



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“CONTROL DE CALIDAD EN EL AVELLANADO DE
LÍNEAS DE GASOLINA MEDIANTE UN
SISTEMA DE VISIÓN”**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ing. José Alberto García Arvayo

Director:

M.C. José Manuel Chávez

Hermosillo Sonora, México

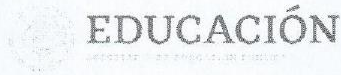
16 de agosto 2022



ISO 9001:2015
Sistema de Gestión de Calidad Certificado



2022 Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



Instituto Tecnológico de Hermosillo
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Hermosillo, Sonora a 10 de agosto de 2022
SECCIÓN: Div. Est. Pos. E Inv.
No. Oficio: DEPI/164/22.
ASUNTO: Autorización De
Impresión de Tesis.

**C. JOSÉ ALBERTO GARCÍA ARVAYO
PRESENTE**

Por este conducto, y en virtud de haber concluido la revisión del trabajo de tesis que lleva por nombre "CONTROL DE CALIDAD EN EL AVELLANADO DE LÍNEAS DE GASOLINA MEDIANTE UN SISTEMA DE VISIÓN", que fue dirigida por el M.C. José Manuel Chávez, que presenta para el examen de grado de la MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA, y habiéndola encontrado satisfactoria, nos permitimos comunicarle que se autoriza la impresión del mismo a efecto de que proceda el trámite de obtención de grado.

Deseándole éxito en su vida profesional, quedo de usted.

ATENTAMENTE

M.C. JOSÉ MANUEL CHÁVEZ
DIRECTOR DE TESIS


DR. CARLOS ALBERTO PEREYDA PIERRE
SECRETARIO


M.C. RAFAEL ARMANDO CALAZ BUSTAMANETE
VOCAL


DR. GERMÁN ALONSO RUÍZ DOMÍNGUEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

GARD/eme*



Av. Tecnológico #115 Col. El Sahuaro C.P. 83170 Hermosillo, Sonora. Tel. (662) 2666500, ext 136
correo: posgrado@hermosillo.tecnim.mx | www.ith.mx





CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Hermosillo Sonora a el día 04 de agosto del año 2022 el que suscribe C. JOSÉ ALBERTO GARCÍA ARVAYO, alumno de la maestría en ingeniería electrónica adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis titulado “CONTROL DE CALIDAD EN EL AVELLANADO DE LÍNEAS DE GASOLINA MEDIANTE UN SISTEMA DE VISIÓN” bajo la dirección de M.C. JOSÉ MANUEL CHÁVEZ y ceden los derechos del mismo al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben de reproducir el contenido textual, graficas, tablas o datos contenidos sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido a la dirección de correo electrónico siguiente: m15330839@hermosillo.tecnm.mx. Una vez otorgado el permiso se deberá expresar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ATENTAMENTE

JOSÉ ALBERTO GARCÍA ARVAYO



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi director de tesis, Jose Manuel Chávez, y mis revisores, Carlos Alberto Pereyda Pierre y Rafael Armando Galaz Bustamante, por su apoyo y ayuda en esta investigación. Por sus consejos e ideas, los cuales ayudaron a la elaboración de la investigación y proyecto. Muchas gracias por estar al pendiente y guiarme por el camino correcto con su gran conocimiento en muchas áreas para concluir mi parte de investigación.

A los demás docentes, los cuales también dan su apoyo y conocimientos a través del tiempo invertido en este proyecto. Nos dan de sus conocimientos, los cuales los llevaré conmigo en mi vida profesional. Gracias por su dedicación y paciencia de formar nuevos maestros de ingeniería electrónica.

A mi familia, a mis padres, Leticia Arvayo y Oswaldo García, como también a mi hermano y cuñada, Oswaldo García y Roxana Corona, por el apoyo incondicional en esta etapa de mi vida personal, así como de mi vida profesional, guiándome por el mejor camino y ayudándome a superarme cada día más. También a mi novia, Mayra, por su gran apoyo día a día en no darme por vencido y ayudarme a superar cada reto de estudios que me proponía. Y a mis demás familiares, que me dieron de su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida. Por mis abuelos, que en paz descansen, Leticia Solís y Jose Arvayo, Antonia Trujillo y Luis García, que esto también fue por ellos y por su apoyo que siempre lo sentía cada vez que lo necesitaba.

Por último, no menos importante, a mis compañeros de posgrado, los cuales iniciamos este viaje con un sueño por ser maestros y el cual estamos por culminar. Por las horas de desvelo en trabajos y proyectos como también en las horas de convivio. Gracias por el apoyo a lo largo de nuestra formación como profesionistas.

RESUMEN

Actualmente las industrias manufactureras tratan de cumplir con todos los requisitos necesarios para que sus productos fabricados salgan con la mejor calidad posible para proporcionar un producto en buen estado y logrando su función de vida adecuada. Atendiendo esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo realizar un prototipo de control de calidad mediante un sistema de visión en el avellanado de líneas de gasolina. Este control permitirá al usuario verificar que el avellanado realizado en la línea de gasolina, se llevó adecuadamente teniendo unas lámparas indicadoras las cuales mostraran el estado de la pieza analizada y así poder continuar con la fabricación de las demás piezas que conlleva.

PALABRAS CLAVES

Sistemas de visión, Avellanado, Control de calidad

ABSTRACT

Currently, all manufacturing industries try to meet with the necessary requirements so that their manufactured products come out with the best possible quality so they can provide a product in good condition and achieving its proper life function. Addressing this problem, this research aims to apply quality control through a vision system in the countersink of gasoline lines. This control will allow the user to verify that the countersink made on the gasoline line was properly achieved, having indicator lamps which will show the status of the analyzed part and thus be able to continue with the manufacture of the other parts that it is require.

KEYWORDS

Vision system, Countersink, Quality Control

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCION	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Revisión de Artículos.....	5
1.1.2. Datos sobre la situación	12
1.1.3. Otros datos que comprueben tu argumento	12
1.2. Planteamiento del problema	12
1.3. Preguntas de investigación.....	13
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo general:	13
1.4.2. Objetivos Específicos:	13
1.5. Hipótesis.....	14
1.6. Justificación.....	14
1.7. Metas y alcances.....	15
1.8. Delimitaciones	15
2. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Inspección visual y uso de herramental	16
2.2. Inspección automatizada	17
2.2.1. Características de los sistemas de visión por computadora.....	18
2.3. Etapas de proceso de un sistema de visión por computadora.....	20
2.3.1. Adquisición de la imagen.....	20

2.3.2.	Preprocesamiento	20
2.3.3.	Segmentación	21
2.3.4.	Extracción de características.....	21
2.3.5.	Reconocimiento y localización.....	22
2.3.6.	Interpretación	22
2.4.	Componentes de un sistema de visión por computadora	23
2.4.1.	Fuente de iluminación	23
2.4.1.1.	Iluminación mediante diodos led	24
2.4.2.	Cámara y óptica	26
2.4.2.1.	Cámara DVT Legend Series 530.....	28
2.4.3.	Tarjeta de adquisición	30
2.4.3.1.	Módulo DVT Isolated Board	31
2.3.4.	Sistema de procesamiento	33
2.3.5.	Software de visión	34
2.4.5.1.	DVT Intellect	34
3.	METODOLOGÍA Y MATERIALES	36
3.1.	Propuesta de solución	36
3.2.	Modelo de la investigación.....	36
3.3.	Metodología.....	37
3.3.1	Pre Planeación.	39
3.3.2	Cronograma de actividades completo.....	40
3.4.	Materiales.....	41
3.4.1.	Presupuesto de materiales	42
4.	DESARROLLO Y RESULTADOS.....	43
4.1.	Descripción del proyecto	43
4.2.	Elaboración del proyecto	45

4.2.1	Calibración y adquisición de la imagen.....	45
4.2.1.1	Creación de un escenario amplio.	46
4.2.1.2	Conexión de componentes a utilizar.....	46
4.2.1.3	Conexión de cámara con el software.....	48
4.2.1.4	Ajuste de ángulo, posición y distancia de cámara y piezas.	49
4.2.1.5	Definir propiedades de inspección y adquisición de la imagen.	49
4.2.1.5.1	Circuito para gatillo de inspección externo	50
4.2.1.6	Preprocesado de la imagen.....	53
4.2.2	Elaboración del software para el sistema de visión.....	56
4.2.2.1	Administración del sistema.....	56
4.2.2.2	Toolbox de operaciones	58
4.2.2.2.1	Measurement – Measure in Circle.....	59
4.2.2.2.2	Flaw Detection – Defect Detection	62
4.2.2.2.3	Flaw Detection – Color Monitoring	63
4.3.	Resultados de inspección	64
4.3.1	Pruebas de inspección - Medición	67
4.3.2	Pruebas de inspección - Color.....	72
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1.	Conclusiones.....	76
5.2.	Recomendaciones.....	78
6	BIBLIOGRAFIA	79

Índice de Figuras

Figura 1: Píxeles (X, Y) [1].....	7
Figura 2: Componentes de sistemas de visión artificial [2].....	8
Figura 3: Esquema del proceso a automatizar [4]	9
Figura 4: Diagrama de flujo de procesamiento de imágenes [4].....	9
Figura 5: Estructura básica del sistema de reconocimiento de patrones [5]...	10
Figura 6: Tipos de sistemas de visión [11].....	11
Figura 7: Sistema de visión en línea de producción [8]	18
Figura 8: Etapas de proceso de los sistemas de visión por computadora [9].	20
Figura 9: Estructura del sistema de visión por computadora [14]	22
Figura 10: Componentes/elementos de un sistema de visión artificial. [14] ...	23
Figura 11: Ventajas y desventajas de los tipos de iluminaciones. [15].....	24
Figura 12: Tipo de iluminación mediante diodos led. [14].....	25
Figura 13: Cámara DVT Legend 530 con iluminación diodos leds. [16]	26
Figura 14: Comparativa entre CCD progresiva (A) y entrelazada (B). [8].....	27
Figura 15: Distintos tipos de ópticas de cámaras. [13]	28
Figura 16: Cámara DVT Legend 530.....	29
Figura 17: Sensor CCD de cámara DVT Legend 530.....	29
Figura 18: Lente Tamron 06743 Japan.....	29
Figura 19: Dimensiones de la cámara DVT Legend 530 en mm. [16]	30
Figura 20: Módulo DVT Isolated Breakout Board.	31
Figura 21: Dimensiones del módulo DVT Isolated Breakout Board. [16]	32
Figura 22: Conexión cámara DVT Legend 530 – DVT Isolated BOB.	33
Figura 23: Software DVT Intellect. [17].....	35
Figura 24: Diagrama de modelo de investigación. [18].....	37
Figura 25: Tareas a realizar para la elaboración de la investigación.....	39
Figura 26: Cronograma de actividades completo.	40
Figura 27: Presupuesto de materiales.....	42
Figura 28: Piezas para pruebas de avellanado de líneas de gasolina.....	43
Figura 29: Diseño e impresión 3D base cámara.....	43

Figura 30: Diseño e impresión 3D base sujetador piezas.....	44
Figura 31: Bases sujetadores de piezas.....	44
Figura 32: Creación de un escenario.....	46
Figura 33: Cámara Status en verde y rojo.....	47
Figura 34: Circuito eléctrico de componentes.....	47
Figura 35: Conexión de componentes.....	48
Figura 36: Conexión cámara con software.....	48
Figura 37: Distancia optima en adquisición de imágenes.....	49
Figura 38: Propiedades del gatillo de inspección.....	50
Figura 39: Entradas y salidas físicas del módulo BOB.....	50
Figura 40: Circuito de prueba para gatillo de inspección externo.....	51
Figura 41: Montaje para gatillo de inspección externo.....	51
Figura 42: Ajustes de adquisición de imágenes.....	52
Figura 43: Retroalimentación de adquisición de imágenes.....	53
Figura 44: Herramienta Filtros para preprocesamiento de imágenes.....	54
Figura 45: Ajustes herramienta filtros para preprocesamiento de imágenes.....	54
Figura 46: Ajustes herramienta filtros para preprocesamiento de imágenes.....	55
Figura 47: Imagen sin y con filtro respectivamente.....	56
Figura 48: Administración del sistema – Cámara.....	56
Figura 49: Administración del sistema – Usuarios.....	57
Figura 50: Administración del sistema – Usuarios privilegios.....	57
Figura 51: Selección de Log In para el sistema.....	58
Figura 52: Ingresar con el usuario y contraseña.....	58
Figura 53: Herramientas del sistema de visión.....	59
Figura 54: Parámetro Measure in Circle los radios.....	60
Figura 55: Escala de valores para radio exterior e interior respectivamente.....	60
Figura 56: Parámetro Measure in Circle.....	60
Figura 57: Limite de valores del radio exterior e interior respectivamente.....	61
Figura 58: Resultados de operación Measure in Circle.....	61
Figura 59: Parámetro Defect Detection.....	62

Figura 60: Herramienta detección de defectos.	62
Figura 61: Gráfica histograma sin detección de fallas.	63
Figura 62: Gráfica histograma con detección de fallas.	63
Figura 63: Salidas de inspección.	64
Figura 64: Tabla de resultados.	64
Figura 65: Modo Inspect en software.	65
Figura 66: Modo Inspect con lámpara indicadora.	65
Figura 67: Lámpara indicadora pieza aceptada.	66
Figura 68: Lámpara indicadora pieza rechazada.	66
Figura 69: Gráfica de mediciones con vernier.	67
Figura 70: Tabla mediciones con vernier.	68
Figura 71: Gráfica de mediciones con vernier.	68
Figura 72: Tabla mediciones con sistema de visión.	69
Figura 73: Tabla de promedio de mediciones con sistema de visión.	69
Figura 74: Gráfica de promedio de mediciones con sistema de visión.	69
Figura 75: Fórmula porcentaje de error.	70
Figura 76: Tabla porcentajes error de mediciones Vernier-Sistema Visión. ...	70
Figura 77: Gráfica porcentajes error de mediciones Vernier-Sistema Visión..	71
Figura 78: Gráfica de conteo de piezas de inspección.	72
Figura 79: Herramienta de monitoreo de colores.	73
Figura 80: Pieza sin alteración de color.	73
Figura 81: Valores de intensidad de pieza sin alteración de color.	74
Figura 82: Pieza con alteración de color rojo.	74
Figura 83: Valores de intensidad de pieza con alteración de color rojo.	74
Figura 84: Pieza con alteración de color negro.	75
Figura 85: Valores de intensidad de pieza con alteración de color negro.	75

INTRODUCCIÓN

El control de calidad se ha ido evolucionando en las actividades manufactureras de las industrias, las cuales se exigen cada vez más y más que sus productos finales terminen con excelentes condiciones. Estas inspecciones de calidad que se realizan, permiten verificar que el producto tenga una correcta funcionalidad y asegurar su eficiencia en la vida del producto y satisfacer los requerimientos de los clientes externos.

Las inspecciones que se utilizan para el control de calidad pueden variar según el proceso de manufactura, ya sea mediante inspección visual, usando herramientas para su apoyo y/o sistemas automatizados.

Los sistemas automatizados utilizados para el control de calidad son mediante los sistemas de visión artificial, los cuales permiten ayudar a los trabajadores monitorear de manera eficiente y más segura las condiciones del producto. Estos sistemas se configuran mediante las condiciones y especificaciones del producto. Lo cual permite que se realice una inspección segura, eficiente y repetitiva.

La presente investigación se desarrolla debido a problemas en las inspecciones de calidad que se tienen en la empresa manufacturera. Se vio la necesidad de implementar un sistema de visión en el proceso de avellanado de las líneas de gasolina, el cual ayudara a detectar de manera rápida y eficiente si alguna de estas líneas de gasolina no cumple con los requerimientos de calidad y poder apartarlos de los productos que si cumplen.

Esta empresa se dedica a la fabricación de productos automotriz. Se dio la oportunidad de implementar este proyecto en dicha empresa con la condición de resguardar algunos datos e imágenes de ellos.

En el capítulo 1 se presentan los planteamientos de la investigación. Se describen todos los aspectos necesarios para llevar a cabo la investigación y sobre todo el problema que se pretende resolver, así como los objetivos que se pretenden seguir. De igual forma, se revisa algunos antecedentes de trabajos en el área de investigación los cuales sirven de base para el desarrollo de la presente tesis.

En el capítulo 2 está dedicado para el marco teórico y los fundamentos conceptuales necesarios de revisar y tener en cuenta para la elaboración de esta investigación. Se presenta los conceptos generales sobre los sistemas de visión en computadora, características, etapas de procesamiento de imágenes, componentes utilizados.

El capítulo 3 presenta la metodología y materiales. Se describe el método a seguir para resolver el problema descrito. Que metodología y materiales serán necesarios para que la investigación se efectúe de manera clara y garantizar los resultados válidos y fiables los cuales permitirán cumplir con las metas y objetivos propuestos. Tiene la finalidad de describir el diseño de la investigación y como este se llevará a cabo. Además, nos presenta el cronograma a seguir durante la maestría y también el cronograma planeado para los próximos semestres, así como las tareas a realizar. Se menciona los materiales necesarios para la elaboración del proyecto, así como el presupuesto de estos.

El capítulo 4 se presenta el desarrollo y resultados sobre el proyecto. En este capítulo mostramos los pasos necesarios para comenzar con el sistema de visión. El desarrollo se divide en tres secciones: calibración y adquisición de imágenes, elaboración del software del sistema de visión y resultados de inspección. En la calibración y adquisición de imágenes se menciona los aspectos importantes al iniciar con estos sistemas, ya que desde aquí se toma en consideración aspectos como el entorno, conexiones posición de cámara y preprocesamiento de imágenes. Una vez terminado con la sección anterior y teniendo una buena imagen capturada, se continúa a trabajar con el software donde utilizamos las herramientas necesarias para el control

y análisis de las imágenes. Cuando esté el sistema completamente listo con todas las herramientas a utilizar, comenzamos a realizar pruebas. Estas pruebas son necesarias para poder tener una visualización si se está haciendo bien el sistema y si está actuando de la forma que queremos. Además de proporcionarnos datos útiles para ver la viabilidad que tiene este proyecto sobre el uso de herramientas. Se realizaron dos tipos de pruebas, una de medición en diámetro interior y exterior en ambos lados de la pieza y otra prueba de colores, para ver cómo reacciona la inspección con alguna marca de color.

En el capítulo 5 se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones más importantes sobre el trabajo de tesis presentado. Dando nuestra opinión sobre el prototipo elaborado y además dar nuestra recomendación sobre futuros trabajos en esta área de investigación y sobre sistemas de visión.

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Los sistemas de visión por computadora aplicados en las industrias manufactureras tienen un gran potencial, como nos mencionan en [3], de los cinco sentidos, visión, audición, olfato, gusto y tacto, la visión ha sido uno de los sentidos que el hombre más depende entre otros y sin duda lo es, debido a que es donde adquirimos más datos del mundo. El uso de diversas tecnologías, incluyendo los sistemas de visión para algún control, puede reducir las tareas manuales efectuadas dentro de los procesos industriales, con esto mejorando el tiempo de producción y logrando reducir en costos por defectos. El uso exclusivo de métodos en los procesos industriales, sin incorporar alguna tecnología que les ayude, puede llevar a que se presenten fallas o anomalías que el ojo humano no puede ver a simple vista y que muy probable con una implementación de tecnologías se pueda evitar esto.

La necesidad de implementar nuevas tecnologías, en este caso tecnologías autónomas, cuyas capacidades son de evaluar las características visuales en un área de producción y con ello tomar decisiones a partir de información y características son cada vez de mayor uso. Muchas empresas empiezan a ver esto como una buena inversión debido a que se puede detectar fácilmente algún error y así mejorar sus producciones. La industria manufacturera necesita de todas estas tecnologías electrónicas e informáticas que ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, para así ellas mismas crecer como empresas y ser mejores.

En la década de los 60 es cuando surge lo que es la visión artificial, cuando se conectó una cámara de video a un computador, con la captura de imágenes a través de la cámara, se pudo comprender y visualizar las imágenes. Con esto dio inicios a la visión artificial y en el año 1961 se realizó un trabajo de Larry Roberts, llamado ARPA net. Este era un programa, en el que un robot podía visualizar una estructura de bloques sobre una mesa, analizar y reproducirla desde otra perspectiva, demostrando

así que el procesamiento de imágenes que se mandaba a un computador por medio de una cámara, era procesado adecuadamente. [8]

Las técnicas siguieron avanzando rápidamente en las últimas décadas, teniendo como base los primeros sistemas que se basaron en imágenes binarias (blanco y negro) que se procesaban por bloques, ventanas o píxeles. Los algoritmos avanzaron en desarrollo y se pudo lograr reconocer los contornos de objetos y su posición dentro de la imagen. La limitante que tenía estos sistemas fue que no podían operar en diferentes tipos de iluminaciones. [8]

Posteriormente se introdujeron los sistemas de intensidad de gris, cada elemento de la imagen o píxel, se representa por un número proporcional a la intensidad de gris del elemento y con esto se logró corregir las variaciones locales de iluminación y así poder operar en cualquier tipo de iluminación. [8]

Los sistemas de visión actualmente se comprenden tanto como la obtención, caracterización e interpretación de los objetos visualizados en la imagen y se considera uno de los elementos sensoriales más atractivos para llevar a una automatización robótica porque provee información inmediata. Permite adquirir las imágenes para interpretar las propiedades, compararlas con bases de datos anteriormente programadas e identificar los objetos de la imagen.

1.1.1. Revisión de Artículos

Actualmente en el mercado existe muchas tecnologías y herramientas que ayudan a los procesos de manufactura a reducir sus errores y verificando que los productos resulten con una calidad eficiente. Las tecnologías que se implementan mayormente son los sistemas de visión, ya que estos cuentan con un gran margen de aplicaciones y se pueden adaptar fácilmente al área de trabajo con solo configurar los parámetros necesarios del producto a revisar.

Una de las soluciones al problema es ponerse en contacto con ciertas empresas como Keyence, Cognex, Festo, entre otras, que se dedican en proporcionar soluciones

industriales, evaluando el proceso y recomendando, en este caso, qué tipo de sistema de visión y componentes que ellos manejan es el que mejor se adapta y con qué cualidades se contara. Esta es una solución por el cual muchas empresas se inclinan, debido a que ellos no hacen el trabajo, solamente les dice su problema a solucionar y las condiciones del área a aplicarse, pero el único problema de hacer esto, es que muchas veces el costo puede ser muy elevado.

Otra solución, es uno mismo diseñar el sistema de visión, sabiendo que características y que parámetros son necesarios de controlar, se configura el sistema de visión desde cero, adquiriendo las imágenes necesarias que comprenderá el sistema y este se configura a los parámetros deseados. La ventaja de esto es que puede ser de menor costo dependiendo de que es lo que se quiera controlar y de que software se utilizara.

Según OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual) existen diversas patentes elaboradas sobre el tema de los sistemas de visión, ya que como mencionado anteriormente, estos tipos de sistema van en crecimiento para la automatización de procesos industriales y para otras áreas de trabajo. Lo que se diferencia a este trabajo propuesto, es al proceso de manufactura que será aplicado específicamente y de la elaboración del sistema.

El presente proyecto de tesis, genera conocimiento para el desarrollo de métodos de control de calidad para las empresas cuyo fin es entregar un producto de alta gama, sin fallas y ninguna anomalía que pueda perjudicar la función de este producto. Un método que se utiliza es por medio de un control de un sistema de visión, el cual puede detectar alguna anomalía en el producto que el ojo humano no puede detectar tan fácilmente. Para este sistema de visión, es necesario explorar bien la definición del problema para desarrollarse y encontrar solución al problema. Para ello, se revisó fuentes de información a través de bases de datos y se buscó los antecedentes de este tipo de método empleado. Con base a la investigación, se elaboró un plan y una base de estudio que se llevó a cabo de manera exitosa.

En [1], nos menciona que las empresas siempre buscan mejorar en el desarrollo de nuevos productos y de sus líneas de producción. Aquí es donde entra la inspección de calidad, la cual están optando por una inspección por medio de computadoras para la revisión de productos en procesos industriales para reemplazar al humano y sus errores que puede ocasionar. Existen dos métodos disponibles para el procesamiento de imágenes para la inspección, Analog Image Processing (AIP) y Digital Image Processing (DIP). El procesamiento análogo de imágenes se refiere a la alteración de estas imágenes por medios electrónicos. El procesamiento digital de imágenes, utiliza computadoras digitales para analizar el proceso de imágenes y convertirla en formato digital. Además, en esta investigación se utiliza técnicas de intensidades de color RGB, para identificar valores máximos en cada color junto con el reconocimiento de la forma del objeto. Para la detección del objeto, se utiliza los píxeles de la imagen capturada, teniendo el valor 1 (punto negro) al detectar el objeto y 0 (punto blanco) cuando no detecta, demostrado en la *Figura 1*. [1]

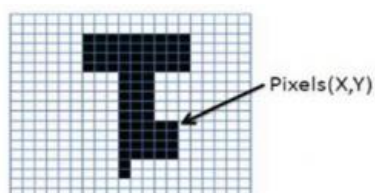


Figura 1: Píxeles (X, Y) [1]

En [2] nos proporciona una gran variedad de información muy completa acerca de los sistemas de visión para la industria, desde los conceptos básicos necesarios para entender todo sobre este sistema, técnicas básicas, procesamiento de imágenes, sistemas inteligentes mejorados, como controlar dispositivos externos, reconocimiento de color en imágenes, aplicación de visión inteligente y mucho más. Este libro es de gran utilidad al querer enfrentarse al problema que se tiene de control de calidad, ya que nos explica desde lo más básico de los sistemas hasta algunas cosas complejas. Nos permite tomar las técnicas básicas para la elaboración del prototipo del sistema de visión, como ajustar los parámetros y que se obtenga un buen procesamiento de la

imagen. Además, ayuda a definir qué componentes se toman en cuenta al momento del desarrollo del prototipo, como se muestra en la *Figura 2*.

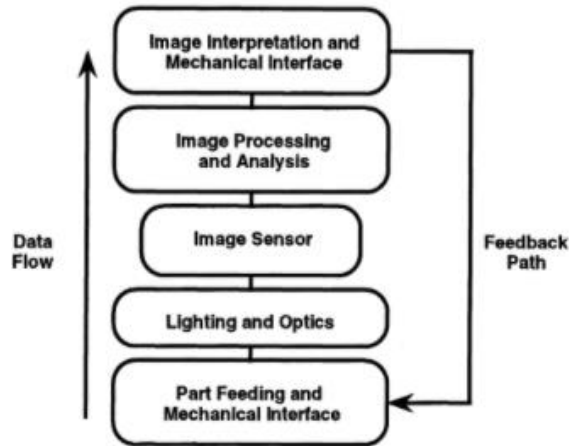


Figura 2: Componentes de sistemas de visión artificial [2]

En el libro [3], se ha ido actualizando con el tiempo debido a que es la cuarta edición que sale al mercado y la cual sigue compartiendo la información necesaria para obtener el sistema de visión en computadora. La visión artificial es el estudio de las técnicas y métodos donde la visión artificial puede ser construida y usada en aplicaciones prácticas. Se menciona un poco de lo que es visión y el proceso de reconocimiento. Se hace una comparación entre el procesamiento de imágenes en escala gris vs. escala RGB. Se recomienda utilizar la escala RGB cuando se requiera cuidar aspectos en el producto y poder separar y segmentar los tipos de objetos de uno al otro. Son muchos factores a tomar en cuenta a la hora de implementar un sistema de visión, dependiendo de qué es lo que se desea analizar y las características que se tiene en el producto. En este libro, se cuenta con una gran variedad de información, más que nada teoría básica sobre la elaboración de los sistemas de visión por computadora, la diferencia entre ambas escalas junto con todos los factores como detección de esquinas, filtrado de imagen, detección de puntos de interés. [3]

En el documento [4], ya se centra más específicamente a un tipo de aplicación donde se utiliza el sistema de visión, el cual está compuesto por una cámara CCD para

la captura de imágenes y su procesamiento es mediante el software LabVIEW y un Programmable Logic Controller (PLC) para controlar el procedimiento de clasificación, como se muestra en la *Figura 3*. Este proyecto consiste en analizar las rebabas que puede traer los cilindros de metal mediante LabVIEW el cual dará la orden al PLC para clasificar el producto.

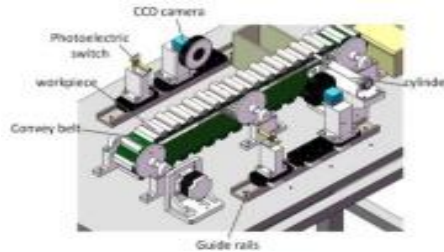


Figura 3: Esquema del proceso a automatizar [4]

El algoritmo que se utiliza en este sistema de visión está diseñado para reconocer las rebabas en los bordes en los cilindros de metal. El cual la rebaba puede ser un defecto muy común para las industrias que manejan estos tipos de productos. El procesamiento que se utiliza en este sistema se muestra en la *Figura 4*. Para poder tener un mejor procesamiento, es necesario que esté en escala gris, para filtrar la imagen y así eliminar ruido para suavizar la imagen. LabVIEW cuenta con una librería de detección de bordes y binarización. Después con la ayuda de un círculo en el sistema se logra ajustar el contorno, porque la rebaba puede estar alrededor del cilindro.

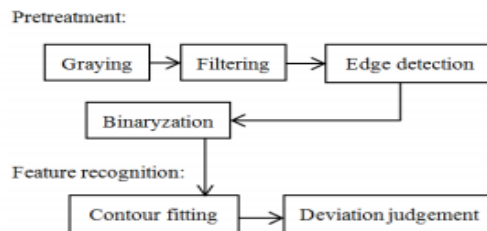


Figura 4: Diagrama de flujo de procesamiento de imágenes [4]

Un aspecto que se toma en cuenta en este documento, es la gran ventaja de utilizar el software LabVIEW, ya que cuenta con un procesamiento de imágenes dentro del software junto con muchas librerías las cuales son útiles para la detección de diferentes parámetros en los objetos. Solo es necesario conectar una cámara para la adquisición de imágenes y si es necesario, considerar una iluminación externa. Permite la comunicación con otros dispositivos tecnológicos para una mayor automatización de la línea. La gran desventaja que se tiene al utilizar este software, es que no es de uso libre, es necesario una licencia el cual software básico tiene un costo actual de \$10,980.00 MX/ año. [10]

En [5], es un complemento a los documentos revisados anteriormente, ya que nos habla sobre cómo es la visión de imágenes mediante computadoras en inteligencia artificial. Cómo esta visión de computadora puede simular a la visión humana, analizando y procesando información y datos visuales [5]. Este documento permite ver un poco más de conceptos sobre lo que se tiene a la visión por computadora y los pasos de reconocimiento que se utilizan, mostrado en la *Figura 5*.

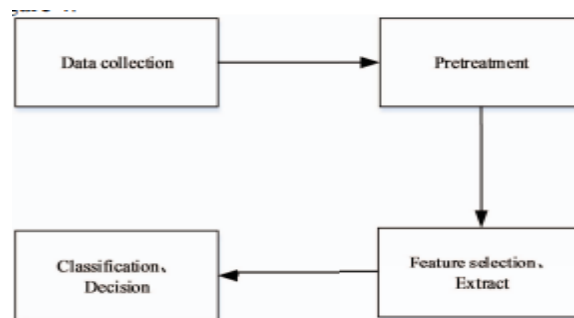


Figura 5: Estructura básica del sistema de reconocimiento de patrones [5]

En [6], se enfoca a una aplicación de tejidos que utiliza el sistema de visión. Es importante ver todas las aplicaciones que cuenta el sistema y el cual puede emplearse en muchas aplicaciones de producción. En este documento, el control se hace mediante Python, un software gratuito, el cual es otra opción de control que se puede usar. Dependiendo de las necesidades, se verá qué controlador es más viable a utilizarse y más económico.

En caso de hacer el procesamiento de imágenes mediante Python, se menciona diferentes métodos para el procesamiento de imágenes. Menciona que es necesario importar unas librerías para el código y poder procesar las imágenes, así como también hacer la conversión de color de RGB a gris para acelerar este procesado de imagen por computadora. Se elabora un filtrado en la imagen para eliminar ruido y poder seguir con el proceso de detección de bordes. Toda esta información es recabada por el sistema y se muestra en un archivo XML. La desventaja de utilizar Python es que todo se debe de hacer mediante código en comparación a otros sistemas que ya contienen todo en librerías y con una interfaz amigable para el usuario.

A pesar de ser una página web [11], brinda información útil sobre los sistemas de visión en las industrias manufactureras, que es lo que nos importa a nosotros ver más a detalle. En la *Figura 6* se muestra los tipos de sistemas de visión que pueden ser aplicados y un poco de descripción de cada uno. Se menciona tres tipos de sistemas: Cámaras inteligentes, Sistemas basados en PC y Aparatos de visión. Todos llegan al mismo objetivo, realizar el procesamiento de imágenes, pero a través de diferentes métodos. Además, muestra como es el método que lleva el sistema de visión, sus pasos a seguir y aplicaciones en las que pueden ser útiles.

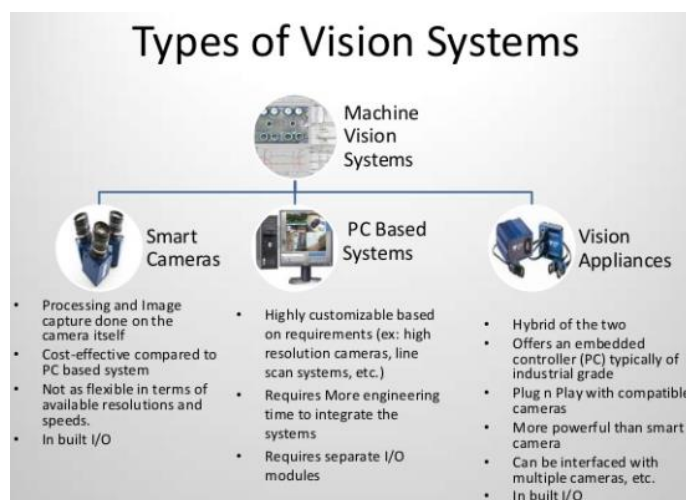


Figura 6: Tipos de sistemas de visión [11]

1.1.2. Datos sobre la situación

La economía de la empresa manufacturera se ve afectada por una mala calidad en sus procesos industriales. No se cuenta con los registros de las pérdidas producidas por la mala calidad, debido a que se trata de ocultar las ineficiencias. Pero esta mala calidad tiene sus beneficios dentro de la empresa, ya que estos costos que se genera, ayudan a medir el desempeño y el lugar a llevar a cabo una acción correctiva para la solución de las pérdidas. Varios estudios muestran que estos costos de calidad representan del 5 al 25% sobre las ventas anuales. [12] Cabe mencionar que este porcentaje depende del tipo de industria y su exigencia sobre el control de calidad.

1.1.3. Otros datos que comprueben tu argumento

Uniando el control de calidad junto a la visión artificial, se tiene a los sistemas de visión artificial para la verificación de los requisitos mínimos de calidad impuesta por la industria y cliente, los cuales se tiene como resultado procesos productivos industriales más eficientes y efectivos. Gracias a los sistemas de visión, proporcionan varias ventajas las cuales ayudan a mejorar los costos de calidad y su inspección:

- Aumentar la productividad.
- Disminuir las pérdidas de materiales.
- Reducir los costes.
- Mejorar la calidad del producto final.

1.2. Planteamiento del problema

Ante la situación presentada en los procesos de manufactura y mayormente en la inspección de calidad dentro de la industria, se ve la necesidad de implementar un control para estas inspecciones, mediante el cual se opta por un sistema de visión en computadora, la que realizará las operaciones de inspección del producto a más detalle que una inspección humana y que este pueda detectar anomalías fácilmente y así aprobar o rechazar, ya sea el caso, las condiciones y propiedades del producto.

1.3. Preguntas de investigación

De acuerdo al problema descrito anteriormente, se formuló la siguiente pregunta:

¿Cuál sería el beneficio que se obtendría al desarrollar y aplicar un sistema de visión para la inspección de calidad dentro del proceso de manufactura?

¿Qué diferencia se tendría conforme al sistema actual de inspección de calidad a una inspección de calidad con visión artificial?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

Desarrollar e implementar un prototipo de un sistema de visión por computadora adecuado para la inspección de calidad en procesos de manufactura.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Realizar el estado de arte para la identificación de técnicas y métodos utilizados para los sistemas de visión.
- Definir el proceso de manufactura para controlar la calidad.
- Definir las técnicas y métodos se adaptan mejor al proceso.
- Desarrollar un prototipo del sistema de visión para el proceso de manufactura definido anteriormente.
- Establecer los métodos de visión para la detección de fallas y anomalías dentro del proceso a controlar la calidad.
- Evaluar los resultados de los métodos propuestos mediante pruebas experimentales del prototipo comparando con resultados obtenidos al método de inspección manual.

1.5. Hipótesis

Ante el gran desarrollo que presentan las industrias manufactureras y su meta de entregar productos de alta calidad sin ninguna falla que perjudique su funcionamiento, en esta tesis es posible realizar un prototipo de un sistema de visión por computadora el cual será adecuado para la inspección de calidad en el proceso de avellanado de las líneas de gasolina. Con ello definiendo los métodos y técnicas adecuados al proceso y obteniendo resultados favorables de inspección con el prototipo que con la inspección visual.

1.6. Justificación

En las industrias manufactureras, en algún punto de los procesos de producción se requiere realizar una inspección visual del producto, para evaluación y determinación de las condiciones y no presentar ninguna anomalía que pueda afectar la integridad del producto con fines de control de calidad. Muchas veces el ojo humano se alcanza a percibir fácilmente una anomalía o también puede ser el caso que un producto continúe su proceso sin efectuarse una inspección adecuada y es cuando se empieza con problemas para la empresa, ya sea que el producto llegue a manos del cliente con un defecto no detectado anteriormente y/o también alguna máquina dentro del proceso este presentando fallas y no se detectó a tiempo y todo esto puede generar perdidas en costos y tiempos para la empresa.

Tareas como estas inspecciones se pueden automatizar con las nuevas tecnologías que se encuentran en el mercado, como lo son los sistemas de visión por computadora, que son capaces de adaptarse a cualquier ámbito de trabajo al que son requeridos, ya que sus parámetros de reconocimiento de imágenes se modifican a las necesidades del proceso. Los parámetros del sistema aportan información valiosa sobre el desempeño de los productos y con ello se consigue mejorar los procesos de manufactura con un resultado final más preciso y fiable, logrando reducir las quejas y devoluciones por parte del cliente.

1.7. Metas y alcances

Las metas establecidas para el desarrollo de esta investigación son las siguientes:

- Demostrar la eficiencia del sistema de visión por computadora aplicado en el proceso de manufactura.
- Demostrar que es mejor un sistema de visión para el control de calidad que una inspección manual en el proceso de manufactura.

El alcance que tiene como finalidad la investigación es adquirir todos los componentes necesarios para la construcción de un prototipo del sistema de visión, el cual permita mejorar la inspección de calidad dentro del proceso y logre facilitar al operador al realizar las tareas de inspección adecuadas para evitar que continúen productos defectuosos en el proceso.

1.8. Delimitaciones

El proyecto de investigación va dirigido hacia una empresa manufacturera, lo cual será aplicado específicamente en un proceso de manufactura. La investigación realizada se elabora con base al proceso aplicado y se toma en cuenta las características y especificaciones necesarias para llevar a cabo el proyecto en tiempo y forma establecido.

2. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y MARCO TEÓRICO

2.1. Inspección visual y uso de herramental

La inspección visual es aún muy utilizada por empresas dentro de sus procesos de manufactura. Estos tipos de inspecciones se emplean normalmente en procesos donde no se requiere un cuidado minucioso de calidad o donde se puedan apreciar a grandes rasgos las propiedades con las que cuenta el producto y así el trabajador podrá evaluar los criterios necesarios para su verificación.

Además de la inspección visual, los trabajadores se pueden apoyar del uso de herramental como medidores o accesorios dependiendo del producto a evaluar. Estos herramientas deben ser aprobados anteriormente por el departamento de calidad para que se este seguro de la correcta utilización dentro del proceso y que se cumpla con los criterios a evaluar.

La inspección visual junto con los medidores y accesorios le permiten al trabajador realizar las siguientes tareas:

- Comprobar las dimensiones requeridas. Por ejemplo, con el uso de vernier, previamente calibrados, permite tomar las medidas más precisas. También algún accesorio impreso en 3D o maquinado permite una medición rápida.
- Comprobar la presencia de las características requeridas en el producto. Si hace falta algún objeto que se pueda visualizar a simple vista, se puede hacer la detección rápidamente.
- Verificar cualquier imperfección que podría existir.

La inspección visual humana depende mucho de la experiencia y capacidades del trabajador el cual está ejecutando la tarea. Además, puede entrar otros factores como problemas de vista, cansancio, entre otras, el cual hace que este tipo de inspección sea menos eficiente y segura.

Muchas empresas, según sus procesos y productos, siguen optando por el tipo de inspección convencional. Pero existen muchas empresas las cuales sus productos son reducidos en tamaño y con ello, una inspección visual es más difícil para el trabajador detectar alguna anomalía y evaluar correctamente los criterios. Por eso, debido al gran aumento en la tecnología hoy en día y por qué muchas empresas ven a futuro los beneficios de implementación de nuevos métodos para mejorar estos aspectos, ven la necesidad de que la inspección de calidad se logre mediante sistemas automatizados. Estos ayudan a disminuir costos por pérdidas y además cumplen con las expectativas para una inspección eficiente repetitiva.

2.2. Inspección automatizada

El aumento de la tecnología y las grandes necesidades que se tienen hoy en día por las empresas, surgen los sistemas automatizados, los cuales permiten obtener resultados más confiables y eficientes en la producción. Los sistemas automatizados para la inspección visual se logran mediante el uso de visión artificial, el cual mediante una combinación entre software y hardware se visualiza el producto mediante imágenes, se procesa y es evaluada según las características definidas y proporciona información importante sobre la inspección de calidad.

La visión por computadora es el proceso de captura, análisis, identificación de características y detalles útiles de una imagen digital en dos dimensiones, para interpretarla y ejecutar alguna acción. [13]

Las industrias que optan por el ingreso de estos tipos de sistemas, son por qué requieren:

- Disminuir pérdidas por retrabajos o desechos.
- Inspección con alta precisión y eficiencia por largo tiempo.
- Inspección de productos de alto volumen y de manera rápida.
- Necesidad de control debido a problemas detectados anteriormente por la falta de una buena inspección.

Al implementar sistemas de visión artificial, *Figura 7*, se tiene la confiabilidad y rendimiento de aplicar siempre los mismos criterios de evaluación en cada producto revisado. Esto con la finalidad de que se logre obtener una buena eficiencia en la línea de producción y mejorando tiempos y costos.

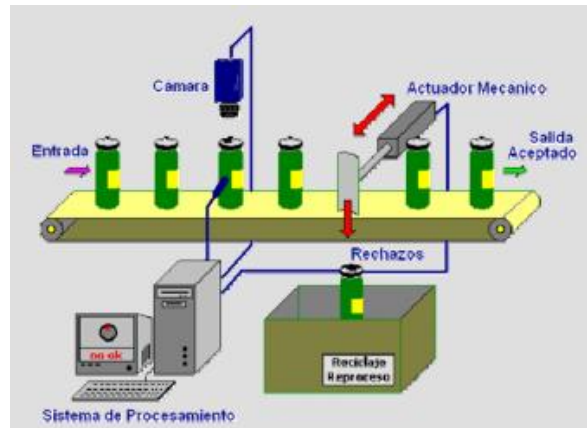


Figura 7: Sistema de visión en línea de producción [8]

2.2.1. Características de los sistemas de visión por computadora

Como mencionado anteriormente, estos sistemas de visión, hacen la adquisición de imágenes mediante componentes de hardware, con el fin de procesar y evaluar las propiedades vistas y dar un resultado sobre ellas. Mediante el uso de software se implementa todo parámetro el cual será puesta a prueba las imágenes, permitiendo al sistema tomar decisiones de manera eficientes y precisas en cada imagen adquirida. Unas características principales son: [14]

- Analizan color.
- Detectan bordes y formas.
- No existe contacto con el objeto.
- Son automáticos.
- Logra analizar objetos en movimientos.
- Flexibles basados en software.
- Entorno informático.

Los beneficios que se otorga a las industrias que se dirigen por el camino de automatizar sus inspecciones son:

- Capacidad de trabajar en líneas con grandes repeticiones de productos sin interrupción.
- Buena adaptación a grandes volúmenes de trabajo, evitando factores externos del trabajador.
- Capacidad de trabajar en cualquier horario sin generar costos extras a las industrias.

Además de brindar beneficios a las empresas, se deben evaluar las posibles desventajas que puede ocasionar:

- Rango de objetos en una misma adquisición de imágenes.
- Problemas de iluminación en la adquisición de imágenes.
- Costo de implementación y mantenimiento puede ser elevada dependiendo de las características que se pretenden evaluar.

Los sistemas de visión tienen como objetivo hacer lo siguiente: [14]

- Automatizar tareas repetitivas de inspección.
- Llevar a cabo un control de calidad en productos los cuales ya no son posibles verificar por el método visual o herramental.
- Realizar la inspección del 100% de la producción a gran velocidad.
- Reducir tiempos de ciclos en procesos automatizados.
- Distintos tipos de mediciones del objeto según lo que se requiera.
- Realizar una inspección en donde existe productos con cambios frecuentes de piezas.

2.3. Etapas de proceso de un sistema de visión por computadora

Todo sistema de visión debe seguir ciertos pasos para brindar la información necesaria al trabajador sobre el objeto analizado mediante ella. En la *Figura 8*, se puede apreciar un diagrama de las etapas a seguir en el proceso.

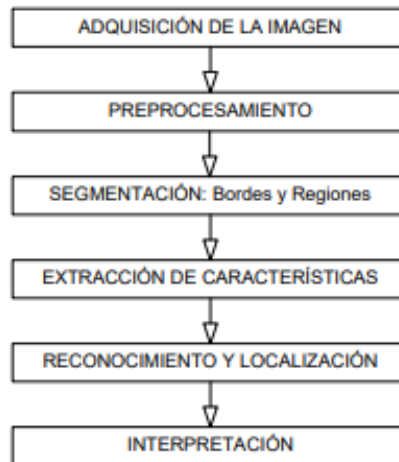


Figura 8: Etapas de proceso de los sistemas de visión por computadora [9]

2.3.1. Adquisición de la imagen

En esta primera etapa para el proceso de visión, es la adquisición de la imagen, esto es mediante el uso de una cámara, captura la imagen y la digitaliza.

En este paso es cuando se obtiene las características visuales de los objetos que permitirán ser procesadas en las siguientes etapas. Es importante que se realice con éxito esta etapa y que se logre capturar la mejor imagen posible, debido a que basándose en la imagen se obtendrá información y la evaluación según los criterios. [8] [13]

2.3.2. Preprocesamiento

Para este siguiente paso, se hace una limpia de toda la información que no es necesaria que se captura al adquirir la imagen en el paso anterior. Estos datos que no son requeridos se les conoce como ruido. Este paso es de objetivo fundamental porque elimina todas las características no necesarias y amplía la oportunidad de adquirir una mejor información para las siguientes etapas. [8] [13]

2.3.3. Segmentación

Consiste en descomponer la imagen de forma que permita distinguir dos clases de regiones en la imagen: región objeto y región fondo. Se detecta automáticamente los bordes o contornos entre los elementos de la imagen.

Un tipo de segmentación es cuando se compara el nivel de luminosidad en cada píxel contra el umbral que separa estas regiones, el cual es obtenido mediante un análisis estadístico. [13]

Otro tipo de segmentación es mediante la detección y extracción de contornos, lo cual es realizado mediante algoritmos que calculan el gradiente de la luminosidad en línea. [13]

La segmentación permite filtrar la imagen de cualquier ruido que se capture al adquirir la imagen para un mejor procesamiento de ella.

2.3.4. Extracción de características

Se debe extraer una serie de características que se representan en forma de vector de características. Esta selección de características pretende resolver el problema del reconocimiento. Se logra hacer la extracción de los rasgos de información cuantitativa de mayor interés y características básicas para diferenciar varios objetos de sí mismos.

Estas características dependen del objeto que se hace la adquisición de imágenes. Algunas extracciones de rasgos pueden ser por tipos geométricos, lo cual permite adquirir información sobre el área y perímetro del objeto y por tipo topológico, lo cual este ve la estructura del objeto, como los números de hoyos, descriptores de Fourier, número de Euler. [8] [13]

2.3.5. Reconocimiento y localización

En esta etapa de reconocimiento y localización, es la última etapa del procesamiento digital de imagen. En esta se reconoce e interpreta toda forma que se ven, así como sus patrones. Mediante técnicas, se localiza cualquier objeto en el espacio de la adquisición de imagen.

En este paso, se puede etiquetar los objetos localizados dependiendo de la información que pongamos en el software. [8]

2.3.6. Interpretación

En esta última etapa, el sistema de visión, a partir de la información obtenida en los pasos anteriores y del conocimiento sobre el objeto analizado, se hace la interpretación hacia el operador del sistema para que visualice la evaluación realizada sobre el objeto mediante el sistema de visión por computadora. Partiendo de este paso es cuando se puede saber si el procesamiento y evaluación de los objetos analizados son aprobados por los criterios de calidad planteados.

La estructura general del sistema de visión, se muestra en la *Figura 9*, la cual señala los pasos y direcciones a seguir en cada etapa revisada con anterioridad.

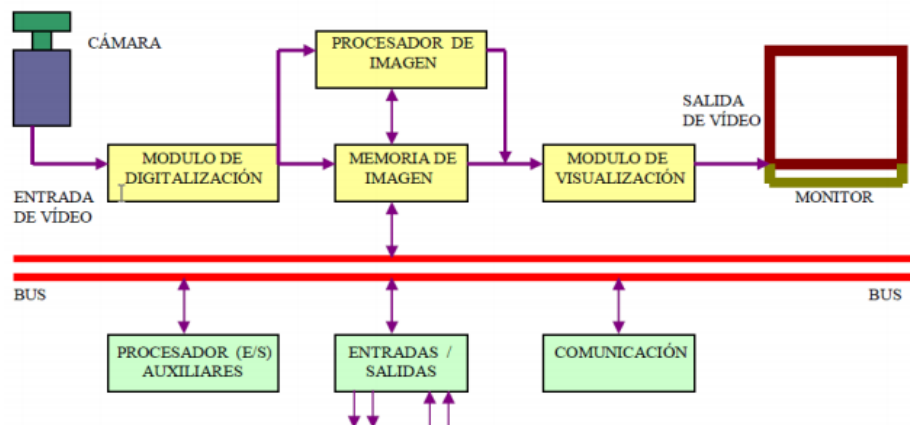


Figura 9: Estructura del sistema de visión por computadora [14]

2.4. Componentes de un sistema de visión por computadora

Los componentes del sistema de visión por computadora, *Figura 10*, se pueden dividir en 2 categorías que son: sistema de percepción y el sistema de actuación. En los sistemas de percepción, se tiene todos aquellos componentes que permiten la adquisición de imágenes, tales como, la cámara, la iluminación y tarjeta de adquisición de la señal en la computadora. Por otra parte, los sistemas de actuación, son aquellos componentes que interactúa el sistema ya una vez analizado la imagen, ya sea un actuador interno del software o un actuador externo del sistema, que permite la evaluación final sobre los criterios agregados en la prueba de la imagen capturada.

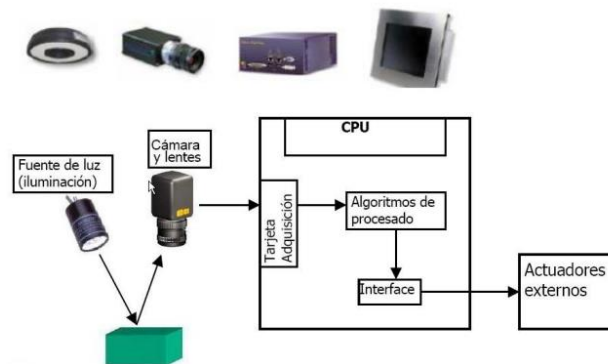


Figura 10: Componentes/elementos de un sistema de visión artificial. [14]

2.4.1. Fuente de iluminación

Estos componentes son considerados como parte crítica dentro del sistema de visión. Debido a que los componentes de adquisición de imágenes necesitan capturar lo mejor posible los objetos para lograr identificar cada parte detalladamente. La iluminación ayuda a controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto.

El objetivo de una buena iluminación para los sistemas de visión, son independizar las condiciones del entorno en la escena y resaltar cada rasgo de interés en el objeto analizado. [8]

Existe varios tipos de iluminación, mostradas en la *Figura 11*, que se pueden implementar según la aplicación a la que el sistema de visión será implementado:

- Iluminación mediante fibra óptica.
- Iluminación mediante fluorescentes.
- Iluminación mediante diodos led.
- Iluminación mediante láser.
- Iluminación incandescente.
- Iluminación Flash Xenon.

Fuente de Iluminación	Ventajas	Inconvenientes
Incandescentes	Baratas Buena intensidad	Corta esperanza de vida Calor Frágiles Pérdida de luz progresiva
Fluorescentes	Baratos Buena luz difusa Esperanza de vida aceptable Iluminan áreas amplias Variedad respuestas espectrales Bajo consumo	Precisan balastos de alta frecuencia. No valen para flash Voluminosos Frágiles Pérdida de luz progresiva
Fibra Óptica	Pequeño tamaño Buena intensidad Gran variedad de patrones No genera calor ni posibilidad de chispas	Frágil Haces de 5 metros máximo
LED	Robustez Compacidad Rápida respuesta (flash) Gran variedad de patrones y respuesta espectral No genera calor	Baja intensidad (mejora como flash) Caros Respuesta espectral muy estrecha
Flash Xenon	Altísima intensidad Buena esperanza de vida Respuesta espectral amplia	Caros Voluminosos Alto voltaje: no entornos deflagrantes
Láser	Luz coherente ideal para 3D	Caros Campo de iluminación muy reducido: puntos o líneas

Figura 11: Ventajas y desventajas de los tipos de iluminaciones. [15]

2.4.1.1. Iluminación mediante diodos led

Este tipo de iluminación proporciona un led difuso muy útil para la aplicación en ciertos objetos. Pueden ser de iluminación directa y en anillo como se muestra en la *Figura 12*: [14]

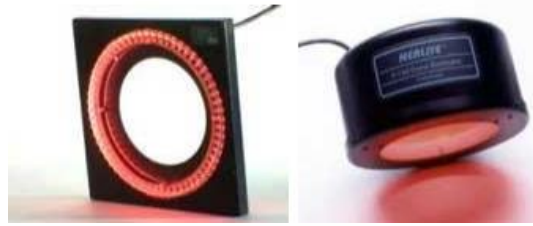


Figura 12: Tipo de iluminación mediante diodos led. [14]

Usando leds como iluminación hace que se cuente con un coste accesible. Estos leds se pueden encontrar normalmente emitiendo un color rojo por ser el color más sensible al espectro de las cámaras, pero de la misma manera puede encontrarse de otros colores como naranja, verde, azul o blanco.

Las ventajas sobre utilizar la iluminación de tipo Led son: [15]

- Menor tamaño de implementación.
- Mayor duración y fiabilidad.
- Baja temperatura.
- Bajo consumo.
- Baja tensión.
- Amplia variedad disponible.

La desventaja principal de estos tipos de iluminación es que no proporciona una iluminación tan intensa como otros tipos. Si se presenta este problema, la solución es agregando una iluminación externa al sistema, el cual podrá aumentar a más detalle el objeto a evaluar.

Este tipo de iluminación es el que se pretende implementar en el proyecto de investigación, debido a que se utiliza una cámara DVT Legend 530, descrita más adelante, y el cual cuenta con la iluminación mediante diodos leds de tipo anillo, como se puede apreciar en la *Figura 13*:



Figura 13: Cámara DVT Legend 530 con iluminación diodos leds. [16]

Como se menciona anteriormente en las desventajas, si se llega a necesitar más iluminación dentro del proceso para una mejor adquisición de imagen, se puede agregar una iluminación externa para mejorar la calidad de ella.

2.4.2. Cámara y óptica

La cámara y óptica es otro de los componentes principales debido a que, sin ella, no hay elemento con que adquirir la imagen del objeto a evaluar. Las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos y está la utiliza para generar imágenes. La cámara se desempeña como un sensor para el sistema de visión, lo cual, al capturar las luces reflejadas, este modifica su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben y este es transmitida al computador como señales analógicas y digitales. [8]

El sensor puede estar construido con base a distintas tecnologías:

- Cámaras de tubo: Es fabricado basándose en una tecnología analógica y ese emplea un material fotosensible que capta la imagen, siendo leída por un haz de electrones.
- Cámara de estado sólido CCD (Charge Coupled Device): Fabricado a base de una tecnología digital y además es la más usada debido a su bajo costo, consumo y además con buenas características como buena resolución, durabilidad y facilidad en el manejo. [8]

Además, se cuenta con dos tipos distintos de sensores para las cámaras CCD:

- Cámara lineal: Se basan en un sensor CCD lineal. Obtiene menos información de la escena. [8]
- Cámara matricial: Se basan en un sensor CCD matricial. Permite el análisis de imágenes bidimensionales. [14]

Los diferentes tipos más utilizados de dispositivos CCD, con un ejemplo en la *Figura 14*, son:

- CCD progresivo: También llamados de barrido progresivo, son útiles para la adquisición de imágenes en movimiento.
- CCD entrelazado: Realiza la adquisición y transmisión de los campos pares e impares por separado. No son buenos para imágenes en movimientos.
- CCD digital: Lleva a cabo una transmisión digital con la capacidad de realizar lecturas parciales y no destructivas, además de lograr variar su resolución.

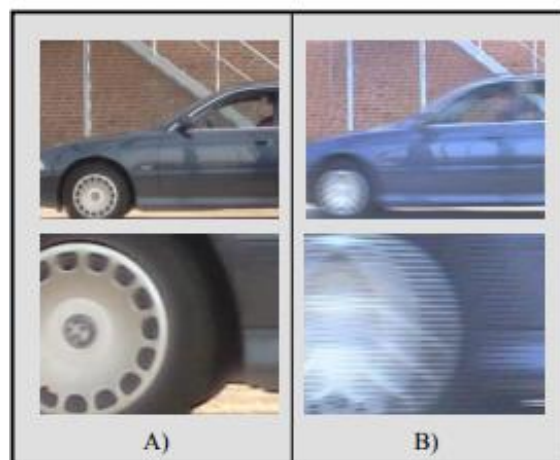


Figura 14: Comparativa entre CCD progresiva (A) y entrelazada (B). [8]

La óptica o el lente, *Figura 15*, es un elemento importante para la cámara debido a que este se encarga de enfocar la imagen, aumenta o disminuye la imagen, y además ayuda a concentrar la luz reflejada por los objetos para ser transmitida hacia el sensor de la cámara para la obtención de una deseable imagen.



Figura 15: Distintos tipos de ópticas de cámaras. [13]

Los elementos que componen los lentes son:

- Anillo de enfoque: Este permite aumentar o disminuir el tamaño del objeto, para así colocar la imagen de la mejor manera.
- Diafragma: Este se gira para seleccionar la entrada de luz a la cámara, para según las condiciones y distancia, permite seleccionar la mejor cantidad de luz entrante.

2.4.2.1. Cámara DVT Legend Series 530

La cámara DVT Legend Series 530, *Figura 16*, la utilizada para la implementación de este proyecto. Cuenta con un sensor de escala en grises CCD progresivo, la cual se puede apreciar en la *Figura 17*, para la adquisición de imágenes, con un formato de CCD de 4.8 x 3.6 mm. Además, cuenta con una resolución de 640 x 480. Como mencionado anteriormente, esta cámara ya cuenta con el sistema de iluminación conformado por un anillo de leds infrarrojos. Se adquirió un lente óptico varifocal de marca Tamron modelo M118FM08 con las características de un tamaño de imagen 1/1.8, distancia focal 8 mm, rango de apertura de 1.4-16 y con un peso de 44 g, *Figura 18*.



Figura 16: Cámara DVT Legend 530.



Figura 17: Sensor CCD de cámara DVT Legend 530.



Figura 18: Lente Tamron 06743 Japan

Las dimensiones de esta cámara se aprecian en la siguiente *Figura 19*:

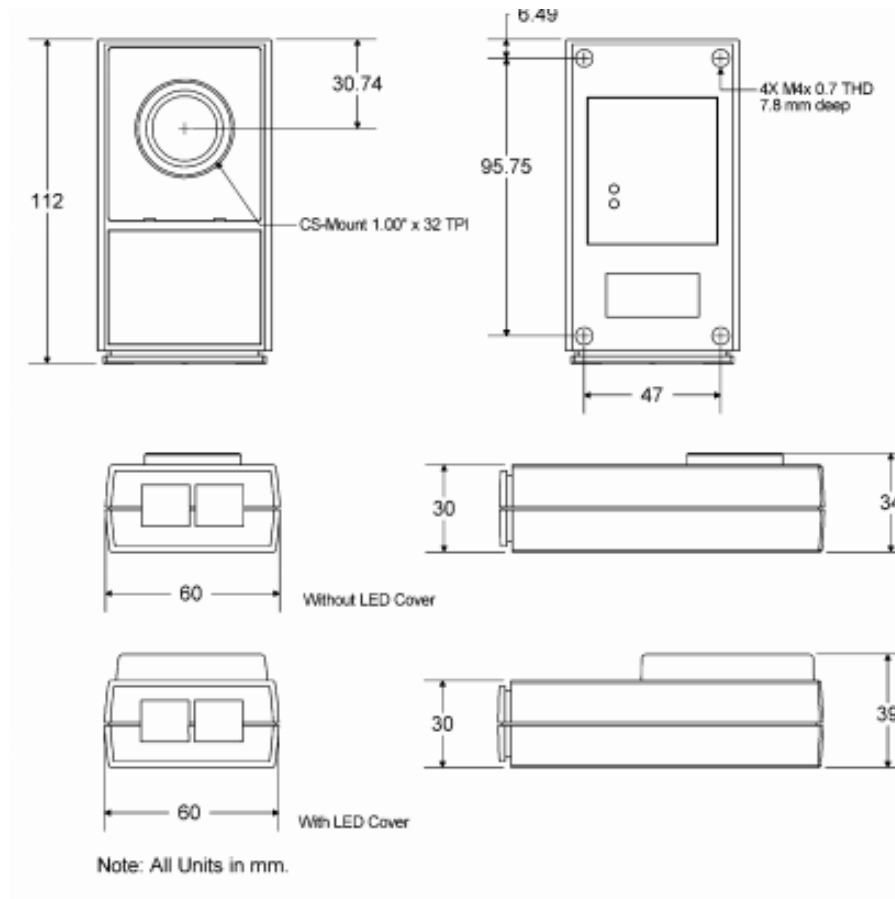


Figura 19: Dimensiones de la cámara DVT Legend 530 en mm. [16]

Esta cámara se destaca por su capacidad de comunicación vía Ethernet con otros dispositivos, permitiendo que sea de fácil uso y rápida ejecución.

2.4.3. Tarjeta de adquisición

En los sistemas de visión, se necesita un componente encargado de procesar la imagen. Este hardware llamado tarjeta de adquisición (frame grabbers), se encarga de capturar las imágenes que dispone la cámara, las procesa y envía al computador la información necesaria.

Con esta tarjeta de adquisición de datos, el sistema es capaz de inspeccionar, realizar la adquisición y generar las señales para la comunicación en las etapas de percepción.

En este caso, debido a la cámara utilizada y su comunicación vía Ethernet, no es necesario la utilización de una tarjeta de adquisición para la comunicación entre dispositivos, lo cual facilita mucho más la elaboración del proyecto.

2.4.3.1. Módulo DVT Isolated Board

Esta placa de conexión para las cámaras DVT Legend Series, *Figura 20* y *Figura 21*, es un módulo de arranque que contiene entradas/salidas digitales, alimentación y líneas de iluminación leds, pero además permite el uso de módulos de aislamiento. La placa está conformada por dos puertos principales. Los puertos de la derecha que incluye puertos I/O sin aislamiento necesario, luces leds y terminales de alimentación. Los puertos del lado izquierdo también cuentan con conexiones de I/O, pero de uso único con módulos de aislamiento. Permite una fácil conexión de los sensores DVT a la corriente. [16][17]



Figura 20: Módulo DVT Isolated Breakout Board.

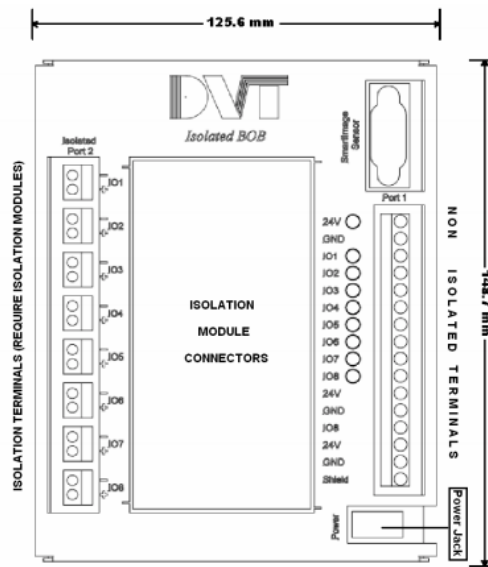


Figura 21: Dimensiones del módulo DVT Isolated Breakout Board. [16]

El módulo se alimenta con 24 V la cual es suministrada por una fuente de voltaje. La cámara se conecta al módulo mediante el cable CBL5-D10 para su alimentación. Esta placa puede ser utilizada para implementar entradas y salidas a controlar.

La conexión entre la cámara DVT Legend 530 y el módulo DVT Isolated BOB es mediante un cable CBL5-D10 (beige) el cual establece la conexión entre ambas, conectando el lado con el conector D-Sub hacia el módulo y el lado con el conector RJ-45 en el primer puerto de la izquierda, teniendo el lente hacia arriba, como se aprecia en la *Figura 22*. El cable RJ-45 de Ethernet se conecta en el puerto derecho teniendo el lente hacia arriba y su otro extremo se conecta directamente hacia la PC para establecer la señal.



Figura 22: Conexión cámara DVT Legend 530 – DVT Isolated BOB.

2.3.4. Sistema de procesamiento

Este sistema de procesamiento, suele ser una computadora o también denominado PC, el cual dependerá del software de visión a utilizar. Se encarga de recibir y analizar todas las imágenes que la cámara capture y mediante el software evalué los criterios del objeto.

Las tareas que realiza esta computadora son: [14]

- Realizar la lectura de imágenes.
- Procesar los datos proporcionados por las cámaras para llevar a cabo el análisis de imagen.
- Ejecutar la interfaz con los usuarios.
- Comunicar con los sistemas productivos, para detener el proceso en caso de la aparición de algún defecto.
- Controlar el buen funcionamiento de todos los elementos hardware.

La PC ayuda a que exista una interacción entre las aplicaciones a usar y de los actuadores externos si es el caso.

2.3.5. Software de visión

El software es un elemento también importante para el sistema de visión debido a que en esta aplicación es cuando la imagen adquirida mediante la cámara, es analizada, procesada e identifica todas esas características y criterios que se delimitan dentro del mismo software.

En el mercado existe actualmente una gran variedad de software, ya sea de uso libre o de paga por la licencia. Ambas son buenas, pero dependiendo a la aplicación que es puesta a prueba, es el tipo de software que mejor se adapte a las necesidades. Las de paga por licencia, cuentan con una mejor interfaz para el usuario y puede tener muchas más herramientas para el sistema de visión.

2.4.5.1. DVT Intellect

La compañía Cognex cuenta con un software gratuito llamado DVT Intellect, *Figura 23*, con la versión 1.2.3, el cual permite la conexión y detección rápida mediante el puerto Ethernet. Este software ofrece una interfaz de usuario intuitiva y una gran biblioteca de herramientas para los sistemas de visión. Se puede lograr una configuración de las aplicaciones fácil y rápidas debido a su buena interfaz con el usuario, lo que hace que se agilice el tiempo. [17]

Nos permite interactuar directamente con el cámara, como lo es su iluminación, ya sea apagando o encendiendo esta función, además de controlar el tiempo de parpadeo de los leds, entre muchas funciones más.

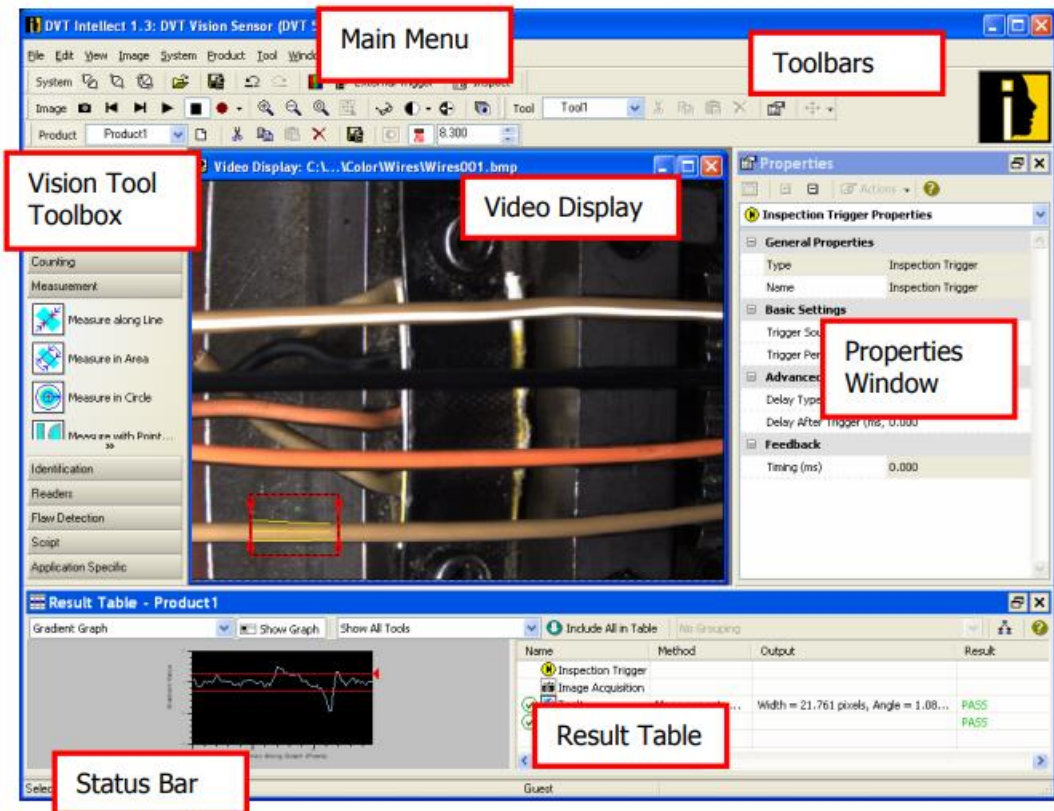


Figura 23: Software DVT Intellect. [17]

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Las técnicas y métodos mostradas a continuación son los que se siguieron durante la elaboración de la investigación para alcanzar el objetivo final de elaborar el prototipo de un sistema de visión. Además, se proporciona las actividades realizadas junto con el cronograma con fechas límites establecidas con anterioridad para cada tarea y logrando cumplir con los objetivos a tiempo y forma. Se mencionan todos los materiales que se utilizan y el presupuesto requerido.

3.1. Propuesta de solución

Desarrollar un prototipo de sistema de visión por computadora, con la ayuda de la información de proyectos de investigación realizada anteriormente y a su vez con el apoyo del marco teórico, el cual permitirá mejorar la inspección de calidad y sea de fácil uso para el operador al momento de realizar su tarea.

Este sistema contará con todos los componentes de hardware y software, necesarios para una implementación adecuada dentro del proceso, incluyendo cámara, iluminación y software donde se implementará todos los criterios a evaluar sobre el producto.

3.2. Modelo de la investigación

El modelo de investigación a seguir según el propósito de esta investigación es siguiendo el modelo de investigación aplicada tecnológica según el método científico.

Este tipo de modelo se encuentra relacionado con el modelo de investigación básica, debido a que esta investigación se basa en una formulación de hipótesis y además incrementa el conocimiento científico. La investigación aplicada tecnológica utiliza los conocimientos adquiridos y genera un nuevo conocimiento con la intención de ponerlo en práctica y favorecer a las personas involucradas. En la *Figura 24*, se aprecia el modelo a seguir y como se relacionan entre sí.



Figura 24: Diagrama de modelo de investigación. [18]

La investigación básica busca ampliar el conocimiento teórico y general, mientras que la investigación aplicada se propone a entregar soluciones que impacten a la sociedad. [18] Logrando así un gran avance en el conocimiento humano y aportando al beneficio de las personas.

3.3. Metodología

La metodología nos permitirá orientar la forma en que enfocamos esta investigación para garantizar resultados válidos y fiables que responderán a nuestras metas y objetivos establecidos.

Este modelo considera la aplicación de la metodología cuantitativa debido a que se centra en los aspectos observables de cuantificación y se utiliza la estadística para el análisis de datos. Se mide y se evalúa estadísticamente el método a desarrollar para el sistema de control de calidad en productos buenos y malos y además se compara el sistema con el método de inspección visual usado habitualmente, logrando así una comparación entre ambos resultados de los métodos y su desempeño.

La técnica de investigación empleada para la recolección de datos es el siguiente:

- Observación: Análisis del comportamiento en el proceso de manufactura, así como del método de inspección actual en el producto. Se observó cada que tanto se realizaba la inspección visual y si se está ejerciendo de la manera correcta.

Estos datos analizados son de gran utilidad debido a que se demuestra la necesidad de hacer el cambio en que la manera se efectúa la inspección de calidad en el proceso y que la mejor opción es mediante la aplicación de un sistema de visión para estas inspecciones. Permite tener respaldo de datos sobre los errores en el pasado y además cómo se comporta la máquina, si con la implementación del sistema de visión logra captar más defectos de lo usual que con la inspección visual, se pueden evaluar otras mejoras, pero ya en la maquinaria.

3.3.1 Pre Planeación.

Para la elaboración de esta investigación, se realizaron las siguientes tareas mostradas en la *Figura 25*:

1	Recolección de información sobre los sistemas de visión, técnicas, métodos y aplicaciones en las industrias.	1.1 Investigación sobre los sistemas de visión. 1.2 Identificar los distintos métodos y técnicas utilizados para los sistemas. 1.3 Comprender y evaluar las diversas tecnologías empleadas para el control de los sistemas de visión.
2	Entrega de propuesta de tesis.	2.1 Elaboración de documento necesario para la propuesta de tesis.
4	Definir las técnicas y métodos que se adapte mejor al proceso.	4.1 En base a la investigación 1.2, seleccionar el método y técnicas a seguir para la elaboración del sistema.
5	Selección de materiales para desarrollo del prototipo de sistema de visión.	5.1 Identificar las variables a medir. 5.2 Diseño de prototipo preliminar, ajustado al presupuesto disponible.
6	Implementación de sensores y materiales para prueba de prototipo.	6.1 El lente para la captura de imagen. 6.2 El sensor de imagen para reconocimiento de objeto. 6.3 La iluminación para mejor procesamiento. 6.4 El procesador de visión para analizar los objetos. 6.5 Comunicación para emitir las señales al operador.
7	Reporte de avance de tesis.	7.1 Elaboración de reporte de avance de tesis.
8	Implementación de parámetros que requiere el proceso.	8.1 Implementar los parámetros a medir para el control de calidad.
9	Verificación del prototipo propuesto.	9.1 Verificar los requerimientos propuestos de calidad en el proceso mediante pruebas experimentales.
10	Diseño e integración del sistema.	10.1 Adecuar el sistema de visión a utilizar.
11	Reporte de avance de tesis.	11.1 Elaboración de reporte de avance de tesis.
12	Prototipo y documentación final.	
13	Presentación de examen de grado.	

Figura 25: Tareas a realizar para la elaboración de la investigación.

3.3.2 Cronograma de actividades completo

Se establecieron las tareas a realizar con fechas límites para alcanzar cada actividad en tiempo y forma como se establece y así cumpliendo con las metas y objetivos de esta investigación.

Descripción de Actividades		Semestre I	Semestre II	Semestre III	Semestre IV
1	Recolección de información sobre los sistemas de visión, técnicas, métodos y aplicaciones en las industrias.				
2	Entrega de propuesta de tesis.				
3	Selección del proceso de manufactura a la cual será aplicado el control.				
4	Definir las técnicas y métodos que se adapte mejor al proceso.				
5	Selección de materiales para desarrollo del prototipo de sistema de visión.				
6	Implementación de sensores y materiales para prueba de prototipo.				
7	Reporte de avance de tesis.				
8	Implementación de parámetros que requiere el proceso				
9	Verificación del prototipo propuesto.				
10	Diseño e integración del sistema				
11	Reporte de avance de tesis.				
12	Prototipo y documentación final				
13	Presentación de examen de grado				

Figura 26: Cronograma de actividades completo.

En el cronograma, *Figura 26*, se observa las tareas descritas en la *Figura 25*, pero con fechas establecidas para su elaboración durante la investigación del proyecto. Fue de suma importancia seguir este cronograma y sus fechas, debido a que, si existía algún atraso en alguna actividad, este podría perjudicar los tiempos en las actividades subsiguientes.

3.4. Materiales

Los materiales utilizados para la elaboración de este proyecto son los siguientes:

- Cámara DVT Legend 530.
- Módulo DVT Isolated Breakout Board.
- Lente varifocal marca Tamron Modelo M118FM08.
- Cable CBL5-D10.
- Cable RJ-45 de Ethernet.
- Fuente de voltaje 24 V.
- Computadora.
- Software DVT Intellect 1.2.3.
- 3 lámparas indicadoras 24 V (Ámbar, Verde, Roja).
- Pulsador normalmente abierto (NA).
- Cableado y accesorios de conexión.
- Piezas de avellanado de líneas de gasolina para prueba.
- Piezas impresas en 3D para soporte cámara y piezas.
- Piezas impresas en 3D para base de lámparas indicadoras.
- Piezas impresas en 3D para base de botón pulsador.

3.4.1. Presupuesto de materiales

El costo de los materiales son los mostrados en la *Figura 27*.

Componente	Fabricante	Modelo	Precio
Cámara	DVT Cognex	Legend 530	\$5,000.00
Óptica	Tamron	M118FM08	\$1,090.00
Módulo	DVT Cognex	Isolated Breakout Board	\$3,700.00
Cable de señal		CBL5-D10	
Cable Ethernet		RJ-45 Ethernet	
Fuente voltaje 24v	Agilent	E3632A	(Laboratorio)
Software	DVT Cognex	Intellect 1.2.3	Gratuito
Lámpara Indicadora	Sweideer	Verde 24 V.	\$85.00
Lámpara Indicadora	Sweideer	Rojo 24 V.	\$85.00
Lámpara Indicadora	Sweideer	Ámbar 24 V.	\$85.00
Pulsador NA	-	SW-733	\$19.00
Cableado y accesorios	-	-	\$30.00
Precio total			\$10,094.00

Figura 27: Presupuesto de materiales.

4. DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1. Descripción del proyecto

El proyecto requirió diseñar un escenario donde se represente el área de trabajo de la empresa. Se proporcionó algunas piezas de trabajo, *Figura 28*, el cual fueron puestas a prueba de calidad en el sistema de visión. Para poder comenzar con el desarrollo de pruebas, fue necesario elaborar un diseño de una base para la cámara y también una base para sujetar las piezas a analizar. Posteriormente, estos diseños se imprimieron en 3D. Las piezas diseñadas e impresas se aprecian en la *Figura 29*, *30* y *31*.

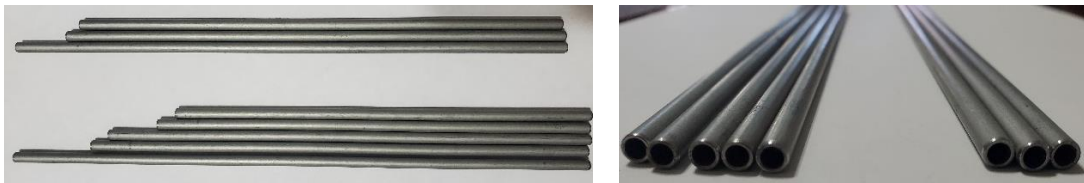


Figura 28: Piezas para pruebas de avellanado de líneas de gasolina.

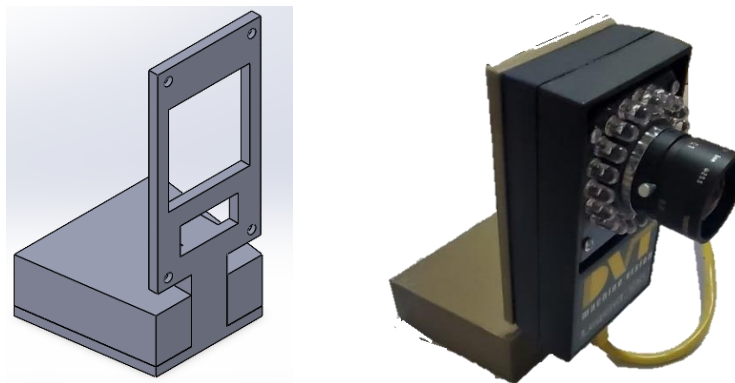


Figura 29: Diseño e impresión 3D base cámara.

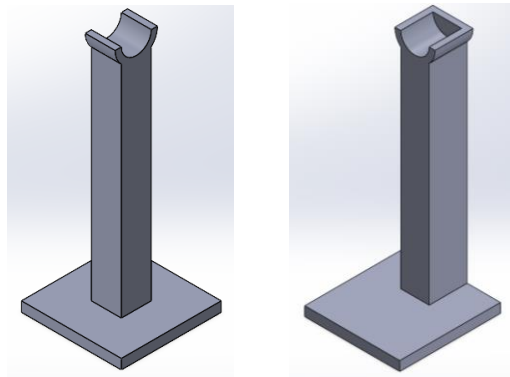


Figura 30: Diseño e impresión 3D base sujetador piezas.



Figura 31: Bases sujetadores de piezas.

Con los componentes anteriores, se desarrolló las tareas de calibración y de pruebas para las piezas dentro del sistema de visión, cuidando el escenario y ambiente de trabajo para así asegurar una misma distancia, ángulo y posición para la adquisición de imágenes a lo largo del desarrollo del proyecto.

La posición de la cámara junto con las piezas es de suma importancia debido a que se deben de colocar a una distancia donde los detalles se puedan apreciar de una mejor manera para la adquisición de las imágenes.

Cuando se lleva a cabo el proceso de la adquisición de las imágenes, es necesario contar con una buena iluminación para tener un escenario más estable y así también obtener los mejores detalles sobre las imágenes. Si la iluminación no es la adecuada, es necesario considerar con una iluminación externa para ayudar en el contraste de las imágenes.

Una vez calibrado y disponer con una buena calidad de imágenes, se comenzó con el desarrollo de las funciones a evaluar en el sistema de visión. Para ello se utilizó el software de uso libre DVT Intellect versión 1.5 lo cual permitió una conexión rápida con la cámara DVT Legend 530 por su conexión por medio de Ethernet. La ventaja de utilizar este software y cámara de la misma marca, es que la cámara cuenta con una memoria flash para guardar el programa con todas las configuraciones y operaciones aplicadas. Las operaciones principales las cuales se implementaron son el filtro, medición del diámetro, detección de defectos. El programa cuenta con muchas más operaciones, la cual la cámara puede ser aplicada según sea su propósito.

El software DVT Intellect 1.2.3, cuenta con las interfaces para la adquisición de imagen y procesarlas en tiempo real, aplicar las operaciones ya antes mencionadas y mostrar al usuario los resultados de los análisis realizados. Este software además cuenta con gráficas para su mejor visualización de datos para el usuario, mostrando piezas buenas/malas y piezas inspeccionadas.

4.2. Elaboración del proyecto

La elaboración del proyecto se dividió en dos secciones: el primero siendo la calibración y adquisición de imágenes y la segunda sección la elaboración del software para el sistema de visión, donde se aplicó todas las operaciones necesarias.

Se comenzó con la calibración y adquisición de las imágenes debido a que es el punto de partida para una elaboración de software correctamente. Terminando esta sección, se procedió a la siguiente sección donde las imágenes se pusieron a prueba con las operaciones establecidas y así tener un control.

4.2.1 Calibración y adquisición de la imagen

Este proceso fue de suma importancia que se efectuara de manera exitosa debido a que toda la información para el sistema se basa en la imagen capturada y sus detalles. Por ello se necesitó contar con un área de trabajo amplio y con una buena iluminación para que la calidad de imagen fuera buena. Para que la adquisición de las imágenes fuera de buena calidad, se procedió a seguir los siguientes pasos:

- Creación de un escenario amplio para representar proceso.
- Conexión de los componentes a utilizar (Cámara, módulo BOB y fuente de voltaje).
- Conexión de cámara con el software.
- Ajuste de ángulo, posición y distancia de la cámara y piezas a evaluar.
- Definición de las propiedades de inspección y adquisición de la imagen.
- Preprocesado de la imagen.

4.2.1.1 Creación de un escenario amplio.

Se consideró un área de trabajo amplio y controlado para el momento de la adquisición de imágenes, con ello obteniendo siempre la misma calidad en posición, ángulo y distancia de la imagen al realizar el cambio de piezas.

Con ello, se diseñó y se imprimió en 3D unas piezas mencionadas anteriormente, *Figura 32*, las cuales ayudaron a controlar el manejo de captura de imágenes.

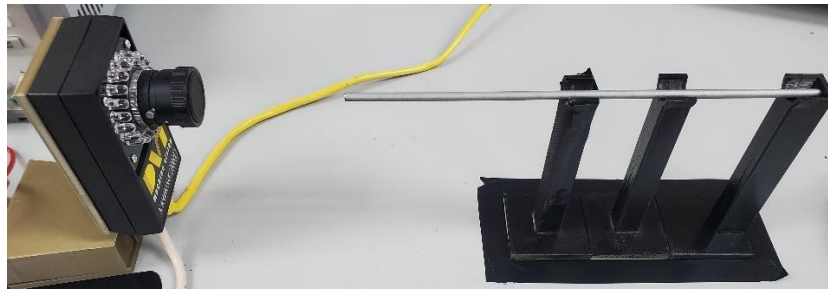


Figura 32: Creación de un escenario.

4.2.1.2 Conexión de componentes a utilizar.

La conexión del equipo se realizó como se muestra en la *Figura 22*, donde solamente fue necesario suministrar los 24 V al módulo BOB y conectar el cable Ethernet a la computadora. Debido a que se utilizó el software DVT Intellect y una cámara DVT Legend series 530, se obtuvo una conexión entre ambas de manera rápida y eficiente.

La cámara contiene con unos indicadores en la parte posterior para estar informado de su status de funcionamiento. Al realizar su conexión adecuadamente, este indicador de status comenzó a parpadear de color rojo, como se muestra en la *Figura 33*. En pocos segundos, este indicador comenzó a parpadear en color verde, como se muestra en la misma figura, indicando que todo se encontró bien y se pudo realizar la conexión entre software y cámara.



Figura 33: Cámara Status en verde y rojo.

Además, se utilizó las entradas y salidas del módulo BOB para hacer uso de unas funciones que se proporciona. Se utilizó un pulsador como entrada al módulo IO1, tres lámparas indicadoras de 24 V, de color ámbar, verde y roja, a las salidas IO5, IO6 y IO7 respectivamente. En la *Figura 34*, se muestra el diagrama eléctrico de los componentes utilizados y su conexión en la *Figura 35*.

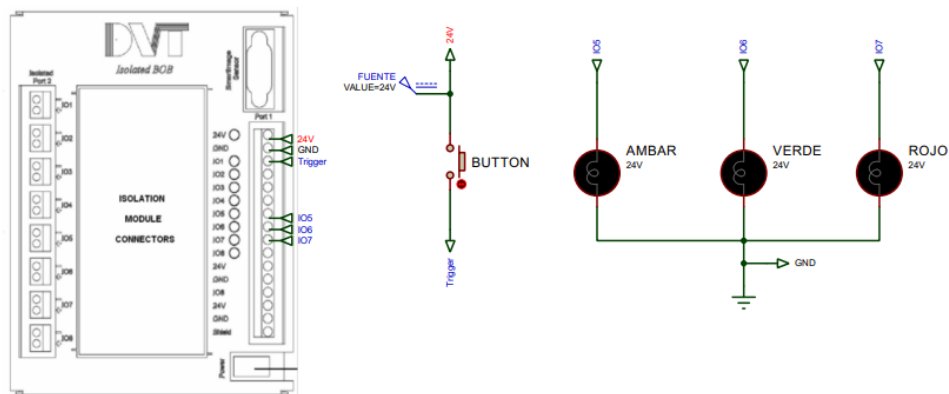


Figura 34: Circuito eléctrico de componentes.

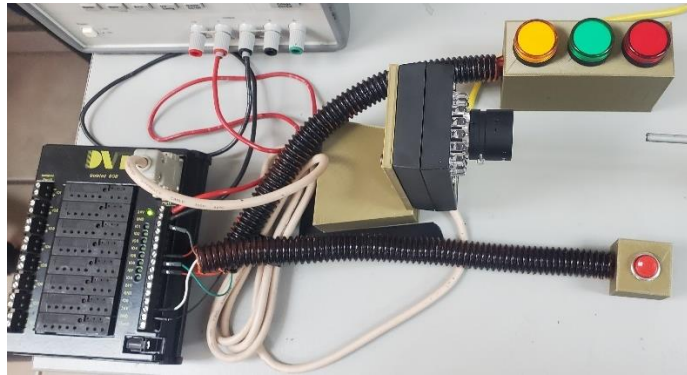


Figura 35: Conexión de componentes.

4.2.1.3 Conexión de cámara con el software

Al verificar que la conexión de la cámara se encontró adecuadamente, se procedió a abrir el software, el cual de un instante detecta la cámara conectada en su pantalla de Explorador de Red, como se muestra en la *Figura 36*. Se selecciono la cámara y se procedió a la conexión.

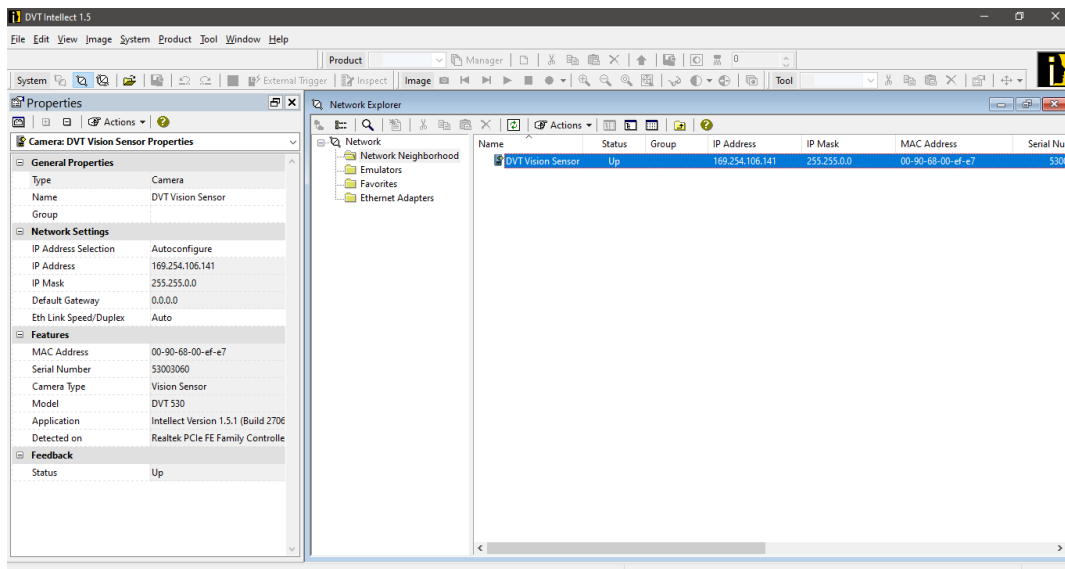


Figura 36: Conexión cámara con software.

4.2.1.4 Ajuste de ángulo, posición y distancia de cámara y piezas.

La cámara utilizada para este proyecto, es la mencionada anteriormente en la sección 2.4.2.1 Cámara DVT Legend Series 530. Colocada con la base impresa en 3D de la *Figura 30*. Con lo anterior, se permitió fijar la cámara en un cierto punto del área de trabajo para la inspección de las piezas.

La distancia entre la cámara y la primera base del soporte de las piezas fue de 8 in, *Figura 37*. Esto se determinó con base a pruebas de capturas de imágenes, que fue la distancia indicada para una adquisición de imágenes eficiente y de óptima calidad.

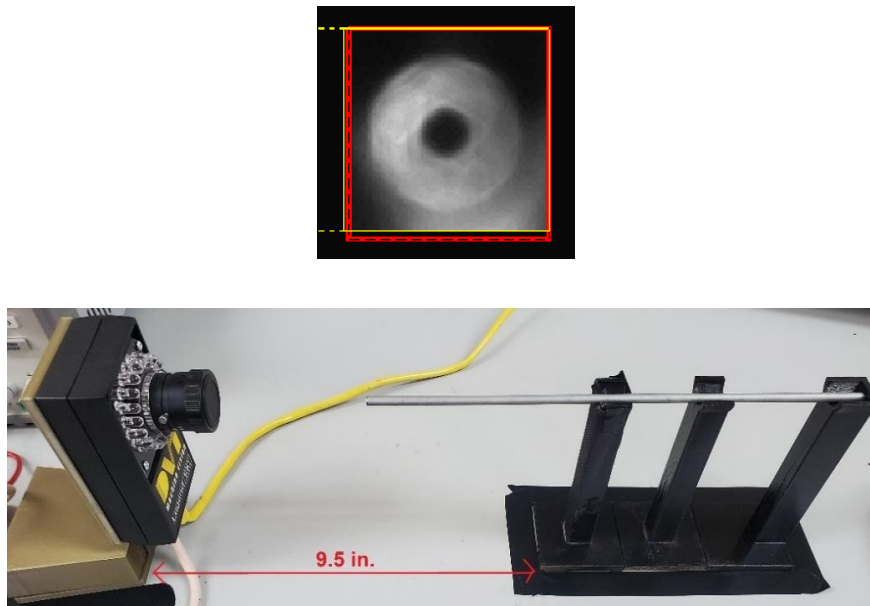


Figura 37: Distancia óptima en adquisición de imágenes.

4.2.1.5 Definir propiedades de inspección y adquisición de la imagen.

Una vez realizada la conexión, se procedió a la configuración de la cámara para la adquisición de imágenes. Se comienza por modificar las propiedades del gatillo de inspección (Inspection Trigger), *Figura 38*, el cual su función es cada cuanto tiempo se ejecuta la captura de imagen con la ayuda de su propia iluminación de diodos leds. En este caso, se optó por seleccionar un gatillo de inspección externo, con la ayuda de un

circuito electrónico donde se colocó un botón, el cual permitió llevar a cabo la acción de captura de imagen cuando este fuese presionado. Además, en el mismo circuito se colocaron tres luces indicadoras de 24 V, representando si está corriendo la inspección, paso o se rechazó la inspección, de color ámbar, verde y rojo respectivamente.

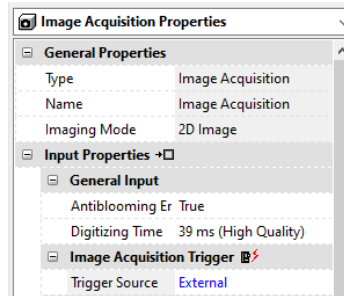


Figura 38: Propiedades del gatillo de inspección.

4.2.1.5.1 Circuito para gatillo de inspección externo

Se utilizó los siguientes componentes para la elaboración del circuito de prueba:

- Pulsador de 4 pines.
- 1 resistencia de 10 k Ω .
- Jumpers de conexión.

Se obtuvo el voltaje 24 V y tierra del módulo BOB como salidas y se utilizó la entrada física I/O 1, la cual su función fue establecida como In-Trigger, *Figura 39*.

Name	User Name	Value	Force	Function	Invert	ADT (ms)	IDT (ms)	Filter Time (μ s)
Pin 01		0		In-Trigger	False	10	10	30
Pin 02		0		In-Product Select	False	10	10	30
Pin 03		0		In-Disable Run Mode	False	10	10	30
Pin 04		0		In-External Trigger Mode	False	10	10	30
Pin 05		1		Out-Run Mode	False	N/A	N/A	N/A
Pin 06		0		Out-Pass	False	N/A	N/A	N/A
Pin 07		1		Out-Fail	False	N/A	N/A	N/A
Pin 08		0		Out-Busy	False	N/A	N/A	N/A

Figura 39: Entradas y salidas físicas del módulo BOB.

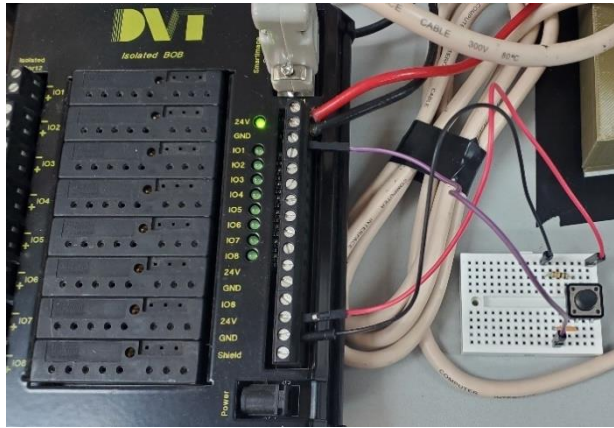


Figura 40: Circuito de prueba para gatillo de inspección externo.

Una vez comprobado que el circuito anterior de prueba, *Figura 40*, trabajó correctamente a las necesidades requeridas, se elaboró el circuito final, el cual se muestra en la *Figura 41*, utilizando otros componentes más prácticos y estéticos:

- Pulsador 24 V.
- Respetivos cables calibre 12 y terminales.
- Diseño e impresión en 3D.



Figura 41: Montaje para gatillo de inspección externo.

Después se continuó con la configuración de las propiedades para la adquisición de imagen, el cual se dividió en dos secciones: Ajustes y Retroalimentación.

En ajustes se encuentra la mayoría de las propiedades importantes para la captura de una buena imagen. En esta sección se encontró ajustes básicos, exposición y ganancia, área de adquisición de imagen y ajustes de iluminación, como se encuentra en la *Figura 42*.

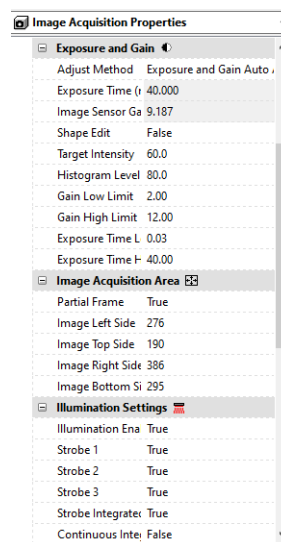


Figura 42: Ajustes de adquisición de imágenes.

En la figura anterior, se aprecia los diferentes ajustes que se pueden dar al sistema. En este caso, las propiedades que se ajustaron fueron:

- Antiblooming Enable → True
- Tiempo de digitalización → 39 ms (Calidad Alta).
- Método de ajuste en exposición y ganancia → Ajuste automático.
- Área de adquisición de imagen según al tamaño de las piezas.

Se activó el Antiblooming, debido a que este ayuda a prevenir manchas brillantes en la imagen debido al exceso de luz que recibe. El tiempo de digitalización se colocó de calidad alta para la obtención de una mejor imagen. El ajuste de exposición y ganancia por imagen se consideró de manera automática, ya que este se ajusta al ambiente de manera automática en su tiempo de exposición y la ganancia del sensor de imagen. Se redujo el área de la imagen donde solamente se quiso trabajar y así se ignoró todo lo demás del entorno que llegó a capturar la cámara. Los demás parámetros se consideraron como están por default.

En la parte de retroalimentación de las propiedades de adquisición de imágenes, como se muestra en la *Figura 43*, no se hizo ningún cambio, debido a que el tiempo de retroalimentación se determinó de manera default. También se encontró aquí las propiedades del display de la imagen, donde permitió cambiar el tipo de imagen como: escala en gris, sobreexpuerto, espectro y espectro de 8 ciclos.

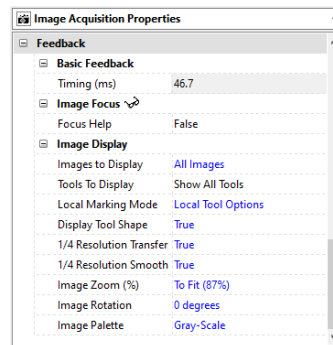


Figura 43: Retroalimentación de adquisición de imágenes.

4.2.1.6 Preprocesado de la imagen.

Este es el proceso en el cual se empezó a realizar operaciones en la imagen capturada. El procesado de imagen permitió realizar una limpia de toda la información que no se requirió al momento de la adquisición de imagen, estos datos se le conoce como ruido.

Para realizar el procesamiento digital de las imágenes dentro del software, fue necesario ir a las operaciones de herramientas (Toolbox) y seleccionar bajo la pestaña Preprocesamiento (Preprocessing) la herramienta Filtros (Filter), como se muestra en la *Figura 44*.

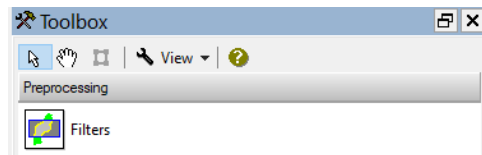


Figura 44: Herramienta Filtros para preprocesamiento de imágenes.

A continuación, se seleccionó el área donde se realizó el filtro. Se apoyó en la ventana que se abre para la configuración de esta herramienta, *Figura 45*. Se permitió colocar un nombre a la herramienta y elegir el tipo de filtro que más se adecúe al proyecto.

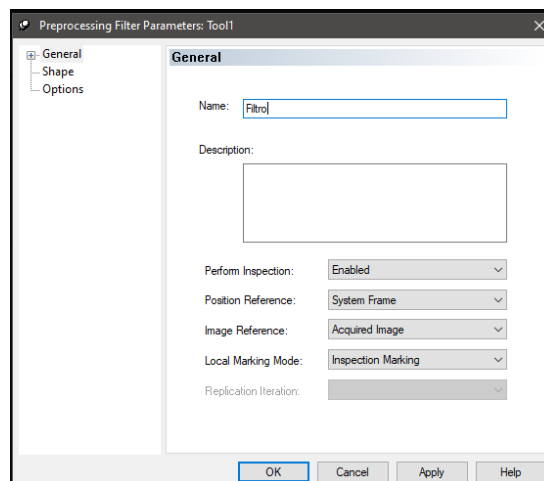


Figura 45: Ajustes herramienta filtros para preprocesamiento de imágenes.

Dentro de la misma ventana, en la pestaña opciones, se seleccionó el tipo de operación de preprocesamiento, se puede seleccionar uno o varias de la lista según sea la necesidad, como se muestra en la *Figura 46*.

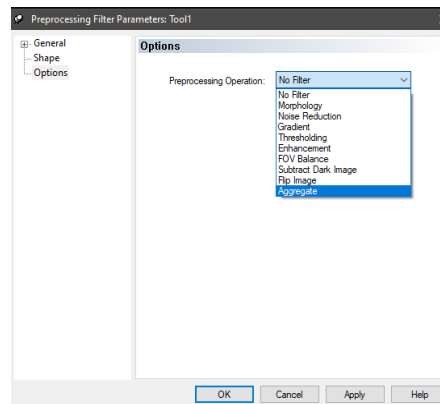


Figura 46: Ajustes herramienta filtros para preprocesamiento de imágenes.

En este caso, se utilizó cuatro filtros para mejorar la calidad de imagen, la cual se aprecia en la *Figura 47*.

- Filtro FOV Balance: Realizó una calibración de color blanco y negro del entorno, la cual ayudó a compensar la iluminación cuando no es uniforme y además corrigió las intensidades de píxeles.
- Filtro Noise Reduction Type Median: Este tipo de filtro fue útil para conservar los bordes de una imagen y reducir el ruido aleatorio.
- Enhancement Sharpen: Este grupo de filtros permitió afilar la calidad de la imagen, dando una más clara y precisa.
- Morphology Type Open: Este tipo de morfología combinó la operación Erode siguiendo por la operación Dilate, pero sin alterar el tamaño de las partes.
 - Erode: Redujo las formas de las imágenes en un número de píxeles especificado cuando se tiene ruido en el fondo.
 - Dilate: Expandió las formas de las imágenes en un número de píxeles especificado cuando se tiene ruido dentro de la parte

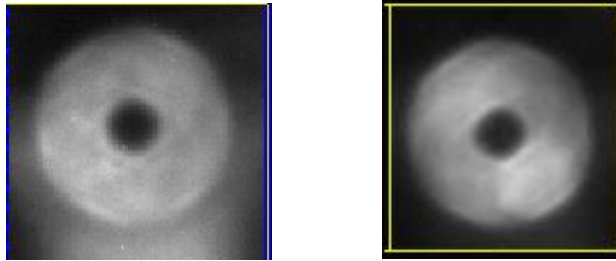


Figura 47: Imagen sin y con filtro respectivamente.

La imagen filtrada sirvió para continuar en la siguiente sección, donde se elaboró el sistema con todas las operaciones necesarias para su control de calidad.

4.2.2 Elaboración del software para el sistema de visión.

El programa llamado Sistema de Visión, tiene como objetivo realizar una inspección en las piezas de avellanado de líneas de gasolina. El tiempo de inspección se puede modificar según sea necesario para la operación sin afectar su trabajo.

4.2.2.1 Administración del sistema

En la administración del sistema se cuenta con información sobre la memoria flash que tiene la cámara, seguridad, usuarios y licencias. Es importante tener en cuenta esta sección debido a que aquí se encuentra información importante sobre la cámara, como el firmware que tiene y su capacidad de memoria RAM, como se muestra en la *Figura 48*.

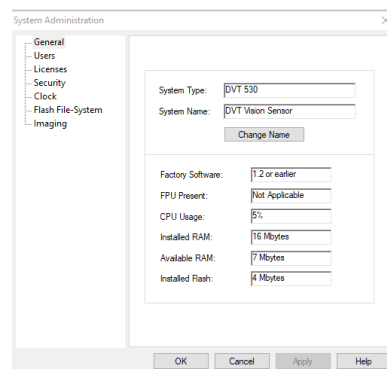


Figura 48: Administración del sistema – Cámara.

Además, se agregó usuarios junto con los privilegios que se pueden tener dentro del sistema, *Figura 49*. Aquí es importante debido a que ya en producción, no se quiere que el operador mueva ningún parámetro más que la persona que esté calificada para ello. Se puede agregar varios usuarios para así tener un control de cada operador que lo utilice debido a que se le puede poner el usuario y contraseña y así detectar cualquier anomalía. El usuario administrador es el que cuenta con todos los privilegios en el sistema para modificar, *Figura 50*.

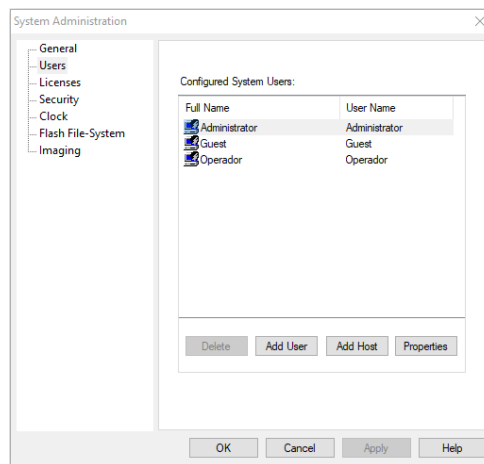


Figura 49: Administración del sistema – Usuarios.

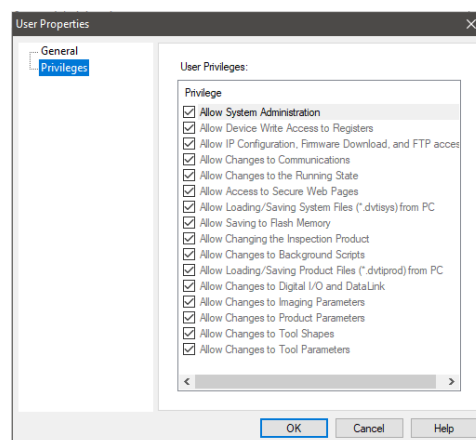


Figura 50: Administración del sistema – Usuarios privilegios.

Para entrar con un usuario, fue necesario ir a la pestaña File y seleccionar Log In (Ctrl+L), *Figura 51*. Después se continúa ingresando el usuario, contraseña y una breve descripción de la razón a entrar, como se aprecia en la *Figura 52*.

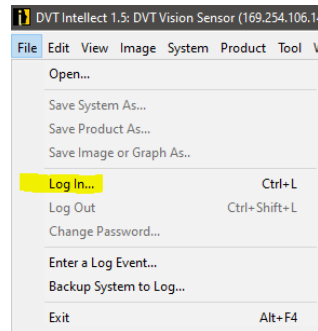


Figura 51: Selección de Log In para el sistema.

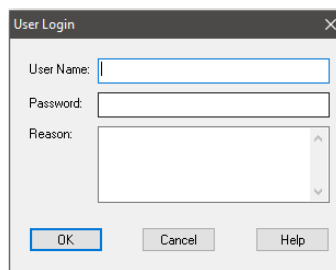


Figura 52: Ingresar con el usuario y contraseña.

4.2.2.2 Toolbox de operaciones

Las herramientas (toolbox) son todas las herramientas de visión disponibles para utilizarse en el sistema. La barra de herramientas, situada a la izquierda de la pantalla, es una manera más rápida de acceso ellas. En ella se puede encontrar las diferentes herramientas organizadas por categorías y su uso depende del usuario, como se muestra en la *Figura 53*.

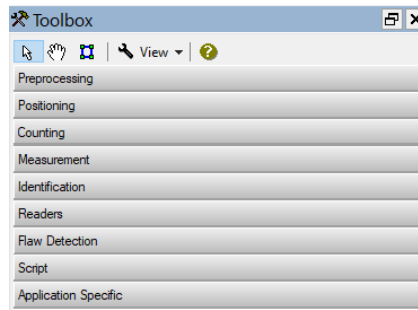


Figura 53: Herramientas del sistema de visión.

Dentro de estas categorías, se utilizó tres operaciones:

- Measurement – Measure in Circle Exterior e Interior.
- Flaw Detection – Defect Detection.
- Flaw Detection – Color Monitoring

4.2.2.2.1 Measurement – Measure in Circle.

Estas herramientas de medida, son utilizadas principalmente para tomar mediciones de las imágenes inspeccionadas. Estas mediciones son en píxeles a menos que se realice un factor de escala o una transformación de coordenadas. [16]

Se utilizó dos de esta herramienta, para calcular el radio exterior e interior del círculo, como se muestra en la *Figura 54 y 56*, donde los círculos en color rojo y azul son las herramientas para las mediciones exteriores e interior respectivamente y los círculos en color amarillo es el radio detectado por el sistema. Se le indicó que MedCircExt será para el radio exterior y MedCircInt será para el radio interior de la pieza.

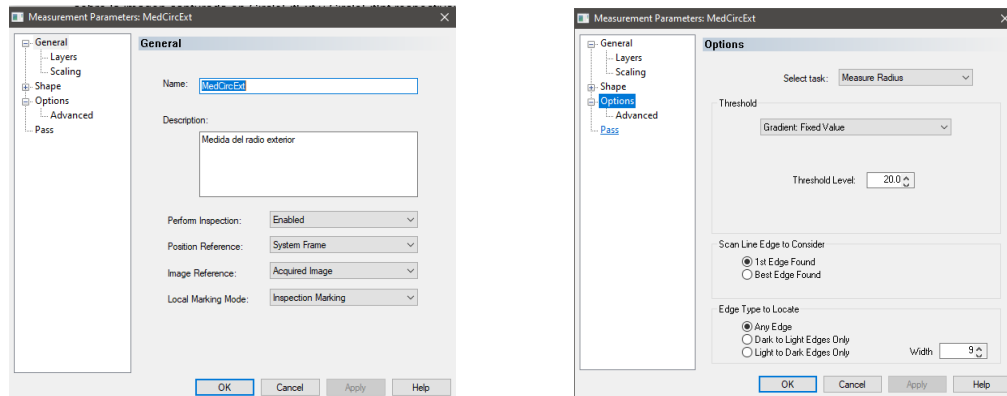


Figura 54: Parámetro Measure in Circle los radios.

Se agregó un factor de escala, *Figura 55*, para que el resultado dado por la operación se convierta de píxeles a unidades medibles, en este caso en unidades mm. Los valores deseables se tomaron desde una pieza aceptable por calidad.

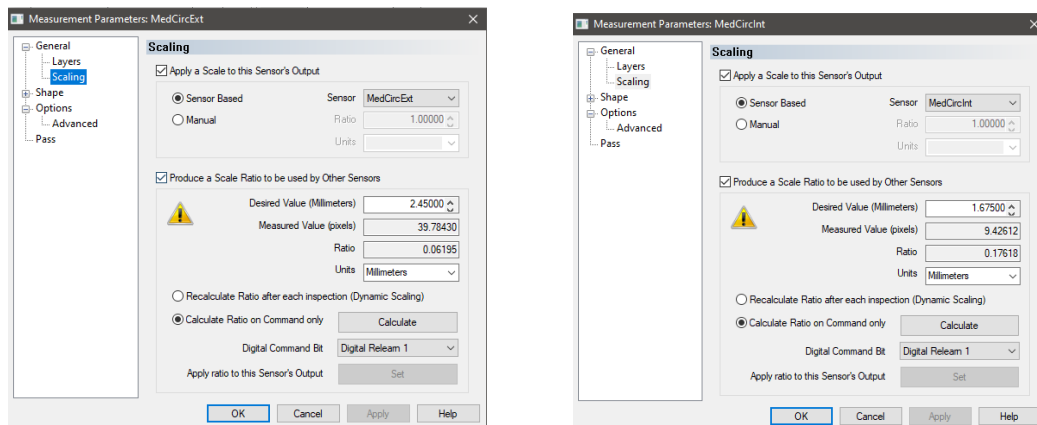


Figura 55: Escala de valores para radio exterior e interior respectivamente.

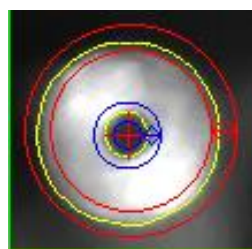


Figura 56: Parámetro Measure in Circle.

Para la obtención de los resultados de la operación, fue necesario especificar las condiciones de aprobado o rechazado por calidad en las medidas de los radios. En lo cual, desde el valor medido para la escala de valores, se le determinó un límite inferior y superior de ± 0.1 mm, como se muestra en la *Figura 57* y *58*.

Agregando estas condiciones, se permitió tener un mejor control en el radio deseable de la pieza y si por alguna razón es más chico o grande, el sistema rechazaba el producto inspeccionado.

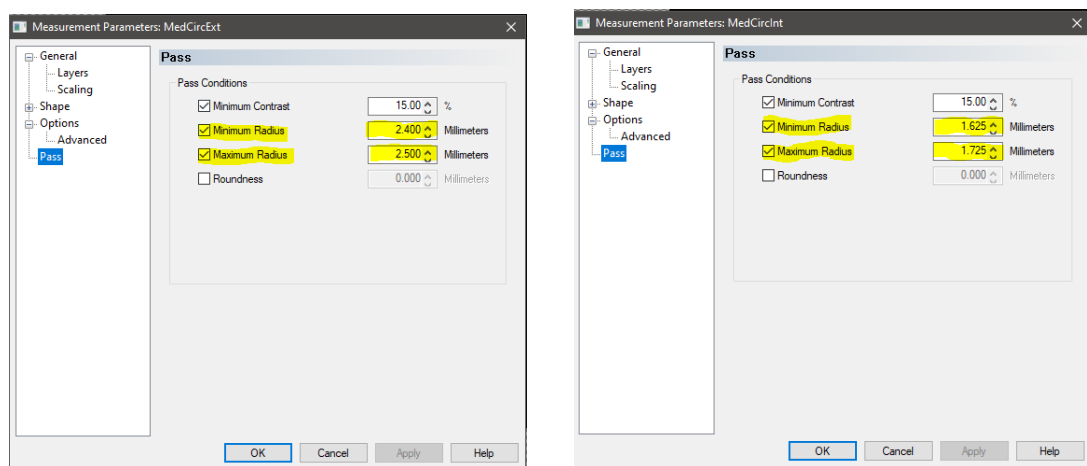


Figura 57: Limite de valores del radio exterior e interior respectivamente.

MedCircExt	Measurement: ... Radius = 2.4612260 Millimeters, X = 327.57254 pixels, Y = 244.26390 pixels, Roundness = 0.15759332 Millimet...
MedCircInt	Measurement: ... Radius = 1.6775593 Millimeters, X = 327.35736 pixels, Y = 244.82330 pixels, Roundness = 0.089790836 Millime...

Figura 58: Resultados de operación Measure in Circle

4.2.2.2.2 Flaw Detection – Defect Detection

Las herramientas de detección de defectos fueron utilizadas para detectar fallas o anomalías que se encontraban en el objeto analizado. Esta herramienta usa algoritmos avanzados de color y escala de grises, el cual permite que aprenda el patrón de píxeles que se encuentran dentro del rango establecido para encontrar algún cambio de colores o intensidades y realiza comparaciones con imágenes que aprendió anteriormente. [16] En la *Figura 59*, se capturó la imagen de la pieza sin ningún defecto.

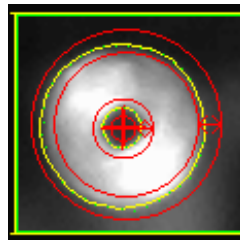
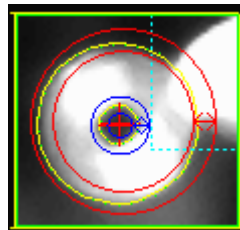


Figura 59: Parámetro Defect Detection.

En la siguiente *Figura 60*, podemos demostrar cómo funciona el sistema cuando detecta alguna anomalía dentro del rango establecido y además marca y nos dice cuántos defectos se detectó en la captura de la imagen.



Name	Method	Output	Result
Image Acquisition			PASS
Filtro	Preprocessing:...		PASS
MedCircExt	Measurement: ...	Radius = 2.4680212 Millimeters, X = 326.61859 pixels, Y = 244.47676 pixels, Roundness = 0.069035880 Millime...	PASS
MedCircInt	Measurement: ...	Radius = 1.6776975 Millimeters, X = 327.05124 pixels, Y = 244.86919 pixels, Roundness = 0.12890510 Millimet...	PASS
DetDef	Defect Detection	# Defects = 1, Total Area = 1961	FAIL
Inspection Results			FAIL
Communications ...			

Figura 60: Herramienta detección de defectos.

Se muestra la comparación de graficas de histogramas cuando la pieza se encuentra sin defectos, *Figura 61*, y cuando detecta algún defecto o cambio en los píxeles al momento de la adquisición de imagen, *Figura 62*. Se puede apreciar el cambio de nivel de intensidad y el porcentaje de píxeles en la gráfica proporcionada por el software, por lo cual el sistema lo detecta como una anomalía, debido como se mencionó anteriormente, la herramienta aprende los patrones de píxeles buenos y no pasa el producto.

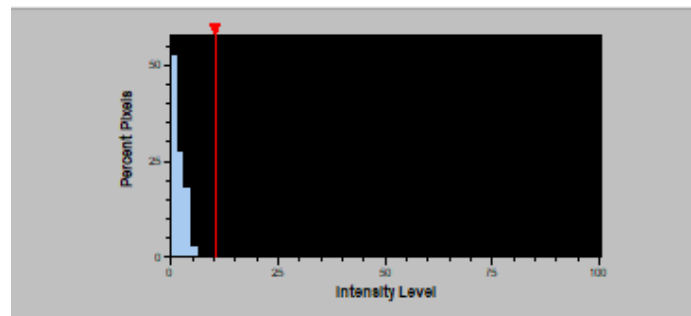


Figura 61: Gráfica histograma sin detección de fallas.

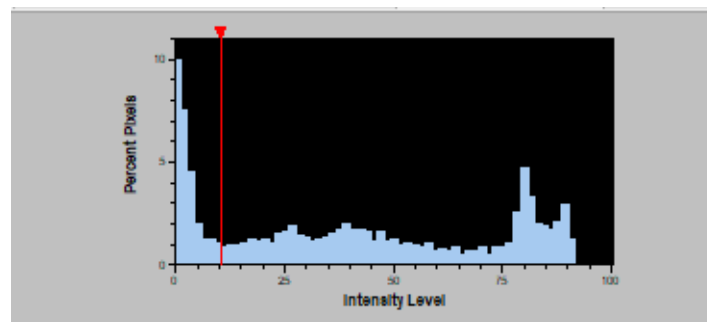


Figura 62: Gráfica histograma con detección de fallas.

4.2.2.2.3 Flaw Detection – Color Monitoring

Las herramienta de monitoreo de colores fue utilizada para detectar cambios de intensidades de colores que se encuentren en el objeto analizado. Esta herramienta puede diferenciar aproximadamente entre 16.7 millones de colores y así se pudo identificar diferentes colores en el sistema. [16]

4.3. Resultados de inspección

El sensor de visión DVT cuenta con la capacidad de comunicar los resultados de la inspección y otra información recabada a los usuarios. La E/S digital de cada sensor incluye ocho E/S físicas que se pueden configurar para varios estados de entradas y salidas. [16] Estas salidas de inspección son apreciadas en la *Figura 63*.

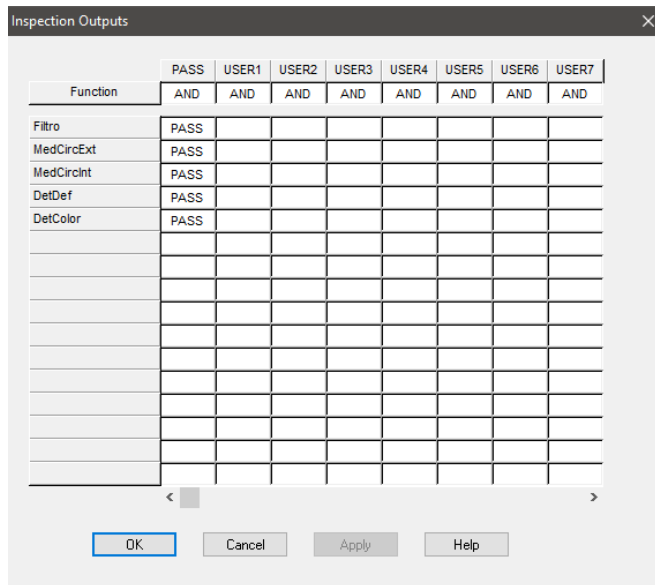


Figura 63: Salidas de inspección.

En la parte inferior del software DVT Intellect, se cuenta con una pestaña de tabla de resultados, *Figura 64*, el cual muestra todas las herramientas y operaciones utilizadas y además una visualización rápida de ciertas gráficas, permitiendo acceso a ellas con un doble-clic y además otorgar un resultado rápido sobre la imagen analizada.

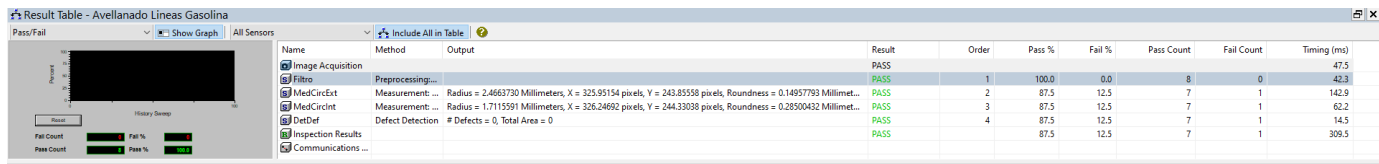


Figura 64: Tabla de resultados.

Para comenzar a utilizar el sistema, fue necesario seleccionar el modo Inspect, ubicado en la parte superior de nuestra pantalla del software, como se muestra en la *Figura 65*.

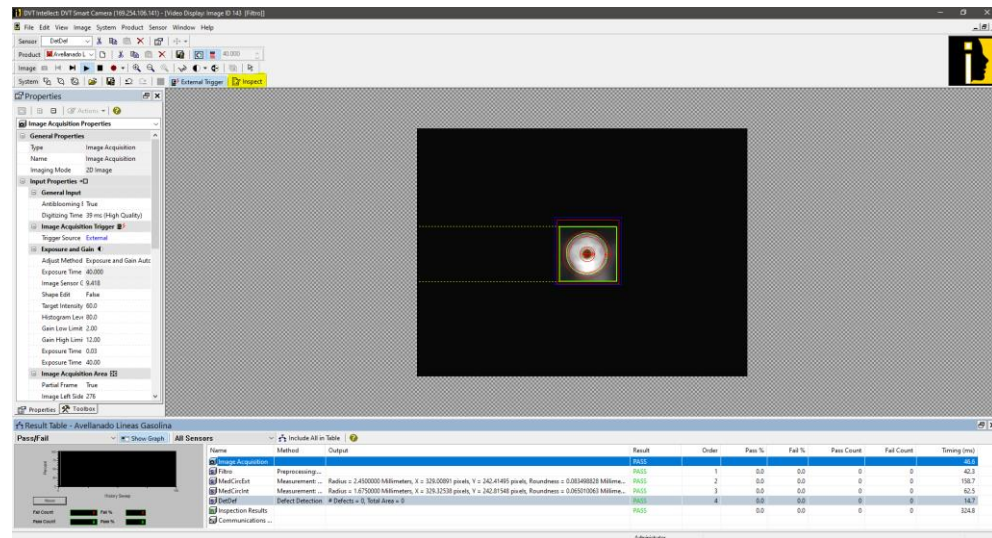


Figura 65: Modo Inspect en software.

Al seleccionar este modo, la lámpara indicadora de color ámbar se encendió, indicando de manera visual que está en modo inspección el sistema y este empezó su conteo de piezas buenas y malas al ser presionado el pulsador, como se muestra en la *Figura 66*.



Figura 66: Modo Inspect con lámpara indicadora.

Se comenzó a colocar pieza por pieza para ser la inspección. El sistema nos brindó la información adecuada sobre cada inspección, además brindó una información visual en las lámparas indicadoras, siendo la verde en una pieza aprobatoria, *Figura 67*, o de color rojo para una pieza rechazada, *Figura 68*.



Figura 67: Lámpara indicadora pieza aceptada.



Figura 68: Lámpara indicadora pieza rechazada.

4.3.1 Pruebas de inspección - Medición

En esta sección, se procedió a realizar unas pruebas de mediciones en las piezas de la *Figura 69*. Con la ayuda de un vernier, se efectuó las mediciones del diámetro exterior e interior de las piezas en ambos lados A y B, y con estos valores, se realizó una comparación de mediciones con el que nos da el sistema y ver su porcentaje de error. Se le asignó un número y un lado a cada pieza para tener el control sobre los análisis. Todas las mediciones se encuentran en unidades de mm.



Figura 69: Gráfica de mediciones con vernier.

En la siguiente *Figura 70*, se muestra los datos medidos sobre las piezas con la herramienta de vernier, junto con una gráfica para la visualización de datos, *Figura 71*.

Piezas	Mediciones Vernier (mm.)			
	Diámetro Exterior A	Diámetro Interior A	Diámetro Exterior B	Diámetro Interior B
1	4.72	3.38	4.72	3.38
2	4.73	3.39	4.73	3.39
3	4.72	3.38	4.72	3.38
4	4.74	3.39	4.74	3.39
5	4.73	3.39	4.73	3.39
6	4.74	3.39	4.74	3.39
7	4.73	3.39	4.73	3.39
8	4.72	3.38	4.72	3.38
9	4.73	3.39	4.73	3.39

Figura 70: Tabla mediciones con vernier.

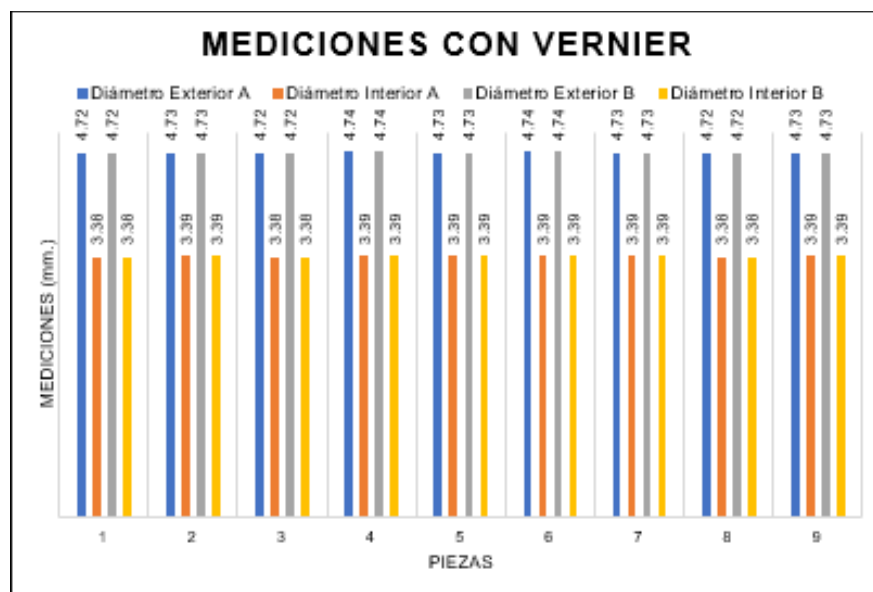


Figura 71: Gráfica de mediciones con vernier.

Al momento de realizar las mediciones con el sistema de visión, se procedió a capturar tres datos de cada pieza inspeccionada, *Figura 72*, y se procedió a calcular su promedio, *Figura 73*, debido a que el mismo sistema puede tener una variación en los píxeles, la cual provoca que de mediciones diferentes en cada inspección. Esta variación de píxeles es mínima, la cual no afecta en las mediciones capturadas. De igual forma se utiliza una gráfica para mejor visualización de los datos, *Figura 74*.

Piezas	Mediciones Sistema Visión (mm.)										Def. Detectado A	Def. Detectado B		
	Diámetros Exteriores A		Diámetros Interiores A		Diámetros Exteriores B		Diámetros Interiores B							
1	4.7224	4.7316	4.7115	3.394	3.3906	3.3984	4.7212	4.7327	4.7144	3.4017	3.3857	3.3921	NO	NO
2	4.7363	4.733	4.7467	3.3864	3.4036	3.4018	4.7161	4.726	4.731	3.4048	3.3973	3.4019	NO	NO
3	4.7299	4.7253	4.7294	3.3776	3.3735	3.3896	4.7342	4.7189	4.7169	3.3419	3.3685	3.3782	NO	NO
4	4.7394	4.7169	4.7296	3.3669	3.3923	3.3761	4.7385	4.7421	4.7456	3.3722	3.3716	3.3813	NO	NO
5	4.7182	4.7246	4.7213	3.3708	3.3819	3.3714	4.715	4.7337	4.7142	3.3693	3.3733	3.3943	NO	NO
6	4.7308	4.7352	4.7372	3.3807	3.3932	3.3726	4.7424	4.7316	4.7486	3.3874	3.3871	3.3845	SI	NO
7	4.7387	4.7406	4.7278	3.3744	3.3939	3.3754	4.7163	4.7321	4.7329	3.3709	3.3816	3.3802	SI	NO
8	4.7215	4.7102	4.7216	3.399	3.3725	3.3738	4.7352	4.7155	4.7237	3.375	3.3776	3.3842	NO	SI
9	4.725	4.7317	4.7375	3.3705	3.3921	3.3972	4.7312	4.7377	4.732	3.3738	3.3859	3.3844	SI	NO

Figura 72: Tabla mediciones con sistema de visión.

Piezas	Promedios de Mediciones Sistema Visión (mm.)			
	Diámetro Exterior A	Diámetro Interior A	Diámetro Exterior B	Diámetro Interior B
1	4.7218	3.3943	4.7228	3.3932
2	4.7387	3.3973	4.7244	3.4013
3	4.7282	3.3802	4.7233	3.3629
4	4.7293	3.3784	4.7421	3.3750
5	4.7214	3.3747	4.7210	3.3790
6	4.7344	3.3822	4.7409	3.3863
7	4.7357	3.3812	4.7271	3.3776
8	4.7178	3.3818	4.7248	3.3789
9	4.7314	3.3866	4.7336	3.3814

Figura 73: Tabla de promedio de mediciones con sistema de visión.

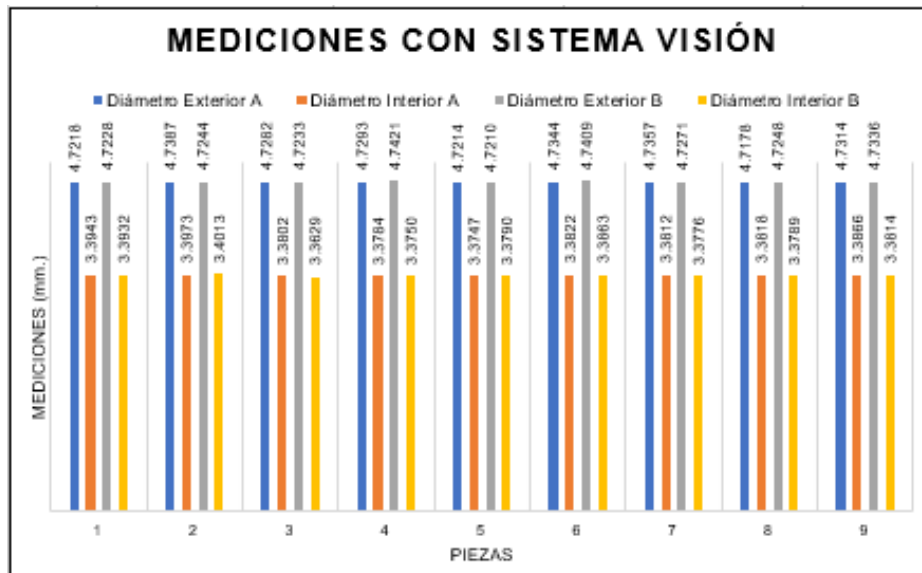


Figura 74: Gráfica de promedio de mediciones con sistema de visión.

Una vez obtenidos ambos datos, mediciones con vernier y mediciones con el sistema de visión, se utilizaron para calcular el porcentaje de error que tiene el sistema de visión contra la medición herramental. La fórmula utilizada es la mostrada en la *Figura 75*.

$$e = \frac{|V_{Real} - V_{Aprox}|}{V_{Real}} * 100\%$$

Figura 75: Fórmula porcentaje de error.

Dando los porcentajes de errores en cada inspección mostradas en la *Figura 76*.

Piezas	Porcentaje de Error entre Mediciones Vernier-Sistema Visión			
	Diámetro Exterior A	Diámetro Interior A	Diámetro Exterior B	Diámetro Interior B
1	0.0388%	0.4241%	0.0586%	0.3895%
2	0.1832%	0.2144%	0.1191%	0.3343%
3	0.1737%	0.0069%	0.0706%	0.5069%
4	0.2257%	0.3412%	0.0436%	0.4415%
5	0.1825%	0.4513%	0.1910%	0.3255%
6	0.1181%	0.2311%	0.0183%	0.1082%
7	0.1205%	0.2586%	0.0613%	0.3668%
8	0.0473%	0.0523%	0.1017%	0.0316%
9	0.0296%	0.1003%	0.0768%	0.2547%

Figura 76: Tabla porcentajes error de mediciones Vernier-Sistema Visión.

Se observa que los porcentajes de error entre la medición real que utiliza la herramienta vernier y la medición que utiliza el sistema de visión, mostro un error mínimo, siendo el error más alto calculado de la pieza #3 en Diámetro Interior B de 0.5%, pero aun así todos estos errores son menores al 1%. Estos errores se pueden apreciar mejor en la siguiente *Figura 77*.

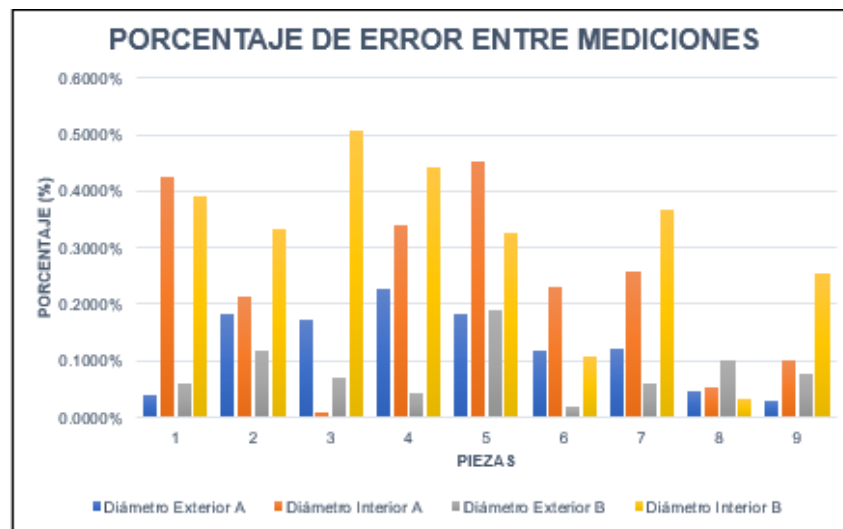


Figura 77: Gráfica porcentajes error de mediciones Vernier-Sistema Visión.

Al realizarse una inspección en el sistema, este proporcionó una gráfica de aceptado/rechazado. En esta gráfica es posible visualizar los conteos de piezas rechazadas (rojo) y aceptadas (verde) así como en valores porcentuales de la misma, *Figura 78*. La gráfica que generó el sistema, va cambiando según cada inspección, siendo en las coordenadas X el tiempo transcurrido y en Y el porcentaje de conteo de cada una. Esta gráfica es de mucha utilidad tanto como para el operador como para los de calidad, para tener una noción de cómo va el conteo de piezas y también evaluar que tanto es el porcentaje de piezas buenas y malas y con ello decidir si el lote de piezas se rechaza o continúa su proceso.



Figura 78: Gráfica de conteo de piezas de inspección.

4.3.2 Pruebas de inspección - Color

En este tipo de prueba de inspección, lo que se realizó fue la detección de la existencia de algún cambio de intensidad de colores en la imagen adquirida. Se utilizó una herramienta del Toolbox – Flaw Detection - Color Monitoring, *Figura 79*. Gracias a esta herramienta, fue posible que el sistema aprendiera la imagen correcta y las intensidades de colores que se encontraba y se agregó los parámetros de cambios de intensidad para rechazar o aprobar la pieza inspeccionada.

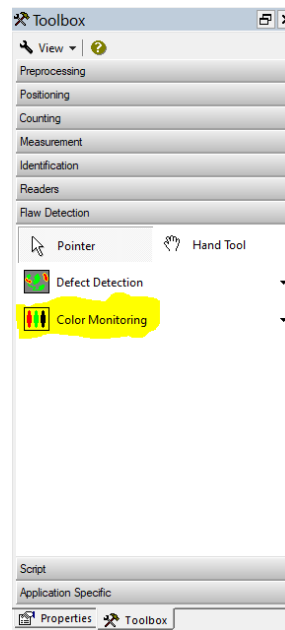


Figura 79: Herramienta de monitoreo de colores.

En la siguiente *Figura 80*, se aprecia la pieza inspeccionada sin ninguna alteración y en cómo el sistema de visión lo interpretó. En la *Figura 81*, se puede observar lo que detectó el sistema, una intensidad de color de 44.1, la cual este valor lo tomó como base y lo guardó como color C1, para después realizar comparaciones entre las siguientes inspecciones y habiendo una diferencia de color mayor a 2, este marcaba como una pieza rechazada.

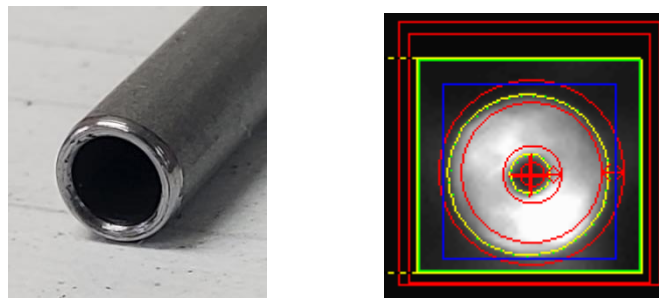


Figura 80: Pieza sin alteración de color.

Name	Method	Output	Result
Image Acquisition			PASS
Filtro	Preprocessing:...		PASS
MedCircExt	Measurement: ...	Radius = 2.3465445 Millimeters, X = 330.90985 pixels, Y = 247.82877 pixels, Roundness = 0.097425736 Millime...	PASS
MedCircInt	Measurement: ...	Radius = 1.7146552 Millimeters, X = 331.67740 pixels, Y = 247.38130 pixels, Roundness = 0.15957449 Millimet...	PASS
DetDef	Defect Detection	# Defects = 0, Total Area = 0	PASS
DetColor	Color Monitori...	Intensity =44.1 ClosestColor= C1 Intensity Difference=0.0	PASS
Inspection Results			PASS

Figura 81: Valores de intensidad de pieza sin alteración de color.

Después se comenzó con la prueba de colores, pintando en la pieza con un color rojo, *Figura 82* y ver cómo se comportaba el sistema con este cambio. Se observó que la imagen capturada por el sistema, se vio un poco más oscuro comparado a la capturada de la *Figura 80*. Además, en la tabla de resultados, *Figura 83*, se observó que el valor de intensidad incremento y la diferencia de intensidad detectada fue de 5.0, lo cual es mayor al valor puesto en el sistema para aprobar o rechazar producto.

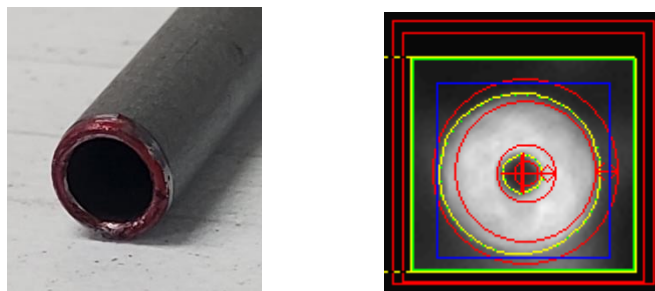


Figura 82: Pieza con alteración de color rojo.

Name	Method	Output	Result
Image Acquisition			PASS
Filtro	Preprocessing:...		PASS
MedCircExt	Measurement: ...	Radius = 2.3358595 Millimeters, X = 329.52029 pixels, Y = 243.46124 pixels, Roundness = 0.22137302 Millimet...	PASS
MedCircInt	Measurement: ...	Radius = 1.6562859 Millimeters, X = 330.94254 pixels, Y = 245.16269 pixels, Roundness = 0.12270876 Millimet...	PASS
DetDef	Defect Detection	# Defects = 0, Total Area = 0	PASS
DetColor	Color Monitori...	Intensity =45.1 ClosestColor= C1 Intensity Difference=5.0	FAIL
Inspection Results			FAIL

Figura 83: Valores de intensidad de pieza con alteración de color rojo.

Como última prueba, se utilizó el color negro, para marcar cierta parte de la pieza, *Figura 84*, y ver cómo se comportaba con este color y qué cambios genera. Se aprecia que la imagen capturada por el sistema hizo que resaltara la parte no pintada, debido a los cambios de píxeles generados al agregar un color negro a la pieza. La parte superior se vio más oscuro por lo pintado y detectó un defecto. En la tabla de resultados, *Figura 85*, también se observó que la intensidad incrementó aún más y la diferencia de intensidad fue de 8.2, lo cual rechazaba la pieza inspeccionada.

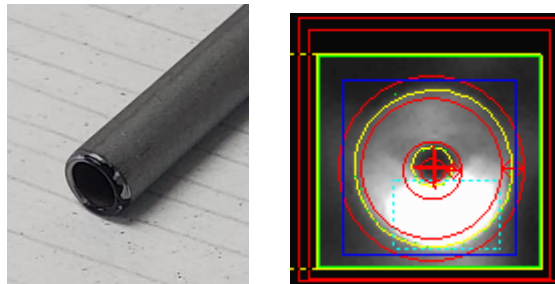


Figura 84: Pieza con alteración de color negro.

Name	Method	Output	Result
Image Acquisition			PASS
Filtro	Preprocessing...		PASS
MedCircExt	Measurement: ...	Radius = 2.3107440 Millimeters, X = 333.49481 pixels, Y = 246.18983 pixels, Roundness = 0.23293270 Millimet...	PASS
MedCircInt	Measurement: ...	Radius = 1.7234094 Millimeters, X = 332.83621 pixels, Y = 245.46112 pixels, Roundness = 0.13032454 Millimet...	PASS
DetDef	Defect Detection	# Defects = 1, Total Area = 1180	FAIL
DetColor	Color Monitori...	Intensity =47.5 ClosestColor= C1 . Intensity Difference=8.2	FAIL
Inspection Results			FAIL

Figura 85: Valores de intensidad de pieza con alteración de color negro.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En este trabajo de investigación, se presentó el desarrollo de un prototipo para el control de calidad mediante un sistema de visión aplicado hacia un avellanado de líneas de gasolina, realizándose una inspección en sus medidas de diámetros, defectos por anomalías y color. Este sistema de visión es desarrollado mediante el software y hardware de Cognex DVT Intellect.

Los componentes utilizados para el funcionamiento del sistema incluyen, un sensor de CCD o cámara (DVT Legend 530), tarjeta de adquisición de datos (módulo DVT Isolated Breakout Board), un lente varifocal Tamron, luces indicadoras de resultados (ámbar, verde y rojo). Se desarrolló dicho sistema en el software gratuito de Cognex llamado DVT Intellect en la versión 1.2.3, encargado de comunicar todos los componentes mencionados anteriormente y además ejecutar la inspección necesaria.

Los pasos seguidos para la adquisición de imágenes adecuadas van desde la captura, preprocesamiento, segmentación, extracción y selección de características, reconocimiento e interpretación. Todo esto se elaboró desde el sistema, agregándose cada herramienta necesaria para un análisis correcto. El paso más importante considerado dentro de este desarrollo, fue la adquisición de la imagen y su preprocesado, debido a que una captura de imagen clara y de buena calidad, facilita su desarrollo de inspección y el análisis dentro del sistema.

Ya una vez capturada la imagen con las características requeridas que corresponda correctamente al sistema, se definió los detalles a inspeccionar y con ello se utilizó las herramientas que ofrece el software. Las herramientas determinadas anteriormente, se aplicaron en cada pieza y con ello se tiene el control de calidad que se requirió. Se emplearon herramientas de medición de radios, detección de fallas y

monitoreo de colores. Estas tres herramientas fueron las necesarias para resolver el problema que se procuraba en esta investigación.

Las pruebas realizadas para esta investigación fue el de comparación de mediciones entre el uso herramental de un Vernier y la medición por parte del sistema de visión, para comprobar qué diferencias se tiene en cuanto a valores de medición y ver la factibilidad y eficacia del prototipo del sistema de visión. Otra prueba que se implementó fue el monitoreo de colores, con ella se visualizó y se analizó el comportamiento del sistema cuando se presentará cambios de colores en las piezas.

Con el desarrollo de las pruebas mencionadas anteriormente, se analizó y se determinó que el sistema de visión tuvo resultados satisfactorios, cumpliendo las necesidades propuestas y cumpliendo con los objetivos de investigación. Dicho sistema se comportó de manera exitosa al análisis e inspección de piezas, brindando toda información necesaria para determinar si la pieza evaluada es aprobada o rechazada en cuestión de calidad.

Se demostró que este prototipo ayudara a la línea de producción a brindar un mejor cuidado y un análisis adecuado de piezas, teniendo siempre las mismas bases de inspección para no contar con errores. El sistema tiene ventaja que puede trabajar las 24/7, lo cual brinda una justificación importante para la inversión en el sistema. Además, si por alguna razón se necesita un cambio de herramienta u operación, se puede realizar de manera fácil sin perjudicar el programa ya establecido.

Una de las desventajas que se puede encontrar con el sistema, es cuando en la línea de producción exista un cambio en las piezas analizadas, se deberá llevar a cabo una calibración de imagen para que el sistema reconozca la nueva pieza y continuar con su análisis.

Los sistemas de visión son de gran ayuda para las industrias, logrando tener un mejor control sobre los productos y tener la certeza de que se realizó una misma inspección en cada pieza analizada. La implementación de un sistema de visión es

costosa, pero es una inversión a la cual ayuda a las líneas de producción a tener control de análisis sobre las piezas y evitar la aceptación de piezas malas en el proceso. En esta investigación se presentó información necesaria sobre los sistemas de visión y su desarrollo conforme a la problemática. La adquisición del hardware y software necesario para la aplicación, su implementación y los resultados obtenidos de manera satisfactoria.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere el desarrollo de la investigación mediante otro enfoque en la metodología de trabajo, utilizando un enfoque más tecnológico y seguir las estrategias y métodos de dicho enfoque. Emplear herramientas e instrumentos que permitan llegar al objetivo según sea la problemática y el fin de investigación que se pretende.

Además, se puede realizar los sistemas de visión de diferentes formas, con diferentes usos en software y hardware. Existen sistemas que su elaboración será necesario la utilización de herramientas con más precisión y detalles, pero esto puede elevar el costo. Queda a decisión de la persona desarrollando la investigación, el cual determinara el margen de costos o la finalidad del proyecto a efectuarse.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] P. Somwang and E. Muangklang, "Image Processing for Quality Control in Manufacturing Process," 2019 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Pattaya, Chonburi, Thailand, 2019, pp. 782-785, doi: 10.1109/ECTI-CON47248.2019.8955421.

[2] B. G. Batchelor and P. F. Whelan, "Intelligent Vision Systems for Industry," Springer Science & Business Media, 2012, doi: 10.1007/978-1-4471-0431-5.

[3] E. R. Davies "Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities," Elsevier, 2012, ISBN: 978-0-12-386908-1

[4] L. Peilin, Y. Zhen, Z. Wenlong and L. Hong, "An automatic sorting system for sorting metal cylindrical workpiece based on machine vision and PLC technology," 2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE), Shanghai, 2017, pp. 446-450, doi: 10.1109/ICRAE.2017.8291427.

[5] X. Li and Y. Shi, "Computer Vision Imaging Based on Artificial Intelligence," 2018 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), Changsha, 2018, pp. 22-25, doi: 10.1109/ICVRIS.2018.00014.

[6] V. Gorbunov, V. Bobkov, N. W. Htet and E. Ionov, "Automated control system of fabrics parameters that uses computer vision," 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), Moscow, 2018, pp. 1728-1730, doi: 10.1109/EIconRus.2018.8317438.

- [7] I. Garcia, G. Pajares, "Métodos de visión por computador para detección automática de líneas de cultivo curvas/rectas y malas hierbas en campos de maíz" 2018, Universidad Complutense de Madrid.
- [8] V. Vargas, "Sistema de Visión Artificial para el Control de Calidad en Piezas Cromadas." 2010, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco
- [9] J. Molleda, "Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados." 2008, Universidad de Oviedo, ISBN 978-84-692-8942-6
- [10] National Instruments, <https://www.ni.com/es-mx/shop/labview/select-edition.html>, 2021.
- [11] J. Capistrano, "Machine Vision Systems In The Manufacturing Industry", XENLife, 2016, <https://xenlife.com.au/machine-vision-systems-manufacturing-industry/>
- [12] M. Garcia, C. Quispe, L. Ruez, "Costo de la calidad y la mala calidad", Industrial Data, 2002, https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm
- [13] J. Ramirez, "Desarrollo de una aplicación de inspección visual, utilizando visión por computadora", Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006, http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0313_CS.pdf
- [14] Unión Europea, "Visión artificial, aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales", Fondo Social Europeo, 2012, <http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/43025/Aplicaci%C3%B3n+pr%C3%A1ctica+de+la+visi%C3%B3n+artificial+en+el+control+de+procesos+industriales.pdf/92a1a455-ffe2-4290-be95-f9ba33c02241>

[15] E. Lopez, F. Trespaderne, “Visión Artificial Industrial: Procesamiento de Imágenes para Inspección Automática y Robótica”, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, Universidad de Valladolid, 2012.

[16] Cognex Corporation, “DVT SmartImage Sensor, Installation & User Guide”, 2003.

[17] Cognex Corporation, “Guia Productos 2007”, 2007.

[18] Centro de recursos para el aprendizaje y la investigación, “Diferencia entre la Investigación Básica y la Aplicada”, 2018, <http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/diferencia-entre-la-investigacion-basica-y-la-aplicada>