, se desarrollará una librería con clases para el reconocimiento de datos con el método de aprendizaje no supervisado, Clustering (K-means), por lo que debe ser desarrollada cumpliendo cada paso del flujograma de la Figura 3.38, donde se tendrá que interpretar el método teórico para transferir en lenguaje de programación C# entonces se debe de crear las siguientes clases:

- Dataset: posicionar los datos matriciales de las imágenes en un plano de programación.
- Centroide: debe permitir calcular la mejor posición del centroide “K” para los grupos de datos.
- Distancia euclidiana: esta clase permitirá calcular distancia entre los datos matriciales y los centroides, empleando la ecuación ( 7 ).

$$d = \sqrt{\sum_{z=1}^n (P_{iz} - P_{jz})} \quad (7)$$

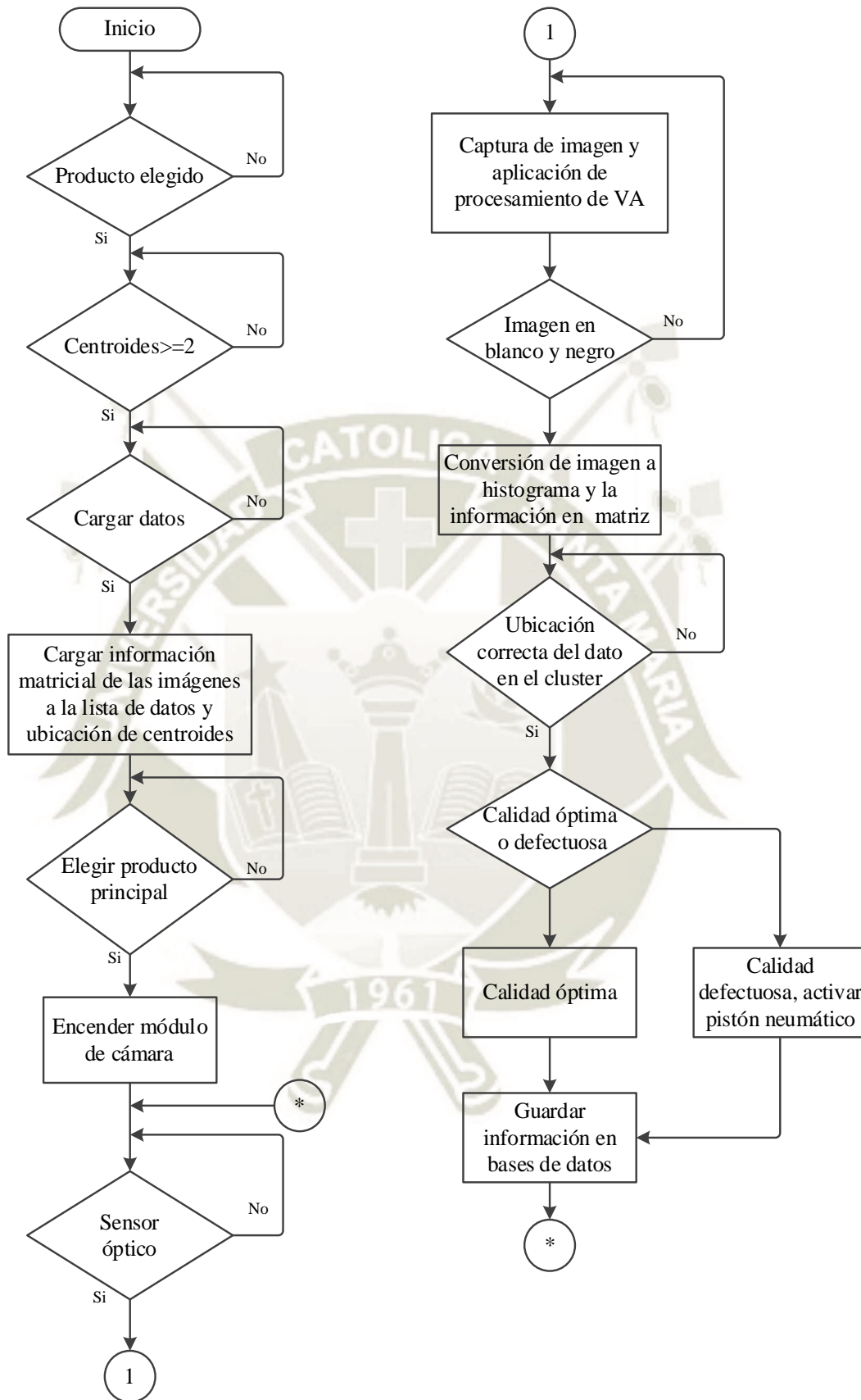


Figura 3.38 Flujoograma de algoritmo de machine learning

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5.6. Histogramas

Para la extracción del histograma de las imágenes se requiere extraer cada pixel de la imagen, de forma vertical y horizontal, con la finalidad de tener un vector registrada para su evaluación de análisis en ML.

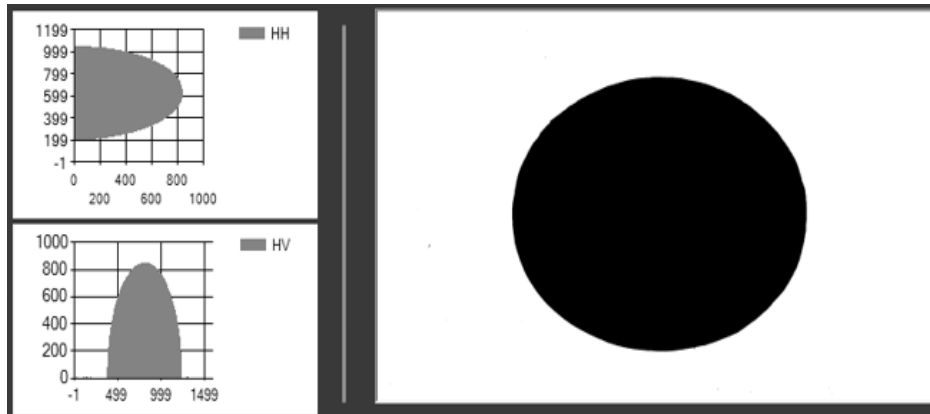


Figura 3.39 Histograma vertical y horizontal

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5.7. Control de calidad

Con los accesorios de PVC mencionados anteriormente se realizará una pequeña evaluación de calidad de productos, es decir:

- Para la clasificación de los accesorios de empaque, tubería codo de agua y electricidad se usará solo VA, con el propósito de comprender el algoritmo de filtro de colores.
- Para la clasificación de envases y tubería de unión universal se usará el análisis en VA y ML, con la finalidad de visualizar su evaluación de datos y la toma de decisiones del algoritmo.

### 3.3.5.8. SCADA de panel automático

Al igual que en el panel manual, en este panel se podrá tener un botón de arranque y de parada, con efectos de visualización de los productos, además de poder saber cuándo el sensor óptico, la cámara varifocal y el pistón neumático están siendo activados, de tal forma

que se podrá identificar con unas etiquetas si el producto es de buena o defectuosa calidad, o si solo es clasificación de accesorios, según el proceso a escoger.

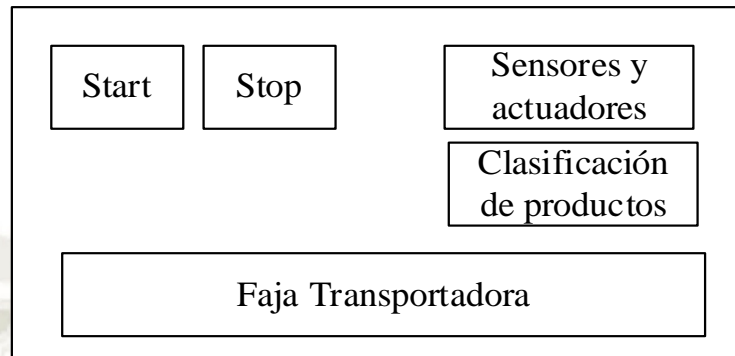


Figura 3.40 Arquitectura de la interfaz SCADA

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5.9. Tendencias y exportación de datos

Como se ha mencionado anteriormente los datos se irán guardando en la base de datos por lo que los datos se podrán exportar a una nueva ventana, donde tendrá opciones de visualizar la tendencia por días, además de poder imprimir o exportar la información a un excel para un mejor uso.

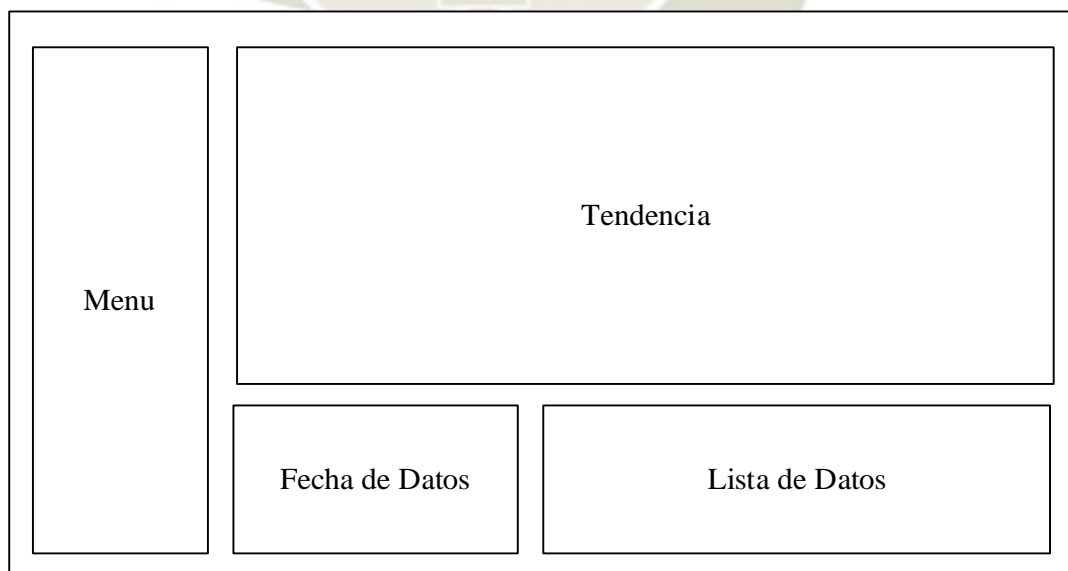


Figura 3.41 Arquitectura de la interfaz de tendencias

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.6. *Otras aplicaciones de procesamiento de imágenes.*

En la sección de menú tendrá otra opción de ingreso con la finalidad de poder observar que otras aplicaciones tiene la VA y el ML en la actualidad como pueden ser:

- Medicamentos, fármacos o pastillas.
- Medicina, radiografía o tomografías.
- Topografía o área de terreno.
- Minería, flotación o chancado de minerales.

### 3.3.7. *Filosofía de control del PLC*

El PLC tendrá la función principal de recibir la información de la presencia de la pieza y para la ejecución de clasificación mediante el pistón neumático, tomando las siguientes consideraciones:

- El selector deberá estar en la opción de automático como primer interlock para habilitar el PLC.
- El controlador no podrá arrancar el motor sin antes encender la cámara y la luz led desde el ordenador.
- Solo el botón de start del SCADA podrá arrancar el motor mediante el PLC.
- Solo el botón de stop del SCADA y el pulsador de emergencia podrán para el motor mediante el PLC.
- Si el software detecta una condición defectuosa o de clasificación secundaria del producto, se activará el pistón neumático mediante la válvula electroneumática.

## CAPÍTULO IV

### IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

#### 4.1. IMPLEMENTACIÓN ESTRUCTURAL

Una vez realizado el diseño y los cálculos para el prototipo, se procede con la implementación del módulo, por lo que se explicará el desarrollo del montaje de cada parte mencionada. En la Figura 4.1 se muestra el prototipo completo donde se realizará el control de calidad de los productos de PVC que se van a analizar.

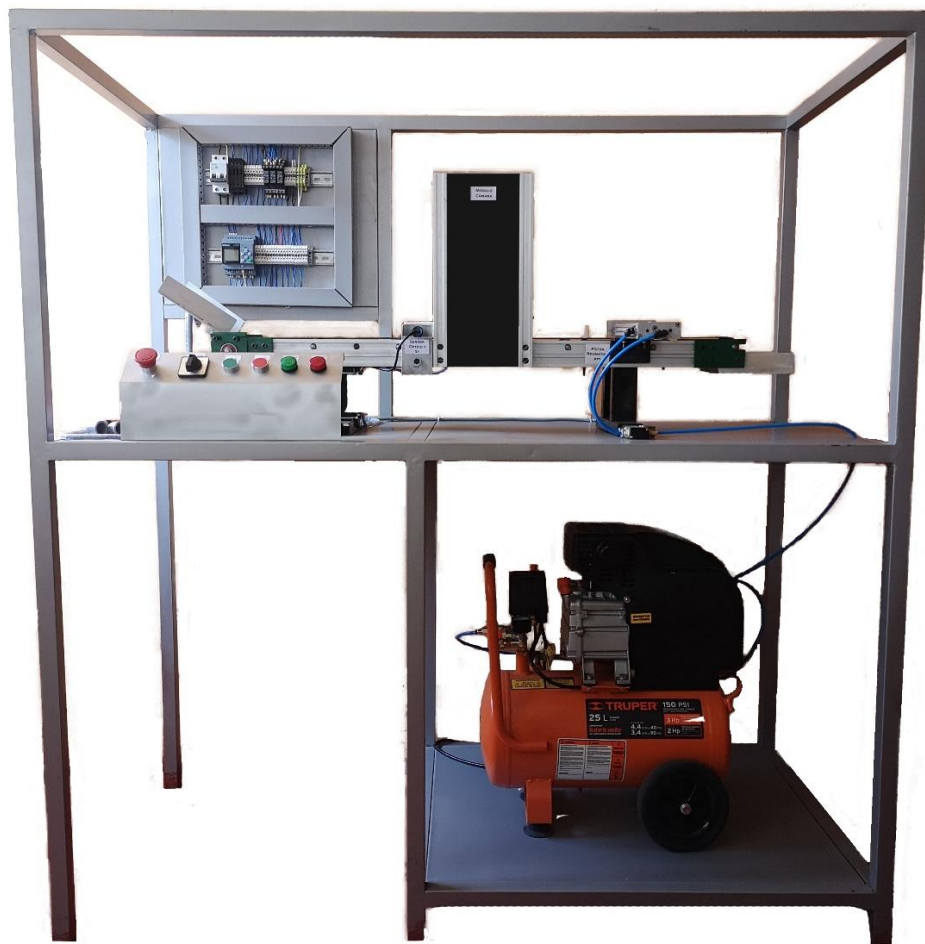


Figura 4.1 Prototipo de control de calidad por VA y ML

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.1. Tablero de control manual y automático

Entonces de acuerdo al diseño realizado se procede con el posicionamiento y el cableado de los dispositivos para el tablero de control manual y automático (sección superior e inferior respectivamente), ubicándolos como se muestra la Figura 4.2.



Figura 4.2 Tablero de control implementado

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2. Panel manual del prototipo

El panel de control manual del prototipo está distribuido según el diseño principal con su respectiva conexión al tablero y nomenclatura de uso, los pulsadores de arranque y parada solo están habilitados con el selector en posición M, además de encender cada lámpara piloto respectivamente al color de ejecución, cuando el selector este en la posición A solo funcionarán las lámparas de arranque o parada, el pulsador PEM realiza la función de parada de emergencia en cualquier posición del selector.



Figura 4.3 Panel manual del prototipo

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.3. Módulo de la cámara e iluminación

Como se mencionó en el diseño la iluminación que se colocó de manera lateral, dando como resultado los cálculos de intensidad luminosa y la posición experimental iluminando de manera uniforme el área donde se realizará la captura de imagen, la iluminación es encendida desde el SCADA y permanecerá activa hasta cerrar la ventana de ejecución del programa desarrollado, se cubrió los alrededores con una película de PVC color negra para mitigar la iluminación exterior

La cámara está posicionada céntricamente para una óptima captura de imágenes, en esta posición se calibró manualmente la cámara, puesto que el lente tiene la opción de regular el zoom y la intensidad de ingreso de luz al sensor, este ajuste se realiza con el apoyo del cuadro de imagen del programa desarrollado.

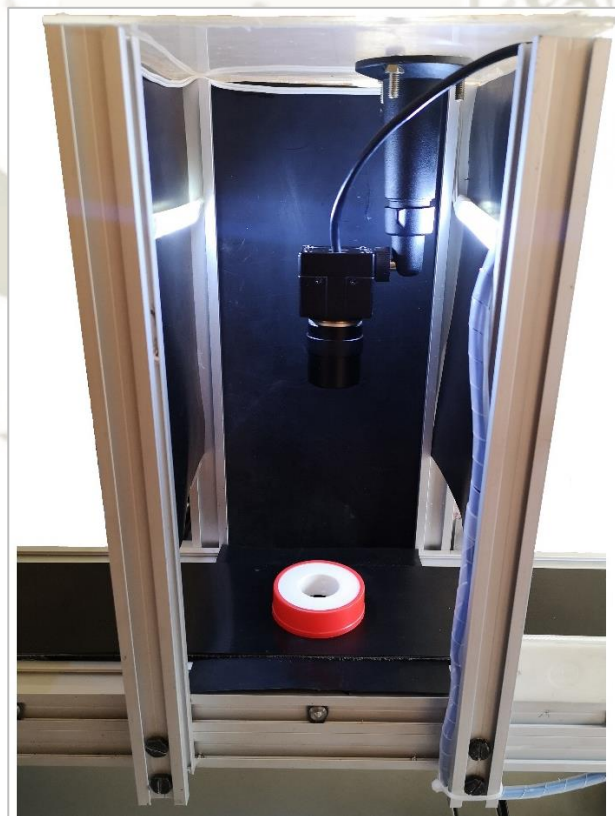


Figura 4.4 Módulo de cámara e iluminación

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4. Ejecución de sensores y actuadores

El sensor óptico reflectivo está posicionado antes del módulo de la cámara, este detecta perfectamente el accesorio, en la Figura 4.5 se muestra el led del sensor activado



Figura 4.5 Sensor óptico activado

*Fuente: Elaboración propia*

El pistón neumático está posicionado consecutivamente al módulo de la cámara, en la Figura 4.6 se muestra el movimiento del pistón en funcionamiento con respecto a la decisión del análisis de VA, además se aprecia la clasificación del empaque de PVC, donde el chute que está en frente del pistón neumático, ejecuta la separación el empaque de calidad defectuosa (empaque sin envoltura roja), mientras que en el chute final está el empaque de PVC de buena calidad (empaque con envoltura roja).

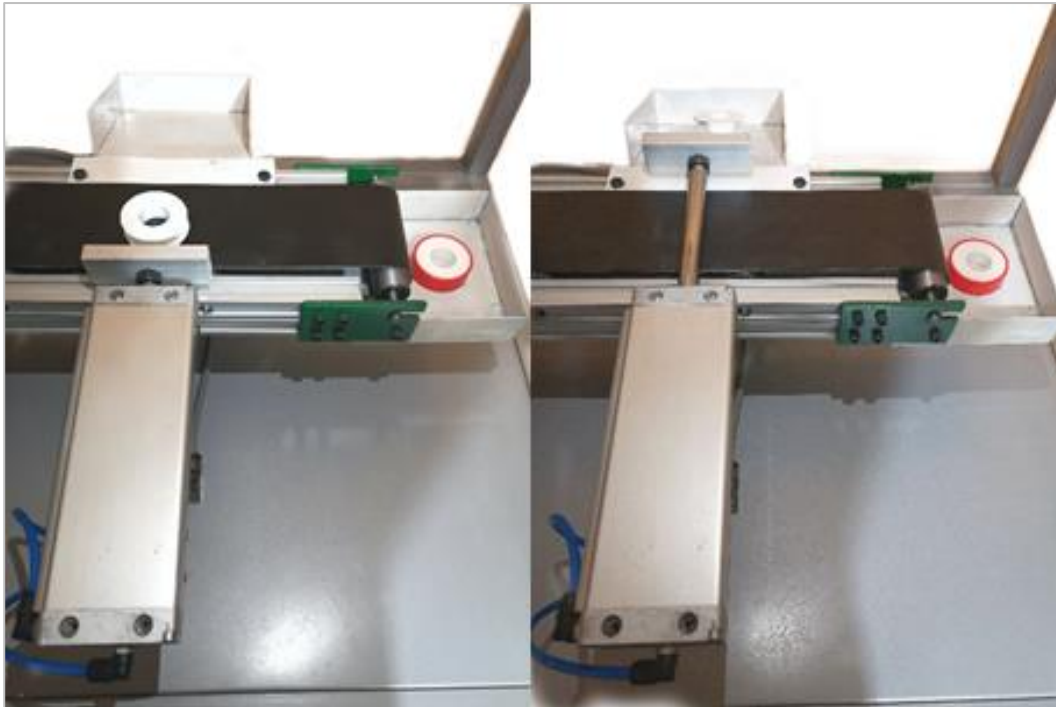


Figura 4.6 Pistón neumático en funcionamiento

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

### 4.2.1. Implementación de base de datos MySQL

Se realiza la implementación de un servidor de instancia local en MySQL en la plataforma de Workbench.

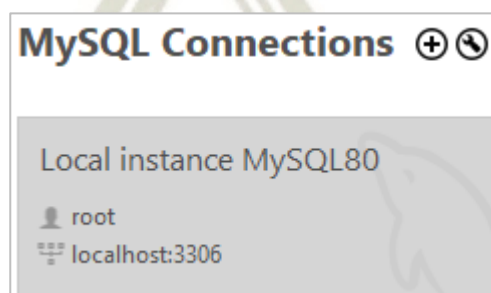


Figura 4.7 Servidor local MySQL

*Fuente: MySQL Workbench*

Dentro de este servidor local se crea la base de datos “datos\_va\_ml” la cual tendrá la siguiente distribución de tablas:

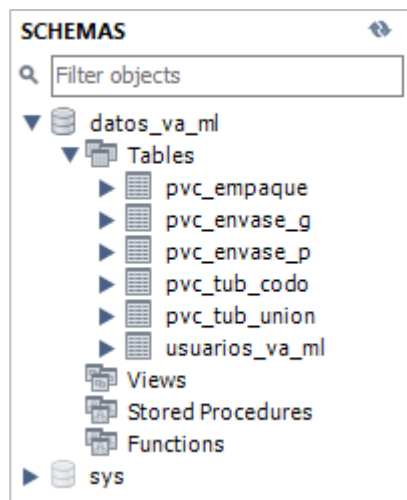
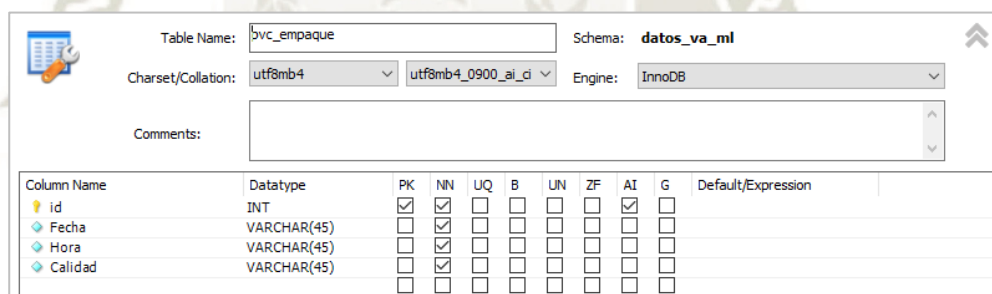


Figura 4.8 Estructura en MySQL

*Fuente: MySQL Workbench*

- Pvc\_empaque: en esta tabla se registrarán los datos de fecha, la hora y la calidad del producto.



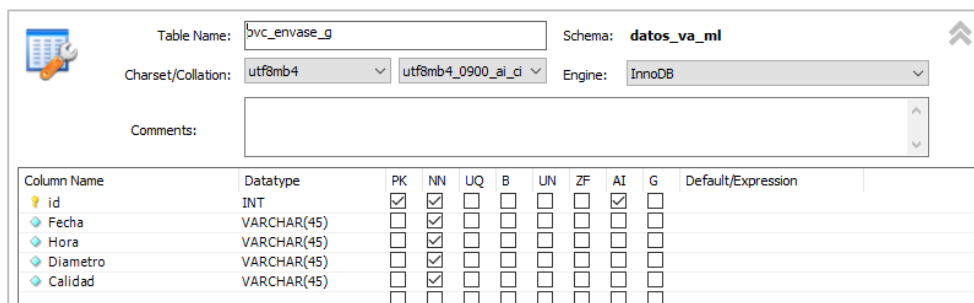
The screenshot shows the table structure for 'pvc\_empaque' in the 'datos\_va\_ml' schema. The table uses the InnoDB engine and utf8mb4 charset. The columns are: id (INT, PK, NN), Fecha (VARCHAR(45), NN), Hora (VARCHAR(45), NN), and Calidad (VARCHAR(45), NN).

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hora	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Calidad	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.9 Tabla de datos pvc\_empaque

*Fuente: MySQL Workbench*

- Pvc\_envase\_g: los datos para la tabla de envases grandes se registrarán son: la fecha, la hora, el diámetro y la calidad (Figura 4.10).



The screenshot shows the table structure for 'pvc\_envase\_g' in the 'datos\_va\_ml' schema. The table uses the InnoDB engine and utf8mb4 charset. The columns are: id (INT, PK, NN), Fecha (VARCHAR(45), NN), Hora (VARCHAR(45), NN), Diametro (VARCHAR(45), NN), and Calidad (VARCHAR(45), NN).

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hora	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Diametro	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Calidad	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.10 Tabla de datos pvc\_envase\_g

*Fuente: MySQL Workbench*

- Pvc\_envase\_p: los datos para la tabla de envases pequeños son: la fecha, la hora, el diámetro y la calidad.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hora	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Diametro	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Calidad	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.11 Tabla de datos pvc\_envase\_p

Fuente: MySQL Workbench

- Pvc\_tub\_codo: para la tabla de los accesorios de tubería se toma en cuenta la clasificación del producto por su uso, por lo que no se requiere dimensiones.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hora	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Producto	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.12 Tabla de datos pvc\_tub\_codo

Fuente: MySQL Workbench

- Pvc\_tub\_union: para la tabla de los accesorios de tubería se toma en cuenta la clasificación del producto por su uso, por lo que no se requiere dimensiones.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hora	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Diametro	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Calidad	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.13 Tabla de datos pvc\_tub\_union

Fuente: MySQL Workbench

- Usuarios\_va\_ml: como se mencionó anteriormente para el registro y acceso de los usuarios se requieren datos como: nick de usuario, nombre y apellido del usuario, el número de documento del usuario y una contraseña para su acceso.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Usuario	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nombre	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Apellido	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DNI	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Contraseña	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.14 Tabla de datos usuarios\_va\_ml

Fuente: MySQL Workbench

#### 4.2.2. Implementación de base de datos Firebase

Cabe resaltar que la base de datos en la nube con la plataforma Firebase es NoSQL, por lo que el servidor estará en constante funcionamiento con conexión a internet, además que esta base de datos en tiempo real se usará como redundancia para el registro de datos, por lo que se crea un nuevo proyecto en la plataforma, la cual se denominó como CCALIDADML.

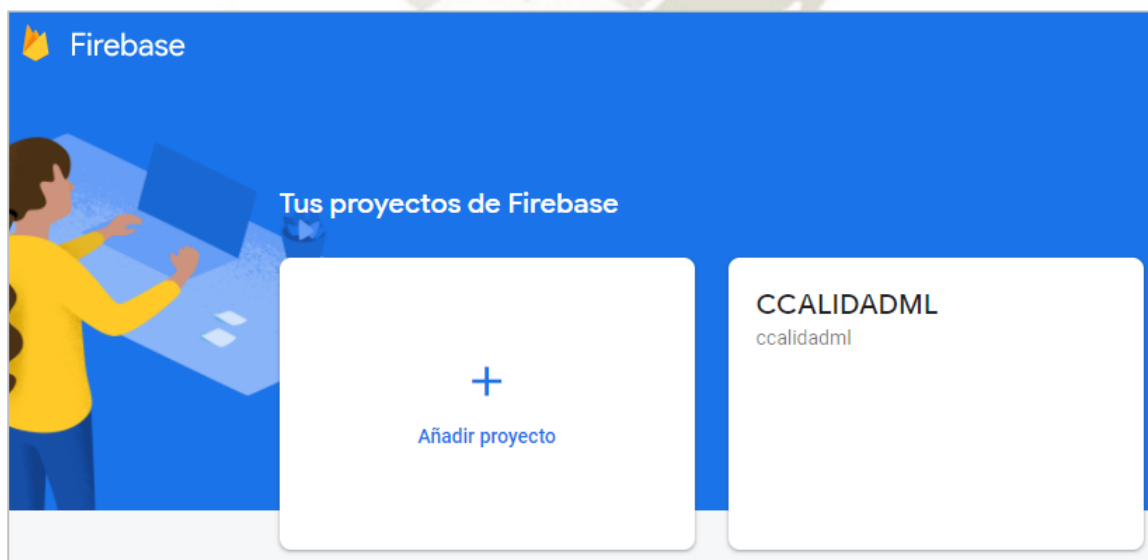


Figura 4.15 Database CCALIDADML

Fuente: Firebase Google

Dentro de este proyecto se realiza la creación de campos con la finalidad de tener la arquitectura similar a MySQL, a diferencia de la base de datos local de MySQL tendremos que crear un campo como contador que vaya incrementando los items de los datos registrados, en la Figura 4.16 se aprecia los campos creados dentro del proyecto como: los contadores de items de los accesorios de PVC, y los campos de datos para cada producto, la cual declaramos como:

- Datos\_empaque: campo de registros para accesorios de PVC de empaques.
- Datos\_envase: campo de registros para accesorios de PVC de envases grandes.
- Datos\_envase\_p: campo de registros para accesorios de PVC de envases pequeños.
- Datos\_tub\_codo: campo de registros para accesorios de PVC de tubería codo.
- Datos\_tub\_union: campo de registros para accesorios de PVC de tubería de unión.
- Usuarios: campo de registros para los usuarios.

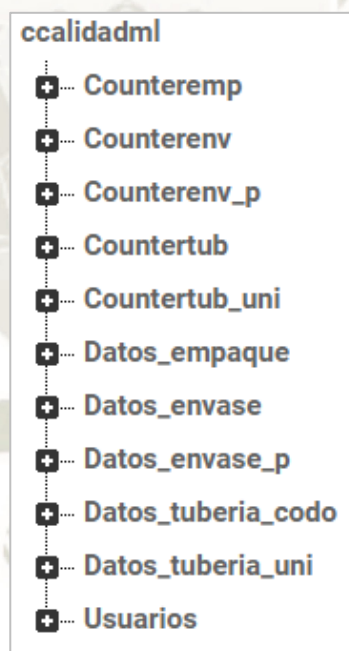


Figura 4.16 Campos de CCALIDADML

*Fuente: Firebase Google*

Para la vinculación del programa desarrollado en visual studio con las bases de datos MySQL y Firebase, se hizo uso de librerías gratuitas ofrecidas por las plataformas, simplemente se realizó la programación de asignación de los datos extraídos para las tablas

y los campos en las bases de datos, cabe resaltar que debemos tener los permisos desde la base local y desde la base en la nube.

#### 4.2.3. Registro e ingreso de usuarios

En la sección 3.2.2 se interpretó el diagrama de la estructura para el registro e ingreso de los usuarios, entonces se realizó la interfaz de manera amigable, por lo que al iniciar el programa nos mostrará los campos de ingresos como el nick de usuario y la contraseña, así como se aprecia en la siguiente Figura 4.17.



Figura 4.17 Ingreso de usuarios

*Fuente: Elaboración propia*

Para el registro de usuario se consideró un botón “Registrar” por lo que nos mostrará la interfaz de registro de la Figura 4.18.



Figura 4.18 Registro de usuarios

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.4. Menú de procesamiento de imágenes y conexión OPC UA

Para poder realizar la comunicación desde visual studio debemos tener el certificado de KEPServerEx para los permisos correspondientes, para la presente tesis se utilizó el modo prueba de tags limitados, puesto que solo usamos once tags para la comunicación del PLC, por lo que no es necesario la comprar una licencia expandida.

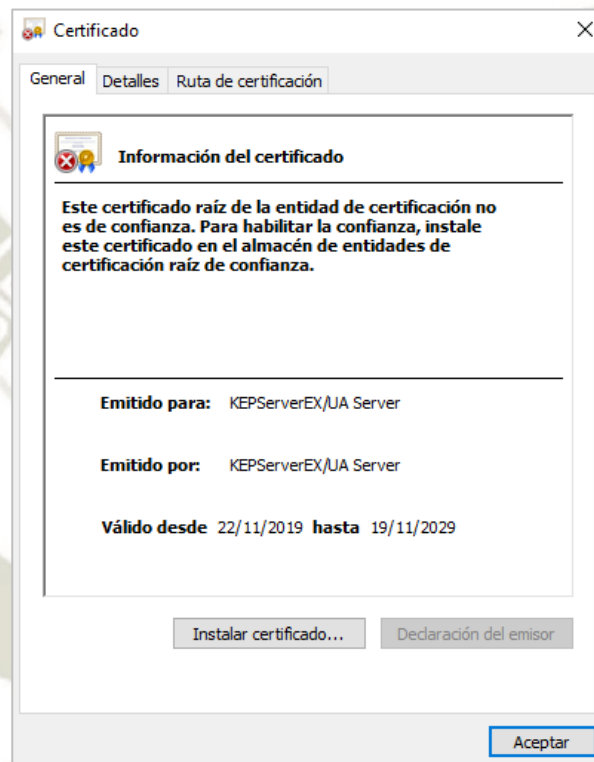


Figura 4.19 Certificado de KEPServerEx

*Fuente: KEPServerEx*

Se crea un nuevo canal para la conectividad, denominada “Siemens\_Logo”, se agrega la configuración correspondiente como el protocolo de comunicación, la dirección IP, el duty cycle, y otros parámetros necesarios para el dispositivo “LOGO8” (Figura 4.20).

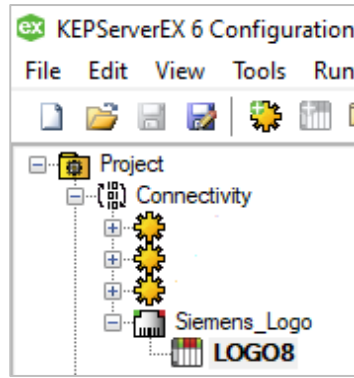


Figura 4.20 Estructura de conectividad KEPServerEx

*Fuente: KEPServerEx*

Consecutivamente se implementa la lista de tags de la tabla 3.8 en el dispositivo “LOGO 8”, agregando las direcciones, el tipo de datos y sus descripciones respectivamente.

Tag Name	Addr...	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
On_LED	Q0.3	Boolean	100	None	Encender Led's de Camara Q4
Start_Motor	Q0.2	Boolean	100	None	Salidad Stat o Stop Faja Q3 KM2
KP1_Piston	Q0.1	Boolean	100	None	Piston Activado Q2
StopLR	Q0.0	Boolean	100	None	Stop Lampara Roja Q1
Verif_Piston	M0.4	Boolean	100	None	Verificacion de Piston M5
Foto_Cam	M0.3	Boolean	100	None	Indicador para tomar foto de Pieza M4 Foto Camara
Start_Scada	M0.2	Boolean	100	None	Inicio de Start Scada Faja M3
Cam_On	M0.1	Boolean	100	None	Camara Encendido de Scada M2
Ind_Calidad	M0.0	Boolean	100	None	Indicador de calidad de pieza M1
S1	I0.1	Boolean	100	None	Sensor Fotoelectronico I2 - I0.1
Select_Auto	I0.0	Boolean	100	None	Señal de Selector Automatico I1

Figura 4.21 Asignación de tags LOGO 8

*Fuente: KEPServerEx*

Desde visual studio debemos validar estos permisos con la librería de OPC UA, la cual ofrece de manera gratuita Foundation OPC, donde nuestro servidor local tendrá la dirección predeterminada “opc.tcp://127.0.0.1:49320”, por consecuente cada vez que se inicie debemos iniciar adecuadamente con los respectivos permisos para el enlace y la comunicación del PLC y el programa desarrollado.

Para establecer la conexión se presiona el botón “Connect”, de forma inmediata el programa pregunta si tiene los permisos correspondientes, si la respuesta es afirmativa de forma automática establece la conexión, así como se muestra la barra inferior y la etiqueta “OPC

UA” de la Figura 4.22 (enmarcado de color rojo), si la respuesta es errada se mostrará un mensaje de conexión no establecida.

Una vez realizada la conexión, se aprecian dos opciones de ingreso a otras vistas de procesamiento de imágenes (Figura 4.22) como son: “accesorios PVC” y “Otras imágenes”.



Figura 4.22 Menú de procesamiento de imágenes y conexión establecida OPC UA

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.5. Aplicación de VA en imágenes de accesorios de PVC

Se consideró principalmente la aplicación de VA en las imágenes antes de realizar la aplicación de K-mean, con la finalidad de optimizar la toma de decisión final, por lo que se aplicó el procesamiento digital con la librería Aforge.NET en los accesorios utilizados, donde cada accesorio tendrá un procesamiento diferente.

```
switch (mode)
{
    case 5:
        Case5 Tubería unión universal
    case 4:
        Case4 Tubería codo
    case 3:
        Case3 Envase Pequeño
    case 2:
        Case2 Envase Grande
    case 1:
        Case1 Empaque
}
```

Figura 4.23 Clasificación de programación de los accesorios

*Fuente: Elaboración propia*

- Para la clasificación de los accesorios de empaque se usa VA, por lo que se clasificaron con respecto al control de calidad de empaques de teflón, considerando a la base este correctamente empaquetados como productos óptimos y las bases incompletas como productos defectuosos, se aplicaron filtros de color, filtros de manchas, filtros para suavizar pixels y filtro de brillo con la finalidad de mitigar el ruido e imperfecciones y resaltar los accesorios analizados.

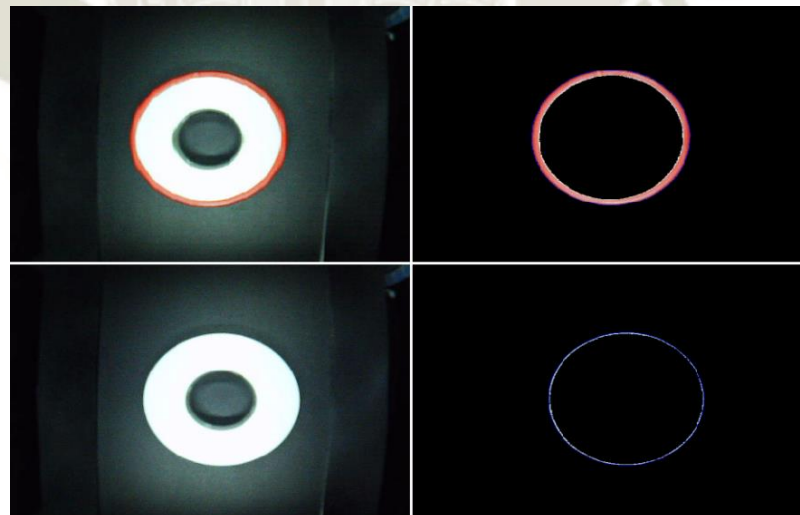


Figura 4.24 VA en accesorios de empaques

*Fuente: Elaboración propia*

- Para la clasificación de calidad en los accesorios de tubería codo se usó solo VA, por lo que se clasificaron por el uso de fabricación en “Producto de Agua” y “Producto de Electricidad”, aplicando filtros de color, filtros de manchas, filtros para suavizar pixels y filtros de brillo para mitigar el ruido e imperfecciones y resaltar los

accesorios analizados, para ambos accesorios se utilizaron la misma metodología, pero con diferentes calibraciones, con la finalidad de realiza la clasificación de los productos.

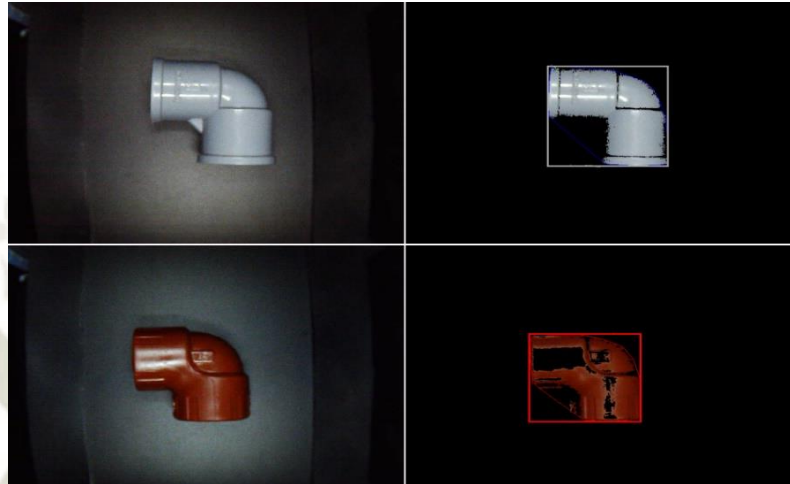


Figura 4.25 VA en accesorios de tuberías codo

*Fuente: Elaboración propia*

- En la clasificación de los accesorios de envases grandes y pequeños se usó VA y ML, por lo que se clasificaron a los envases tapados como producto optimo y los envases sin tapa como productos defectuosos, se aplicaron filtros de color, filtros de manchas, filtros para suavizar pixels, filtro de brillo y filtro de invertir en blanco y negro, con la finalidad de mitigar el ruido e imperfecciones y resaltar el accesorio analizado para el reconocimiento en ML.

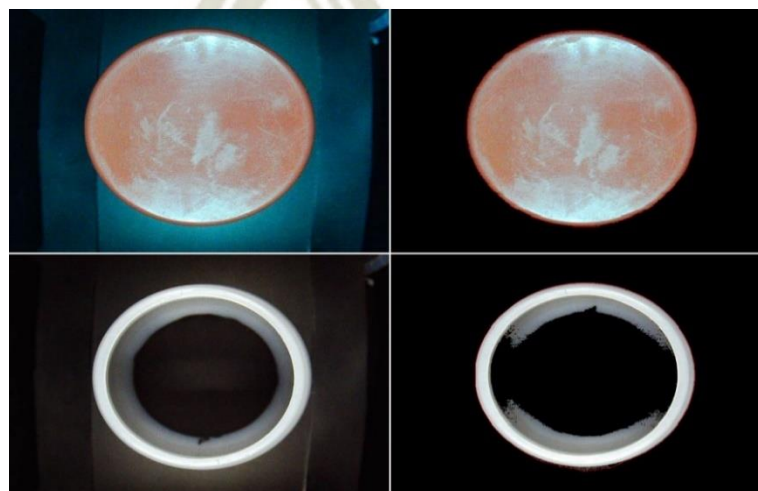


Figura 4.26 VA y ML en accesorios de envases grandes

*Fuente: Elaboración propia*

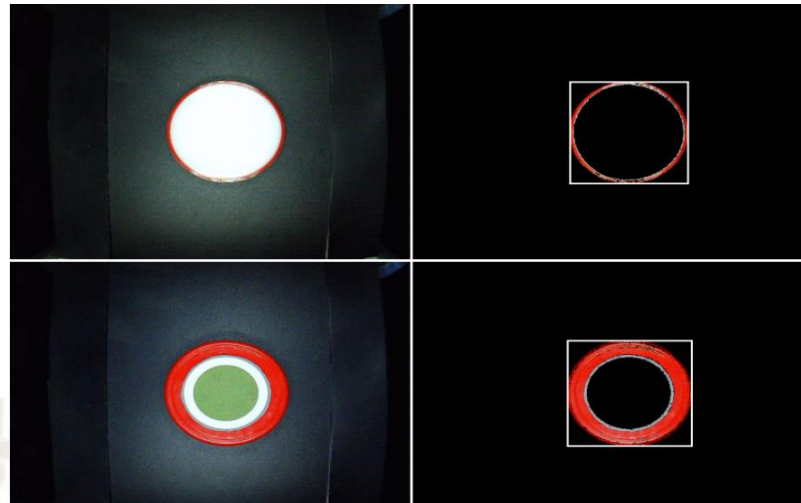


Figura 4.27 VA y ML en accesorios de envases pequeños

*Fuente: Elaboración propia*

- En la clasificación de los accesorios de tubería de unión universal se usó VA y ML, por lo que se clasificaron a los tubos con rosca como producto óptimo y los tubos sin rosca como productos defectuosos, se aplicaron filtros de color, filtros de manchas, filtros para suavizar pixels, filtro de brillo y filtro de invertir en blanco y negro, con la finalidad de mitigar el ruido e imperfecciones y resaltar el accesorio analizado para el reconocimiento en ML.

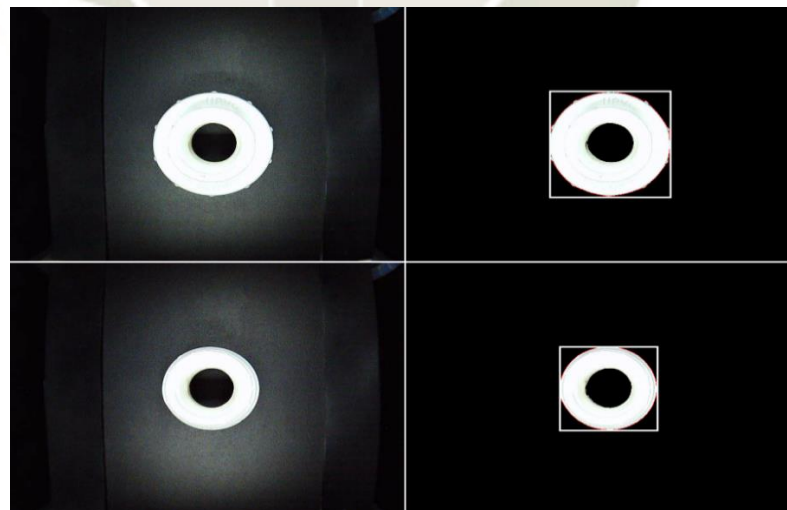


Figura 4.28 VA y ML en accesorios de tubería de unión universal

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.6. Aplicación K-Means ML en imágenes de accesorios de PVC

El aprendizaje mediante K-means está determinado por la captura de datos muestreados, en este caso imágenes de los accesorios analizados, estas imágenes que se muestrearon deben tener aplicados algoritmos de visión artificial mencionados anteriormente, las imágenes capturadas son necesarias para cargar la información al plano de programación en el software desarrollado, por lo que estas imágenes están ubicadas en carpetas, para mantener el orden de clasificación, por lo que la implementación del algoritmo de K-means fue realizada de la siguiente manera:

- Primeramente, se debe seleccionar el accesorio con el cual se va a realizar el control de calidad como pueden ser: “PVC EMPAQUE”, “PVC ENVASE G”, “PVC ENVASE P”, “PVC TUBERIA CODO” o “PVC TUBERIA UNION” (figura 4.28), cabe resaltar que la opción de accesorios de empaque y tubería codo no necesita del análisis de ML.

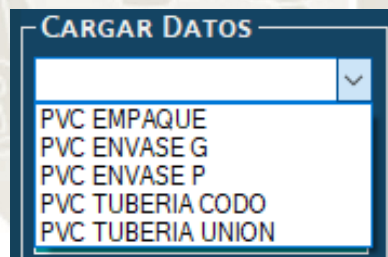
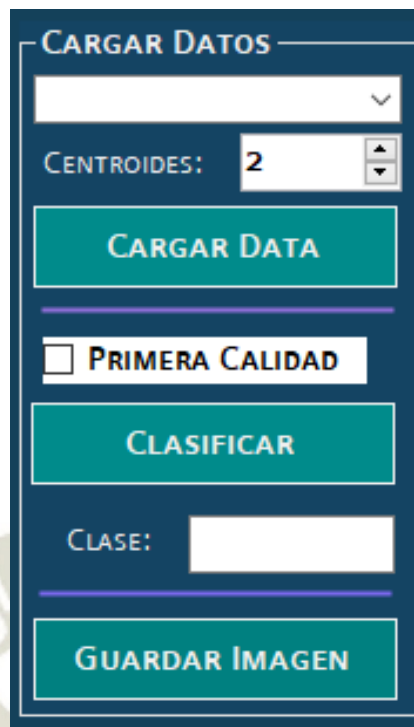


Figura 4.29 Lista de accesorios PVC

*Fuente: Elaboración propia*

- Luego se debe colocar cuantos centroides se requiere para la clasificación de los accesorios, esto definirá el número de clústers en el plano de programación, se procede a cargar los datos del accesorio seleccionado con el botón “Cargar Data” para ser ubicado en el plano de programación y crear el número de clústers definidos.



Panel de datos para ML. El panel tiene un fondo azul oscuro con elementos blancos y verdes. En la parte superior, el título "CARGAR DATOS" está en un recuadro blanco. Debajo hay un menú desplegable blanco. A continuación, el texto "CENTROIDES:" está a la izquierda de un campo de entrada con el número "2" y botones de flecha arriba y abajo. Un botón rectangular verde con el texto "CARGAR DATA" está centrado. Una línea horizontal separa esto de un botón rectangular blanco con un cuadro de selección y el texto "PRIMERA CALIDAD". Otro botón rectangular verde con el texto "CLASIFICAR" está centrado. Debajo, el texto "CLASE:" está a la izquierda de un campo de entrada blanco. Una línea horizontal separa esto del botón rectangular verde con el texto "GUARDAR IMAGEN" en la parte inferior.

Figura 4.30 Panel de datos para ML

*Fuente: Elaboración propia*

- El proceso de cargar data, consiste en recopilar la información de cada imagen de la carpeta seleccionada, por lo que es necesario crear una lista de datos, donde su límite de datos será el número de imágenes que se usarán para cargar la información, esto depende del accesorio seleccionado, con la finalidad de transformar las imágenes en histogramas verticales y horizontales, para ello se aplica un filtro de pixels “blancos y negros” (255,255,255 y 0,0,0 respectivamente), puesto que solo necesitamos los pixels negros, ya que será la información para los datos vectoriales en el conjunto matricial, cabe resaltar que la información de estos vectores son la diferente entre el valor máximo y el valor mínimo de los datos de los histogramas tanto en la parte horizontal como en la parte vertical, estos datos describen la forma de la imagen, por lo que el conjunto matricial será el número de imágenes por los vectores identificados.

```
public double[][] Process(string folderPath)// Abrir lista de imagenes de la carpeta seleccionada
{
    List<double[]> result = new List<double[]>();
    if (!Directory.Exists(folderPath)) return result.ToArray();//la carpeta ha sido creada?
    string[] files = Directory.GetFiles(folderPath,"*.png");// Abrir archivos de tipo PNG
    foreach(string imageFile in files)// Conversión de imagenes a matriz tipo double
    {
        double[] inputArray = ProcessImage(imageFile,null);
        result.Add(inputArray);
    }
    return result.ToArray();//retornar resultado de tipo de array
}
```

Figura 4.31 Lista de imágenes de la carpeta seleccionada

*Fuente: Elaboración propia*

```
public double[] ProcessImage(string ImageFilePath, Bitmap ImageProcessBit)
{ // permite el analisis de las imagenes en la carpeta y el analisis de cada imagen en el cuadro de imagen 2
  List<double> result = new List<double>();
  if (ImageProcessBit == null)// si la imagen es abierta desde una carpeta cumple condición
  {
      using (Bitmap shapeImage = new Bitmap(ImageFilePath))
      { //Uso de la librerías de procesamiento de imagenes a escala de gris, y proceso de blanco y negro
        processed = VMMLib.ImageProcessing.Image.ToGrayscale(shapeImage);
        processed = VMMLib.ImageProcessing.Image.ToBlackAndWhite(processed);
        //Conversión de procesamiento a histogramas vertical y horizontal
        horizontalValues = VMMLib.ImageProcessing.Image.GetHorizontalHistogram(processed);
        verticalValues = VMMLib.ImageProcessing.Image.GetVerticalHistogram(processed);
        result.AddRange(ProcessHistogram(horizontalValues, 10));
        result.AddRange(ProcessHistogram(verticalValues, 10));
        processed.Dispose();
      }
      return result.ToArray();
  }
  else//si la imagen ya esta en array inicia procesamiento
  {
      using (Bitmap shapeImage = new Bitmap(ImageProcessBit))// Conversión de array a mapas de bits
      { //Uso de la librerías de procesamiento de imagenes a escala de gris, y proceso de blanco y negro
        processed = VMMLib.ImageProcessing.Image.ToGrayscale(shapeImage);
        processed = VMMLib.ImageProcessing.Image.ToBlackAndWhite(processed);
        //Conversión de procesamiento a histogramas vertical y horizontal
        horizontalValues = VMMLib.ImageProcessing.Image.GetHorizontalHistogram(processed);
        verticalValues = VMMLib.ImageProcessing.Image.GetVerticalHistogram(processed);
        result.AddRange(ProcessHistogram(horizontalValues, 10));
        result.AddRange(ProcessHistogram(verticalValues, 10));
        processed.Dispose();
      }
      return result.ToArray();
  }
}
```

Figura 4.32 Procesamiento de la lista de imágenes

*Fuente: Elaboración propia*

```
public static int[] GetHorizontalHistogram(Bitmap inputImage)// Datos Black de histograma horizontal
{
    int[] values = new int[inputImage.Width];
    for(int i = 0; i < inputImage.Width; i++)
    {
        int totalBlackPixels = 0;
        //bucle para seleccionar datos diferentes al color blanco
        for(int j = 0; j < inputImage.Height; j++)
        {
            Color pixelColor = inputImage.GetPixel(i, j);
            if (pixelColor.R != 255 && pixelColor.G != 255 && pixelColor.B != 255)
            { totalBlackPixels++; }
        }
        values[i] = totalBlackPixels;
    }
    return values;
}
```

Figura 4.33 Código de programación de histogramas horizontal

*Fuente: Elaboración propia*

```
public static int[] GetVerticalHistogram(Bitmap inputImage) // Datos Black de histograma vertical
{
    int[] values = new int[inputImage.Height];
    for (int i = 0; i < inputImage.Height; i++)
    {
        int totalBlackPixels = 0;
        //bucle para seleccionar datos diferentes al color blanco
        for (int j = 0; j < inputImage.Width; j++)
        {
            Color pixelColor = inputImage.GetPixel(j, i);
            if (pixelColor.R != 255 && pixelColor.G != 255 && pixelColor.B != 255)
            { totalBlackPixels++; }
        }
        values[i] = totalBlackPixels;
    }
    return values;
}
```

Figura 4.34 Código de programación de histogramas vertical

*Fuente: Elaboración propia*

- Consecutivamente los centroides se colocan en posiciones estratégicas, por lo que se realiza un algoritmo para cumplir con su objetivo, donde se comienza a medir la distancia euclidiana desde un centroide hasta cada dato en la matriz, repitiendo cíclicamente este cálculo, y preguntando si su posición debe ser cambiada o debe mantenerse hasta encontrar el punto ideal, puesto que los centroides deben estar posicionados en el centro de cada cluster.

```

public Centroid[] Run(double[][] dataSet) // Ubicación bucle para localización correcta de los centroides
{
    // correcta de los centroides
    centroidList = new List<Centroid>();
    for (int i = 0; i < _k; i++)//Agregar los centroides especificados desde el SCADA
    {
        Centroid centroid = new Centroid(dataSet);
        centroidList.Add(centroid);
    }
    OnUpdateProgress(new KMeansEventArgs(centroidList, dataSet));
    while (true)//inicio de posición de los centroides en los grupos de clasificación
    {
        foreach (Centroid centroid in centroidList)//Reiniciar la ubicación de los centroides
        { centroid.Reset(); }
        //bucle de posicionamiento de los centroides en la mejor ubicación
        for (int i = 0; i < dataSet.GetLength(0); i++)
        {
            double[] point = dataSet[i];
            int closestIndex = -1;
            double minDistance = Double.MaxValue;
            //calculo de distancia euclidiana de los centroides nuevos hasta los datos originales
            for (int k = 0; k < centroidList.Count; k++)
            {
                double distance = _distance.Run(centroidList[k].Array, point);
                if (distance < minDistance)
                {
                    closestIndex = k;
                    minDistance = distance;
                }
            }
            centroidList[closestIndex].addPoint(point);
        }
        //Incorporación de los centroides en movimiento
        foreach (Centroid centroid in centroidList)
            centroid.MoveCentroid();
        OnUpdateProgress(new KMeansEventArgs(centroidList, null));
        //Para cada centroe la ubicación que ha sido cambiada estable la mejor posición

        bool hasChanged = false;
        foreach (Centroid centroid in centroidList)
            if (centroid.HasChanged())
            {
                //si el cambio es correcto termina el bucle
                hasChanged = true;
                break;
            }

            //si el cambio de la posición del centroe aun no es adecuada vuelve hacer el bucle
            if (!hasChanged)
                break;
    }
    return centroidList.ToArray();
}
    
```

Figura 4.35 Ubicación de los centroides en la matriz

*Fuente: Elaboración propia*

- Después de cargar los datos, se indica que producto será nominado como primera calidad o cual será el producto principal, con el botón “Clasificar” se selecciona la imagen principal, por consiguiente, se enciende la cámara para la visualización de los accesorios en los cuadros de imagen.

```

public int Classify(double[] input) // clasificación de medición del nuevo vector
{
    // hasta el centroide
    int closestIndex = -1;
    double minDistance = Double.MaxValue;
    for (int k = 0; k < centroidList.Count; k++)// bucle para el calcula de la distancia del nuevo dato y k
    {
        double distance = _distance.Run(centroidList[k].Array, input);
        if (distance < minDistance)
        {
            closestIndex = k;
            minDistance = distance;
        }
    }
    return closestIndex;
}
    
```

Figura 4.36 clasificación del producto principal

*Fuente: Elaboración propia*

- Con el apoyo de VA se continúa con el análisis de los accesorios que pasarán por la faja transportadora, se debe recopilar información de la imagen capturada y transfórmala en histograma vertical y horizontal, para luego mostrar cómo es que se posicionan esta información en una ventana de manera gráfica (Figura 4.37).



Figura 4.37 Histograma vertical y horizontal con VA y ML

*Fuente: Elaboración propia*

- Finalmente, los histogramas de la Figura 4.37 están ubicados en un plano gráfico, donde el eje “x” e “y” va a depender de la resolución de la cámara, mientras más alta sea la resolución, más información se tendrá que analizar, por lo que las imágenes se trabajaron a una resolución 800 x 600 a 30fps.

El procesamiento de ML en los accesorios de envases y tuberías de unión universal tiene la misma metodología aplicada, por lo que al momento de analizar los tubos de unión universal de ½”, se considera dos cluster para clasificar los productos de buena calidad y defectuosos; para el análisis de las imágenes con ML es necesario calcular la distancia euclidiana, para

ello se desarrolló el algoritmo con la ecuación ( 7 ), con el fin de encontrar una posición más cercana al centroide y al cluster que corresponda, en la Figura 4.38 se aprecian imágenes muestreadas de los accesorios.

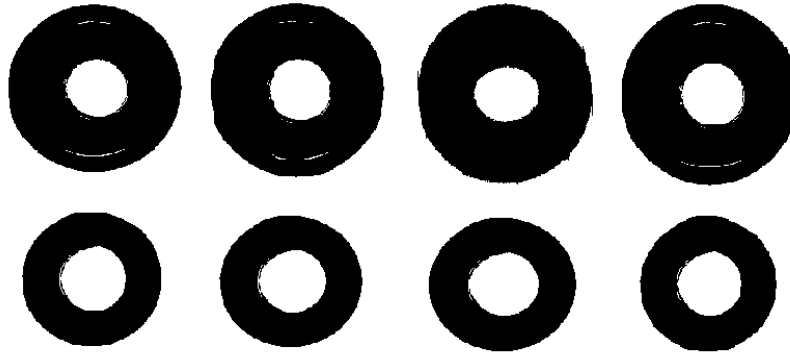


Figura 4.38 Imágenes de unión universal para el procesamiento de ML

*Fuente: Elaboración propia*

Para el estudio de los envases se consideró dos cluster de clasificación, con la finalidad de clasificar los productos de buena y mala calidad, es decir los que están sellados correctamente y los que no están debidamente sellados, para el análisis de las imágenes con ML es necesario su histograma vertical y horizontal, guardando su información en una matriz y calcular la distancia euclidiana hasta su centroide más cercano, para luego ubicarla en el cluster que corresponda, de igual forma se aplicó el algoritmo con respecto a la ecuación ( 7 ), en la Figura 4.39 y Figura 4.40 se aprecian imágenes muestreadas de los accesorios.

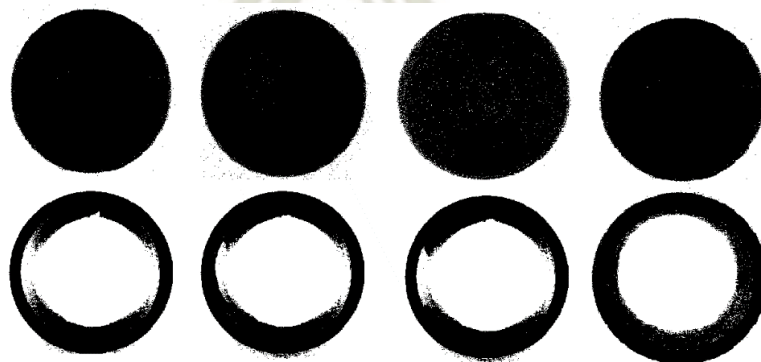


Figura 4.39 Imágenes de envases grandes para el procesamiento de ML

*Fuente: Elaboración propia*

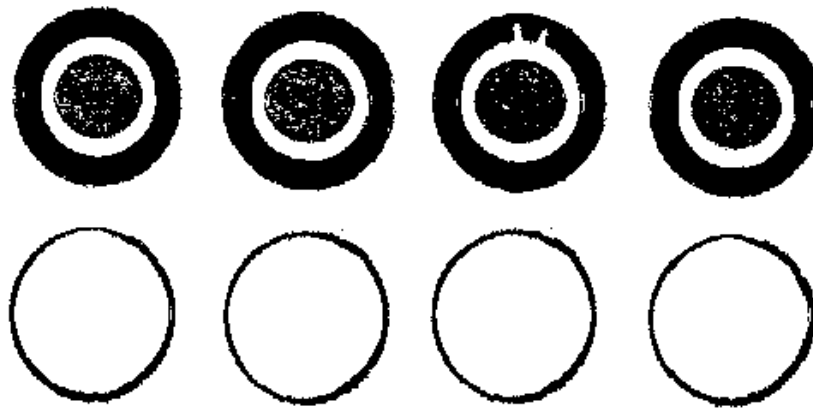


Figura 4.40 Imágenes de envases pequeños para el procesamiento de ML

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.7. Interfaz de visualización SCADA**

Cuando la información de ML está cargada y la cámara encendida, el módulo de la faja transportadora estará habilitada, por lo que los botones de start y stop estarán operativos, cuando se inicie el arranque de la faja transportadora (start) se verá una animación de movimiento del producto y de la faja, pero cuando se pare la faja transportadora (stop), las animaciones también deberán parar (Figura 4.41).

- El indicador de “sensor óptico 1” se encenderá cada vez que el sensor óptico detecte la presencia de algún accesorio, tornándose de color verde.
- El indicador de la “cámara varifocal” estará encendida cuando los cuadros de imagen estén habilitados y cuando la iluminación del módulo este encendido.
- De igual manera para el indicador del “pistón neu. 1” se tornará de color verde cuando la electroválvula neumática este en ejecución.

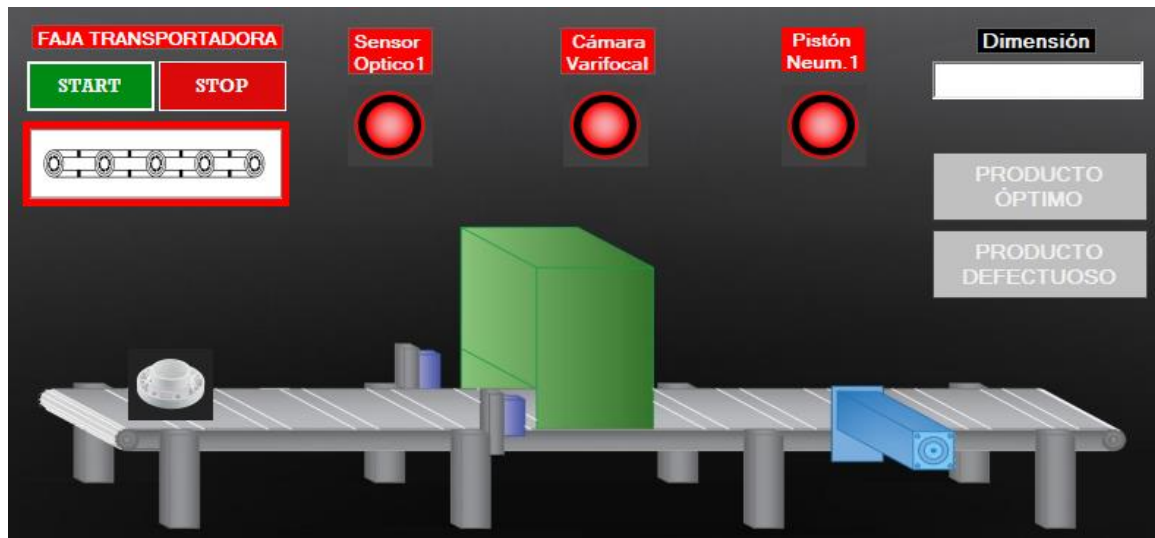


Figura 4.41 SCADA de la faja transportadora

*Fuente: Elaboración propia*

Adicionalmente se apreciará la decisión que tomó el algoritmo en las etiquetas de “producto óptimo” o “producto defectuoso”, además de mostrar la dimensión del diámetro de los accesorios de los envases y los tubos de unión universal.



Figura 4.42 Interfaz de procesamiento de accesorios de PVC

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.8. Tendencia de calidad de productos

Para ingresar a las tendencias de los accesorios analizados, se presiona el botón “tendencia” de la Figura 4.42, donde se aprecia la interfaz de la Figura 4.43, con el fin de poder visualizar los datos analizados por día guardados en la base de datos, para comenzar a visualizar los datos debemos seleccionar el accesorio correspondiente, consecutivamente se importa los datos en la tabla de datos de la parte derecha e inferior de la ventana.



Figura 4.43 Interfaz de tendencia de calidad de accesorios

*Fuente: Elaboración propia*

Se completa el campo de fecha de datos dependiendo de la tendencia de calidad que se desea visualizar, luego se presiona el botón “Verificar Fecha”, donde extraerá todos los datos de esa fecha y realizará el conteo total de los datos, la producción óptima o productos de agua, y la producción defectuosa o productos de electricidad en los campos en blanco como: “Total datos”, “Prod. Óptima” y “Prod. Defect” respectivamente (Figura 4.44).

En el panel de tendencia se aprecia el número de muestreos que se realizó de los accesorios por días, donde el color verde es el número de accesorios óptimos y de rojo los accesorios defectuosos. Otras de las opciones que permite esta venta es la exportación de los datos a un excel, para tener la facilidad de manipular los datos, además de poder exportar la imagen del panel de las tendencias graficas de los accesorios analizados.

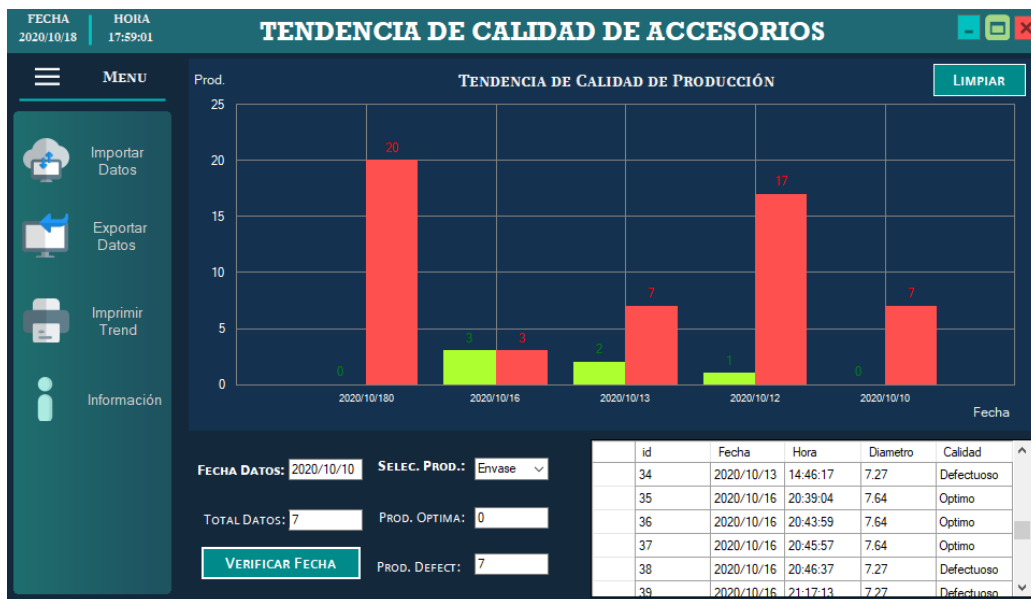


Figura 4.44 Tendencia y datos de accesorios

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.9. Interfaz de otras aplicaciones

En esta interfaz se implementó con la finalidad de poder visualizar que otras aplicaciones se pueden desarrollar con VA y ML, utilizando algunos ejemplos en los que se pueden aplicar como medicamentos, en la medicina, en topografía o en minería.



Figura 4.45 Interfaz de procesamiento de imágenes en otras aplicaciones

Fuente: Elaboración propia

En la industria farmacéutica o de medicamentos el control de calidad para el llenado de tabletas debe ser minuciosamente inspeccionado, en la Figura 4.46 se puede apreciar el

procesamiento de VA en la tableta, resaltando las pastillas que están dentro de su capsula de burbuja de plástico.



Figura 4.46 Procesamiento de tabletas farmacéuticas

*Fuente: Elaboración propia*

En la actualidad se está usando el Deep learning para encontrar enfermedades como cáncer, neumonía, patologías, entre otras, en la Figura 4.47 se puede apreciar una afección florida de neumonía lobar, a través del procesamiento de VA, con una base de datos de tomografías sobre diferentes enfermedades se puede realizar la aplicación de ML para realizar la clasificación mediante clusters con K-means.

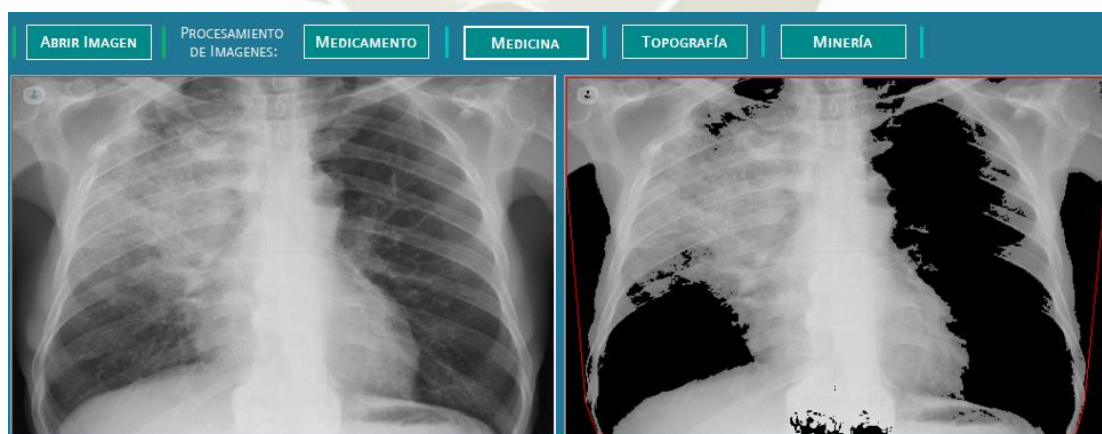


Figura 4.47 Procesamiento de tomografía

*Fuente: Elaboración propia*

Para la medición de áreas o delimitaciones topográfica, se puede realizar la captura desde un dron y realizar el análisis a través del procesamiento de VA, en la Figura 4.48 se aprecia

la delimitación de un terreno agrícola, por lo que se pueden saber sus dimensiones del terreno.



Figura 4.48 Procesamiento de terrenos agrícolas

*Fuente: Elaboración propia*

Uno de los procesos más importantes en minería es la flotación, por lo que actualmente se usan sistemas expertos a través del procesamiento de imágenes para observar las dimensiones y color de las burbujas de flotación, con la finalidad del constante monitoreo y un control automático en su proceso, en la Figura 4.49 se puede apreciar este análisis para percibir las diferentes características de las burbujas.

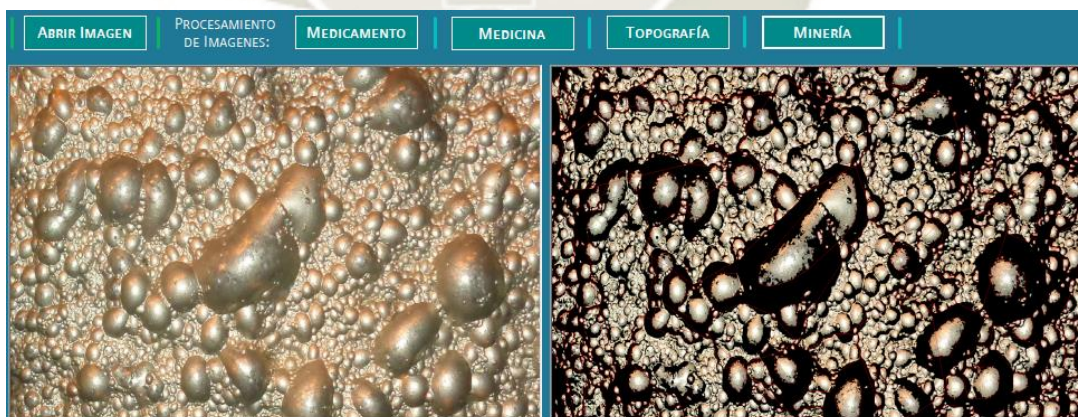


Figura 4.49 Procesamiento de burbujas en flotación

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.10. Programación del PLC

Según las consideraciones de diseño de la sección 3.3.7, se desarrollaron 5 programas para la decisión de clasificación de los accesorios de PVC, los programas tienen la misma lógica, pero con cambios insignificantes en los tiempos de respuesta en los bloques “timer B004 Y B007”, variando los tiempos de acuerdo al análisis y decisión de ML.

La lógica de control del PLC que se programó no tiene mucha complejidad, puesto que se usó el lenguaje de programación de diagrama de bloques, usando la siguiente tabla de asignación de bloques:

Tabla 4.1 Asignación de dirección PLC

E/S/M/T	Dirección LOGO	Descripción
Entradas	I1	Selector automático
	I2	Sensor óptico S1
Salidas	Q1	Lámpara roja stop
	Q2	Electroválvula neumática KP1
	Q3	Start motor de faja transportadora
	Q4	Luz led módulo cámara
Memorias	M1	Indicador para activar pistón
	M2	Activador de luz led módulo
	M3	Activador de faja transportadora
	M4	Indicador de toma de foto
	M5	Verificación de movimiento de pistón
	M6	Memoria auxiliar 1
Timer	B003	R. de conexión para activar KP1
	B004	R. de conexión de detección S1
	B007	R. de conexión para foto cámara
	B012	R. de conexión de verificación KP1

*Fuente: Elaboración propia*

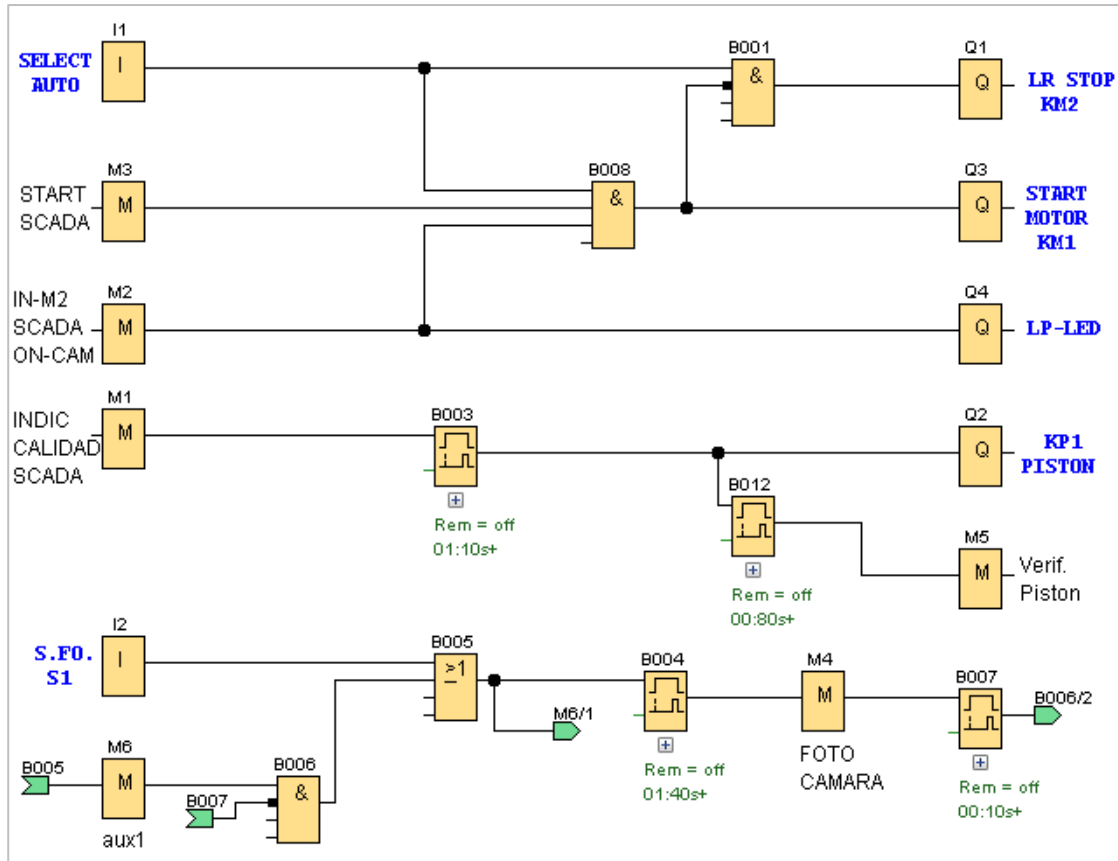


Figura 4.50 Lógica de control diagrama de bloques

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### EVALUACIÓN Y RESULTADOS

#### 5.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA PRUEBAS

##### 5.1.1. Control de calidad de empaque

Las pruebas que se hicieron para la toma de decisión después del análisis de VA en los accesorios de empaque para la clasificación de productos de buena o defectuosa calidad fueron eficientes, observando que si el sensor percibe un objeto mientras la faja transportadora está en funcionamiento, ejecutará el procesamiento de imágenes mediante VA, apreciando en el cuadro de imagen 1 el objeto real y en el cuadro de imagen 2 la imagen procesada, interpretándolo como producto óptimo, demostrando que el empaque está completo.



Figura 5.1 Control de calidad mediante VA en empaques (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

Si el sensor percibe un objeto mientras la faja transportadora está en funcionamiento, y en el cuadro de imagen 2 no se aprecia imagen, el procesamiento de VA lo interpreta producto defectuoso, demostrando que el empaque está incompleto. La tabla de datos de la parte

inferior izquierda, asiste a la historización actual mientras la ventana está operativa, al mismo tiempo la información está siendo almacenada en las bases de datos por si se requiere más información de otras fechas.



Figura 5.2 Control de calidad mediante VA en empaques (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.2. Control de calidad de tubería codo

La toma de decisiones a través de VA en los accesorios de tuberías para la clasificación de productos de agua y electricidad, demostraron ser eficaces por la respuesta rápida del filtro de colores para cada cuadro de imagen, donde el sensor óptico indica el tiempo de reconocimiento de los accesorios, por lo tanto, en el cuadro de imagen 1 se visualiza el tubo codo de agua (Figura 5.3), mientras que en el cuadro de imagen 2 se visualiza el tubo codo de electricidad (Figura 5.4), cabe resaltar que la información de los accesorios se recopilan en la tabla de la parte inferior izquierda y a su vez en las bases de datos.



Figura 5.3 Control de calidad mediante VA en tubo codo para agua

*Fuente: Elaboración propia*



Figura 5.4 Control de calidad mediante VA en tubo codo para electricidad

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.3. Control de calidad de envases

El procesamiento de los envases a través de VA y ML para la clasificación de productos de optima o defectuosa calidad fueron eficientes, observando que si el sensor percibe un objeto mientras la faja transportadora está en funcionamiento, ejecutará el procesamiento de imágenes mediante VA y la aplicación de K-menas a través de ML, en el cuadro de imagen 1 se aprecia el objeto real y en el cuadro de imagen 2 la imagen procesada para la recopilación de información para los datos matriciales, interpretándolo la Figura 5.5 y Figura 5.6 como productos óptimos, demostrando que los envases están correctamente sellados.

Se aprecian histogramas de manera vertical y horizontal del objeto, con la finalidad de poder apreciar mejor la información que entrará a la data matricial, con la cual el programa toma la decisión del cluster que pertenece a través de la distancia euclidiana hasta el centroide más cercano, decidiendo si el producto es óptimo o defectuoso.

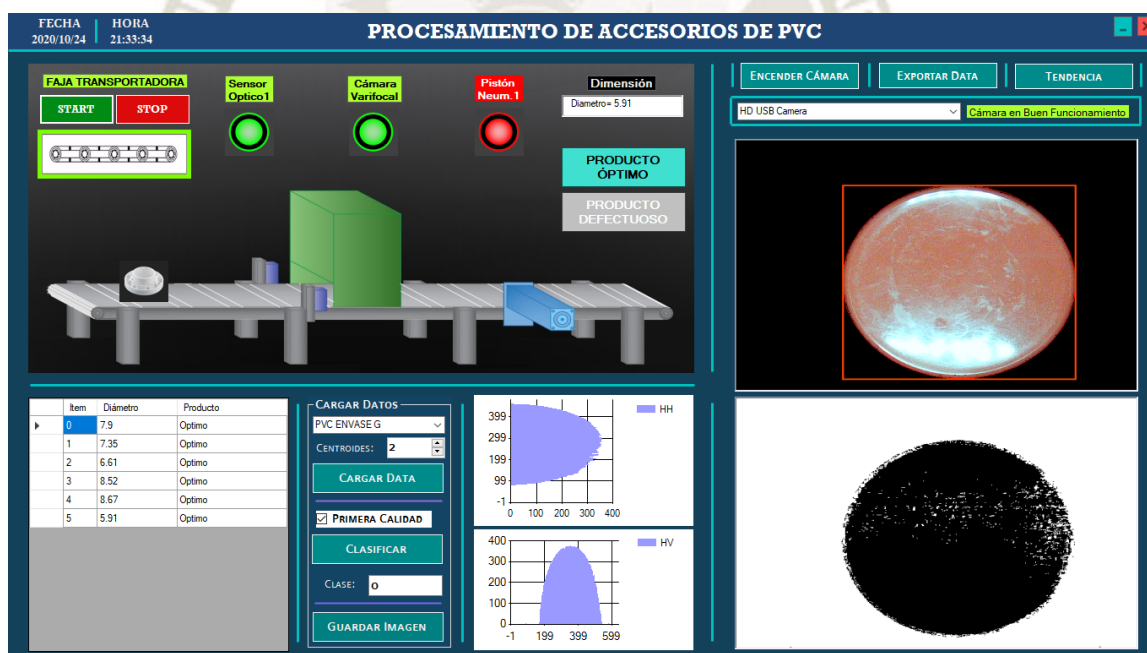


Figura 5.5 Control de calidad mediante VA y ML en envase grande (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

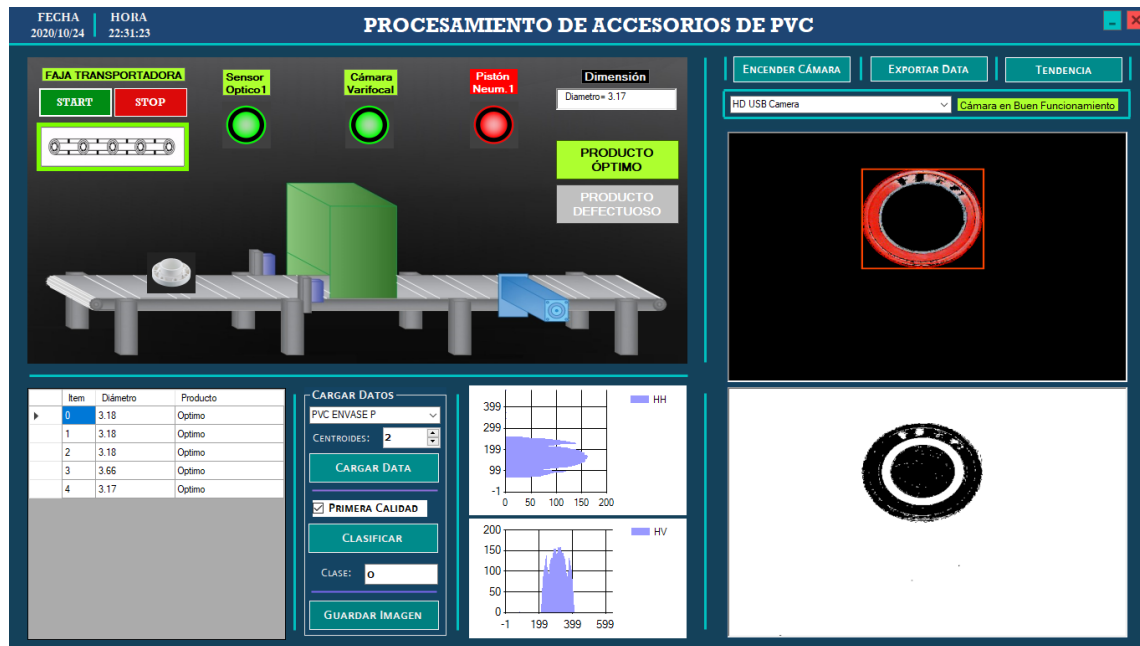


Figura 5.6 Control de calidad mediante VA y ML en envase pequeño (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

En la Figura 5.7 y Figura 5.8 se aprecian los productos defectuosos (envases no sellados).

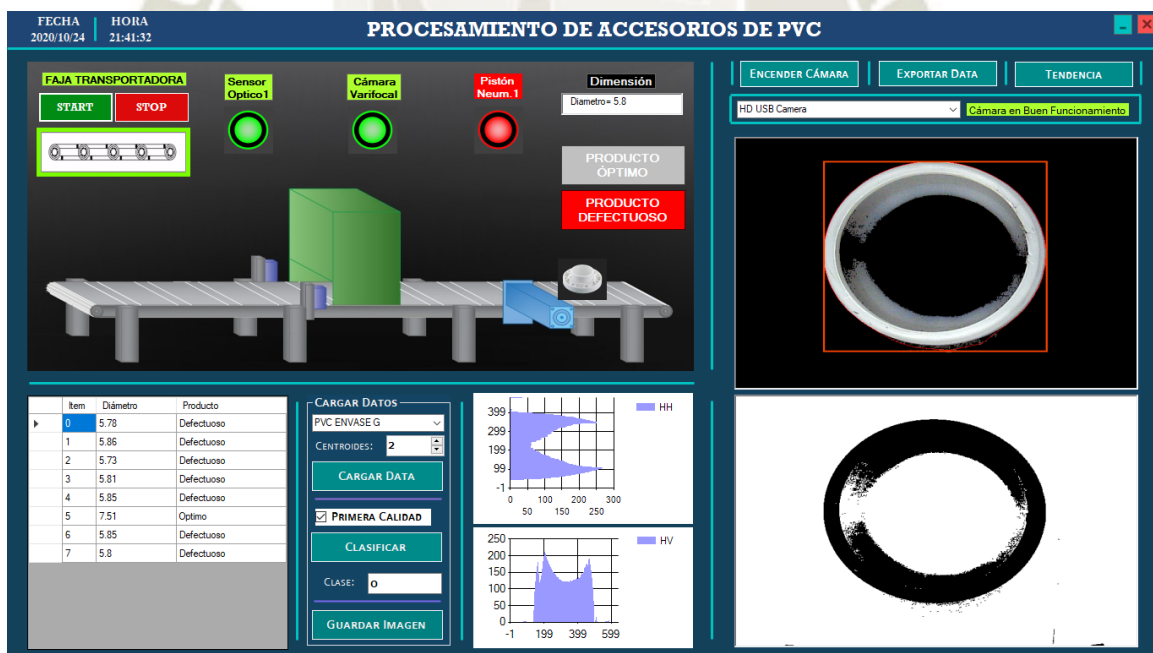


Figura 5.7 Control de calidad mediante VA y ML en envase grande (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

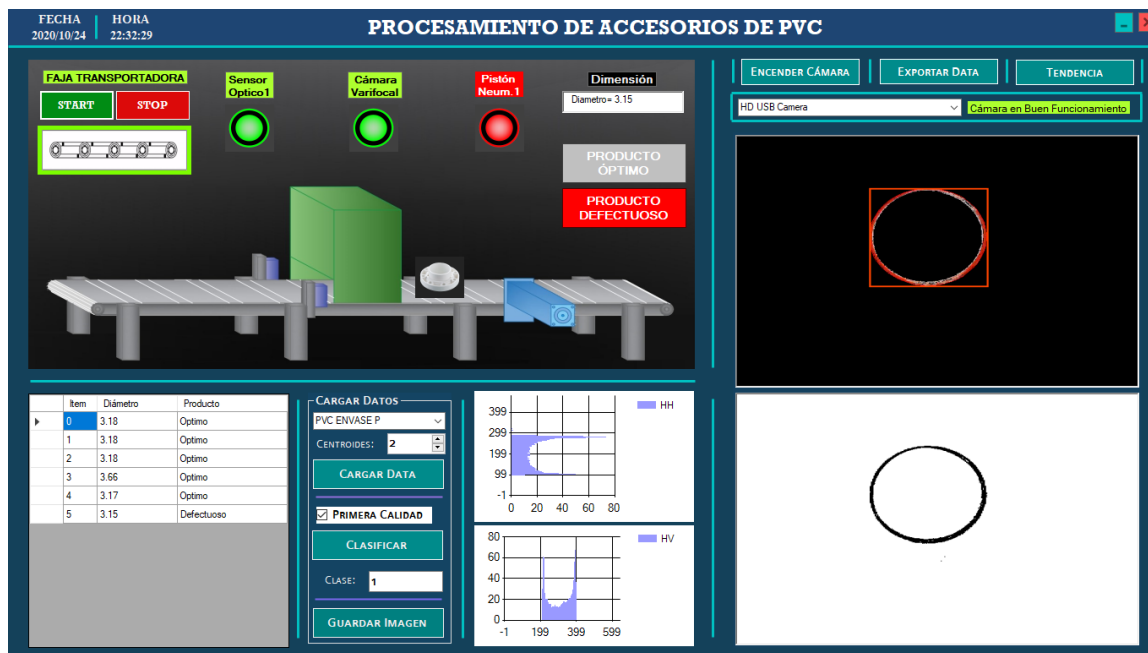


Figura 5.8 Control de calidad mediante VA y ML en envase pequeño (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

#### 5.1.4. Control de calidad de unión de tubería universal

Finalmente, el procesamiento de los tubos de unión universal a través de VA y ML para la clasificación de productos de optima o defectuosa calidad fue eficaz, una vez que el sensor percibe un objeto mientras la faja transportadora está en funcionamiento, ejecutará el procesamiento de imágenes mediante VA y la aplicación de K-menas a través de ML, en el cuadro de imagen 1 se aprecia el objeto real y en el cuadro de imagen 2 la imagen procesada para la recopilación de información para los datos matriciales, interpretándolo la Figura 5.9 como producto óptimo.

A diferencia de los otros productos se aprecia que el tubo no contiene colores, por lo que para apreciar su calidad es necesario un análisis detallado de ML, donde los histogramas permiten ver mejor la información que entra a la data matricial, con la cual el programa toma la decisión del cluster que pertenece a través de la distancia euclidiana hasta el centroide más cercano, en la Figura 5.10 se aprecia la diferencia de información que gracias al histograma se percibe las diferencias del objeto, sin la necesidad de los colores.

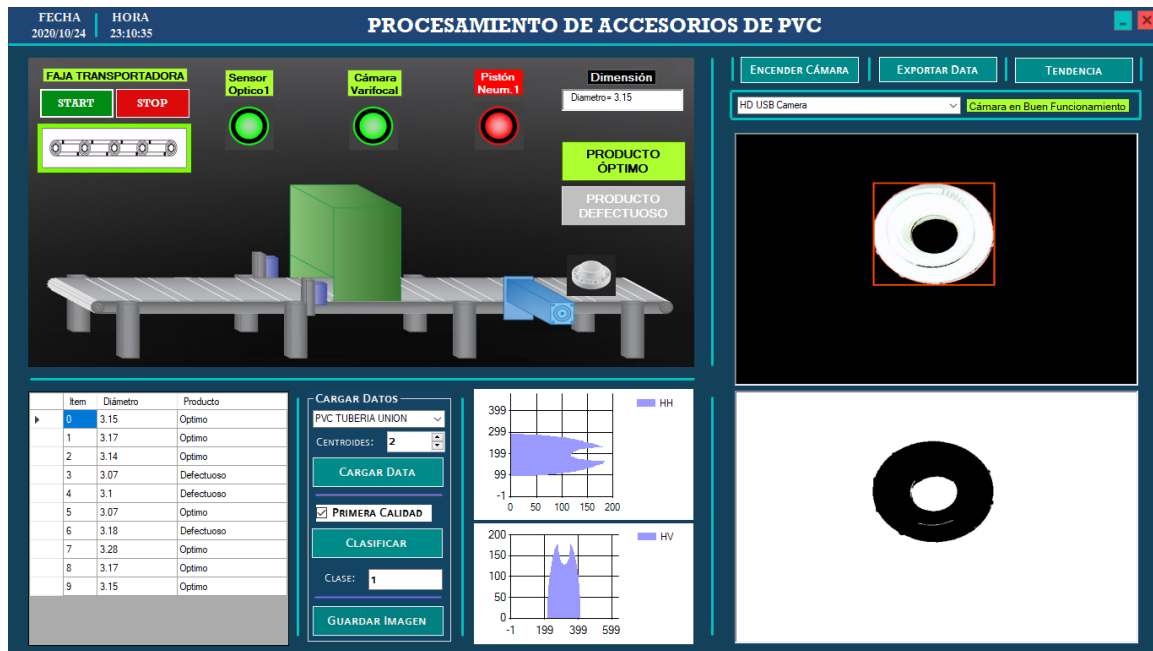


Figura 5.9 Control de calidad mediante VA y ML en tubería de unión universal (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

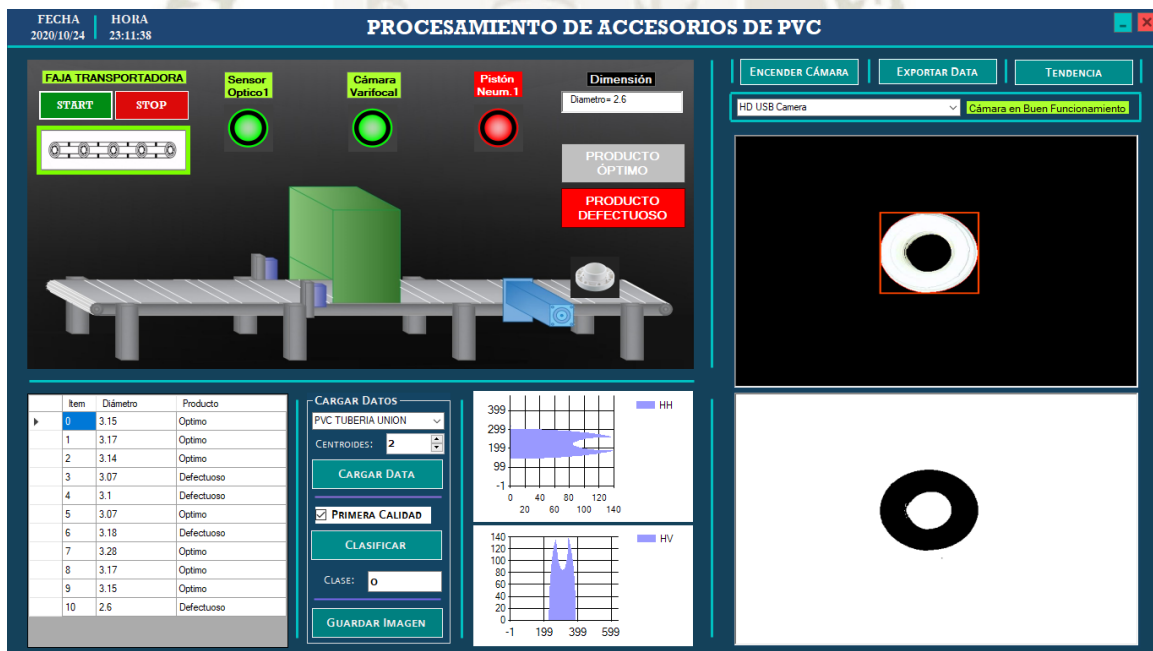


Figura 5.10 Control de calidad mediante VA y ML en tubería de unión universal (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

## 5.2. RESULTADOS DE COMPARACIÓN Y CONFIABILIDAD

### 5.2.1. Comparación de dimensiones de los accesorios

La cámara esta calibrada a una distancia en relación a los tamaños de los accesorios utilizados por los que todos están dentro de la visión de la lente, por lo que las dimensiones del programa desarrollado tienen que dar como resultado semejante a las medidas que se recopilaron con un vernier digital.

- Se muestrearon los diez envases grandes de 175ml debidamente sellados, dando como resultado los siguientes datos que se muestran en la Figura 5.11, estos datos fueron recopilados a través del procesamiento de VA y ML, asimismo se aprecia la magnitud del vernier digital, interpretando este dato como un promedio de los datos medidos en los envases, y viendo que la medida capturada a través del procesamiento y el vernier son semejantes con un porcentaje de error promedio de 0.60 %, a pesar de que la escala es en milimétrica.

Item	Diámetro mm	Producto
0	62.56	Optimo
1	62.39	Optimo
2	63.25	Optimo
3	63.08	Optimo
4	62.91	Optimo
5	62.22	Optimo
6	62.22	Optimo
7	62.39	Optimo
8	63.42	Optimo
9	63.08	Optimo



Figura 5.11 Comparación de medidas en envases grandes (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

De igual manera se tomaron las medidas de los diez envases sin su tapa para realizar la medición con el procesamiento mediante VA y ML, dando como resultando un valor semejante al vernier digital con un porcentaje de error promedio de 0.26 %,

Item	Diámetro mm	Producto
0	60.17	Defectuoso
1	60.17	Defectuoso
2	60.51	Defectuoso
3	60.17	Defectuoso
4	60.68	Defectuoso
5	60.17	Defectuoso
6	59.83	Defectuoso
7	60.51	Defectuoso
8	60.51	Defectuoso
9	60.51	Defectuoso



Figura 5.12 Comparación de medidas en envases grandes (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

- Se realizaron las mediciones a diez envases pequeños de 16ml debidamente sellados, dando como resultado los siguientes datos que se muestran en la Figura 5.13, estos datos fueron recopilados a través del procesamiento de VA y ML, asimismo se aprecia la magnitud del vernier digital, interpretando este dato como un promedio de los datos medidos de los envases pequeños, además de observar que la medida capturada a través del procesamiento y el vernier son semejantes con una ligera varianza y un porcentaje de error promedio de 0.17 % ,

La diferencia de los envases pequeños sin tapa con los envases sellados es de 2.1 mm, interpretando la precisión que tiene con los datos de su lista (Figura 5.14), la variación de medidas es mínima con porcentaje de error promedio de 0.25 % ,

	Item	Diámetro mm	Producto
▶	0	46.99	Optimo
	1	47.23	Optimo
	2	46.75	Optimo
	3	46.99	Optimo
	4	46.99	Optimo
	5	46.99	Optimo
	6	46.99	Optimo
	7	46.99	Optimo
	8	46.75	Optimo
	9	46.99	Optimo



Figura 5.13 Comparación de medidas en envases pequeños (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

	Item	Diámetro mm	Producto
▶	0	44.82	Defectuoso
	1	44.82	Defectuoso
	2	44.82	Defectuoso
	3	44.82	Defectuoso
	4	45.06	Defectuoso
	5	45.06	Defectuoso
	6	44.82	Defectuoso
	7	45.06	Defectuoso
	8	45.06	Defectuoso
	9	44.82	Defectuoso



Figura 5.14 Comparación de medidas en envases pequeños (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

- Se realizaron las mediciones a diez uniones universal de tubería de  $\frac{1}{2}$ "", dando como resultado los siguientes datos que se muestran en la Figura 5.15, estos datos fueron recopilados a través del procesamiento de VA y ML, asimismo se aprecia la magnitud del vernier digital, interpretando este dato como un promedio de los datos medidos en las uniones, además la medida capturada a través del procesamiento y el vernier son semejantes con una ligera varianza y un porcentaje de error promedio de 0.39 %.



Figura 5.15 Comparación de medidas en unión universal de tuberías (producto óptimo)

*Fuente: Elaboración propia*

En la Figura 5.16 se aprecia que la unión no contiene su rosca tomando este factor como producto defectuoso, además de que los resultados son muy asertivos con un porcentaje de error promedio de 0.24 %,



Figura 5.16 Comparación de medidas en unión universal de tuberías (producto defectuoso)

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.2. Incertidumbre y confiabilidad del procesamiento

Los resultados en la tabla 5.1 expresa cinco productos de calidad óptima y cinco de calidad defectuosa, a través de la clasificación manual, es decir clasificado por la vista humana, de modo que el software da como resultado la misma clasificación, por lo tanto, los aciertos son eficientes, teniendo como respuesta el 100% de confiabilidad para la selección óptima y defectuosa de los accesorios de empaques de PVC, mediante el procesamiento de imágenes de VA.

Tabla 5.1 Resultados de confiabilidad – Empaques de PVC

N° Ítem	Clasificación Manual	Clasificación por Software	Acierto
1	Prod. óptima	Prod. óptima	1
2	Prod. óptima	Prod. óptima	1
3	Prod. óptima	Prod. óptima	1
4	Prod. óptima	Prod. óptima	1
5	Prod. óptima	Prod. óptima	1
6	Prod. defectuosa	Prod. defectuosa	1
7	Prod. defectuosa	Prod. defectuosa	1
8	Prod. defectuosa	Prod. defectuosa	1
9	Prod. defectuosa	Prod. defectuosa	1
10	Prod. defectuosa	Prod. defectuosa	1
% Confiabilidad			100%

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados en la tabla 5.2 expresa cinco productos de agua y cinco de electricidad a través de la clasificación manual, de modo que el software da como resultado la misma clasificación, por lo tanto, los aciertos son eficientes, teniendo como respuesta el 100% de confiabilidad para la selección de productos de agua y de electricidad de los accesorios de tubos codo de PVC, mediante el procesamiento de imágenes de VA.

Tabla 5.2 Resultados de confiabilidad – tubos codo de PVC

N° Ítem	Clasificación Manual	Clasificación por Software	Acierto
1	Prod. de agua	Prod. de agua	1
2	Prod. de agua	Prod. de agua	1
3	Prod. de agua	Prod. de agua	1
4	Prod. de agua	Prod. de agua	1
5	Prod. de agua	Prod. de agua	1
6	Prod. de electricidad	Prod. de electricidad	1
7	Prod. de electricidad	Prod. de electricidad	1
8	Prod. de electricidad	Prod. de electricidad	1
9	Prod. de electricidad	Prod. de electricidad	1
10	Prod. de electricidad	Prod. de electricidad	1
% Confiabilidad			100%

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados en la tabla 5.3 se observa las dimensiones reales de diez productos de envases grandes completamente cerrados y diez productos sin tapa (calidad óptima y defectuosa respectivamente), de modo que el software realiza la medición a través de pixels, por lo que se realiza la conversión con una simple ecuación matemática.

En la sección de producción óptima cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, dado que las dimensiones realizadas son en milímetros, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.45$ , además de que los resultados el software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100%. De igual manera para la producción defectuosa cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.32$ , además de que los resultados el software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100% en la clasificación envases grandes de PVC, mediante el procesamiento de imágenes de VA y ML.

Tabla 5.3 Resultados de confiabilidad – envases grandes de PVC

N° Ítem	Producción Óptima				Producción Defectuoso			
	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto
1	62.7	62.56	0.14	1	60.5	60.17	0.33	1
2	62.7	62.39	0.31	1	60.5	60.17	0.33	1
3	62.7	63.25	0.55	1	60.5	60.51	0.01	1
4	62.7	63.08	0.38	1	60.5	60.17	0.33	1
5	62.7	62.91	0.21	1	60.5	60.68	0.18	1
6	62.7	62.22	0.48	1	60.5	60.17	0.33	1
7	62.7	62.22	0.48	1	60.5	59.83	0.67	1
8	62.7	62.39	0.31	1	60.5	60.51	0.01	1
9	62.7	63.42	0.72	1	60.5	60.51	0.01	1
10	62.7	63.08	0.38	1	60.5	60.51	0.01	1
Incert.	0.45	% Conf.	100%	Incert.	0.32	% Conf.	100%	

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados en la tabla 5.4 se observa las dimensiones reales de diez productos de envases pequeños completamente cerrados y diez productos sin tapa (calidad óptima y defectuosa respectivamente), de modo que el software realiza la medición a través de pixels, por lo que se realiza la conversión con una simple ecuación matemática.

En la sección de producción óptima cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, las dimensiones realizadas son en milímetros, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.14$ , además de que los resultados del software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100%. De igual manera para la producción defectuosa cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.13$ , además de que los resultados el software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100% en la clasificación envases pequeños de PVC, mediante el procesamiento de imágenes de VA y ML.

Tabla 5.4 Resultados de confiabilidad – envases pequeños de PVC

N° Ítem	Producción Óptima				Producción Defectuoso			
	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto
1	47.0	46.99	0.01	1	44.9	44.82	0.08	1
2	47.0	47.23	0.23	1	44.9	44.82	0.08	1
3	47.0	46.75	0.25	1	44.9	44.82	0.08	1
4	47.0	46.99	0.01	1	44.9	44.82	0.08	1
5	47.0	46.99	0.01	1	44.9	45.06	0.16	1
6	47.0	46.99	0.01	1	44.9	45.06	0.16	1
7	47.0	46.99	0.01	1	44.9	44.82	0.08	1
8	47.0	46.99	0.01	1	44.9	45.06	0.16	1
9	47.0	46.75	0.25	1	44.9	45.06	0.16	1
10	47.0	46.99	0.01	1	44.9	44.82	0.08	1
Incert.	0.14	% Conf.	100%	Incert.	0.13	% Conf.	100%	

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados en la tabla 5.5 se observa las dimensiones reales de diez productos de unión universal de tubería de ½” con rosca y diez productos sin rosca (calidad óptima y defectuosa respectivamente), de modo que el software realiza la medición a través de pixels, por lo que se realiza la conversión con una simple ecuación matemática.

En la sección de producción óptima cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, dado que las dimensiones realizadas son en milímetros, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.25$ , además de que los resultados el software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100%. De igual manera para la producción defectuosa cada resultado de dimensión del software tiene un margen de error significativo con respecto al valor real, por lo que la incertidumbre es de  $\pm 0.16$ , por ende, los resultados el software son asertivos para la clasificación de calidad, donde la confiabilidad de respuesta es del 100% en la clasificación de unión universal de tubería de ½” de PVC, mediante el procesamiento de imágenes de VA y ML.

Tabla 5.5 Resultados de confiabilidad – unión universal de tuberías de PVC

N° Ítem	Producción Óptima				Producción Defectuoso			
	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto	Dim. Real (mm)	Dim. Imagen (mm)	error (mm)	Acierto
1	41.4	41.2	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
2	41.4	41.2	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
3	41.4	41.2	0.20	1	33.4	33	0.40	1
4	41.4	40.9	0.50	1	33.4	33.4	0.00	1
5	41.4	41.2	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
6	41.4	41.6	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
7	41.4	41.6	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
8	41.4	41.4	0.00	1	33.4	33.2	0.20	1
9	41.4	41.2	0.20	1	33.4	33.4	0.00	1
10	41.4	41.6	0.20	1	33.4	33.2	0.20	1
Incert.	0.25	% Conf.	100%	Incert.	0.16	% Conf.	100%	

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico en la presente investigación está basado en la inversión que se realizó con la fabricación estructural, los componentes adquiridos y la inversión de tiempo en horas hombre.

Tabla 5.6 Análisis económico de estructura de soporte

Item	Descripción	P. Uni.	Uni.	P. Total
1	Faja transportadora vulcanizada de 10cm con desarrollo de 210cm	S/ 108.00	1	S/ 108.00
2	Estructura de soporte de aluminio de faja transportadora y polines	S/ 1'100.00	1	S/ 1'100.00
3	Estructura de soporte metálico para el prototipo	S/ 380.00	1	S/ 380.00
4	Estructura del módulo de la cámara	S/ 180.00	1	S/ 180.00
Total:				S/ 1'768.00

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 5.7 Análisis económico de componentes adquiridos

Item	Descripción	P. Uni.	Uni.	P. Total
1	Fuente de 220VAC a 24VDC 5A	S/ 45.00	1	S/ 45.00
2	Fuente de 220VAC a 12VDC 5A	S/ 30.00	1	S/ 30.00
3	Cámara ELP Sensor Aptina 1080 30fps 5MP	S/ 229.60	1	S/ 229.60
4	Iluminación Led 12V	S/ 7.00	2	S/ 14.00
5	LOGO 8 6ED1052-1CC08-0BA0	S/ 500.00	1	S/ 500.00
6	Sensor Fotoeléctrico	S/ 69.98	1	S/ 69.98
7	Pistón neumático doble efecto	S/ 50.00	1	S/ 50.00
8	Electroválvula neumática	S/ 95.00	1	S/ 95.00
9	Manguera de presión	S/ 5.00	1	S/ 5.00
10	Compresora	S/ 370.00	1	S/ 370.00
11	Motor 24VDC	S/ 40.00	1	S/ 40.00
12	Relay 24V 2NANC + Sócalo	S/ 30.00	3	S/ 90.00
13	Interruptor General 2P 10A	S/ 30.00	1	S/ 30.00
14	Lampara Piloto Verde/Rojo	S/ 14.00	1	S/ 14.00
15	Pulsador Verde/Rojo	S/ 4.50	2	S/ 9.00
16	Botón de Emergencia	S/ 10.00	1	S/ 10.00
17	Portafusibles + fusible	S/ 14.00	4	S/ 56.00
18	Borneras 2.5mm	S/ 1.50	30	S/ 45.00
19	Canaleta Ranurada 40x40 2m	S/ 9.00	2	S/ 18.00
20	Pines	S/ 12.00	1	S/ 12.00
21	Prensa Terminal	S/ 65.00	1	S/ 65.00
22	Riel din	S/ 12.00	1	S/ 12.00
23	Cables, cintillos, espiral, otros	S/ 300.00	1	S/ 300.00
Total:				S/ 2'034.58

*Fuente: Elaboración propia*

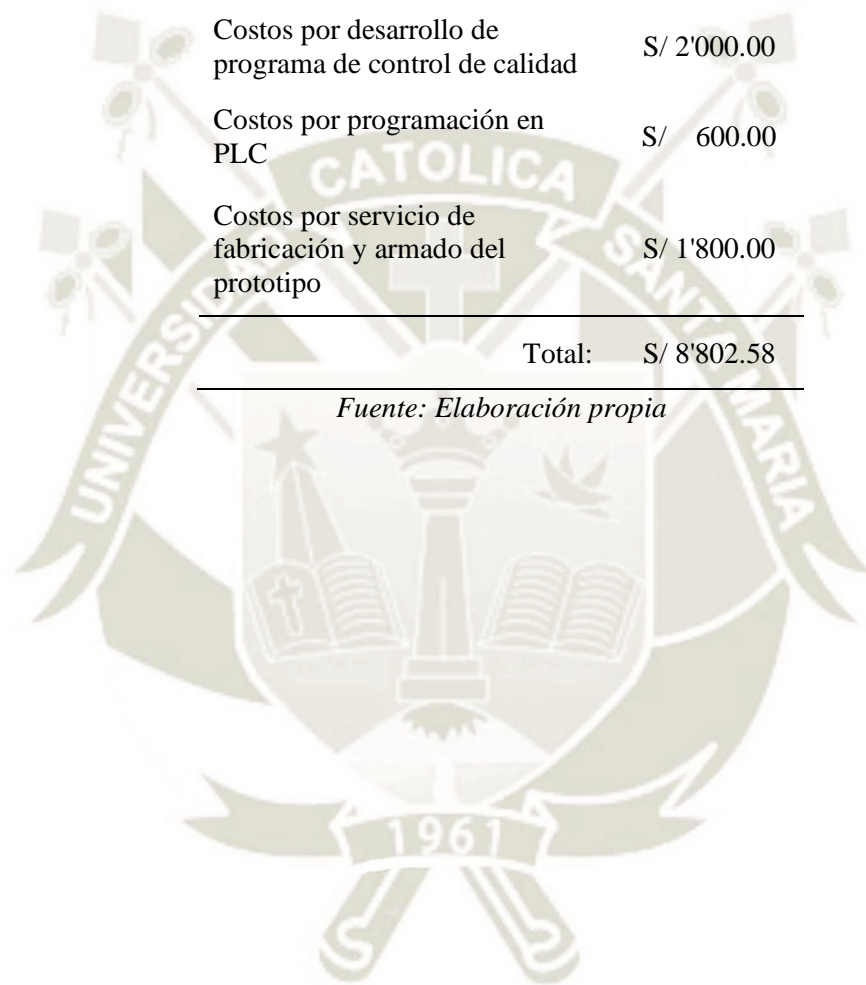
A estos gastos mencionados se les considera las horas de trabajo la cual se interpreta en la instalación y el cableado de los dispositivos, además de la calibración e implementación completa del prototipo,

En la Tabla 5.8 se realizó el análisis total de costos del diseño e implementación del prototipo.

Tabla 5.8 Análisis de costo total del prototipo

Descripción	Costos
Estructura de soporte	S/ 1'768.00
Componentes adquiridos	S/ 2'034.58
Costos por diseño de planos eléctricos y estructurales	S/ 600.00
Costos por desarrollo de programa de control de calidad	S/ 2'000.00
Costos por programación en PLC	S/ 600.00
Costos por servicio de fabricación y armado del prototipo	S/ 1'800.00
Total:	S/ 8'802.58

*Fuente: Elaboración propia*



## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un correcto sistema para la clasificación de accesorios de PVC, capaz de identificar la calidad y el tipo de producto con respecto al accesorio, además de obtener las medidas sin tener contacto con ellas, a través de visión artificial y machine learning.
2. Se realizó satisfactoriamente la implementación del prototipo para la clasificación, a través de la toma de decisiones del software y el PLC, contemplando un correcto funcionamiento de la faja transportadora, el módulo de la cámara, los sensores y actuadores.
3. El uso de las librerías de visión artificial de Aforge.NET demostraron ser eficientes para el procesamiento de video, capaz de reconocer los tubos codo, tubos de unión universal y envases pequeños dentro del rango de visión de la cámara, excluyendo el uso del sensor óptico en esta operación, cabe resaltar que la faja transportadora desplaza los accesorios a 0.10m/s, siendo este el límite de velocidad de movimiento para apreciar el procesamiento.
4. La aplicación del algoritmo de ML favorece en el análisis de procesamiento, puesto que realiza la verificación de la forma de los accesorios la cual, si se desea observar a detalle otras características defectuosas como rupturas, fisuras y otras observaciones durante el control de calidad, se puede añadir dicho algoritmo de programación.
5. Se desarrolló la comunicación mediante OPC UA con el PLC y el SCADA del software desarrollado, con los respectivos permisos de KEPServerEx y visual studio, permitiendo la visualización en el SCADA la ejecución en tiempo real de la faja transportadora, la luz led, los sensores y actuadores del prototipo.
6. La calibración de la iluminación que se realizó de manera experimental utilizando el método de iluminación lateral, cumplió el requerimiento establecido por lo que solo fue necesario un total de 216 lúmenes para iluminar a  $0.010\text{m}^3$  del módulo de la

cámara, además es necesario tener esta intensidad de iluminación para evitar problemas de análisis con los algoritmos.

7. Se implementó algoritmos de programación en Visual Studio con la técnica de aprendizaje no supervisado por medio de clustering y K-means para la manipulación e interrelación de los histogramas y datos matriciales, con el propósito de optimizar la clasificación de los envases pequeños de 16ml, envases grandes de 175ml y los tubos de unión universal de ½”.
8. El número de centroides por clustering y K-means puede determinar la cantidad de clasificación de los productos, dependiendo de sus diferentes cualidades, por lo que en la presente investigación solo se usó dos centroides para la clasificación de productos de óptima y defectuosa calidad.
9. El porcentaje de error promedio absoluto de las mediciones que se realizaron para los envases y los tubos de unión universal de ½” no superan el 0.60%, además de que la incertidumbre no excede a  $\pm 0.45$  en escala milimétrica, asimismo los resultados de clasificación fueron exitosos, obteniendo 50 de 50 aciertos, teniendo así el 100% de confiabilidad en el procesamiento de VA y ML.
10. La implementación de la base de datos en Firebase resultó ser más eficiente con respecto a la base de datos local en cuanto a la manipulación de datos, puesto que al estar en la nube los datos se puede manipular desde cualquier aplicación con acceso a internet, pero en cuanto a la velocidad de recopilación de datos, MySQL tiene la ventaja de recuperar más información en milisegundos.
11. Se realizó una breve demostración de algunas de las aplicaciones que tienen estos procesamientos en la actualidad, con el propósito de comprender mejor el uso que se les pueda dar para optimizar procesos en las industrias, en la medicina o en otras actividades.

## RECOMENDACIONES

1. Diseñar un ambiente para que se mantenga siempre las mismas condiciones de iluminación, donde la iluminación exterior sea mitigada, debido a que pueda realizar un mal procesamiento de imágenes, además de utilizar un sistema de iluminación correcto para que no emita reflejos en los objetos.
2. Definir y calibrar correctamente los parámetros de la cámara varifocal para el producto que se desea realizar el procesamiento de imágenes y no obtener una captura instantánea errónea.
3. Se aconseja utilizar una cámara industrial o de mejores prestaciones, con mejor procesamiento y mayor a 120fps.
4. La posición de la cámara debe ser céntrica al módulo para que la captura sea exacta y obtener una imagen de calidad, enfocando el área donde se realizará la detección de los objetos y omitir reflejos o zonas no deseadas.
5. Se sugiere una computadora con un procesador Intel Core i7 o AMD Ryzen 7, con SSD y una memoria RAM de 8GB, siendo estas las prestaciones mínimas para esta aplicación.
6. Para mejorar la clasificación de los productos, se sugiere un brazo robótico, si es que las restricciones de separación de los productos exceden a más de 3 condiciones de clasificación.
7. Para proyectos futuros de VA y ML, se puede partir de esta investigación, cambiando los parámetros de filtración de colores dependiendo de los productos a procesar, además de la compatibilidad con las librerías de OpenCV para un mejor procesamiento de imágenes con el objetivo de obtener una respuesta más eficiente.

## REFERENCIAS

- ATO. (30 de Enero de 2020). *Automation Technologies Online*. Obtenido de How to Choose a Right Lens for Industrial Camera?: <https://www.ato.com/how-to-choose-a-right-lens-for-industrial-camera>
- Autonics. (2018). Sensores Fotoeléctricos y Ópticos.
- Bässmann, H. (2020). *Understanding Industrial Cameras*. Obtenido de Lenses for industrial cameras: <https://industrialcamera.wordpress.com/lenses-for-industrial-cameras/#Step2>
- BCNVISION. (12 de Septiembre de 2017). *BCNVISION vision artificial*. Obtenido de Componentes de la visión artificial: <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/componentes-vision-artificial/>
- BCNVISION. (11 de Abril de 2017). *BCNVISION-Marketingbcnvision*. Obtenido de Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial (Parte II): <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>
- Bruera, & Suarez. (2018). *El PVC (Policloruro de Vinilo)*. Buenos Aires.
- Carrillo de Albornoz, R. (15 de Septiembre de 2012). *todo-fotografia*. Obtenido de Componentes de una Cámara Fotográfica: <https://todo-fotografia.com/tecnica/componentes-de-una-camara-fotografica/>
- COGNEX. (2016). *Introducción a la Visión Artificial, Una guía para la automatización de procesos* y. Massachusetts.
- Díaz, A. G. (2006). Visión y Procesamiento de Imágenes para Control de Calidad. *Revista Universidad EAFIT*, 47-64.

- Dibyendu, P. (2019). A Study of the Inheritance of the Central and Peripheral Optical Properties in the Human Eye. En P. Dibyendu, *A STUDY OF THE INHERITANCE OF THE CENTRAL* (págs. 26-27). Murcia.
- Doctor, V. (Julio de 2020). *Vision Doctor Industrielle Blidverarbeitung gelost*. Obtenido de Kamera-Berechnungen: <https://www.vision-doctor.com/kameraberechnungen>
- ELPROCUS. (2020). *ELECTRONICS / PROJECTS / FOCUS*. Obtenido de Image Sensor Working and Its Applications: <https://www.elprocus.com/image-sensor-working-applications/#:~:text=Working%20Principle%20of%20Image%20Sensor,voltage%20otherwise%20a%20digital%20signal.>
- ELPROCUS. (2020). *ELECTRONICS / PROJECTS / FOCUS*. Obtenido de What is a PLC System – Different Types of PLCs with Applications: <https://www.elprocus.com/programmable-logic-controllers-and-types-of-plcs/>
- Festo. (2020). *Actuadores neumáticos*. Obtenido de Actuadores neumáticos de Festo: autorregulables, limpio y seguros: [https://www.festo.com/cms/es-pe\\_pe/9510.htm](https://www.festo.com/cms/es-pe_pe/9510.htm)
- Firebase. (2020). *Firebase*. Obtenido de Firebase Realtime Database: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=es>
- IEEC. (2011). *Controladores Industriales Inteligentes*. Buenos Aires, Argentina: Lifelong Learning.
- INET. (2012). *Controladores lógicos programables PLC*. Buenos Aires.
- Kepware. (2020). *Kepware kepservex*. Obtenido de OPC UA Client: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepservex/drivers/opc-ua-client/>
- King Su Fu. (1988). *Robótica: control, detección, visión e inteligencia*. España: McGraw-Hill.

- Leonario Pencue, E., & León Téllez, J. (2003). Detección y Clasificación de Defectos en Frutas Mediante el Procesamiento de Imágenes. *Revista Colombiana de Física*, Vol. 35 No. 1.
- Maida, E. G., & Pacienza, J. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*. Buenos Aires: Biblioteca Central “San Benito Abad”.
- Mejía Vilet, J. R. (2004). *Procesamiento Digital de Imágenes*. San Luis Potosi.
- Microsoft. (20 de Julio de 2015). Obtenido de <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/getting-started/introduction-to-the-csharp-language-and-the-net-framework>
- Minero, H. (16 de 08 de 2016). *Horizonte Minero*. Obtenido de <https://www.horizonteminero.com/plantas-concentradoras/>
- MIT. (1996). The Summer Vision Project. En MIT. Massachusetts.
- Muggleton, S. (s.f.). Alan Turing and the development of Artificial. London: AI Communications.
- Muthukrishnan, V. (19 de August de 2020). *Electrical 4U*. Obtenido de <https://www.electrical4u.com/programmable-logic-controllers/>
- MySQL. (2020). Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/workbench/en/wb-intro.html>
- Nikon. (2020). *Nikon Learn & Explore*. Obtenido de Understanding Focal Length: <https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/understanding-focal-length.html>
- Pavlevski, V. (2020). *CODE-AI*. Obtenido de CODE-AI: <https://code-ai.mk/>
- Platero Dueñas, C. (2009). Introducción a la Visión Artificial. En C. Platero, *Apuntes de Visión Artificial*. GNU.

Pokharel, B. (2013). *Machine Vision and Object Sorting PLC Communication with LabVIEW using OPC*. Valkeakoski.

Sanchez Caceres, V. M. (2013). *Diseño de un Sistema de Identificación y Clasificación por Visión Artificial*. Arequipa.

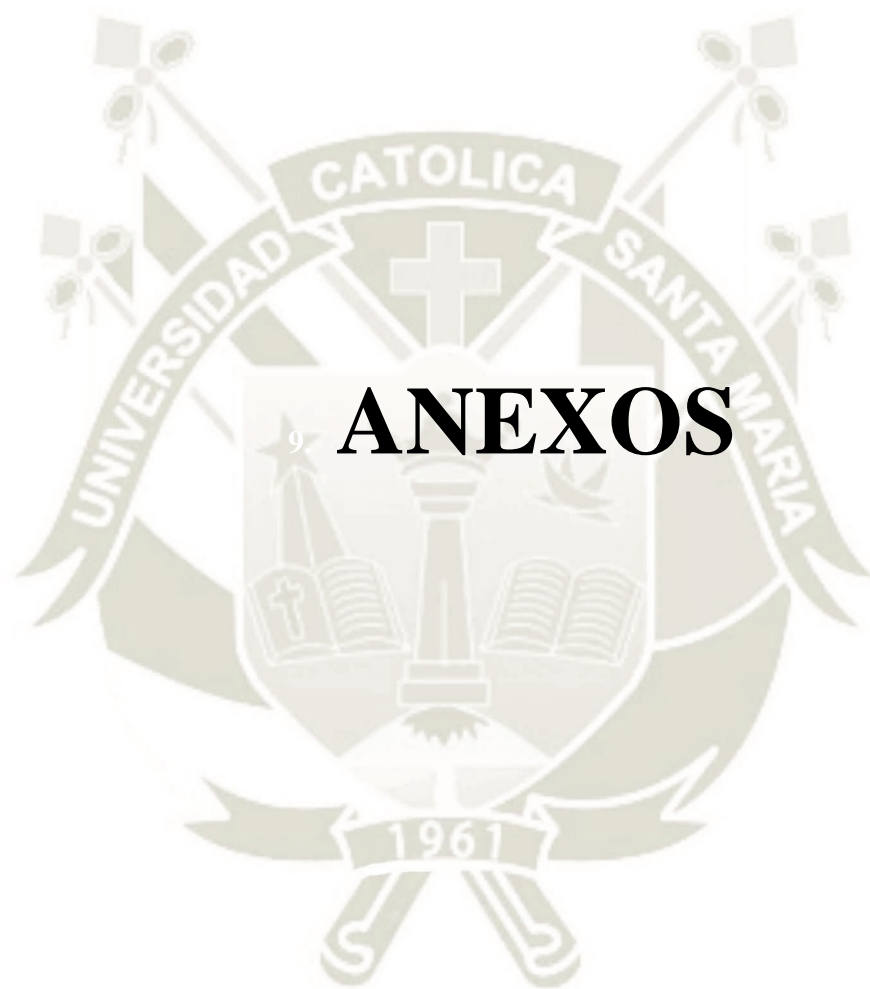
Siemens. (2020). *Siemens*. Obtenido de LOGO! Software:  
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html>

Solutions, M. (2018). Machine Learning. *Management Solutions*.

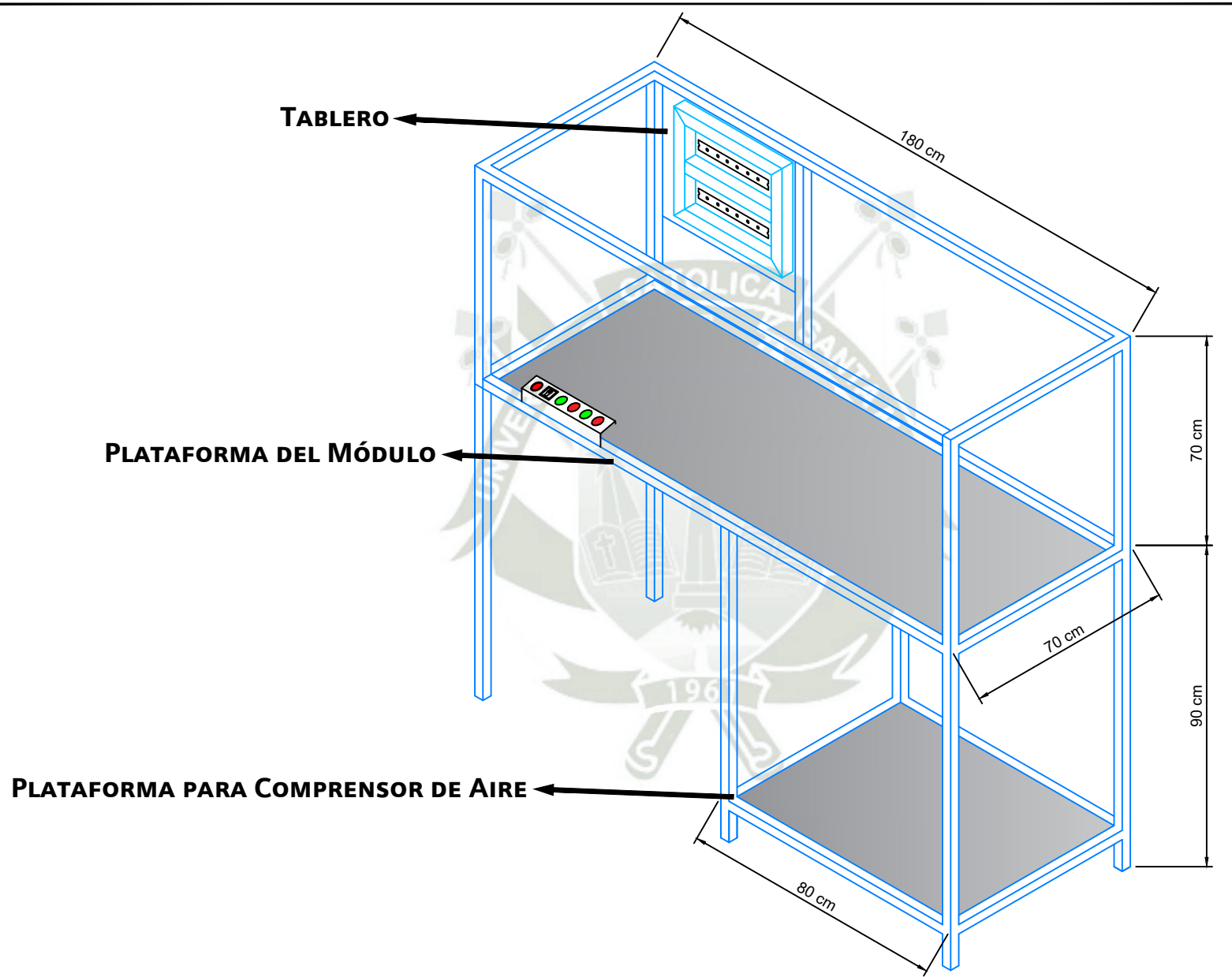
Technology, T. S. (13 de Marzo de 2014). *Software de PLC*. Obtenido de  
<https://www.techtransfer.com/blog/plc-software/>

Valdivia Arias, C. J. (2016). *Diseño de un Sistema de Visión Artificial para la Calificación de Chirimoyas basado en medidas*. Lima.

Viera Maza, G. (2017). *Procesamiento de Imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la Clasificación del Cacao*. Piura.



# ANEXOS

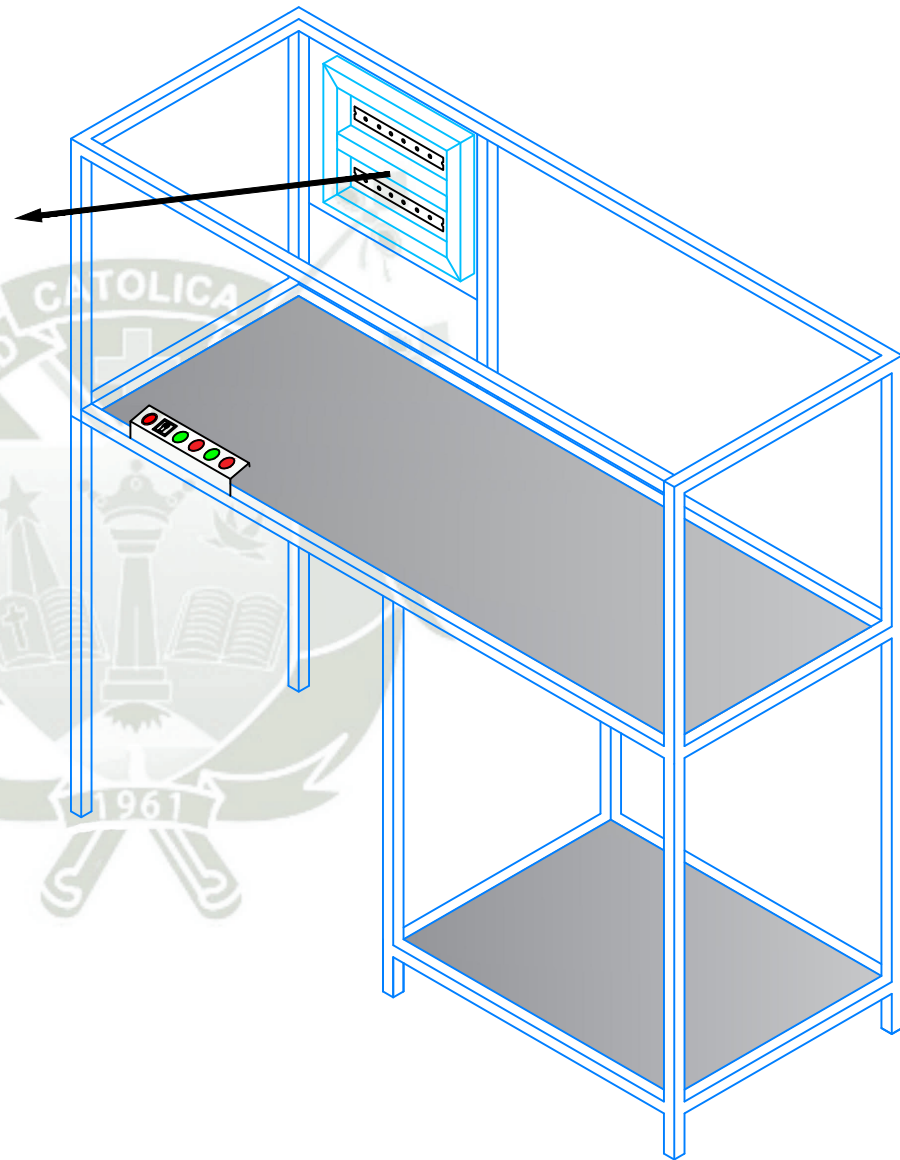
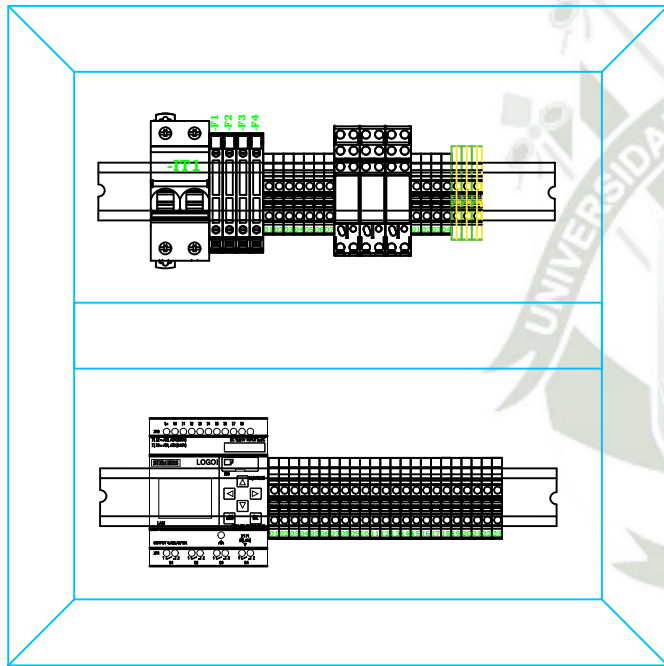


Universidad Católica de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
	DISERADO	E.A.C.B.	30/08/2020	M2	ACABADO: ACA
	REVISADO	E.A.C.B.	30/08/2020	DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES ESC.: ESC
	APROBADO	E.A.C.B.	30/08/2020	CLIENTE:	

PROYECTO : **PROTOTIPO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL Y MACHINE LEARNING**  
 DESCRIPCION : **ISOMETRICO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE**

CODIGO : SCC_001	PLANO N° VA Y ML	C/PLANO 01/08
------------------	------------------	---------------



Universidad Católica de Santa María

SÍMBOLO ISO/DIN	
FORMATO:	A-4

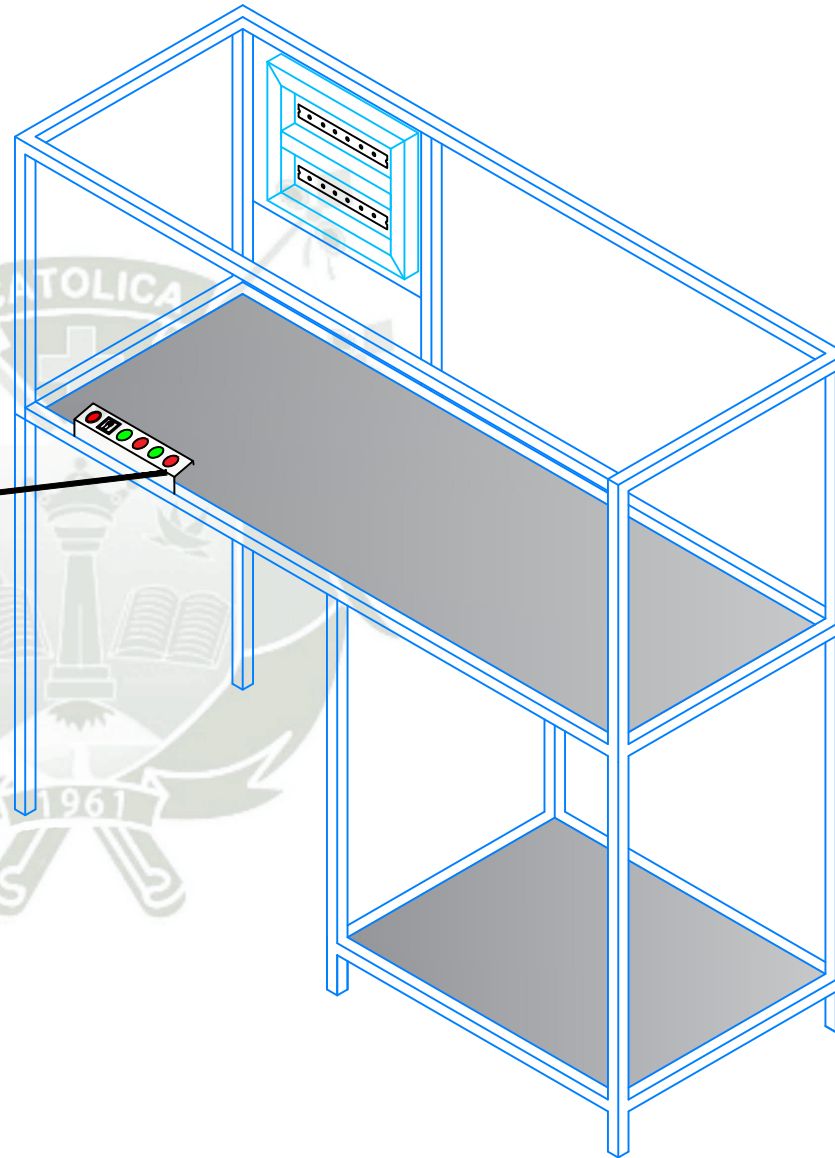
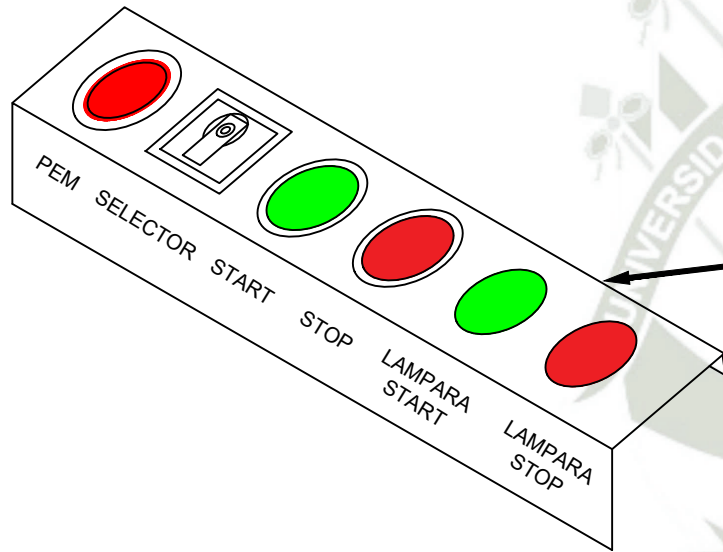
DISERADO	E.A.C.B.		
REVISADO	E.A.C.B.		
APROBADO	E.A.C.B.		

NOMBRE	FIRMA	FECHA
E.A.C.B.		30/08/2020
E.A.C.B.		30/08/2020
E.A.C.B.		30/08/2020

MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
M2	ACABADO: ACA
DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES
CLIENTE:	ESC.: ESC

PROYECTO: <b>PROTOTIPO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL Y MACHINE LEARNING</b>
DESCRIPCION: <b>TABLERO DE CONTROL</b>

CODIGO: SCC_002
PLANO N° VA Y ML
C/PLANO 02/08

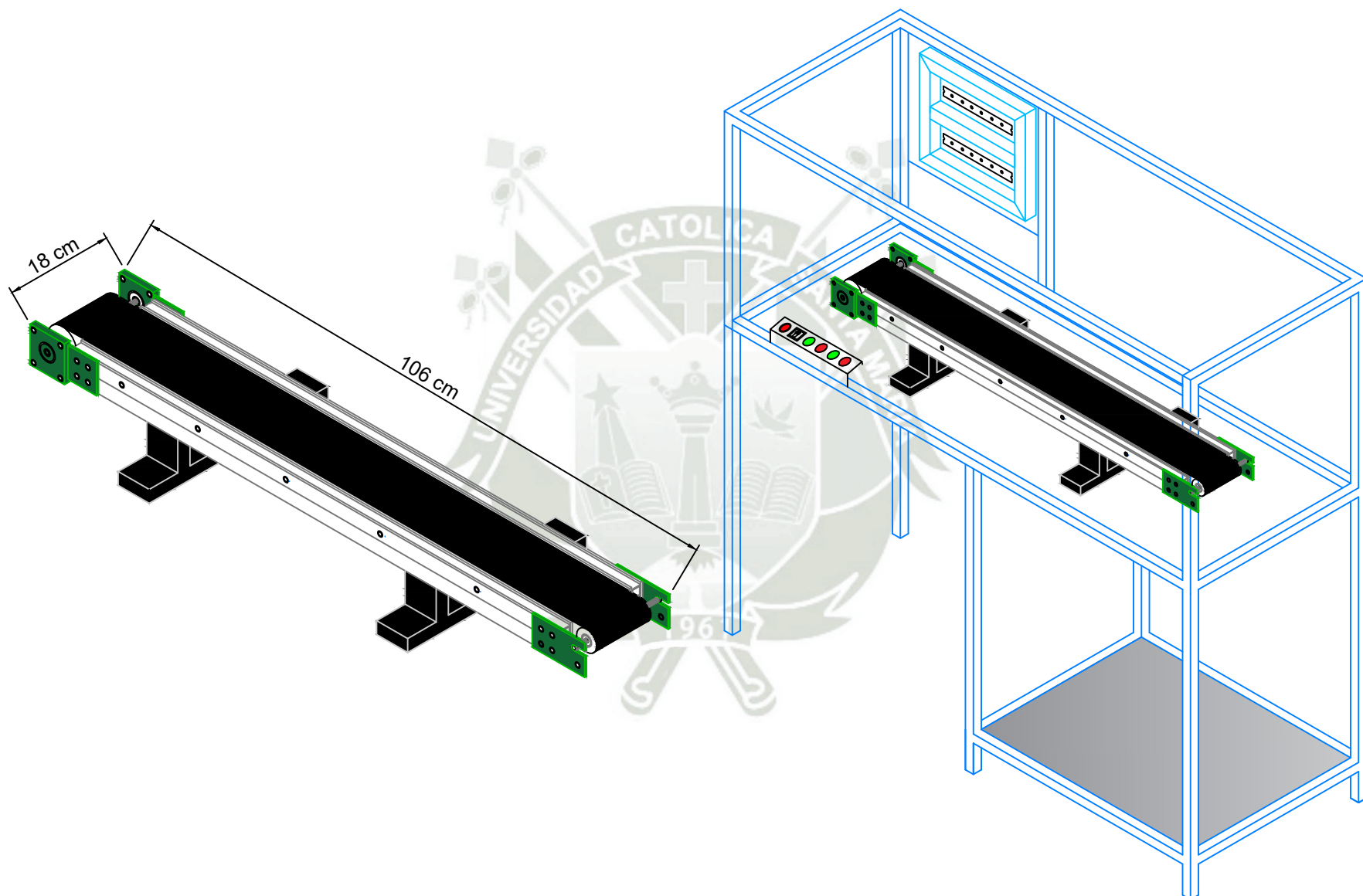


Universidad Católica de Santa María

SÍMBOLO ISO/DIN	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
	DISERADO	E.A.C.B.	30/08/2020	M2	ACABADO: ACA
	REVISADO	E.A.C.B.	30/08/2020	DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES ESC.: ESC
	APROBADO	E.A.C.B.	30/08/2020	CLIENTE:	

PROYECTO : **PROTOTIPO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL Y MACHINE LEARNING**  
 DESCRIPCION : **PANEL CONTROL MANUAL**

CODIGO :	SCC_002
PLANO N° VA Y ML	C/PLANO 03/08



Universidad Católica de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	
FORMATO:	A-4

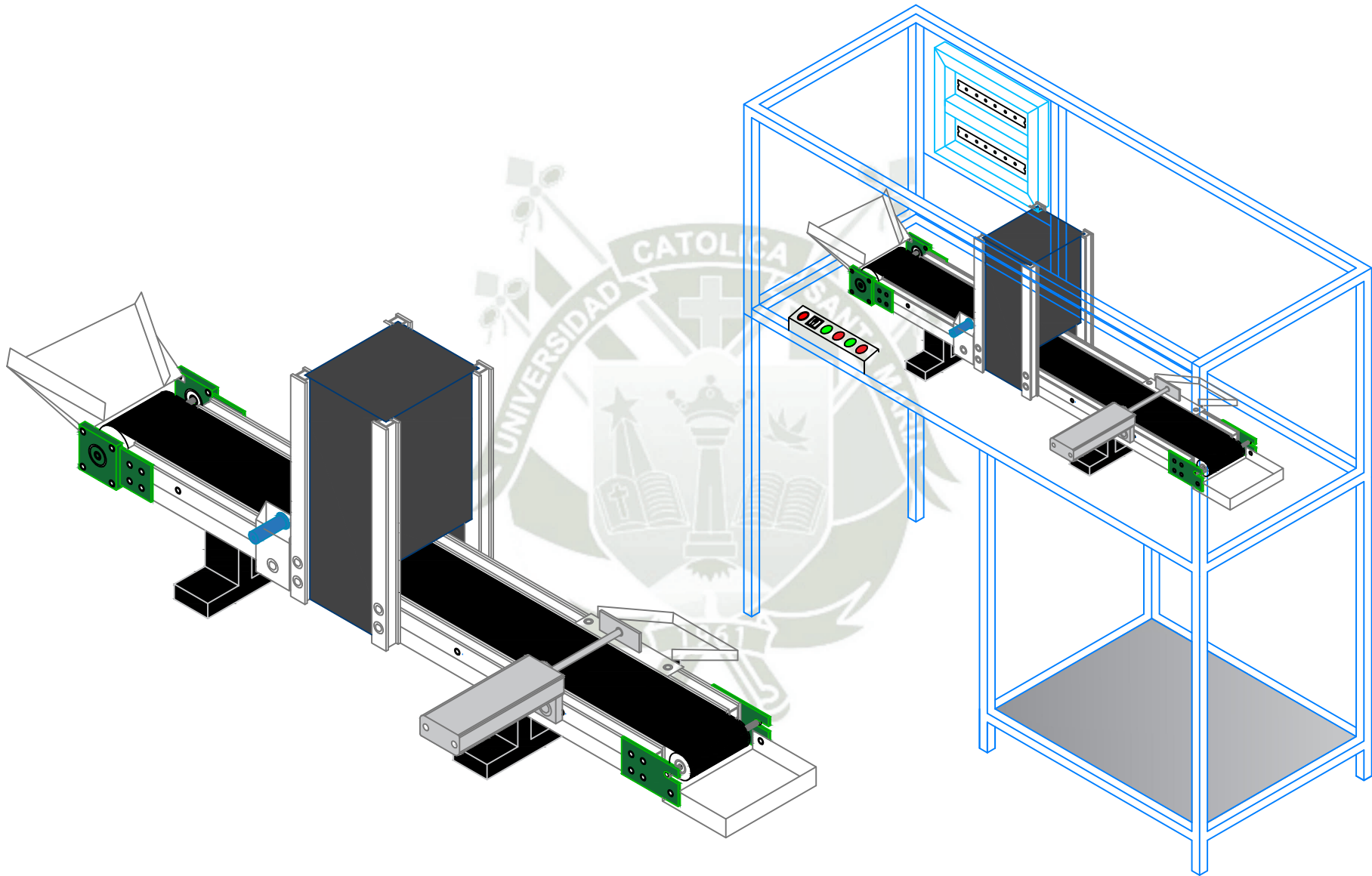
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISERADO	E.A.C.B.		30/08/2020
REVISADO	E.A.C.B.		30/08/2020
APROBADO	E.A.C.B.		30/08/2020

MATERIAL: M1	
M2	
DOBLEZ: DO	
CLIENTE:	

CANTIDAD: CAN	
ACABADO: ACA	
PESO(Kg): PES	ESC.: ESC

PROYECTO:	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL
DESCRIPCION:	FAJA TRANSPORTADORA

CODIGO:	SCC_002
PLANO N°	C/INGENIERIA
C/PLANO	04/08



Universidad Católica  
de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	
FORMATO	A-4

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISERADO	E.A.C.B.		30/08/2020
REVISADO	E.A.C.B.		30/08/2020
APROBADO	E.A.C.B.		30/08/2020

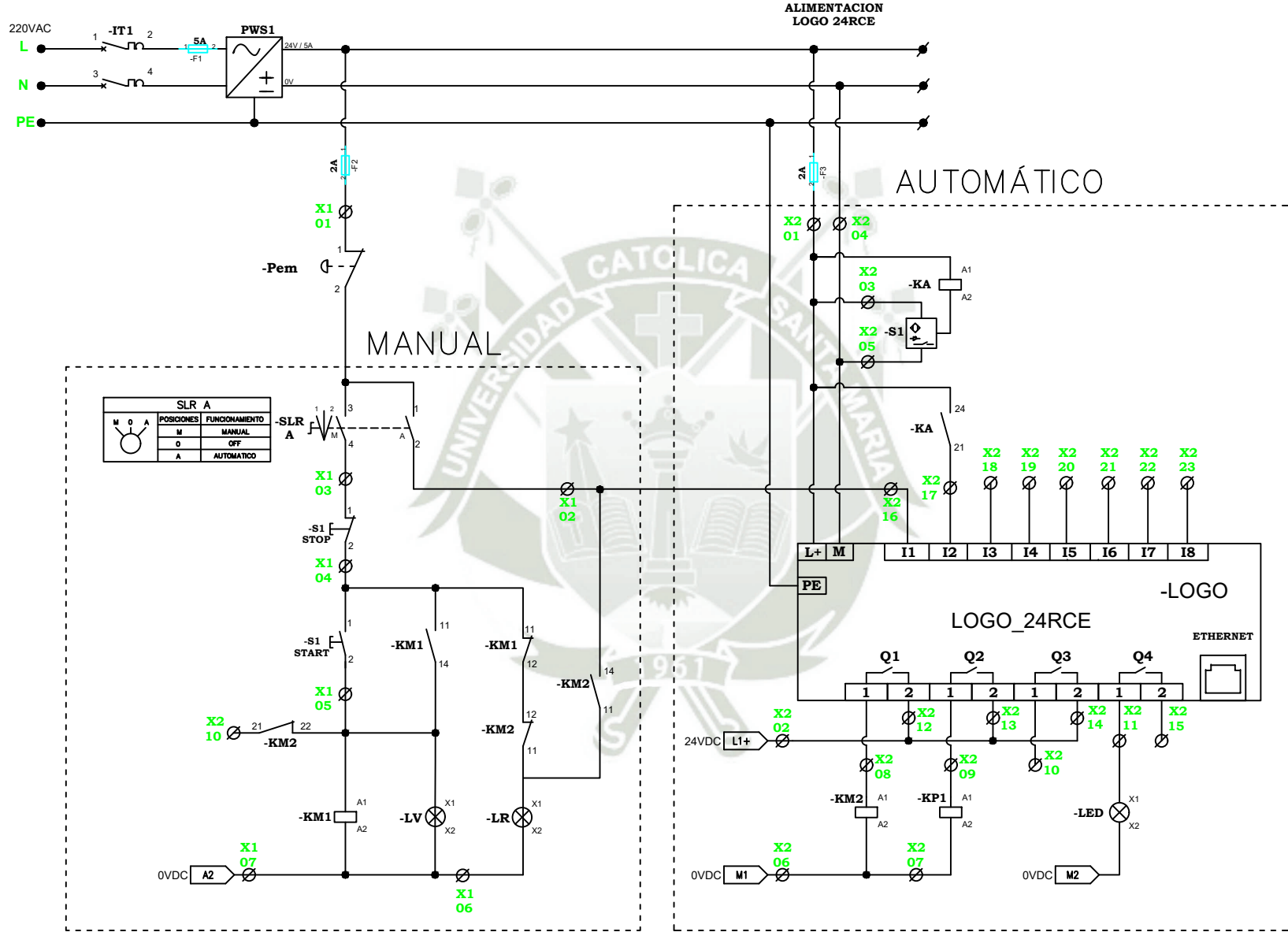
MATERIAL:	M1
	M2
DOBLEZ:	DO
CLIENTE:	

CANTIDAD:	CAN
ACABADO:	ACA
PESO(Kg):	PES
ESC.:	ESC

PROYECTO:	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL	
DESCRIPCION:	MÓDULO DE CLASIFICACIÓN COMPLETO	

CODIGO:	SCC_002
PLANO N°	C/INGENIERIA
C/PLANO	05/08

CODIGO:	SCC_002
PLANO N°	C/INGENIERIA
C/PLANO	05/08



Universidad Católica de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	
FORMATO: A-4	APROBADO

DISERADO	NOMBRE	FIRMA	FECHA
E.A.C.B.	E.A.C.B.		30/08/2020
REVISADO	NOMBRE	FIRMA	FECHA
E.A.C.B.	E.A.C.B.		30/08/2020
APROBADO	NOMBRE	FIRMA	FECHA
E.A.C.B.	E.A.C.B.		30/08/2020

MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
M2	ACABADO: ACA
DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES
CLIENTE:	ESC.: ESC

PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL
DESCRIPCION: PLANO DE CONTROL MANUAL Y AUTOMÁTICO 24V

CODIGO: SCC_002
PLANO N° C7/INGENIERIA
C/PLANO 06/08

220VAC

L

N

PE

1 -IT1 2

3 4

PWS2

5A  
-F4

12V / 5A

0V

X2  
15

-KM1

M



Universidad Católica de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	
FORMATO:	A-4

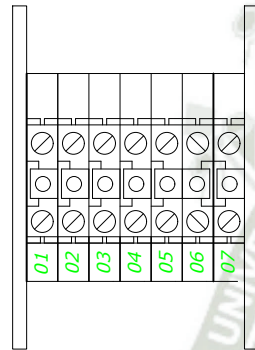
NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISERADO	E.A.C.B.	30/08/2020
REVISADO	E.A.C.B.	30/08/2020
APROBADO	E.A.C.B.	30/08/2020

MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
M2	ACABADO: ACA
DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES
CLIENTE:	ESC.: ESC

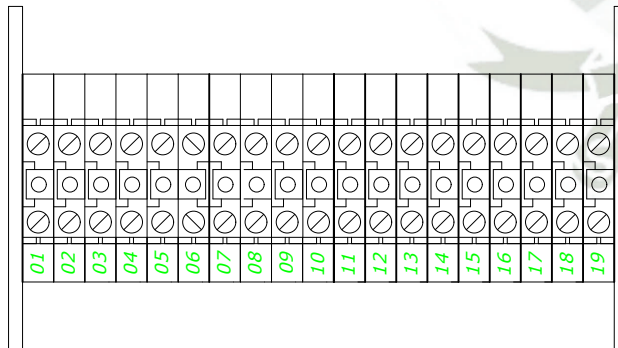
PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL
DESCRIPCION: PLANO DE CONTROL MANUAL Y AUTOMÁTICO 12V

CODIGO: SCC_002
PLANO N° C/ INGENIERIA
C/PLANO 07/08

### GRUPO # 1 DE BORNERAS



### GRUPO # 2 DE BORNERAS



### LEYENDA

IT1	INT. TERM. TRANSFORMADOR 2Px4A
F1...F4	FUSIBLES 1A/2A
KM1	CONTACTOR AUXILIAR MANUAL
KM2	CONTACTOR AUXILIAR AUTOMATICO
Pem	PULSADOR PARO EMERGENCIA
SLR	SELECTOR MANUAL/O/AUTO
M	MOTOR ELECTRICO 24VDC
LV	LAMPARA 24VDC MARCHA MOTOR (VERDE)
LR	LAMPARA 24VDC MOTOR PARADO (ROJO)
S1	SENSOR CAPACITIVO
S2	SENSOR FOTOELÉCTRICO
PWS	FUENTE DE 24 VDC
LOGO	NANO PLC LOGO 8 SIEMENS
KP1	ELECTROVÁLVULA PISTON1



Universidad Católica de Santa María

SIMBOLO ISO/DIN	
FORMATO: A-4	

DISERADO	E.A.C.B.		30/08/2020
REVISADO	E.A.C.B.		30/08/2020
APROBADO	E.A.C.B.		30/08/2020

NOMBRE	FIRMA	FECHA

MATERIAL: M1	CANTIDAD: CAN
M2	ACABADO: ACA
DOBLEZ: DO	PESO(Kg): PES
CLIENTE :	ESC.: ESC

PROYECTO : SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL
DESCRIPCION : BORNERAS   LEYENDA DE LOS DISPOSITIVOS

CODIGO : SCC_002
PLANO N° C/INGENIERIA
C/PLANO 08/08