

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE
GUANAJUATO



**MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS
DIMENSIONALES DE PIEZAS AUTOMOTRICES
USANDO TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL**

Opción 2: Titulación Integral – Tesis Profesional

Elaborada por:

Miguel Ángel Almanza Villagómez.

Que presenta para obtener el título de:

INGENIERO EN ELECTRONICA

Asesora:

MC. Susana Violeta Martínez Hernández.

MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE PIEZAS AUTOMOTRICES USANDO TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Elaborada por:

Miguel Ángel Almanza Villagómez

Aprobado por.

MC. Susana Violeta Martínez Hernández.
Docente de la carrera de Ingeniería electrónica.
Asesora de la tesis profesional.

Revisado por.

Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández.
Docente de la carrera de Ingeniería electrónica.
Revisor de la opción de titulación.

Revisado por.

Ing. Netzahualcóyotl Martínez Cázares
Docente de la carrera de ingeniería en electrónica.
Revisor de la opción de titulación.

ALIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 26/10/2021

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

Ing. J. Trinidad Tapia Cruz
Director Académico y de Estudios Profesionales
ITSUR
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre de estudiante y/o egresado(a): Almanza Villagómez Miguel Ángel	
Carrera: Ingeniería en electrónica	Núm. de control: E15120245
Nombre del proyecto: Medición de características dimensionales de piezas automotrices usando técnicas de visión artificial	
Producto: Proyecto de Investigación	

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestras y nuestros egresados.



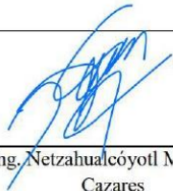
ATENTAMENTE



Dr. J. Eli Eduardo González Durán
Coordinador de Ingeniería Electrónica
ITSUR



La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

		
M.C. Susana Violeta Martínez Hernández Asesora de la tesis profesional	Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández Revisor 1	Ing. Netzahualcóyotl Martínez Cazares Revisor 2

c.c.p.- Expediente

Noviembre 2020



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato
Coordinación de Ing. Electrónica

DEPARTAMENTO ACADEMICO	CLAVE:IEIT0002E IELE-EGR-2021/10
---------------------------	-------------------------------------

Uriangato, Guanajuato, **26/octubre/2021**

Asunto: Aprobación de impresión de trabajo profesional

C. Almanza Villagómez Miguel Ángel
PRESENTE:

Por medio de este conducto, le comunico a usted que después de haber sido revisado su trabajo de titulación bajo la del cual se derivó la Monografía Titulada:

“ Medición de características dimensionales de piezas automotrices usando técnicas de visión artificial ”

La comisión revisora, ha tenido a bien aprobar la impresión de este trabajo.

ATENTAMENTE
"Excelencia en Educación Tecnológica"
"Tecnología y Calidad para la Vida"

Dr. J. Eli Eduardo González Durán
Coordinación de Ingeniería Electrónica

Instituto Tecnológico Superior
del Sur de Guanajuato



COORDINACIÓN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA

C.c.p Unidad de Servicios Escolares
C.c.p Coordinación de Ingeniería Electrónica
C.c.p Archivo Consecutivo



Ave. Educación Superior No. 2000 Col. Benito Juárez,
Uriangato, Guanajuato, C.P. 38980 Tels. (445) 45 7 74 68 al 71
Ext. 137, e-mail: electronica@itsur.edu.mx
tecnm.mx | itsur.edu.mx



Resumen

En este proyecto para residencias profesionales se presenta el desarrollo de un equipo de medición de características dimensionales en piezas automotrices utilizando visión artificial, mediante los siguientes métodos: Adquisición de concentricidad, medición de distancias longitudinales, detección de diámetro, determinación de dimensiones angulares, etc., con el fin de aprobar tolerancias dimensionales especificadas.

La integración del sistema se basa en dos etapas principales: adquisición de imágenes y procesamiento de imagen, la adquisición de las imágenes se basa en una videocámara USB Lifecam Studio marca Microsoft que realiza la captura de la pieza situada dentro de un entorno de análisis.

La etapa de procesamiento de imagen consiste en la implementación del software LabVIEW incorporado con módulos de procesamiento de imágenes *Vision Development Module* y *Visión Acquisition Software* con los cuales se adquieren las dimensiones de una base de aceite y terminal de batería para posteriormente generar un reporte de los datos de las medidas realizadas a las piezas en un archivo Excel.

El alcance del proyecto se centra en el desarrollo de un sistema controlado con la capacidad de detección de errores de fabricación en piezas automotrices mediante la aplicación de tolerancias para la obtención de características dimensionales en las que la planicidad ha sido garantizada y el color no es una variable de interés.

Abstract

In this project for professional residences, the development of an equipment for measuring dimensional characteristics in automotive parts is presented using artificial vision, using the following methods: Acquisition of concentricity, measurement of longitudinal distances, detection of diameter, determination of angular dimensions, etc., in order to approve specified dimensional tolerances.

The integration of the system is based on two main stages: image acquisition and image processing, the acquisition of the images is based on a Microsoft Lifecam Studio USB camcorder that captures the part located within an analysis environment. The image processing stage consists of the implementation of the LabVIEW software incorporated with image processing modules vision development module and vision acquisition software with which the dimensions of an oil base and battery terminal are acquired and then generated a report of the data of the measurements made to the pieces in an Excel file.

The scope of the project focuses on the development of a controlled system with the ability to detect manufacturing errors in automotive parts by applying tolerances to obtain dimensional characteristics in which flatness has been guaranteed and color is not a factor, variable of interest.

- **Palabras claves:** LabVIEW, Sistemas de Visión, Herramientas de Visión, Adquisición de imágenes para la industria, Inspección de piezas automotrices.

Agradecimientos

A la maestra Susana Violeta Martínez por su colaboración y soporte realizados para la elaboración del proyecto y al doctor Carlos Alberto Fuentes por su colaboración en la revisión del proyecto.

A todos los maestros que durante toda la estadía universitaria en mi proceso de formación me han brindado los conocimientos técnicos y sus experiencias, a los maestros Dr. José Eli Eduardo Gonzales, M.C. Julio Ortega Alejos, Ing. Netzahualcóyotl Martínez y al M.C Leonel Estrada Rojo.

A mis compañeros y amigos con los que estuve durante mi estadía universitaria y que pasamos muchas experiencias para recordar.

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico a mis familiares, quienes a lo largo de toda la carrera y años estudiantiles han sido mi soporte, me han brindado su apoyo de acuerdo a sus posibilidades, ayudándome a lograr mis metas y poder llegar a concluir mis estudios profesionales, ya que sin su ayuda incondicional no hubiera sido posible, por esto y muchas más les doy las gracias.

Índice General

Capítulo 1	17
Introducción.	17
Capítulo 2	19
Marco teórico (Antecedentes).....	19
2.1. Dimensiones y tolerancias geométricas GD&T	19
2.2.1. Dibujo de ingeniería	19
2.2.2. Dimensiones	19
2.2.3. Tolerancias	19
2.2.4. Reglas fundamentales del dimensionamiento	20
2.2. Conceptos fundamentales de los sistemas de visión.....	21
2.2.1. Imagen digital	21
2.2.2.1. Imagen en escala de grises	22
2.2.2.2. Imagen binaria	22
2.2.2.3. Imagen a color	22
2.2.2. Componentes del SVA.....	23
2.2.2.1. Iluminación.....	24
2.2.2.1.1. Iluminación frontal.....	24
2.2.2.1.2. Iluminación lateral	24
2.2.2.1.3. Iluminación por campo oscuro (dark field)	25
2.2.2.1.4. Iluminación por contraste (backlight)	26
2.2.2.1.5. Iluminación coaxial.....	26
2.2.2.1.6. Iluminación tipo domo plano.	27
2.2.2.2. Cámara	27
2.2.2.3. Computadora o módulo de proceso.....	28
2.2.2.4. LabVIEW.....	28
2.2.2.4.1. Vision Assistant.....	30
Capítulo 3	31
Planteamiento del problema	31
3.1. Identificación.....	31

3.2. Justificación.	32
3.3. Alcance.	33
Capítulo 4.....	34
Objetivos.....	34
4.1. Objetivos generales.	34
4.2. Objetivos específicos.	34
Capítulo 5.....	35
Metodología.....	35
5.1. Cámara.....	35
5.1.1. Caracterización de la cámara.....	36
5.2. Diseño y construcción del entorno de análisis.	39
5.2.1. Estructura principal.	40
5.2.2. Iluminación.....	41
5.2.3. Base de análisis y plataforma.	42
5.2.4. Colocación de la cámara.....	43
5.3. Obtención de dimensiones geométricas en piezas automotrices.....	44
5.3.1. Equipo de medición utilizado.....	44
5.3.2.1. Base de aceite.	45
5.3.2.2. Terminal de batería.....	46
5.4. Desarrollo del programa.	48
5.4.1. Adquisición de imágenes.....	48
5.4.1.1. Guardado de las imágenes.	49
5.4.1.2. Selección de cámara.....	49
5.4.1.3. Configuración de la cámara.....	49
5.4.1.4. Ciclo for loop.....	50
5.4.2. Procesamiento y análisis de la imagen.....	50
5.4.2.1. Estructura case y creación del programa.....	51
5.4.2.1.1. Base de aceite.	52
5.4.2.1.1.1. Guardado de imagen.	52
5.4.2.1.1.2. Análisis de la base de aceite con Vision Assistant.....	53

5.4.2.1.1.2.1. Conversión a escala de grises.	54
5.4.2.1.1.2.2. Calibración.	55
5.4.2.1.1.2.3. Selección de la región de interés.	57
5.4.2.1.1.2.4. Establecimiento del sistema de coordenadas.	58
5.4.2.1.1.2.5. Obtención del radio de orificios 1, 2 y 3.	59
5.4.2.1.1.2.6. Obtención de la distancia entre los orificios.	62
5.4.2.1.1.2.7. Selección de controles e indicadores.	64
5.4.2.1.1.3 Ajuste de valores de salida de Vision Assistant.	64
5.4.2.1.1.4. Tolerancia en dimensionamiento de las piezas.	65
5.4.2.1.1.5. Piezas aprobadas y rechazadas.	68
5.4.2.1.1.6. Porcentaje de calidad.	70
5.4.2.1.2. Terminal de batería.	73
5.4.2.1.2.1. Guardado de imagen.	74
5.4.2.1.2.2 Análisis de la terminal de batería con Vision Assistant.	74
5.4.2.1.2.2.1. Conversión a escala de grises.	75
5.4.2.1.2.2.2. Calibración.	76
5.4.2.1.2.2.3. Selección de la región de interés.	77
5.4.2.1.2.2.4. Establecimiento del sistema de coordenadas.	78
5.4.2.1.2.2.5. Obtención del radio del orificio del poste.	79
5.4.2.1.2.2.6. Obtención de la distancia entre los orificios de sujeción.	80
5.4.2.1.2.2.7. Obtención de la distancia entre terminales.	81
5.4.2.1.2.3. Selección de controles e indicadores.	82
5.4.2.1.2.3. Ajuste de valores de salida de vision assistant.	83
5.4.2.1.2.4. Tolerancia en dimensionamiento de las piezas.	84
5.4.2.1.2.5. Porcentaje de calidad.	86
5.4.2.1.2.6. Piezas aprobadas y rechazadas.	87
5.4.2.2. Generación del reporte de las piezas en Excel.	89
Capítulo 6.	91
Resultados.	91
6.1. Interface principal.	91

6.1.1. Visualización de los procesos	92
6.1.2 Funcionamiento del panel principal.....	92
6.2. Visualización de resultados de las piezas	94
6.3. Generación del reporte de piezas en Excel	97
6.3.1. Datos de la base de aceite	97
6.3.2. Datos de la terminal de batería	102
Capítulo 7	101
Análisis de Resultados.....	101
Capítulo 8.....	104
Conclusiones y trabajo a futuro.....	104
Referencias bibliográficas	105
Anexos	106

Índice de figuras

Figura 2.1: Iluminación frontal.	24
Figura 2.2: Iluminación lateral	25
Figura 2.3: Iluminación por dark field.	25
Figura 2.4: Iluminación backlight.	26
Figura 2.5: Iluminación coaxial.	26
Figura 2.6: Iluminación difusa tipo domo plano.	27
Figura 5.0a: Videocámara LifeCam Studio.	35
Figura 5.0b: FOV = 290x170mm (Valor practico medido al centro del área).	36
Figura 5.0c: Resolución mínima para el eje x e y.	37
Figura 5.0d: FOV = 213x118mm (Valor practico medido al centro del área).	38
Figura 5.0e: Resolución mínima para el eje x e y.	39
Figura 5.1a: Estructura de la caja.	40
Figura 5.1b: Base de soporte.	40
Figura 5.2: Iluminación interna de la caja. Figura 5.3: Control de la iluminación.	41
Figura 5.4a: Base sobre el soporte.	42
Figura 5.4c: Plataforma de elevación.	42
Figura 5.5: Colocación de la cámara.	43
Figura 5.6: Vernier marca Mitutoyo.	44
Figura 5.7: Diámetro de los orificios de la base de aceite en milímetros.	45
Figura 5.8: Distancia entre el orificio 1 y 2 de la base de aceite en milímetros.	45
Figura 5.9: Distancia entre el orificio 2 y 3 de la base de aceite en milímetros.	46
Figura 5.10: Diámetro del orificio del poste de la terminal de batería en milímetros.	46
Figura 5.11: Distancia entre terminales de la terminal de batería en milímetros.	47
Figura 5.12: Distancia entre orificios de sujeción de la terminal de batería en milímetros.	47
Figura 5.13: Etapa de adquisición de imágenes dentro de la estructura sequence.	48
Figura 5.14: Primeras instrucciones de la adquisición de imágenes.	49

Figura 5.15: Captura y finalización de adquisición de imágenes.....	50
Figura 5.16: Etapa de procesamiento y análisis de imágenes dentro de la estructura sequence.....	51
Figura 5.17: Funcionamiento de estructura case.....	51
Figura 5.18: Caso 1 análisis de la base de aceite.....	52
Figura 5.19: Guardado temporal de imagen.....	53
Figura 5.20: Procesamiento de la pieza de base de aceite con vision assistant...	53
Figura 5.21a: Uso de color plane.....	54
Figura 5.21c: Base sin escala de grises.....	55
Figura 5.22: Imagen requerida para calibración.....	55
Figura 5.23a: Uso de función calibración.....	56
Figura 5.24: Especificación de la distancia en unidades reales dentro del plano..	57
Figura 5.25a: Selección de pattern matching.....	57
Figura 5.25b: Selección de la región de interés.....	58
Figura 5.26: Establecimiento de coincidencias.....	58
Figura 5.27a: Selección del sistema de coordenadas.....	58
Figura 5.27b: Establecimiento del sistema de coordenadas.....	59
Figura 5.28a: Selección de función find circular locates.....	59
Figura 5.28b: Parámetros establecidos.....	60
Figura 5.28d: Parámetros establecidos.....	61
Figura 5.28f: Parámetros establecidos.....	61
Figura 5.29a: Selección de función caliper.....	62
Figura 5.29c: selección de puntos.....	63
Figura 5.29e: selección de puntos.....	63
Figura 5.30: Selección de los controles e indicadores en Vision Assistant	64
Figura 5.31: Proceso de ajuste de resultados de dimensionamiento	65
Figura 5.32: Subvi de tolerancias dimensionales	66
Figura 5.33: Estructura interna del subvi.....	67
Figura 5.34: Paso previos antes de enviar los datos de tolerancias al archivo Excel	68
Figura 5.35: Aprobación y rechazo utilizando compuertas and.....	69

Figura 5.36: Pasos previos antes de generar el reporte de la aprobación o rechazo de la pieza.....	70
Figura 5.37: Subvi del porcentaje de calidad	70
Figura 5.38: Estructura interna del subvi.....	71
Figura 5.1 3: Pasos previos antes de generar el reporte del subvi del porcentaje de error.....	72
Figura 5.40: Programa de procesamiento de la terminal de batería.....	73
Figura 5.41: Guardado temporal de la captura del terminal de batería	74
Figura 5.42: Obtención de dimensiones del terminal de batería con Vision Assistan	74
Figura 5.43a: Selección de plano RGB – Blue plane a extraer en la captura.....	75
Figura 5.43b: Terminal sin escala de grises	75
Figura 5.44: Calibración utilizando regla	76
Figura 5.45: Selección de calibración point distance.....	76
Figura 5.46: Especificación de la distancia en unidades reales dentro del plano..	77
Figura 5.47: Selección de la región de interés.	77
Figura 5.48: Establecimiento de coincidencias.....	78
Figura 5.49: Selección del sistema de coordenadas	78
Figura 5.50: Parámetros utilizados para obtener el radio del orificio.....	79
Figura 5.50b: Detección del orificio de la pieza.....	79
Figura 5.51a: Detección del punto central en los orificios.	80
Figura 5.51b: selección de puntos.....	80
Figura 5.52a: Selección de la función clamp.....	81
Figura 5.52b: Parámetro para calcular la distancia entre terminales.....	81
Figura 5.52c: Distancia entre terminales de la pieza.....	82
Figura 5.53: Selección de controles e indicadores	82
Figura 5.54: Proceso de ajuste de resultados de dimensionamiento	83
Figura 5.55: Subvi encargado de establecer las tolerancias	84
Figura 5.56: Estructura interna del subvi.....	85
Figura 5.57: Pasos previos antes de enviar los datos de dimensiones a un archivo Excel	85

Figura 5.58: Subvi del porcentaje de calidad	86
Figura 5.59: Estructura interna del subvi	86
Figura 5.60: Pasos previos antes de enviar los datos de la calidad de las medidas a un archivo Excel	87
Figura 5.61: Aprobación y rechazo utilizando compuertas and	88
Figura 5.62: Pasos previos antes de generar el reporte de la aprobación o rechazo de la pieza	88
Figura 5.63: Envió de datos de los Set Dynamic Data Attributes a mage signal ...	89
Figura 5.64: Ruta de guardado de archivo Excel y configuración de Write To Measurement File.....	90
Figura 6.1: Interface principal de control	91
Figura 6.2: Pantallas de visualización de las piezas	92
Figura 6.3: Interface de selección	93
Figura 6.4: Paneles de control de la base de aceite y terminal de batería.	93
Figura 6.5: Visualización del procesado de la pieza de aceite	94
Figura 6.6: Tolerancias y resultados de las medidas de la base de aceite	95
Figura 6.7: Visualización del procesado de terminal de batería	95
Figura 6.8: Tolerancias y resultados de las medidas de la terminal de batería	96
Figura 6.9a: Columnas de tiempo, diámetro y porcentaje de error de orificio 1 en mm.	98
Figura 6.9b: Columnas de diámetro y porcentaje de error de orificios 2 y 3 en mm.	98
Figura 6.9c: Columnas de distancia y porcentaje de error de orificio 2 a 3 en mm.	98
Figura 6.9d: Columnas de distancia, porcentaje de error de orificio 1 a 2 en mm y aprobación o rechazo de pieza.	99
Figura 6.10a: Columnas de diámetro y porcentaje de error de orificio terminal poste en mm.....	99
Figura 6.10b: Columnas de distancia y porcentaje de error de orificios de sujeción en mm.	100
Figura 6.10c: Columnas de distancia, porcentaje de error entre terminales en mm y aprobación o rechazo de pieza.	100
Figura 8.1: Circuito de encendido de la iluminación	106

Figura 8.2a: Encendido de la superficie con interrupto 1.	107
Figura 8.2b: Encendido de la superficie con interruptor 2.	107
Figura 8.2c: Encendido de la base con interruptor 3.	107

Índice de tablas

Tabla 5.1: Características de la cámara.	35
Tabla 5.2: Tabla de características del vernier.	44
Tabla 5.3: Explicación de la lógica de la compuerta and.	68
Tabla 7.1: Datos de las medidas realizadas en la terminal de batería.	102
Tabla 7.2: Datos de las medidas realizadas en la terminal de batería.	102
Tabla 7.3: Rangos de la base de aceite.	103
Tabla 7.4: Rangos de la terminal de batería.	103

Capítulo 1

Introducción.

No fue hasta principios de los 90, que empezó a implementarse con asiduidad la tecnología de visión en la industria. En esos momentos la mayoría de las aplicaciones a resolver eran relativamente simples, en cuanto al número de procesos y tiempo de ejecución, pero frecuentemente sus precios eran tan elevados que difícilmente podían ser amortizados en un tiempo razonable para la gran mayoría de las industrias.

La rápida evolución de los ordenadores, durante la década de los noventa y principios de este siglo ha hecho que la visión industrial en la actualidad permita solventar prácticamente todo tipo de aplicaciones con unos precios realmente muy competitivos [Giro, 2007].

La visión artificial o por computadora la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes, es una herramienta innovadora que en la actualidad es implementada en diversas áreas, el continuo desarrollo de nuevos algoritmos y aplicaciones hacen de esta disciplina una tecnología en constante evolución, realizar procesos y verificar el funcionamiento óptimo de los parámetros que se requieren, estas herramientas se han convertido en algo indispensable en el cumplimiento de estándares de calidad, por medio de cámaras, un software enfocado a la visión artificial y estas pueden utilizarse para:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar la inspección del 100% de la producción (calidad total) a gran velocidad.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.

Existen muchas pruebas de control de calidad, que se basan en la inspección visual de productos, y generalmente se cree, que solo un ser humano puede realizarlas, esto ha cambiado, ya que existen muchos problemas de inspección visual que son susceptibles de ser automatizados, y permiten liberar a los trabajadores de tareas monótonas y repetitivas [Ríos, 2007].

Por otro lado, el área automotriz ha ido creciendo velozmente, convirtiéndose en uno de los sectores más competitivos dentro del sector industrial, donde las industrias se ven en la situación de tener que innovar, mejorar la calidad del producto final y reducir los tiempos y costos de producción para permanecer dentro del mercado, la visión artificial se ha convertido en una de las herramientas clave de la automatización industrial que principalmente se emplean en sistemas de control de calidad de la producción, control y ejecución de los procesos productivos reduciendo los tiempos empleados y realizando tareas en las que el ojo humano es incapaz de realizar, por esto mismo el desarrollo del presente proyecto ha sido pensado con la idea de crear un sistema de detección de características dimensionales en piezas automotrices, utilizando la visión artificial y siendo desarrollada la programación dentro del entorno de programación gráfica LabVIEW que estén dentro de las tolerancias dimensionales establecidas para cada una de las piezas.

Capítulo 2

Marco teórico (Antecedentes).

2.1. Dimensiones y tolerancias geométricas GD&T

GD&T es un idioma internacional que se utiliza en los dibujos de ingeniería para describir con precisión el tamaño, forma, orientación y ubicación de las características de la pieza. Es también un diseño de dimensionamiento que anima a los diseñadores para definir una parte sobre la base de cómo funciona en el producto final o de montaje (Krulikowski, 200).

2.2.1. Dibujo de ingeniería

Es un documento que comunica una descripción precisa de la parte. Esta descripción consiste en dibujos, palabras, números y símbolos. Juntos, estos elementos proveen información de la parte a todos los usuarios del dibujo. La información del dibujo de ingeniería incluye:

Geometría (Configuración, tamaño y forma de la parte)

Relaciones críticas de funcionamiento

Tolerancias permisibles para un funcionamiento apropiado

Material, tratamiento térmico, recubrimientos de la parte

Información de documentación (número de parte, nivel de revisión)

2.2.2. Dimensiones

Es un valor numérico expresado en unidades apropiadas de medición para definir el tamaño, la orientación y la forma u otra característica geométrica de la parte.

2.2.3. Tolerancias

Es el monto total que se les permite a las figuras de la parte variar de la dimensión especificada. La tolerancia es la diferencia entre los límites máximos y mínimos.

Hay dos métodos comunes para especificar las tolerancias: tolerancias límite y tolerancias más-menos.

Tolerancia límite: es cuando se indican los límites máximos y mínimos. En una tolerancia límite se coloca el valor máximo en la parte superior y el valor mínimo en la parte inferior.

Tolerancia más-menos: indica primero el valor nominal o valor meta, seguido por una expresión más-menos de la tolerancia.

2.2.4. Reglas fundamentales del dimensionamiento

Las Reglas fundamentales del dimensionamiento son un juego de reglas generales para el dimensionamiento y la interpretación de dibujos. Del estándar ASME Y14.5M 1994. Las diez reglas que aplican a este texto son las siguientes enlistadas abajo:

- Cada dimensión debe tener una tolerancia con excepción de aquellas dimensiones identificadas como referencia máxima, mínima o de material de medida estándar (comercial).
- El dimensionamiento y las tolerancias deben ser completas para obtener una definición entera de cada figura de la parte.
- Las dimensiones deben ser elegidas y arregladas para cumplir con la función y el empalme con los componentes adyacentes de la parte y no deben estar sujetas a más de una interpretación.
- El dibujo debe definir una parte sin especificar métodos de manufactura.
- Aplica un ángulo de 90° cuando se muestran líneas centrales y líneas de figuras en un dibujo en ángulo recto y sin dimensión.
- Aplica un ángulo básico de 90° cuando en un dibujo líneas centrales de una figura o superficies mostradas en ángulo recto se localizan y se definen por una dimensión básica sin que se especifique un ángulo.
- Si no especifica otra cosa todas las dimensiones son aplicables a una temperatura de 20° C (68° F).
- Todas las dimensiones y tolerancias aplican en condición de estado libre. Este principio no aplica a partes no rígidas.
- Si no se especifica otra cosa, todas las tolerancias geométricas aplican al ancho, largo y profundidad total de la figura.

- Dimensiones y tolerancias aplican exclusivamente al nivel de dibujo donde estén especificadas. Una dimensión especificada en un dibujo de detalle no es obligatoria en un dibujo de ensamble para la misma figura.

Para comprobar que las dimensiones de una parte sean correctas, es necesario que el producto sea inspeccionado haciendo las mediciones necesarias, ya sea por métodos manuales a través de un operador e instrumentos de medición, o por técnicas más sofisticadas usadas en los sistemas que cuentan con un grado de automatización.

Una de las mayores dificultades en la inspección de un producto para la determinación de parámetros específicos, es la supervisión de la apariencia visual del objeto, realizada en la mayoría de las ocasiones por inspectores humanos.

2.2. Conceptos fundamentales de los sistemas de visión

Los sistemas de visión artificial (SVA) son de gran importancia en la automatización de procesos industriales, dentro del área de control de calidad facilitan de manera rápida y eficiente los procesos de análisis, los SVA se basan en sensores digitales protegidos dentro de cámaras industriales con óptica especializadas en adquirir imágenes, para que el hardware y el software puedan procesar, analizar y medir las características.

La visión artificial consiste básicamente en la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, a partir de una o varias imágenes bidimensionales de ese mundo [Antonio, 2016].

2.2.1. Imagen digital

La imagen se puede definir matemáticamente como una función bidimensional, $f(x, y)$, donde x y y son coordenadas espaciales (en un plano). La imagen digital básica se compone de una matriz bidimensional de números. Cada número de la matriz representa un valor de elemento visual más pequeño, un pixel. La ubicación indexada del valor de pixel en la matriz corresponde a las ubicaciones x e y del pixel dentro de la imagen, medido desde la esquina superior izquierda.

2.2.2.1. Imagen en escala de grises

A la intensidad de una imagen monocromática f en las coordenadas (x, y) se le denomina nivel de gris (I) de la imagen. La escala de grises la representación de una imagen en la que cada pixel se dibuja usando un valor numérico individual que representa su luminancia, en una escala que se extiende entre blanco y negro.

Generalmente las imágenes en escala de grises se codifican en formatos de 8bits representando valores entre 0 y 256 diferentes niveles de gris y 16bits para aplicaciones especializadas que representa valores entre -32,768 y +32,767.

2.2.2.2. Imagen binaria

Este tipo de imagen está formada por pixeles que solo pueden tener dos valores, 0 o 255 para el caso de una definición de 8 bits.

En el proceso y análisis de imagen, la bancarización se emplea para separar las regiones u objetos de interés en una imagen del resto. Las imágenes binarias se usan en operaciones booleanas o lógicas para identificar individualmente objetos de interés o para crear máscaras sobre regiones.

2.2.2.3. Imagen a color

Una imagen a color puede ser codificada de dos formas, RGB (Red, Green, Blue) o HSL (Hue, Saturation, Luminance). En la representación de imagen en el modelo RGB se representa cada píxel como un color creado a partir de ciertas cantidades de los colores rojo, verde y azul. Modelo HSL esta representación se puede interpretar como una matriz de tres niveles de intensidad, donde cada nivel corresponde a la intensidad de color de las componentes rojo, verde y azul. que es similar a HSV o HSI (del inglés Hue, Saturation, Intensity – Matiz, Saturación, Intensidad), define un modelo de color en términos de sus componentes constituyentes. El modelo HSL se representa gráficamente como un cono doble o un doble hexágono. Los dos vértices en el modelo HSL se corresponden con el blanco y el negro, el ángulo se corresponde con el matiz, la distancia al eje con la saturación y la distancia al eje blanco-negro se corresponde a la luminancia.

2.2.2. Componentes del SVA

Los sistemas de visión por computadora están compuestos por:

- Iluminación: es un aspecto de vital importancia ya que debe de ser capaz de proporcionar unas condiciones de iluminación uniformes dentro del entorno, facilitando así la extracción de las características de las piezas.
- Sensor óptico: El sensor puede ser una cámara a color o monocromo que produce una imagen completa del dominio del problema cada 1/30 segundos. Los sensores podrían ser también una cámara scanner que produce una línea en cada instante. En este caso el movimiento del objeto por la línea del scanner (o al revés) produce la imagen bidimensional. La naturaleza del sensor y la imagen que produce vienen determinadas por la aplicación.
- Computadora: Una vez digitalizada la imagen, debe ser almacenada en la memoria de una computadora para su posterior procesamiento y manipulación por programa.
- Algoritmo o programa: Permite crear la programación principal y visualizar tanto las imágenes o escenas captadas como los resultados del procesamiento de dichas imágenes.

Un sistema de visión consiste en la captación de imágenes en línea mediante cámaras CCD y su posterior tratamiento a través de técnicas de procesamiento avanzadas, permitiendo así poder intervenir sobre un proceso (modificación de variables del mismo) o producto (detección de unidades defectuosas), para el control de calidad y seguridad de toda la producción. (Ruíz, 2017)

2.2.2.1. Iluminación

La iluminación es una de las claves del éxito en los resultados de la visión artificial. Los sistemas de visión artificial crean imágenes a través del análisis de la luz reflejada por un objeto, no del análisis del propio objeto. Una técnica de iluminación implica una fuente de luz y su ubicación con respecto a la pieza y la cámara. Una técnica de iluminación particular puede mejorar una imagen de forma que se anulen algunas características y se mejoren otras, silueteando una pieza que oscurece los detalles superficiales para permitir la medición de sus bordes, por ejemplo.

2.2.2.1.1. Iluminación frontal

Es la más común de todas las técnicas de iluminación. En este caso, la cámara se ubica mirando al objeto y en la dirección de la luz. Esta técnica de iluminación es especialmente útil en superficies con pocos reflejos y se logra mediante anillos de luz, iluminadores de puntuales de área y lineales, figura 2.1.



Figura 2.1: Iluminación frontal.

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN FRONTAL. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-frontal/>

2.2.2.1.2. Iluminación lateral

Esta técnica se utiliza para resaltar los detalles de las piezas. Estos solo serán visibles en el caso de que la luz esté orientada de forma lateral a la posición de la cámara. De este modo, se define la iluminación lateral como aquella en la que la fuente de luz se sitúa en un lado del objeto que se quiere fotografiar y que crea, necesariamente, un ángulo de 90° entre la cámara y el objeto en cuestión, figura 2.2.

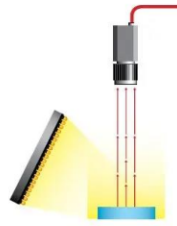


Figura 2.2: Iluminación lateral

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN LATERAL. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-lateral/>

2.2.2.1.3. Iluminación por campo oscuro (dark field)

En esta técnica, el objetivo es resaltar los defectos superficiales (tales como grietas, surcos o manchas). Para poder detectarlos, se deberán detectar los códigos matrices u otros caracteres impresos en la superficie. En este caso, lo más habitual será utilizar anillos luminosos que emitan luz en dirección perpendicular a la cámara, figura 2.3.



Figura 2.3: Iluminación por dark field.

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN POR DARK FIELD. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-por-campo-oscuro-dark-field/>

2.2.2.1.4. Iluminación por contraste (backlight)

Esta técnica sitúa el objeto entre la iluminación y la cámara, con lo que se consigue reconocer la silueta del objeto por contraste figura 2.4.



Figura 2.4: Iluminación backlight.

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN BACKLIGHT. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-por-contraste-backlight/>

2.2.2.1.5. Iluminación coaxial

Se usa para iluminar los objetos reflectantes. Estas técnicas de iluminación funcionan emitiendo luz de manera lateral sobre un espejo semitransparente y que se desvían en la misma dirección al eje de la cámara, lo que consigue una luz difusa y homogénea figura 2.5.

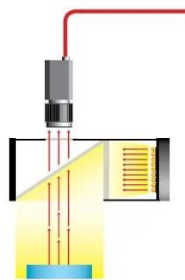


Figura 2.5: Iluminación coaxial.

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN COAXIAL. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-sobre-el-mismo-eje-o-iluminacion-coaxial/>

2.2.2.1.6. Iluminación tipo domo plano.

Esta técnica es utilizada para materiales extremadamente reflectantes y tiene la ventaja de no generar ningún tipo de sombra figura 2.6.

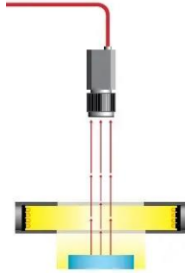


Figura 2.6: Iluminación difusa tipo domo plano.

Infaimon S.L. (2017, 1 agosto). ILUMINACIÓN DIFUSA TIPO DOMO PLANO. Infaimon.
<https://www.infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/iluminacion-difusa-tipo-domo-plano/>

2.2.2.2. Cámara

Es el dispositivo que, utilizando un objetivo formado por un juego de lentes y el diafragma, construye una imagen sobre el plano del sensor compuesto de elementos fotosensibles, la digitaliza y la transmite hacia la tarjeta de adquisición del procesador. Están compuestas por un sensor y la electrónica asociada. Las cámaras proporcionan una señal de vídeo en un formato estándar para su digitalización (en el caso analógico) o directamente la información en formato digital que constituye la imagen captada por la misma (en el caso de cámaras digitales).

Tipos de cámaras: lineales, matriciales, en color, en blanco y negro, tipos de lentes (teleobjetivos, gran angular, telecéntricos).

- Cámaras lineales: Construyen la imagen línea a línea realizando un barrido del objeto junto con un desplazamiento longitudinal del mismo.
- Cámaras matriciales: El sensor cubre un área que está formada por una matriz de píxeles.
- Cámaras de color: Aunque el proceso de obtención de las imágenes es más complejo, proporcionan una mayor información que las monocromáticas.

- Lentes: Se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada para poder obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos. El arreglo cámara-lente es vital en los sistemas de visión artificial ya que esto definirán parámetros que comprometen la calidad de la imagen adquirida. Estos parámetros son: campo de visión (FOV), distancia de trabajo (WD), resolución, profundidad de campo (DOF), el tamaño del sensor, y la relación entre el tamaño del sensor y el campo de visión o mejor conocido como la magnificación primaria del lente (PMAG).

2.2.2.3. Computadora o módulo de proceso.

Se trata del sistema encargado de recibir y analizar, mediante los algoritmos adecuados, las imágenes a la velocidad necesaria para poder interactuar con el entorno en tiempo real. En esta área se realizan las siguientes tareas:

- Recibir todas aquellas señales de sincronización para que se pueda realizar correctamente la captura de imágenes.
- Realizar la lectura de las imágenes.
- Procesar los datos proporcionados por las cámaras para realizar el análisis de imagen.
- Realizar el 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.

2.2.2.4. LabVIEW

LabVIEW es un programa creado por National Instruments (NI), este software es una herramienta de programación gráfica que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto para el diseño de aplicaciones de Ingeniería, de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de otras herramientas de desarrollo.

El entorno de LabVIEW se caracteriza principalmente por las siguientes características:

- Intuitivo lenguaje de programación.
- Herramientas de desarrollo y librerías de alto nivel específicas para aplicaciones.
- Cientos de funciones para E/S, control, análisis y presentación de datos.
- Posibilidad de crear aplicaciones de medida genéricas sin programación.
- Depuración gráfica integrada y control del código fuente.
- Miles de programas de ejemplo, tanto en el software como por web.
- Ayuda contextual integrada y extensos tutoriales.

Algunas de las ventajas de que este software ofrece, es que es un programa que puede ser utilizado ya sea por programadores expertos, como por personas con pocos conocimientos del programa, LabVIEW cuenta con dos interfaces principales el panel frontal y el diagrama de bloques, el panel frontal es la interface principal con la que el usuario interactúa con el programa, por otra parte, el diagrama de bloques es un panel que contiene el código principal de la programación para el funcionamiento del programa.

NI a lo largo del tiempo también se ha enfocado en la visión artificial y el procesamiento de imágenes desarrollado paquetes como: *Vision Acquisition software*; (VAS) un módulo que permite adquirir, visualizar y guardar imágenes desde una variedad de interfaces de cámaras estándares en la industria, incluyendo GigE Vision, USB3 Vision y Camera Link y NI *Vision Development Module*; desarrollado para aplicaciones de visión artificial usando LabVIEW o C++ cuenta con una extensa biblioteca de funciones, de algoritmos de procesamiento de imágenes y funciones de visión artificial para mejorar imágenes, verificar presencias, ubicar características, identificar objetos y medir partes.

Las principales razones por las cuales el software LabVIEW resulta el más adecuado para el desarrollo de ciertas aplicaciones de visión son:

Elección de Cámara: el software y hardware de NI es compatible con cientos de cámaras abarcando desde cámaras analógicas de bajo costo hasta las de escaneo de líneas de alta velocidad.

Escalabilidad del hardware: Debido al constante avance de la tecnología en el desarrollo de cámaras, es posible que el SVA requiera un cambio cámara de acuerdo a la evolución de las mismas. NI proporciona varios para hacer dicho cambio, sin necesidad de cambiar de software.

2.2.2.4.1. Vision Assistant

Es una herramienta incluida dentro del paquete de *Vision Development Module* utilizada en este proyecto para la adquisición de las características dimensionales, este módulo permite crear prototipos y probar aplicaciones de procesamiento de imágenes sin ningún tipo de programación, que genera automáticamente el código en LabVIEW. Este asistente tiene acceso a todas las librerías de LabVIEW, *Ni IMAQ* o *IMAQ Vision* lo que permite simplificar el procesamiento de las capturas realizadas.

Capítulo 3

Planteamiento del problema

3.1. Identificación. El control de calidad en el área de producción forma parte de una de las etapas más importantes dentro del sector automotriz, esta área se asegura de seguir un estándar establecido de normas y medidas en la fabricación de cada una de sus piezas producidas con el fin de identificar y eliminar los errores, determinar la eficiencia del producto para entregar productos de alta calidad a los consumidores, debido a todo lo anterior mencionado se pretende desarrollar un sistema de identificación de características de piezas automotrices con el fin de identificar y aprobar las tolerancias dimensionales en piezas automotrices.

3.2. Justificación. En la actualidad el sector de la industria automotriz se ha vuelto cada vez más competitivo, este sector forma parte importante de la economía de México representando el 16% de su producto interno bruto (PIB), de acuerdo a análisis realizados en el 2020 por la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos de Motor “OICA”, México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en la producción de automóviles, anteriormente este ocupaba el sexto lugar superando a Corea de Sur, debido a los estragos que ha causado la pandemia en la economía de México y en el mundo las planta se vieron obligadas a cerrar debido a las medidas del confinamiento.

Mencionado todo lo anterior, el sector automotriz en México es un área en constante crecimiento, que se ve en la necesidad de innovar y mejorar sus productos para mantenerse en el mercado optando cada vez más por métodos de producción automatizados que mejoren la velocidad de esta área para cumplir con los estándares de calidad en el mercado.

Este trabajo pretende facilitar el proceso del control de calidad en piezas automotrices reduciendo los errores de producción mediante la adquisición de características dimensionales en piezas automotrices.

3.3. Alcance. El desarrollo de este proyecto pretende desarrollar un entorno de análisis funcional limitado a la obtención de valores dimensionales en piezas automotrices donde la planicidad está garantizada y el color no es un valor significativamente importante para el análisis, con el objetivo de que sea útil para el área de control de calidad, en base a los resultados obtenidos durante la primera etapa de creación de este proyecto se pretende identificar y mejorar aspectos del mismo para ser presentado en un futuro como una tesis de titulación.

Capítulo 4

Objetivos

4.1. **Objetivos generales.** Diseñar un sistema de detección de características dimensionales de piezas automotrices cuya planicidad ha sido garantizada mediante la implementación de herramientas de visión artificial y el uso del software de *National instruments* LabVIEW con la finalidad de aprobar las tolerancias en piezas automotrices.

4.2. **Objetivos específicos.**

- I. Realizar una investigación teórica y de proyectos existentes.
- II. Diseñar la estructura para medición de características.
- III. Desarrollar la estructura de medición de características (montaje de videocámara e iluminación).
- IV. Adquirir las medidas requeridas de cada una de las piezas a analizar.
- V. Desarrollo de la programación principal encargada del procesamiento y adquisición de características dimensionales mediante LabVIEW.
- VI. Realizar evaluación final mediante pruebas de funcionamiento.

Capítulo 5

Metodología

La planeación y desarrollo del siguiente proyecto han sido implementadas dentro del laboratorio de la institución académica del ITSUR situada en la dirección: Educación Superior 2000, col. Benito Juárez, 38980 Uriangato, Gto.

5.1. Cámara

La cámara es el hardware encargado de la adquisición de imágenes dentro de la estructura de análisis, es uno de los elementos más importantes para el procesamiento de las imágenes ya que esta, así como la iluminación determinara la precisión para obtener las características dimensionales de las piezas automotrices situadas dentro de la estructura.

Características de la videocámara

La videocámara empleada para la captura de las imágenes es una lifeCam Studio marca Microsoft figura 5.1a con las siguientes características tabla 5.0a:



Figura 5.0a: Videocámara LifeCam Studio.

Sensor	CMOS
Resolución de imagen	5 MP (2560 x 2048) Pixeles
Resolución de video	(1920x1080) pixeles
FPS máximo de grabación	30fps
Zoom digital	3x
Enfoque	Automático
Profundidad	11.4cm
Flash	No
Dimensiones	114(L)mm x 60(W)mm x 45(H)mm

Tabla 5.1: Características de la cámara.

5.1.1. Caracterización de la cámara

La caracterización de la cámara es un proceso que consiste en determinar la resolución espacial y la resolución mínima en mm en la horizontal y vertical para determinar el campo de visión de una cámara mediante el uso de una hoja milimétrica.

Utilizando la hoja milimétrica se colocó un punto en el centro de la hoja y una regla a la mitad de hoja, los valores obtenidos en el campo de visión FOV en la horizontal y vertical para una distancia de trabajo $WD = 220\text{mm}$ fueron de: horizontal 398mm y en la vertical de 170mm figura 5.0b.

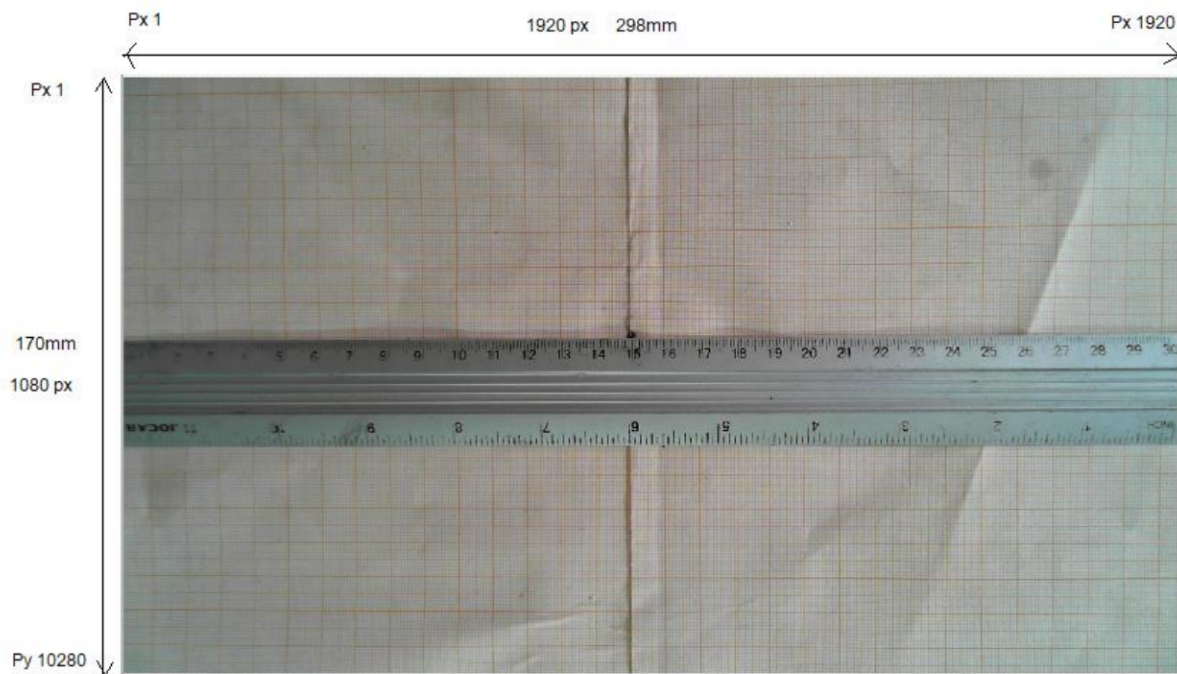


Figura 5.0b: FOV = 290x170mm (Valor practico medido al centro del área).

Se efectuó un zoom en la esquina superior izquierda del punto central, se midió en las coordenadas de la esquina superior izquierda (915, 312) en la inferior (915, 469) y en la superior derecha (1161, 312), la diferencia en los ejes X con un valor de 246px y una distancia de 34mm, así como del Y con un valor de 157px con distancia de 25mm y se obtuvieron los resultados de la resolución mínima para el eje X son: 7.23px/mm; 0.1382mm/px una resolución mínima considerando 2 pixeles de 0.2764 mm/2px y para el eje Y son: 6.28px/mm; 0.159mm/px y una resolución mínima considerando 2 pixeles de 0.3184mm/2px figura 5.0c.



Figura 5.0c: Resolución mínima para el eje x e y.

De la misma manera que con la anterior en una hoja milimétrica se colocó una regla a la mitad de hoja justo en el punto a una distancia de trabajo de $WD = 110\text{mm}$, los valores obtenidos en el campo de visión FOV, en la horizontal y vertical fueron de: horizontal 213mm y en la vertical de 118mm figura 5.0d.

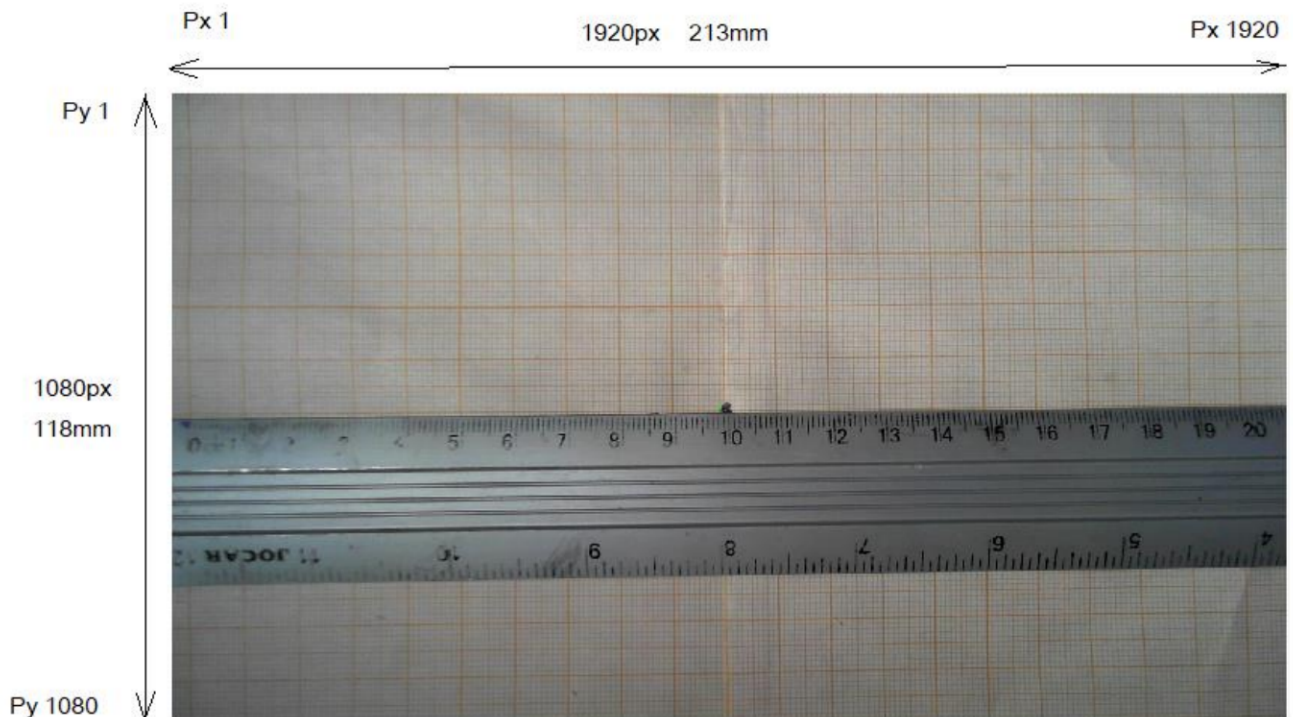


Figura 5.0d: FOV = 213x118mm (Valor practico medido al centro del área).

Se efectuó un zoom en la esquina superior izquierda del punto central, se midió en las coordenadas de la esquina superior izquierda (945, 313) en la inferior (945, 547) y en la superior derecha (1315, 313), la diferencia en los ejes X con un valor de 370px y una distancia de 42mm, así como del Y con un valor de 234px con distancia de 26mm y se obtuvieron los resultados de la resolución mínima para el eje X son: 8.809px/mm; 0.1135mm/px una resolución mínima considerando 2 pixeles de 0.2270mm/2px y para el eje Y son: 9px/mm; 0.1111mm/px y una resolución mínima considerando 2 pixeles de 0.2222mm/2px figura 5.0e.

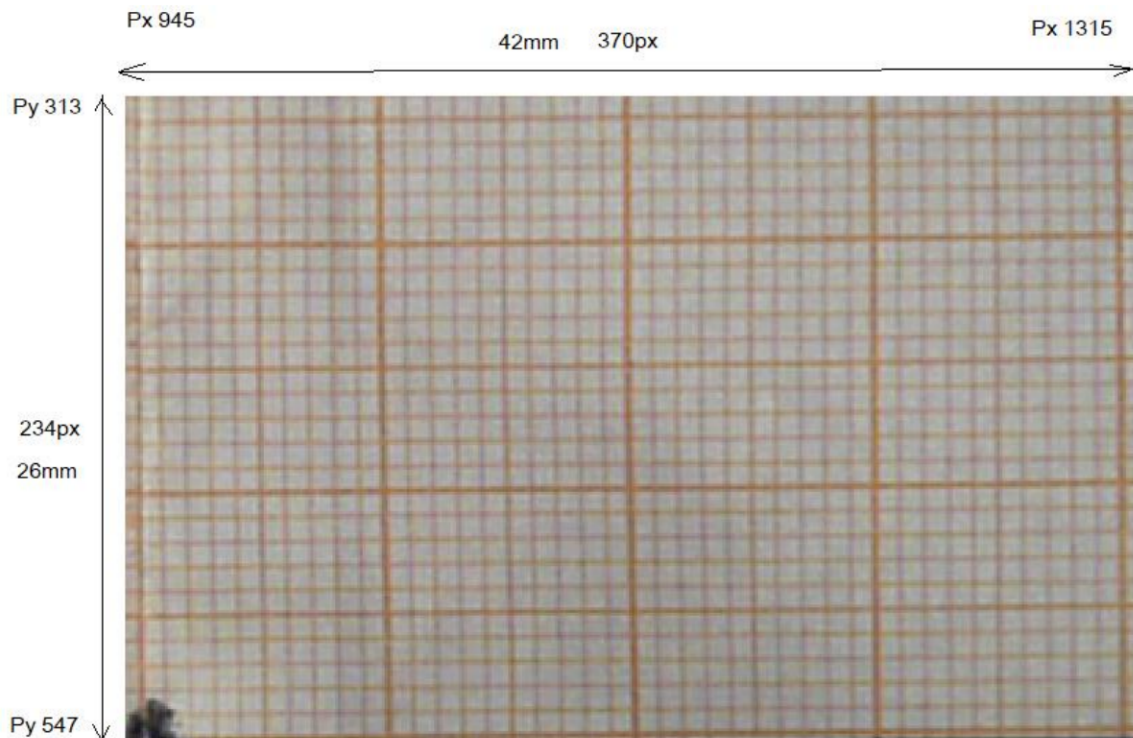


Figura 5.0e: Resolución mínima para el eje x e y.

5.2. Diseño y construcción del entorno de análisis.

En el diseño de la estructura utilizada para el análisis de las piezas automotrices se planeó considerando que debía de ser un sistema cerrado de forma rectangular con una altura de 80 cm que internamente cuente con una plataforma elevada donde se coloquen las piezas a analizar, que la cámara sea situada paralelamente a la plataforma a una distancia de trabajo entre esta y la plataforma adecuada a las características de la videocámara y que cuente con una iluminación que pueda ser controlada, situada en los laterales y la superficie de la misma con la función de mejorar la captura de las piezas con la videocámara.

En base al diseño plateado se realizaron los ajustes a una estructura previamente construida utilizada anteriormente en la institución del ITSUR, a continuación, se describen las características de esta.

5.2.1. Estructura principal.

La estructura principal está construida de forma rectangular utilizando estructuras de aluminio conectadas entre sí con una altura de 80cm y base de 54.45cm, a los laterales se colocaron bases plásticas de color negro para cubrir la estructura interna y se creó una pequeña base en la parte inferior de la caja figura 5.1a para colocar el soporte de la base de análisis figura 5.1b.



Figura 5.1a: Estructura de la caja.

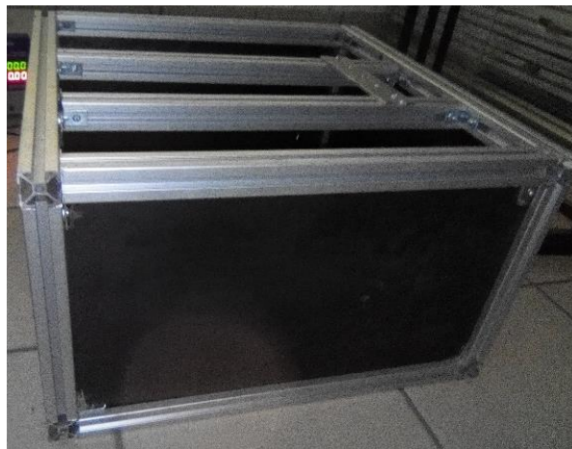


Figura 5.1b: Base de soporte.

5.2.2. Iluminación.

La iluminación dentro de un entorno representa un elemento de suma importancia al momento de realizar la adquisición de la escena ya que permite mejorar y facilitar el trabajo de la videocámara al realizar su captura, para así poder realizar un análisis preciso de la misma. La distribución de la iluminación dentro de la caja se realizó situándola en lugares clave que permitan a la videocámara realizar la captura adecuada del campo de visión donde son colocadas las piezas, su distribución fue realizada colocando tiras de leds en los laterales, superficie y en la base de la caja figura 5.2.

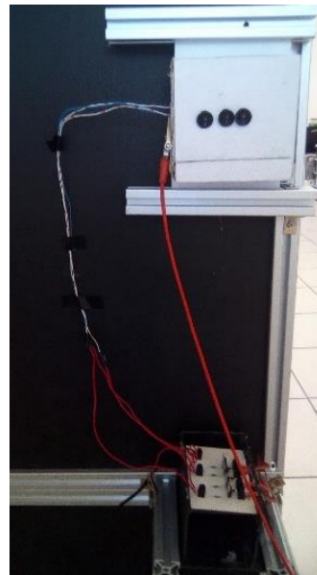
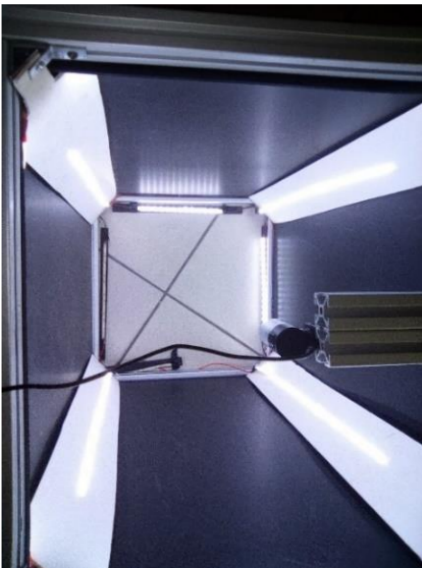


Figura 5.2: Iluminación interna de la caja. Figura 5.3: Control de la iluminación.

Para el control de la iluminación de la caja se creó un pequeño panel en un lateral de la caja para poder encender y apagar las tiras led, el funcionamiento del panel consiste de tres interruptores a los cuales se les suministra un voltaje de 5v que encienden y apagan las tiras de leds y un circuito que utiliza 4 transistores tip41c a los cuales se le suministra un voltaje mediante un cargador externo figura 5.3, la descripción de su funcionamiento se presenta en el apartado de anexos.

5.2.3. Base de análisis y plataforma.

La base de análisis es el área donde son colocadas las piezas que se van a analizar, esta base consiste de una superficie cuadrada de 54x54cm con bordes a los laterales para que no choque con la iluminación interna o la cubra la iluminación lateral de las tiras de leds, esta base se encuentra situado encima de una pequeña base de soporte colocada y se encuentra a una altura determinada adecuada para la captura de piezas figuras 5.4a y 5.4b.



Figura 5.4a: Base sobre el soporte.



Figura 5.4b: Base dentro de la estructura.

La plataforma de consiste de una estructura de madera ajustable que se encuentra situada encima de la base de soporte, encima de esta plataforma se coloca la base de analisis, esta estructura se ajusta por medio de unos tonillos sitados en los laterales de esta para ajustar la altura adecuada para el analisis de las piezas automotrices figura 5.4c.

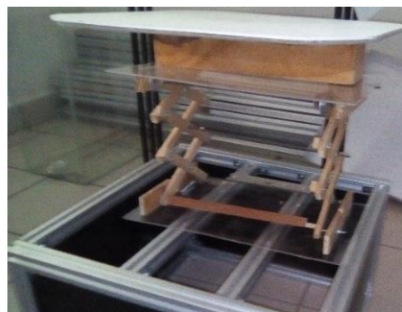


Figura 5.4c: Plataforma de elevación.

5.2.4. Colocación de la cámara

La colocación de la cámara determina una parte importante para la adquisición de las imágenes, así como la iluminación, por lo que esta debe de mantenerse fija y a una altura adecuada, tomando en cuenta lo mencionado anteriormente el lugar elegido para colocar la cámara fue en la parte superior de la caja justo en el centro por medio de una barra de aluminio y perpendicular a la base de análisis con una distancia de trabajo del lente al campo de visión de 30cm (figura 5.5).

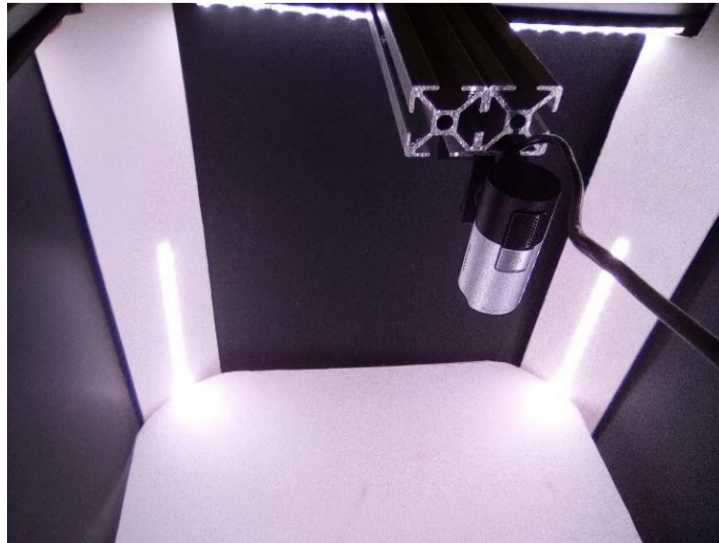


Figura 5.5: Colocación de la cámara.

5.3. Obtención de dimensiones geométricas en piezas automotrices.

Lo obtención de las medidas geométricas dentro de las piezas es un proceso de suma importancia ya que por medio de estas es posible ajustar los parámetros del programa en la etapa de adquisición y análisis de imágenes, por medio de estas medidas se determinan las tolerancias para los rangos de medida, así como el valor deseado que determina el porcentaje de calidad de la imagen.

5.3.1. Equipo de medición utilizado

Para la obtención de las dimensiones de interés en la base de aceite y la terminal de batería se optó por utilizar un vernier digital marca Mitutoyo (figura 5.6) debido a su precisión, las características que posee se presentan en la tabla 5.2:

Precisión	+/-0.001/ 0.025mm
Rango	0 a 6/ 0 a 150mm
Resolución	0.0005/ 0.01mm
Profundidad de la Mordaza - Mordaza Superior	55 /64 in
Medición Máxima	150 mm/ 6 in
Profundidad de Mordaza	2 33/64 in

Tabla 5.2: Tabla de características del vernier.

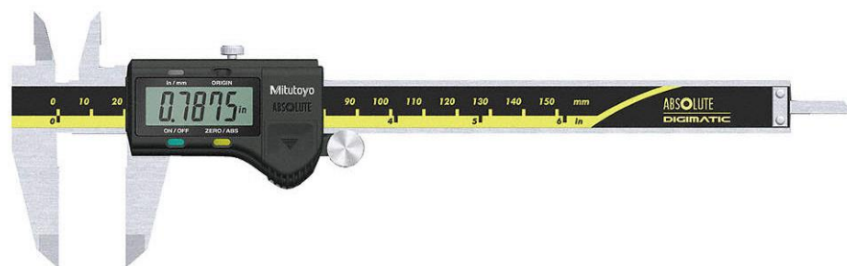


Figura 5.6: Vernier marca Mitutoyo.

5.3.2.1. Base de aceite.

Haciendo uso del vernier se realizó la adquisición de dimensiones en la base de aceite, para esta pieza se midió el diámetro de los 3 orificios y la distancia que hay entre ellos.

El diámetro obtenido tras medir los tres orificios de la base de aceite fue de 8.24mm equivalente a un radio de 4.12mm (figura 5.7).



Figura 5.7: Diámetro de los orificios de la base de aceite en milímetros.

La distancia obtenida tras medir del orificio 1 al 2 en la base de aceite desde sus puntos centrales fue de 39.55 mm figura 5.8.



Figura 5.8: Distancia entre el orificio 1 y 2 de la base de aceite en milímetros.

La distancia obtenida tras medir del orificio 2 al 3 en la base de aceite desde sus puntos centrales fue de 94.64 mm figura 5.9.



Figura 5.9: Distancia entre el orificio 2 y 3 de la base de aceite en milímetros.

5.3.2.2. Terminal de batería.

Utilizando de nuevo el vernier se realizó la adquisición de dimensiones en la terminal de batería, para esta pieza se midió el diámetro del orificio del poste, la distancia entre los orificios de sujeción y la distancia entre terminales.

El diámetro obtenido del orificio del poste de la terminal de batería fue de 17.08mm que equivale a 8.54mm figura 5.10.

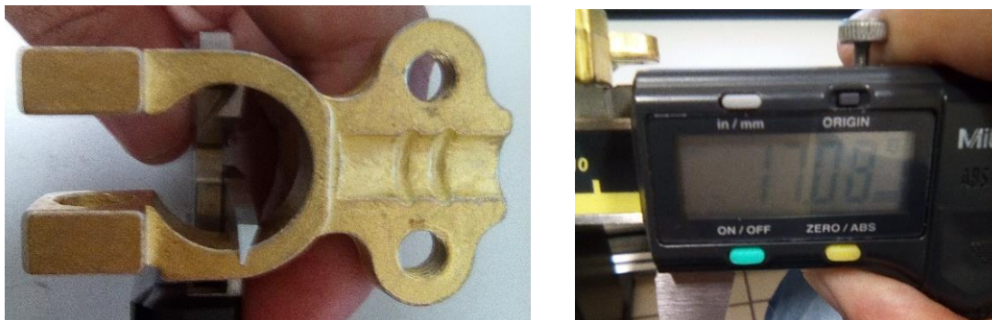


Figura 5.10: Diámetro del orificio del poste de la terminal de batería en milímetros.

La distancia obtenida entre terminales en la terminal de batería fue de 9mm figura 5.11.



Figura 5.11: Distancia entre terminales de la terminal de batería en milímetros.

La distancia obtenida al medir los orificios de sujeción desde su punto medio en la terminal de batería fue de 20mm figura 5.12.



Figura 5.12: Distancia entre orificios de sujeción de la terminal de batería en milímetros.

5.4. Desarrollo del programa.

Para el desarrollo del programa encargado del trabajo de analizar las dimensiones en la base de aceite y la terminal de batería, se hizo uso de la herramienta LabVIEW que posee los módulos *Visión Development Module* y *Visión Acquisition Software* instalados.

El desarrollo del programa se encuentra constituido por dos etapas dentro de una estructura *flat sequence*, la etapa de *adquisición de imágenes* que comprende la captura de imágenes por medio de la videocámara dentro de la estructura y la etapa de *procesamiento y análisis* donde se realiza la adquisición de dimensiones de cada una de las piezas entre otros datos para finalmente guardar las mediciones realizadas dentro de un archivo Excel.

5.4.1. Adquisición de imágenes

La adquisición de imágenes es la primera fase del procesamiento dentro de la estructura *sequence*, en esta etapa compuesta por 5 instrucciones, el programa se encarga de grabar durante un tiempo determinado la pieza dentro de la estructura y mediante un *display* con el nombre “pieza entrante” muestra las capturas realizadas por la videocámara en el panel principal. (figura 5.13).

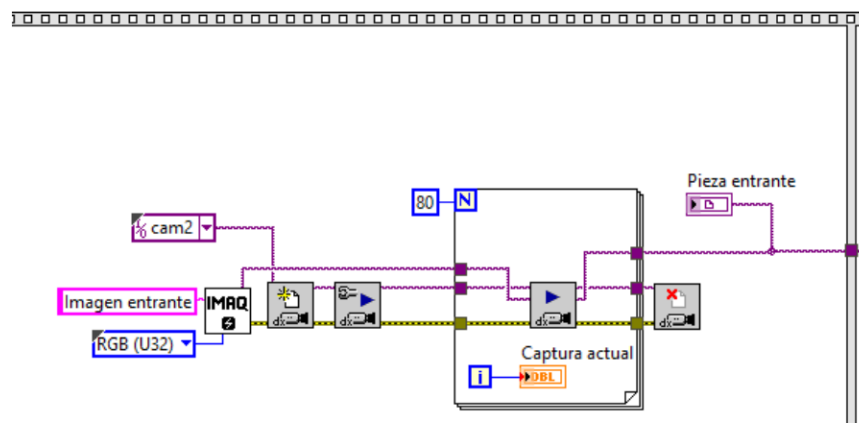


Figura 5.13: Etapa de adquisición de imágenes dentro de la estructura *sequence*.

5.4.1.1. Guardado de las imágenes.

Lo primero que se debe hacer es crear una locación en la cual se guardaran las imágenes, para esto es utilizada la herramienta *IMAQ create*, mediante este, son guardadas las imágenes capturadas dentro de la estructura de manera temporal con el nombre “imagen entrante” con un formato RGB (Red, Green, Blue) de 32bits (figura 5.14).

5.4.1.2. Selección de cámara

Ahora es necesario que el programa abra la videocámara, utilizando la instrucción *IMAQdx open camera* el programa abrirá la cámara cam2 que es la videocámara Microsoft que se va a utilizar (figura 5.14).

5.4.1.3. Configuración de la cámara

Es necesario realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la grabación, para esto es utilizada la instrucción *IMAQ configure grab* encargada de realizar las configuraciones automáticamente de la cámara. (figura 5.14).

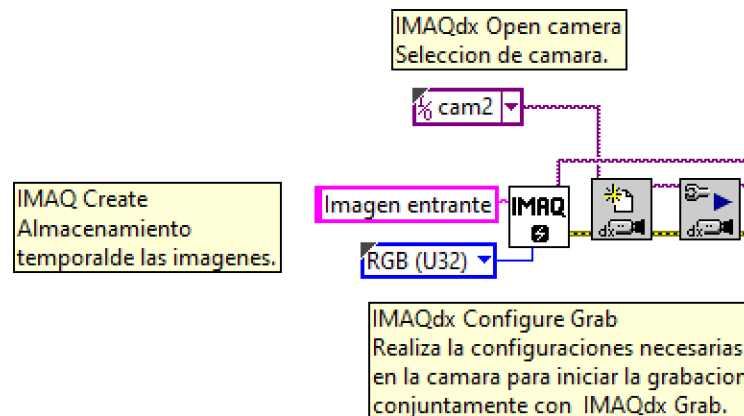


Figura 5.14: Primeras instrucciones de la adquisición de imágenes.

5.4.1.4. Ciclo for loop.

Utilizando la estructura *for loop* e *IMAQdx Grab* se realiza una captura de 80 imágenes con la videocámara Microsoft dentro de la estructura con el fin de obtener la mejor imagen, para luego presentarlas en la pantalla de la interfase principal, una vez realizada la captura de las fotos, mediante *IMAQdx close camera* el programa finaliza la etapa de adquisición de imágenes, para que finalmente la estructura *sequense* pasa a la siguiente etapa de procesamiento de la imagen. (figura 5.15).

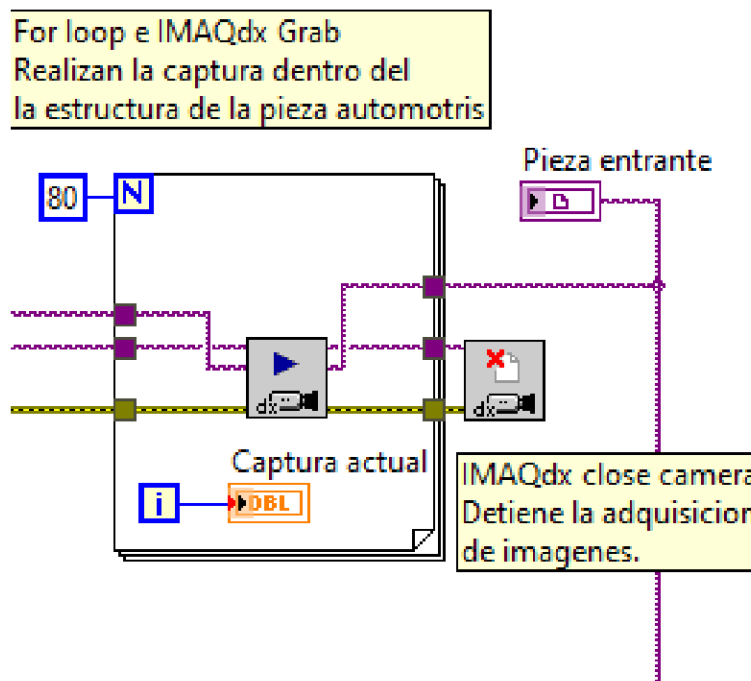


Figura 5.15: Captura y finalización de adquisición de imágenes.

5.4.2. Procesamiento y análisis de la imagen.

El procesamiento de la imagen es la etapa que le sigue a la adquisición de imágenes, en este punto se realiza la selección de la pieza a analizar e inicia el procesamiento de la última imagen capturada en la etapa de adquisición (figura 5.16) para obtener sus dimensiones se empleó la herramienta *Vision Assistant* que analiza la captura de la pieza y al finalizar el análisis los datos adquiridos de las piezas son guardados en un archivo Excel.

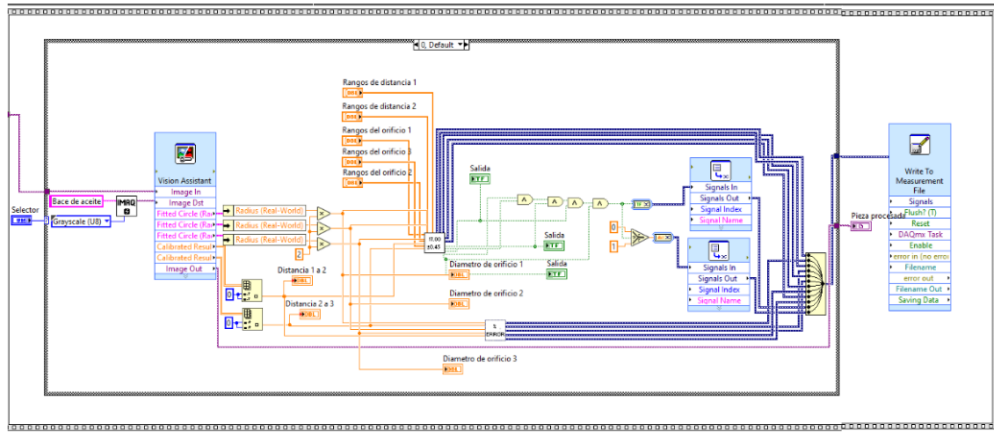


Figura 5.16: Etapa de procesamiento y análisis de imágenes dentro de la estructura sequence.

5.4.2.1. Estructura case y creación del programa.

La estructura case es una herramienta de LabVIEW que permite crear una variedad de casos en los cuales son creados diferentes programas que pueden ser ejecutados, esta estructura ejecuta varios códigos mediante el selector de la estructura en el cual se elige el código creado en cada caso (figura 5.17).

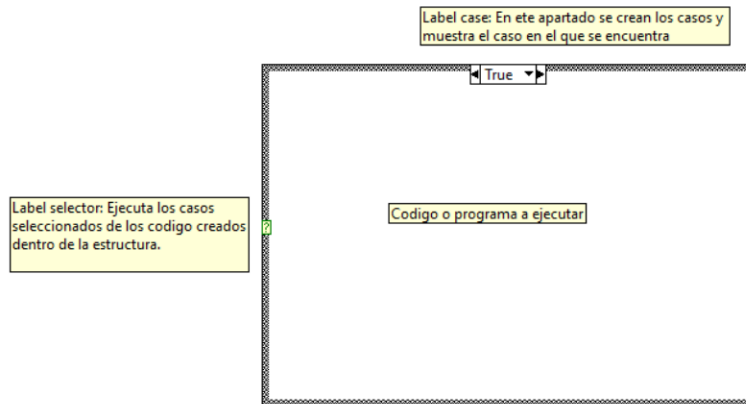


Figura 5.17: Funcionamiento de estructura case.

Empleando la estructura case, fueron desarrollados dos programas dentro de esta para poder analizar y obtener las dimensiones de la terminal de batería y la base de aceite, para poder seleccionar la pieza a analizar es empleado un *Ring menú* conectado al label selector, por medio del cual se elige la pieza que el programa analizara.

5.4.2.1.1. Base de aceite.

El primer programa por defecto que se encuentra en la estructura case es el análisis de la base de aceite, aquí se procesa la última imagen adquirida por la videocámara de la base de aceite y se obtienen las dimensiones tales como: radio, diámetro y distancia mediante *Vision Assistant*, posteriormente las medidas obtenidas son comparadas para determinar si se encuentran dentro de los rangos de tolerancia establecidos en el panel principal, es determinado el porcentaje de calidad de la pieza y se determina si es aprobada o rechazada (figura 5.18).

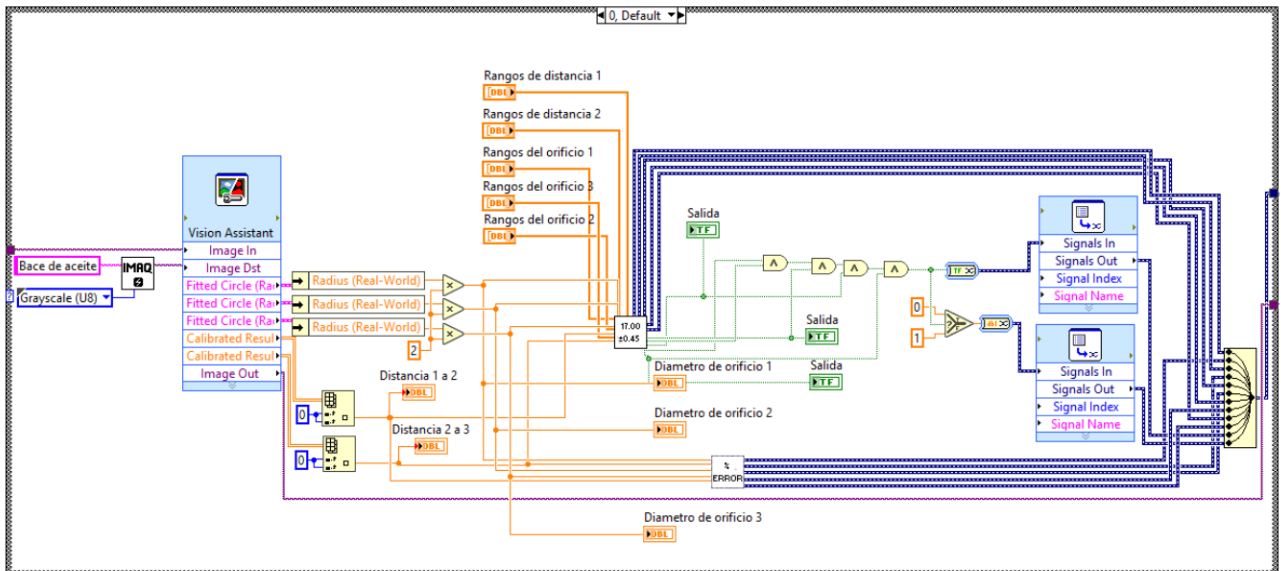


Figura 5.18: Caso 1 análisis de la base de aceite.

5.4.2.1.1.1. Guardado de imagen.

El proceso de guardado de la imagen analizada por *vision assistant* es realizado nuevamente utilizando IMAQ crée con el nombre “base de aceite” con un formato de escala de grises de 8bits figura 5.19.

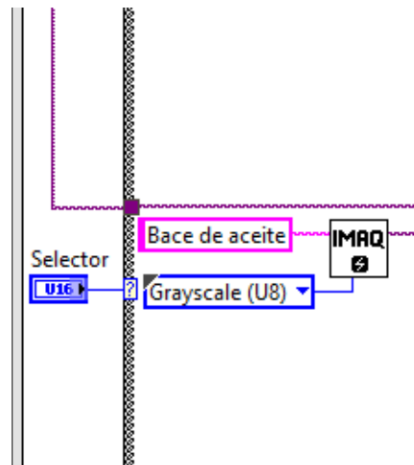


Figura 5.19: Guardado temporal de imagen.

5.4.2.1.1.2. Análisis de la base de aceite con Vision Assistant.

Dentro del vi de *Vision Assistant* es por medio del cual se analizan las capturas realizadas por la videocámara (figura 5.20), dado que este software solo puede obtener información específica de una sola pieza es que son utilizados dos programas independientes para obtener las dimensiones de la base de aceite y la terminal de batería.

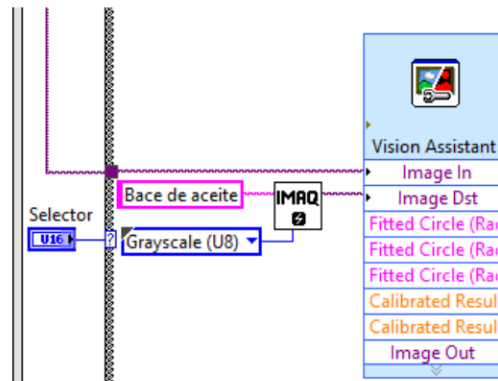


Figura 5.20: Procesamiento de la pieza de base de aceite con vision assistant.

Para la obtención de las características dimensionales de interés de la base de aceite, son realizados los siguientes pasos: conversión a escala de grises, calibración, selección de la región de interés, establecimiento del sistema de coordenadas, obtención del radio de orificios 1, 2 y 3, la obtención de la distancia entre orificios y selección de controles e indicadores.

5.4.2.1.1.2.1. Conversión a escala de grises.

En su mayoría las cámaras capturan imágenes en un modelo RGB (Red, Green, Blue) que representan los colores primarios rojo, verde y azul, para el análisis de imágenes, este tipo de formato presenta varios problemas para la obtención de parámetros llegando a requerir métodos de análisis más avanzados, por lo cual se suele optar por otros modos de representación de las imágenes como la escala de grises que se puede obtener extrayendo planos de color.

Dado que el color dentro de la imagen no representa una variable de interés se procedió a convertir la imagen en un formato de escala de grises, para ello se utilizó la función *color plane extraction* para extraer un plano de color de la imagen, dentro de la cual se extrajo el plano HSL Luminance (Hue Saturation, Lightness) de la imagen, figuras 5.21a, 5.21b, 5.21c y 5.21d.

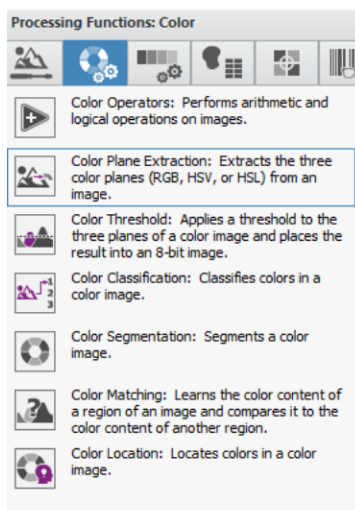


Figura 5.21a: Uso de color plane.

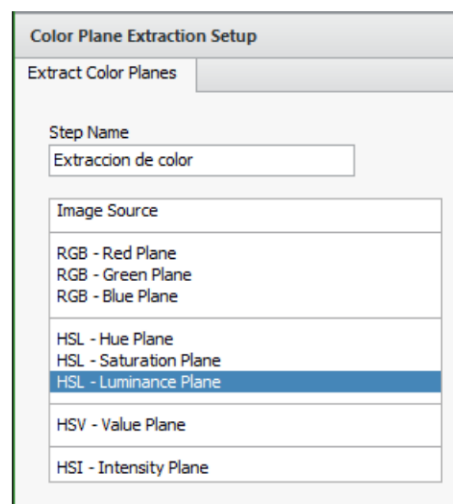


Figura 5.22b: Extracción del plano HLS de la imagen RGB.



Figura 5.21c: Base sin escala de grises.



Figura 5.21d: Base en escala de grises.

5.4.2.1.1.2.2. Calibración.

La calibración es un proceso muy importante dentro del procesamiento de la imagen y la obtención de las características dimensionales, consiste de la asignación de pixeles conocidos a sus coordenadas reales, con esta herramienta se obtienen las coordenadas reales de los pixeles en la imagen. Para realizar la calibración de la imagen, dentro de la estructura se colocó la base de aceite y una regla que tiene por función ser la base para convertir las unidades de pixeles a unidades reales, utilizando *Ni Max* se realizó una captura y se guardó dentro de una carpeta (figura 5.22).



Figura 5.22: Imagen requerida para calibración.

Para el proceso este proceso *Vision Assistant* posee una función de calibración dentro de su menú de funciones de procesamiento de imagen, dado que la videocámara dentro de la estructura se encuentra perpendicular a la base, esto con el fin de eliminar los errores de perspectiva el tipo de calibración utilizada fue la *calibración por distancia de puntos* que realiza una conversión directa de píxeles a coordenadas del mundo real en base a dos distancias conocidas (figura 5.23a) y (5.23b).

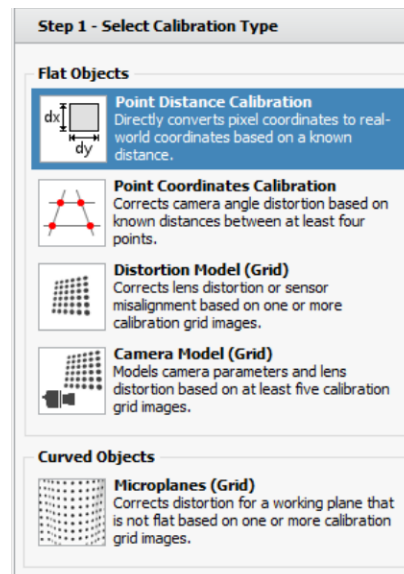
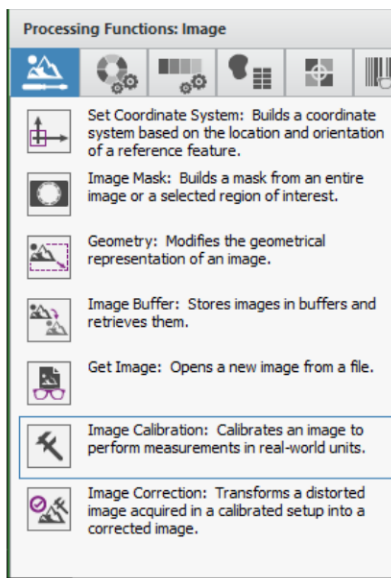


Figura 5.23a: Uso de función calibración. Figura 5.23b: Selección de calibración distancia punto.

Una vez seleccionado el tipo de calibración se establecen dos puntos dentro de la imagen, para ello nos situamos donde se encuentra la regla, colocando un punto en 14 y otro en el 15 en las coordenadas (931, 728) y (976, 728) lo que equivale a una distancia de 10mm, (figura 5.24).

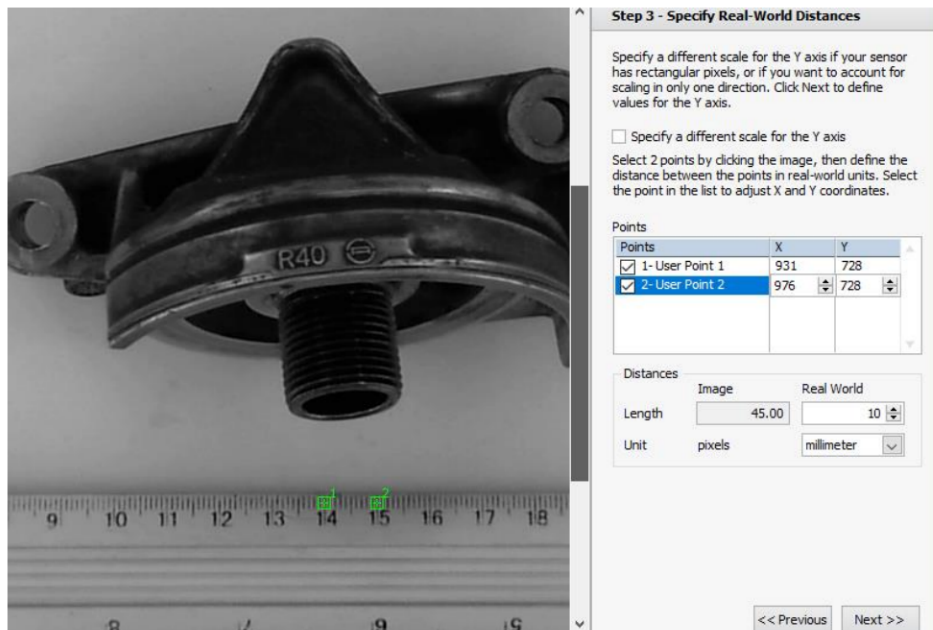


Figura 5.24: Especificación de la distancia en unidades reales dentro del plano.

5.4.2.1.1.2.3. Selección de la región de interés.

La región de interés tiene como objetivo principal delimitar el área de interés que se desea analizar, este trabajo es realizado empleando la función *pattern matching* de *Vision Assistant* en la cual es seleccionada el orificio 1 como región de interés de análisis (figuras 5.25a y 5.25b).

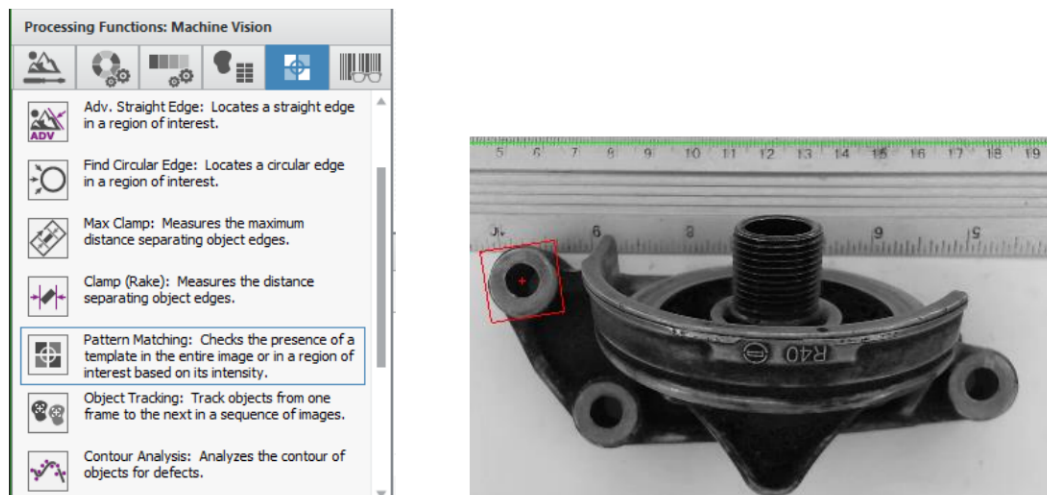


Figura 5.25a: Selección de pattern matching. Figura 5.25b: Selección de la región de interés.

Esta herramienta también proporciona la opción de colocar la región a ignorar de la región de interés, considerando que esta situada en el orificio 1, al ser un punto en común muy pequeño no es necesario establecer una región a ignorar finalmente se estableció dentro de la búsqueda de coincidencias al rotar un rango mínimo de -180 y máximo de 180 (figura 5.26).

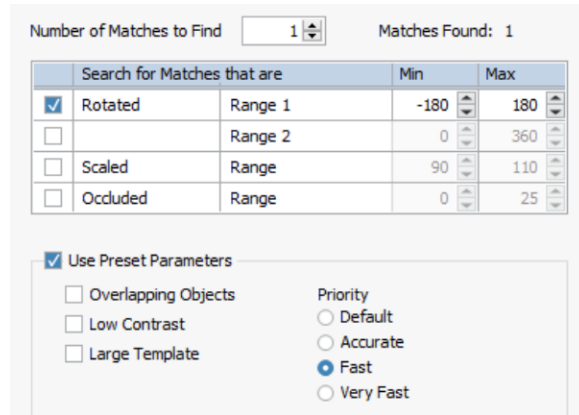


Figura 5.26: Establecimiento de coincidencias.

5.4.2.1.1.2.4. Establecimiento del sistema de coordenadas.

El sistema de coordenadas permite establecer las coordenadas en base a la ubicación y orientación en la plantilla de acuerdo a la geometría de interés. Para que el programa sea capaz de localizar la región de interés en cualquier parte de la imagen, se estableció un sistema de coordenadas en el centro de la pieza con *set coordinate system* para localizar la pieza en el plano horizontal, vertical y en ángulo (figuras 5.27a y 5.27b).

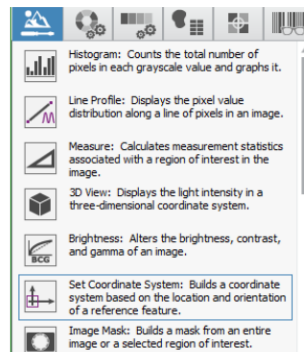


Figura 5.27a: Selección del sistema de coordenadas.

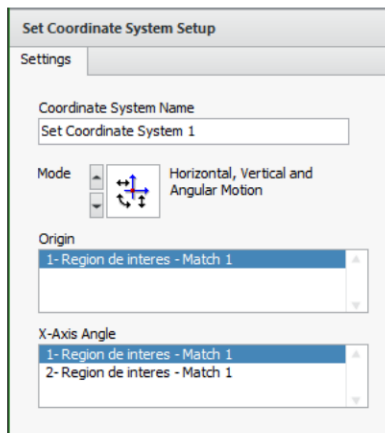


Figura 5.27b: Establecimiento del sistema de coordenadas.

5.4.2.1.1.2.5. Obtención del radio de orificios 1, 2 y 3.

Ahora se va a proceder a obtener las características dimensionales de la base de aceite empezando por determinar el radio en cada uno de los orificios utilizando la función de procesamiento *find circular edge* (figura 5.28a), esta herramienta tiene la función de localizar un borde circular dentro de una región de interés y lo representa con un círculo rojo.

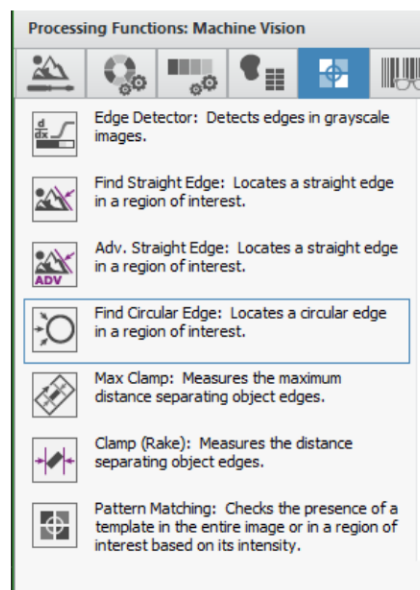


Figura 5.28a: Selección de función *find circular locates*.

Una vez explicado lo anterior es necesario iniciar la adquisición del radio de manera individual para cada uno de los orificios, por lo que es necesario utilizar tres veces

la función *find circular edge* situando la región de interés con forma circular en cada orificio en el que se desea adquirir el radio. Para la adquisición del radio en el primer orificio situamos la primera región de interés en el primer orificio de la base de aceite, para obtener el radio se ajustaron los parámetros como se muestra en las figuras 5.28b y 5.28c.

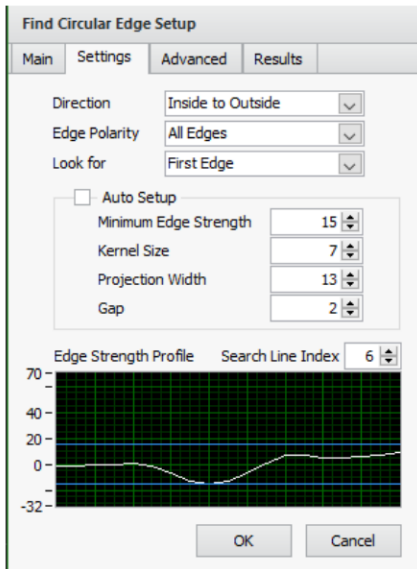


Figura 5.28b: Parámetros establecidos.

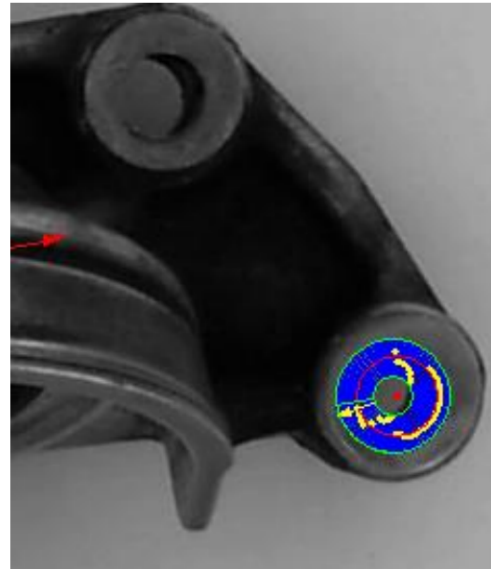


Figura 5.28c: Región de análisis de orificio.

Utilizando nuevamente la función *find circular edge* ahora es necesario obtener el radio del orificio 2, por lo cual se situó la región de interés como se muestra en la figura 5.28e y se establecieron los parámetros para la obtención del radio como se muestra en la figura 5.28d.

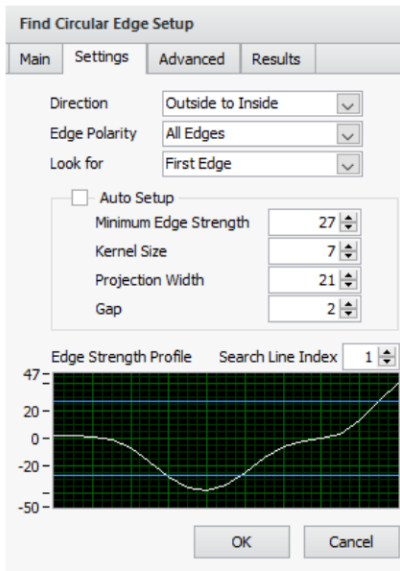


Figura 5.28d: Parámetros establecidos.

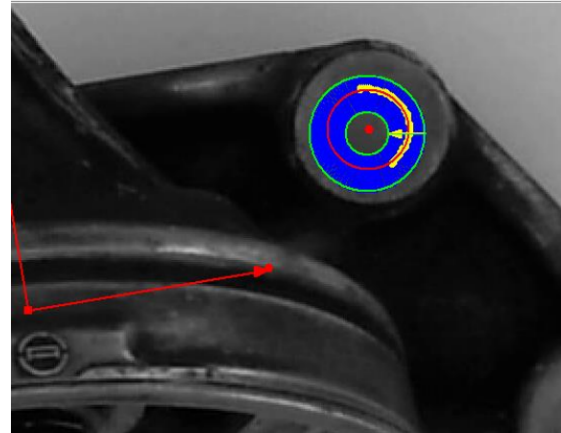


Figura 5.28e: Región de análisis de orificio 2.

Finalmente se utiliza la función *find circular edge* por ultima vez para obtener el radio del orificio 3, por lo cual se situo la región de interes como se muestra en la figura 5.28g y se establecieron los parametros para la obtencion del radio como se muestra en la figura 5.28f.

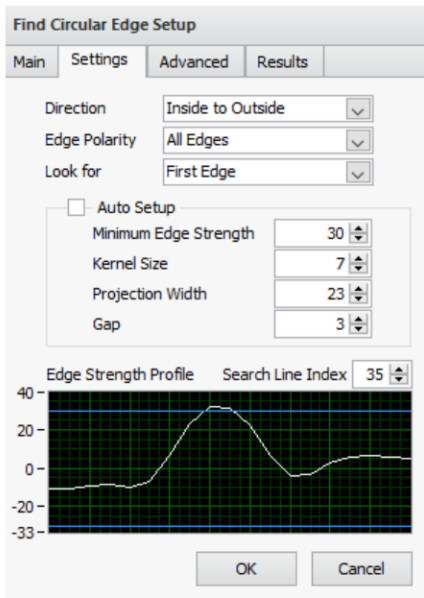


Figura 5.28f: Parámetros establecidos.

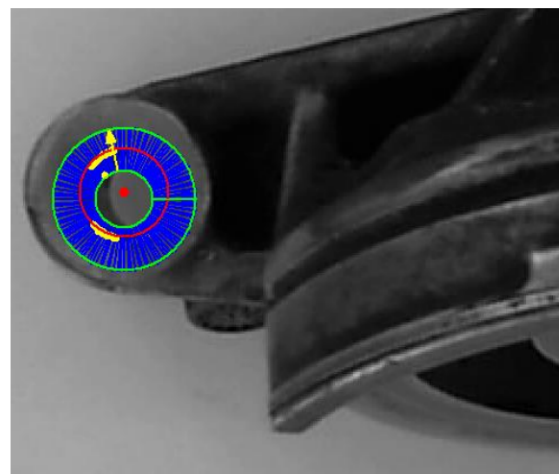


Figura 5.28g: Región de análisis de orificio 3.

5.4.2.1.1.2.6. Obtención de la distancia entre los orificios.

El *caliper* es una función que permite obtener medidas de distancia, punto medio, proyección perpendicular, líneas de intersección, ángulo de la horizontal, ángulo de la vertical etc. por medio de dos o más puntos (figura 5.29a).

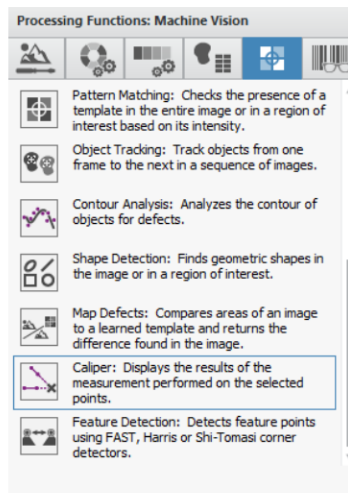


Figura 5.29a: Selección de función *caliper*.

Para obtener la distancia existente entre los tres orificios de la pieza de aceite se procedió a seleccionar dos puntos con la herramienta *caliper*, tomando como base los puntos creados por la función de localización de bordes se realizó la medición de las distancias. (figuras 5.29c y 5.29d).

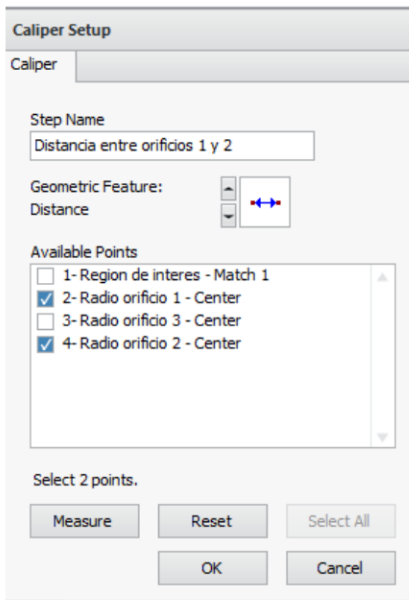


Figura 5.29c: selección de puntos.

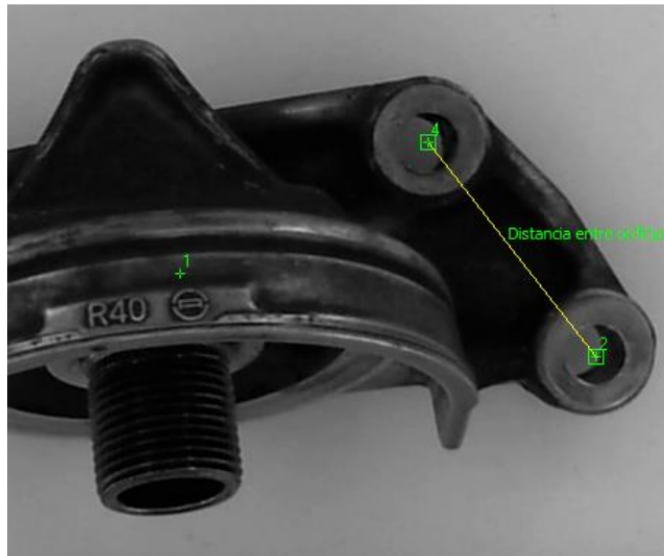


Figura 5.29d: medición de distancia entre los dos orificios.

Para determinar la distancia entre los dos otros orificios se realizó el mismo procedimiento figuras 5.29e y 5.29f.

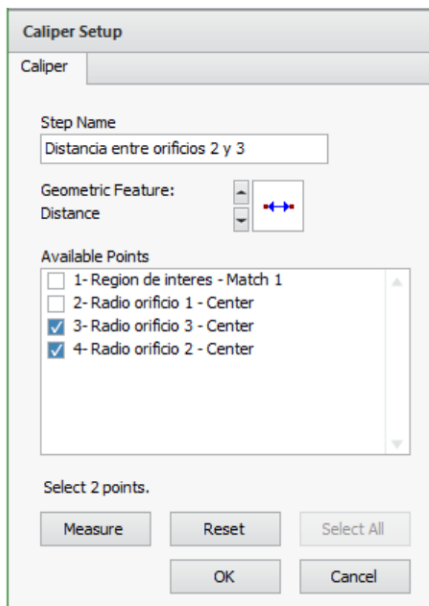


Figura 5.29e: selección de puntos.

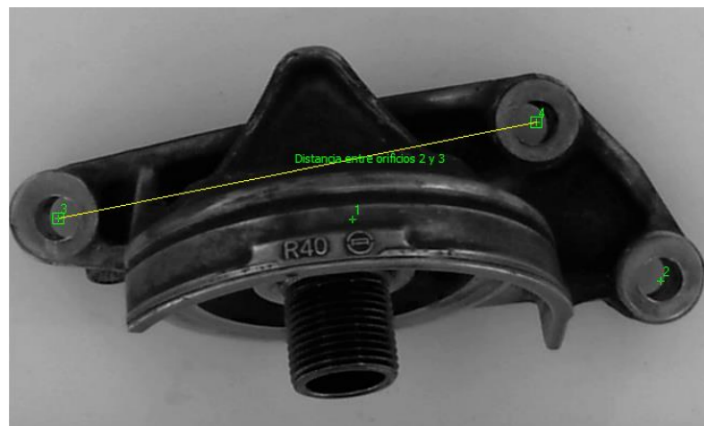


Figura 5.29f: medición de distancia entre los dos orificios.

5.4.2.1.1.2.7. Selección de controles e indicadores.

Habiendo finalizado la obtención de las dimensiones deseadas de la pieza se procede a seleccionar los controles e indicadores con los que se va a trabajar con LabVIEW, aquí se seleccionan las funciones utilizadas para obtener los radios en los orificios y las distancias medidas como se muestra en la figura 5.30.

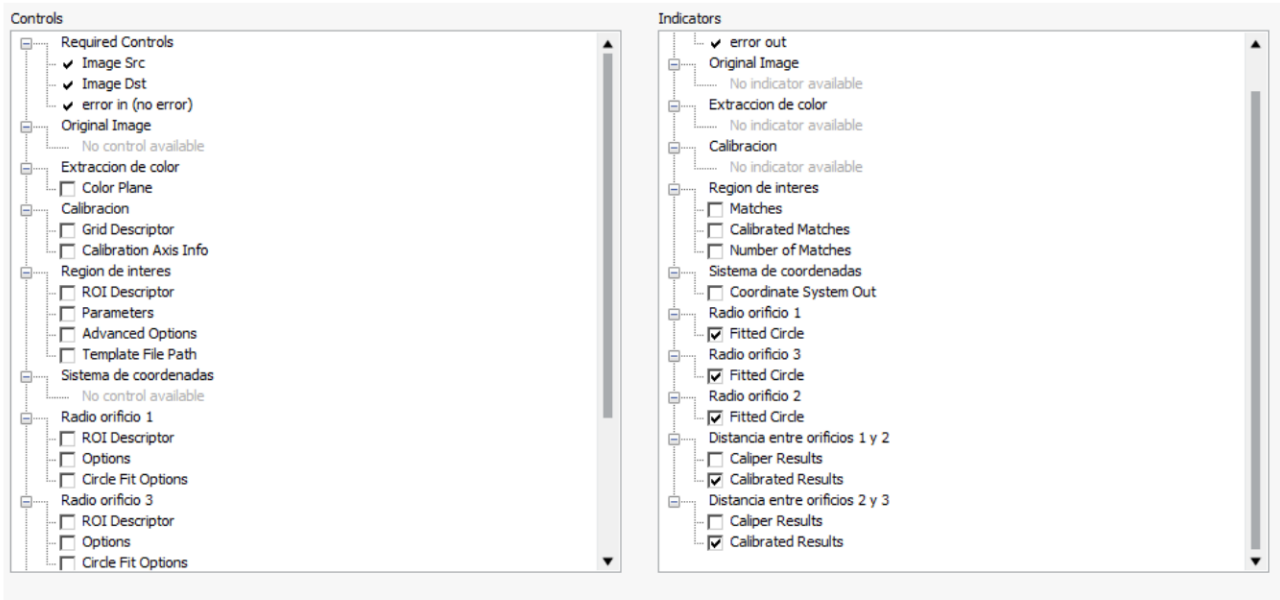


Figura 5.30: Selección de los controles e indicadores en *Vision Assistant*.

5.4.2.1.1.3 Ajuste de valores de salida de *Vision Assistant*.

Tras finalizar la obtención de características dimensionales y seleccionar los controles e indicadores de salida dentro de vision assistant, es necesario adecuar los resultados obtenidos con las funciones *find circular edge* y *caliper* para que solo muestren los resultados obtenidos del diámetro de los orificios y las distancias entre orificios en milímetros, para lo cual mediante el uso de las herramientas *unbundle by name* que devuelve los elementos de un clúster por medio de la selección del nombre especificado y un *index array* que convierte un arreglo de n dimensiones a un índice mostrando un solo dato son realizadas estas operaciones (figura 5.31).

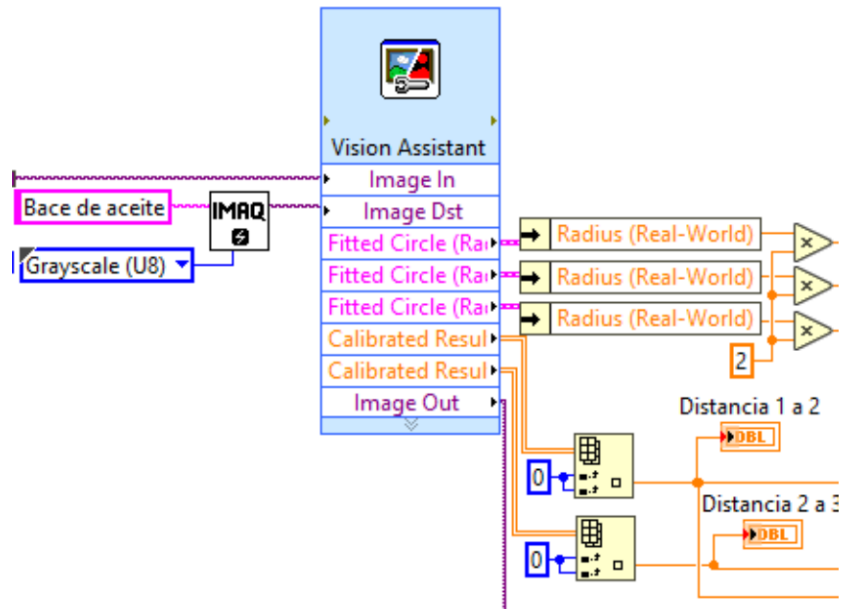


Figura 5.31: Proceso de ajuste de resultados de dimensionamiento.

Dando que la función *find circular edge* solo es capaz de entregar el radio de los orificios y se desea obtener su diámetro, es necesario utilizar la ecuación para obtener el diámetro de una circunferencia por medio de su radio que consiste en multiplicar el radio por 2, por lo que conectando 3 *multiply* a la salida de los *unbundle by name* es posible obtener el diámetro multiplicado cada uno de los radios obtenidos en *vision assistant* por 2 (figura 5.31).

5.4.2.1.1.4. Tolerancia en dimensionamiento de las piezas.

La tolerancia en el dimensionamiento de piezas consiste en establecer los rangos de tolerancia en el panel principal a los radios y distancias obtenidas con *Vision Assistant* tomando como base las medidas realizadas físicamente con el vernier a la base de aceite, por razones de reducción de espacio se creó un *subvi* que contiene los pasos realizados para estas operaciones figura 5.32.

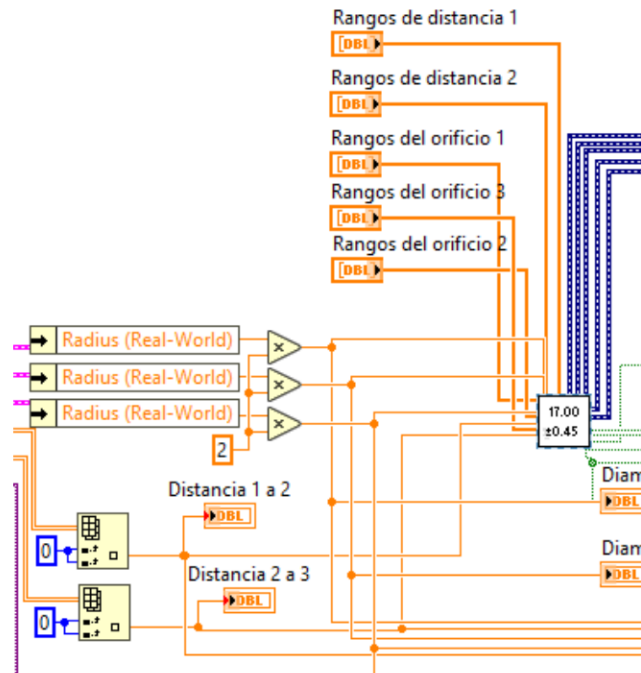


Figura 5.32: Subvi de tolerancias dimensionales.

Dentro del subvi el funcionamiento del programa consiste del uso de la herramienta *range and coerce* que determina si el valor entrante *x* cae dentro de un rango especificado por las entradas de límite superior e inferior.

Cuando el resultado del análisis de los diámetros o distancias de los orificios entran al *range and coerce*, este determina si se encuentra dentro de las tolerancias establecidas en el arreglo de dos indicadores numéricos conectado a dos *index array* por medio de los cuales son establecidos los límites superiores e inferiores, si es así en el panel principal se enciende un indicador led de lo contrario permanece apagada. (figura 5.33).

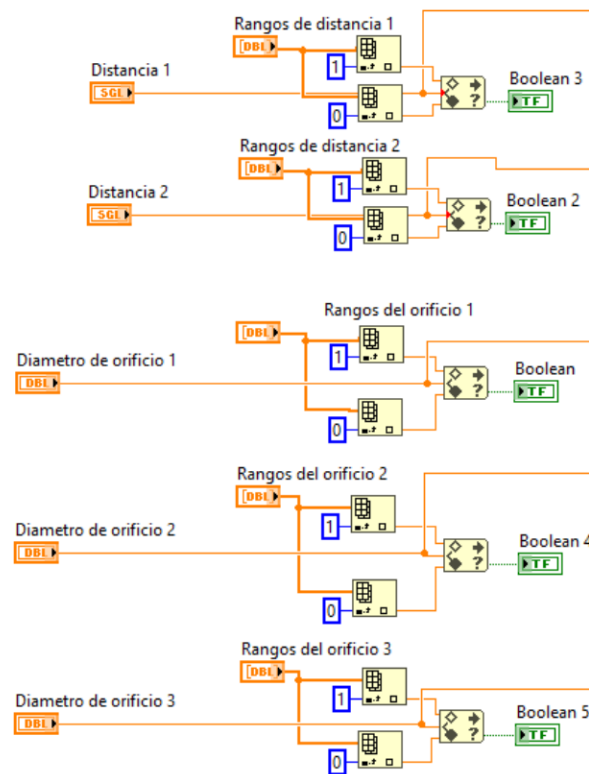


Figura 5.33: Estructura interna del subvi.

Los resultados obtenidos de los diámetros y distancias entre los orificios son enviados cada uno a un *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos y así enviarlos individualmente dentro de un *set dynamic data attributes* encargado de establecer los atributos a los datos dinámicos con el nombre respectivo de su medición en milímetros, que serán utilizados para la generación del reporte Excel. (figura 5.34).

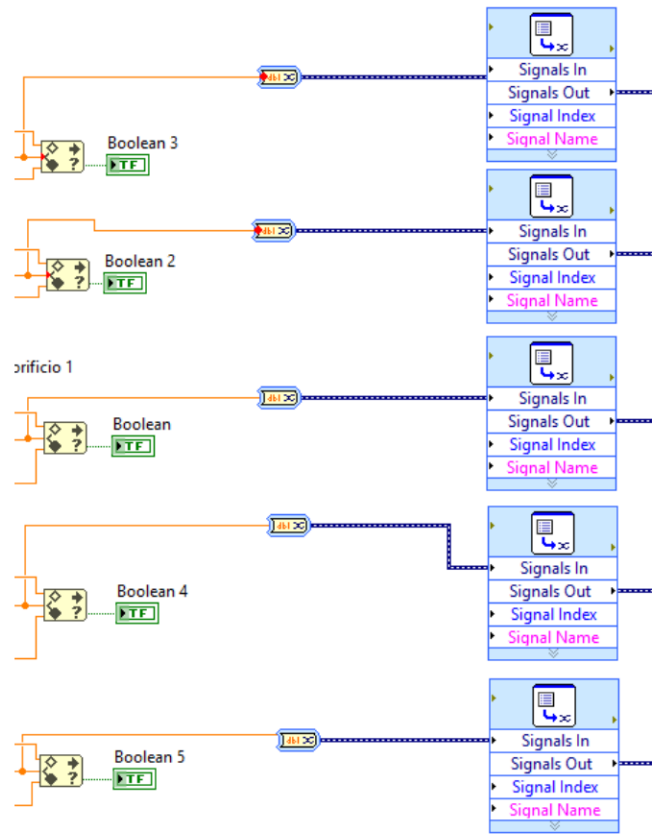


Figura 5.34: Paso previos antes de enviar los datos de tolerancias al archivo Excel.

5.4.2.1.1.5. Piezas aprobadas y rechazadas.

En este apartado se determina si la base de aceite es aprobada o rechazada en base a las tolerancias establecidas dentro de los rangos, todo esto mediante la lógica de la compuerta and que funciona de la siguiente forma: (tabla 5.3).

Entrada 1	Entrada 2	Salida
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 5.3: Explicación de la lógica de la compuerta and.

La compuerta and solo genera un alto o aprobación cuando las entradas están en alto y un bajo a rechazo con las demás condiciones de entrada, por lo tanto, utilizando cuatro compuertas and conectadas a cada una de las salidas del *range and coerce* es determinada la aprobación o rechazo de la pieza considerando las 5 mediciones, donde la única forma de que sea aprobada es que las 5 mediciones estén dentro del rango (figura 5.35).

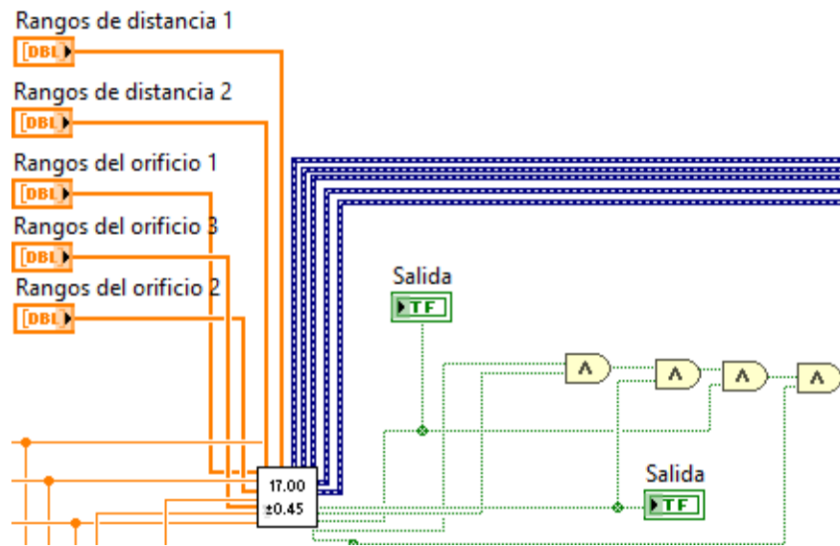


Figura 5.35: Aprobación y rechazo utilizando compuertas and.

Los resultados obtenidos por las compuertas son enviados a dos *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos, en el caso para generar el dato cuando la pieza es rechazada se utilizó un comparador que al determinar que la salida de la última and es un 0 (no aprobado) envía un alto al su respectivo *convert to Dynamic* y posteriormente los datos son enviados dentro de un *set dynamic data attributes* con el nombre piezas aprobadas y piezas rechazadas, que serán utilizados para la generación del reporte Excel (figura 5.36).

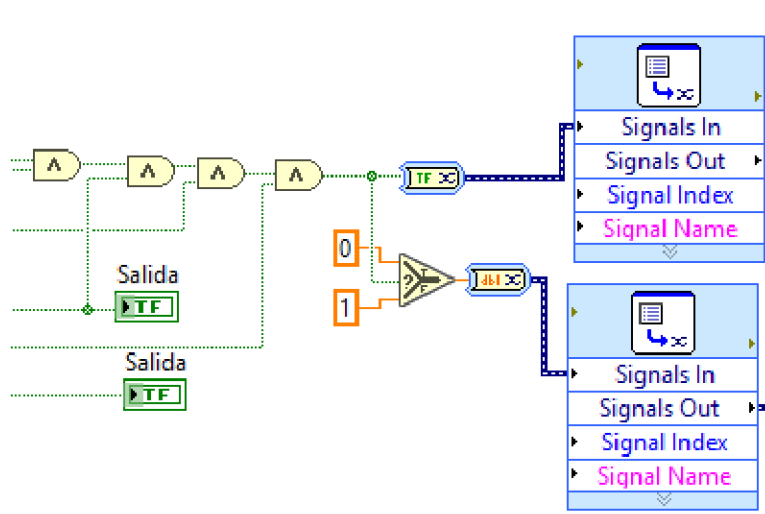


Figura 5.36: Pasos previos antes de generar el reporte de la aprobación o rechazo de la pieza.

5.4.2.1.1.6. Porcentaje de calidad.

En este apartado se determina que tan alejados están las medidas obtenidas mediante *Vision Assistant* de los valores reales medidos con el vernier, para reducir el espacio dentro del programa se creó un subvi mostrado en la figura 5.37.

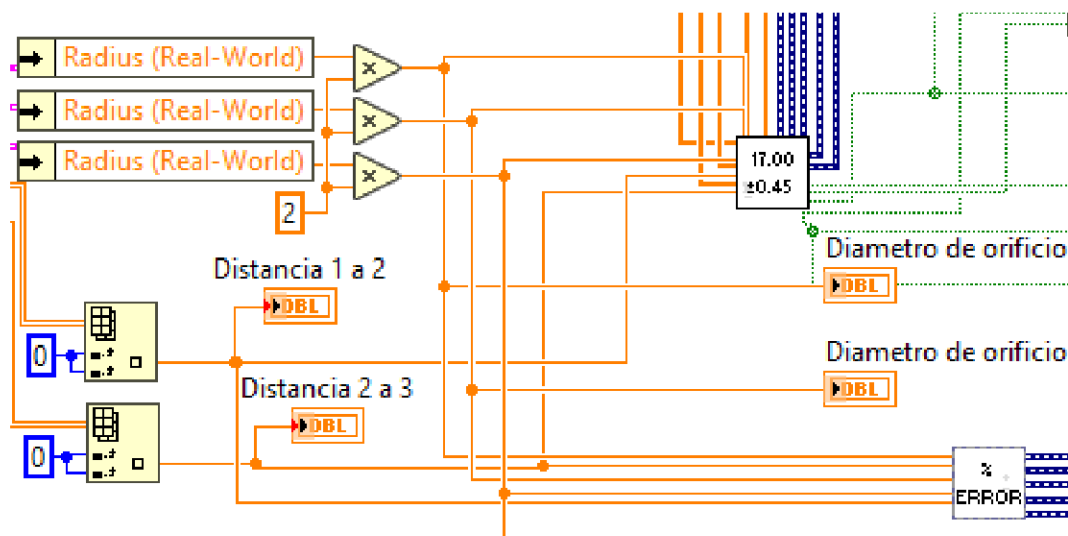


Figura 5.37: Subvi del porcentaje de calidad.

Para poder determinar el porcentaje de calidad en la medición de la pieza se empleó la fórmula del porcentaje de error o error porcentual, esta fórmula expresa como porcentaje la diferencia entre un valor aproximado o medido y un valor exacto o conocido.

$$\% \text{ error} = \frac{|valor \text{ aproximado} - valor \text{ exacto}|}{valor \text{ exacto}} \times 100$$

Dentro del subvi el funcionamiento del programa consiste del uso de 4 instrucciones numéricas para determinar el porcentaje de error de los 5 resultados, los resultados obtenidos con *Vision Assistant* entran a la instrucción *subtract* donde se resta el valor aproximado del valor exacto, el producto se divide entre el valor exacto con la instrucción *divide*, luego se multiplica x 100 (figura 5.38).

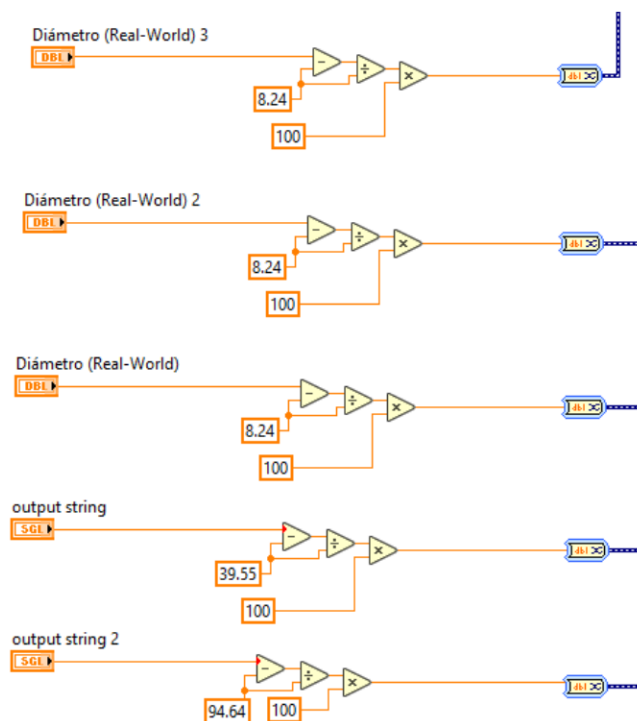


Figura 5.38: Estructura interna del subvi.

Los resultados obtenidos por la fórmula del porcentaje de error aplicada a los diámetros y distancias de la base de aceite son enviados cada uno a un *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos y así enviarlos individualmente dentro de un *set dynamic data attributes* encargado de establecer los atributos a los datos dinámicos con el nombre “% de error en mm”, que serán utilizados para la generación del reporte Excel (figura 5.39).

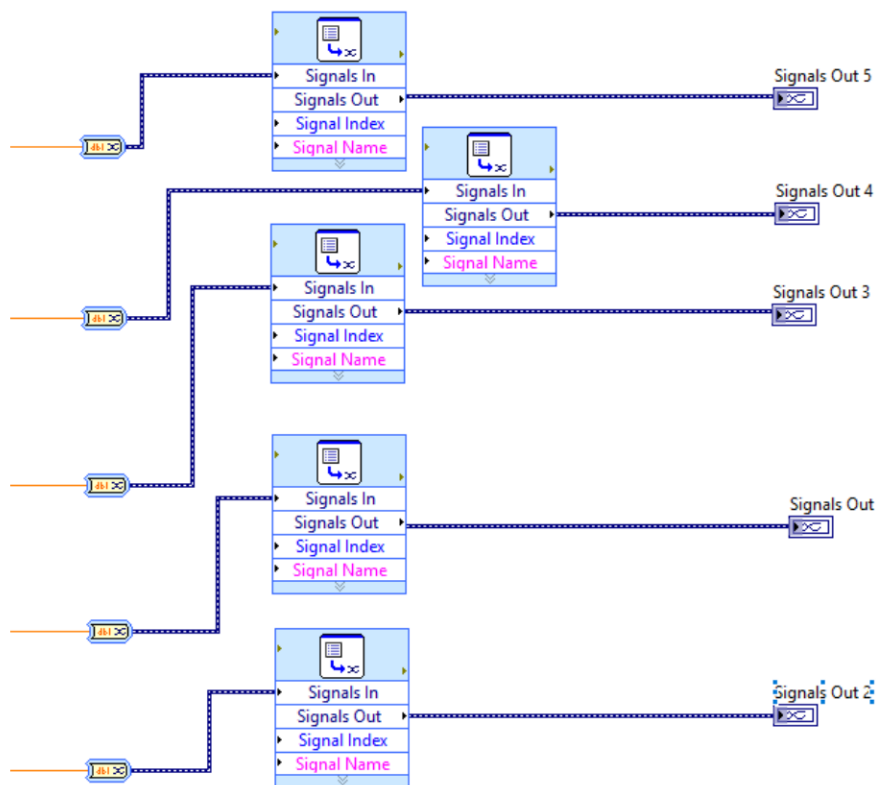


Figura 5.1 3: Pasos previos antes de generar el reporte del subvi del porcentaje de error.

5.4.2.1.2. Terminal de batería.

El segundo programa que se encuentra en la estructura case es el análisis de la terminal de batería, dentro de este caso tras procesar la última captura de la base de aceite se obtienen las dimensiones tales como: radio, diámetro y distancia mediante *Vision Assistant*, posteriormente las medidas obtenidas son comparadas para determinar si se encuentran dentro de los rangos de tolerancia establecidos en el panel principal, es determinado el porcentaje de calidad de la pieza y se determina si es aprobada o rechazada (figura 5.40).

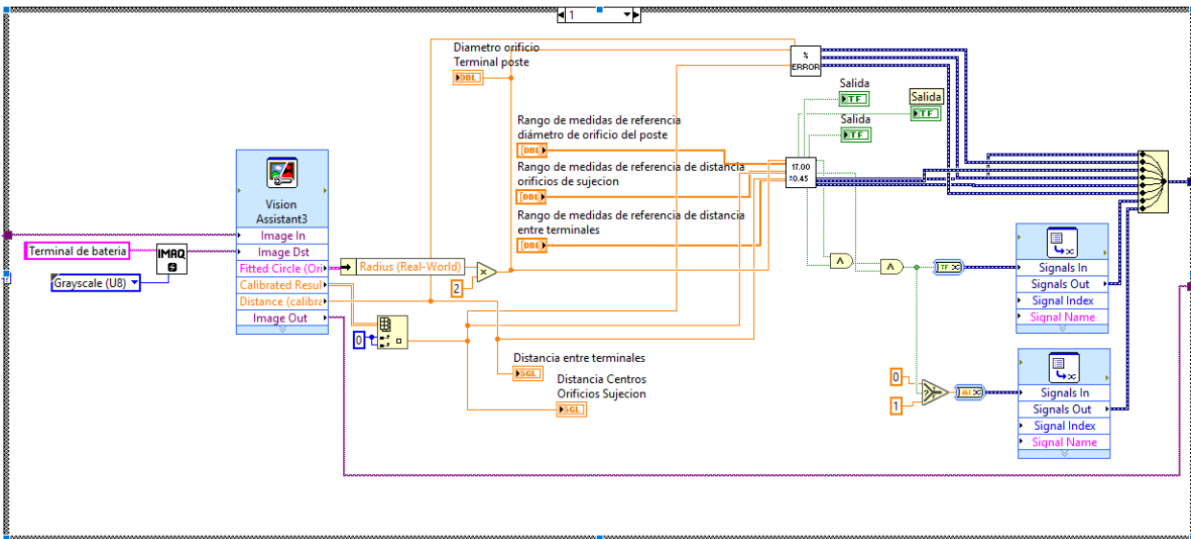


Figura 5.40: Programa de procesamiento de la terminal de batería.

5.4.2.1.2.1. Guardado de imagen.

El proceso de guardado de la imagen analizada por *Vision Assistant* es realizado nuevamente utilizando la instrucción *IMAQ create* con el nombre “terminal de batería” con un formato de escala de grises de 8bits figura 5.41.

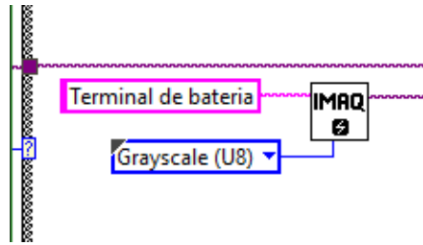


Figura 5.41: Guardado temporal de la captura del terminal de batería.

5.4.2.1.2.2 Análisis de la terminal de batería con Vision Assistant.

Ahora se procederá a explicar el análisis de la terminal de batería mediante *Vision Assistant*, para el procesamiento de esta pieza se realizaron los siguientes pasos: conversión a escala de grises, calibración, selección de la región de interés, establecimiento del sistema de coordenadas, obtención del radio del orificio del poste, obtención de la distancia entre los orificios de sujeción y obtención de la distancia entre terminales (figura 5.42).

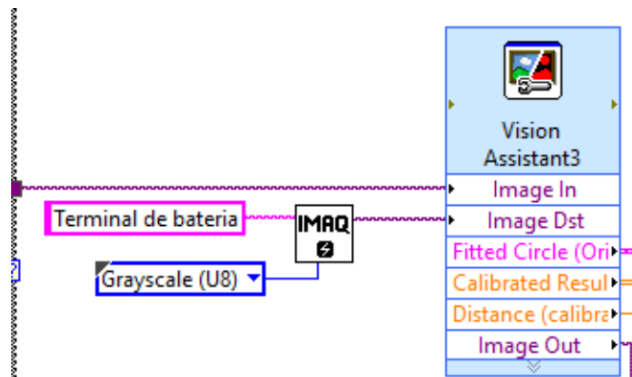


Figura 5.42: Obtención de dimensiones del terminal de batería con Vision Assistan.

5.4.2.1.2.2.1. Conversión a escala de grises.

Considerando que el color dentro de la imagen no representa una variable de interés se procedió a convertir la imagen en un formato de escala de grises, para ello se utilizó la función para *color plane extraction* para extraer un plano de color de la imagen, dentro de esa se extrajo el plano RGB – Blue plane de la imagen figuras 5.43a, 5.43b y 5.43c.

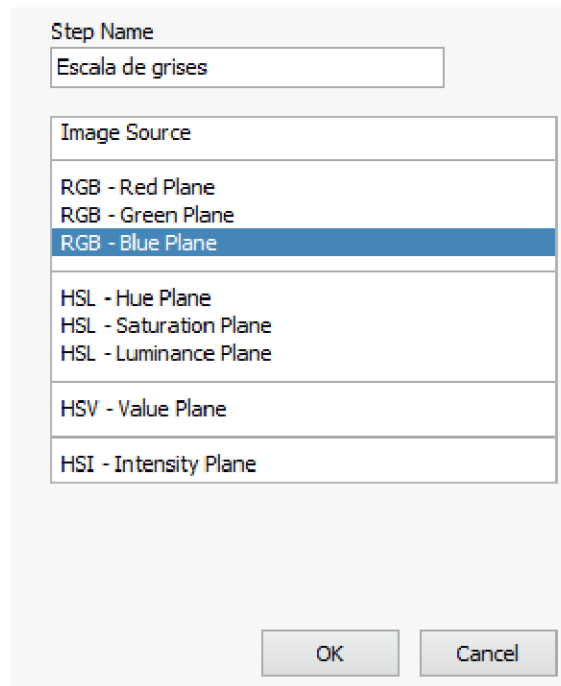


Figura 5.43a: Selección de plano RGB – Blue plane a extraer en la captura.



Figura 5.43b: Terminal sin escala de grises.



Figura 5.43c: Terminal en escala de grises.

5.4.2.1.2.2.2. Calibración.

Así como en la calibración de la base de aceite dentro de la estructura se colocó la terminal de batería y una regla (figura 5.44) con la función de ser la base para convertir las unidades de pixeles a unidades reales, utilizando *Ni Max* se realizó una captura y se guardó dentro de una carpeta.



Figura 5.44: Calibración utilizando regla.

El tipo de calibración utilizada fue la *calibración por distancia de puntos* que realiza una conversión directa de pixeles a coordenadas del mundo real en base a dos distancias conocidas figura 5.45.

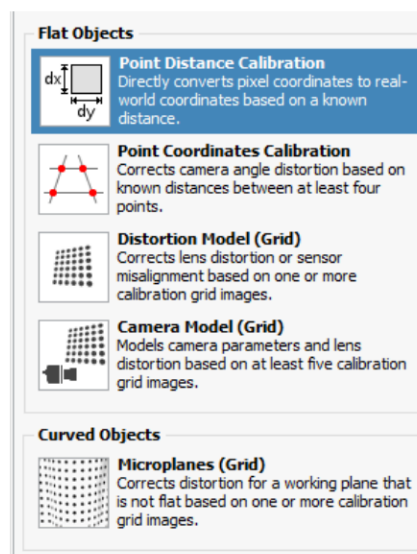


Figura 5.45: Selección de calibración *point distance*.

Ahora se procede especificar la distancia en unidades reales por lo que se establecen dos puntos dentro de la imagen, para ello nos situamos donde se encuentra la regla, colocando un punto en 13 y otro en 14 en las coordenadas (1260, 609) y (1260, 504) lo que equivale a una distancia de 10mm (figura 5.46).

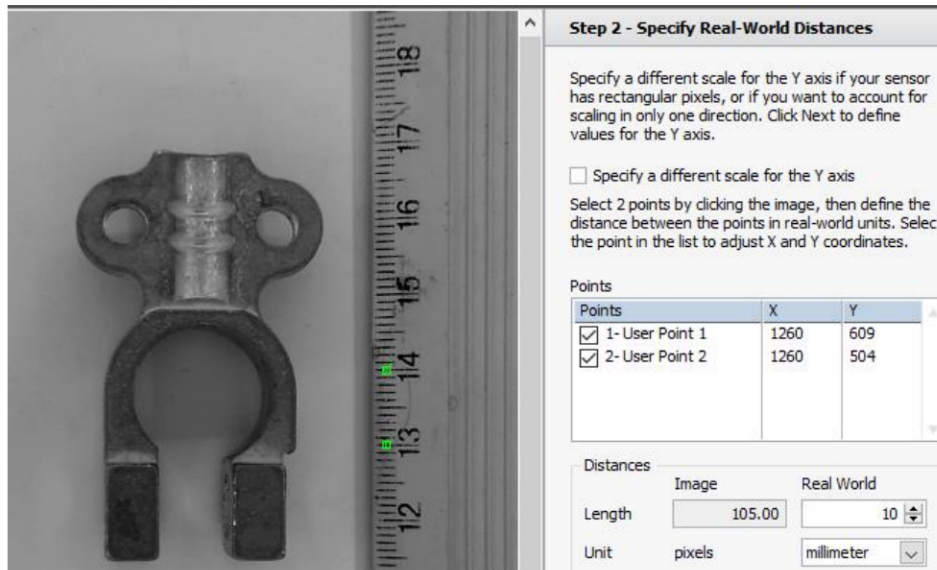


Figura 5.46: Especificación de la distancia en unidades reales dentro del plano.

5.4.2.1.2.2.3. Selección de la región de interés.

Utilizando la función *pattern matching* se selecciona la región de interés de la terminal de batería (imagen 5.47).

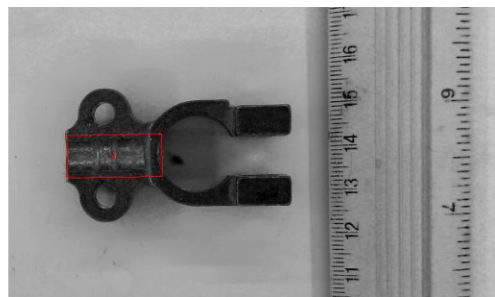


Figura 5.47: Selección de la región de interés.

Para mejorar el proceso de localización de la región de interés es necesario seleccionar en la plantilla la región a ignorar con color rojo para que solo se centre en la pieza en este caso no es necesario, se estableció dentro de la búsqueda de coincidencias al rotar un rango mínimo de -180 y máximo de 180 para poder localizar la región de interés de la pieza aunque este rotada (figura 5.48).

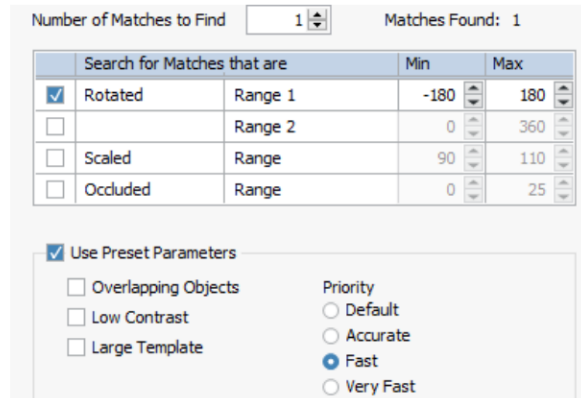


Figura 5.48: Establecimiento de coincidencias.

5.4.2.1.2.2.4. Establecimiento del sistema de coordenadas.

Con la función *set coordinate system* se estableció un sistema de coordenadas en el centro de la pieza para localizarla en el plano horizontal, vertical y en ángulo (figura 5.49).

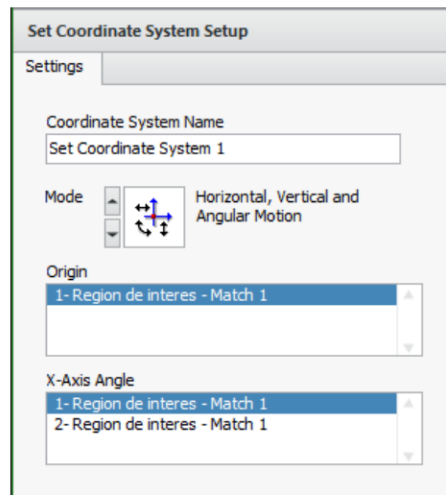


Figura 5.49: Selección del sistema de coordenadas.

5.4.2.1.2.2.5. Obtención del radio del orificio del poste.

Ahora se va a proceder a obtener las características dimensionales de la terminal de batería empezando por determinar el radio del orificio del poste, utilizando la función de procesamiento *find circular edge* localizamos el bode circular dentro del orificio.

La región de interés se sitúa en el primer orificio de la pieza y la detección del orificio es representada con un círculo rojo (figura 5.50b), para obtener el radio se ajustaron los parámetros como se muestra en la figura 5.50a.

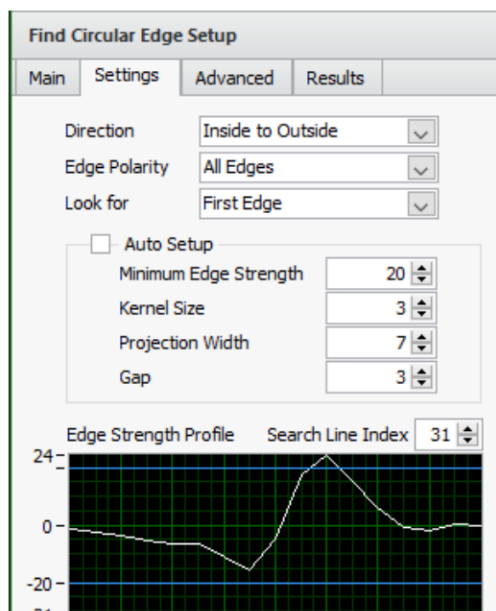


Figura 5.50: Parámetros utilizados para obtener el radio del orificio.

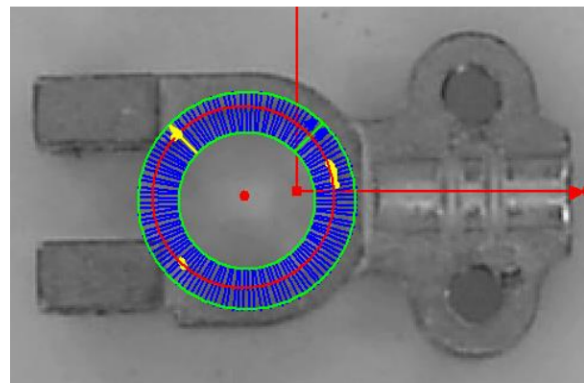


Figura 5.50b: Detección del orificio de la pieza.

5.4.2.1.2.2.6. Obtención de la distancia entre los orificios de sujeción.

Antes de determinar la distancia entre los orificios de sujeción de la terminal de batería, es necesario realizar un paso antes, se debe obtener el punto central entre sus dos orificios utilizando *find circular edge* en cada orificio como muestra la figura 5.51a.

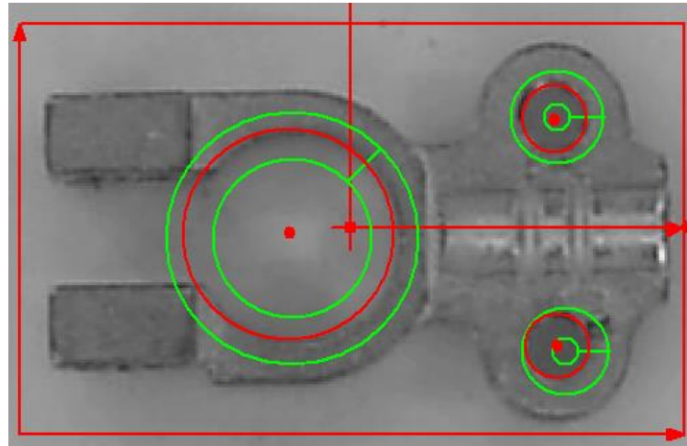


Figura 5.51a: Detección del punto central en los orificios.

Una vez realizados los pasos anteriores se procedió a seleccionar dos puntos existentes con la herramienta *caliper*, tomando como base los puntos creados por la función de localización de bordes como se muestran en las figuras 5.51b y 5.51c.

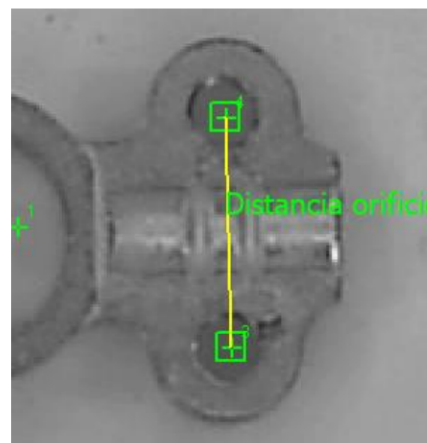
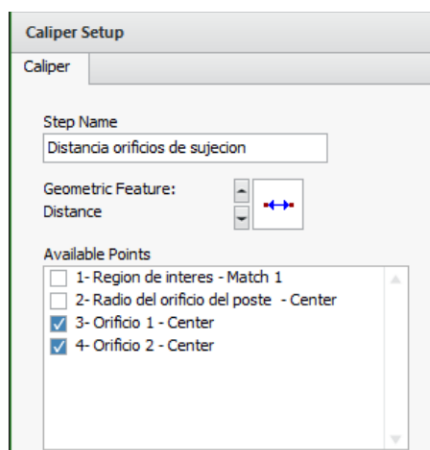


Figura 5.51b: selección de puntos.

Figura 5.51c: medición de distancia entre los dos orificios.

5.4.2.1.2.2.7. Obtención de la distancia entre terminales.

Para obtener la distancia entre terminales se procedió a utilizar la herramienta *clamp* que mide la distancia de separación existente de bordes en objetos (figura 5.52a).

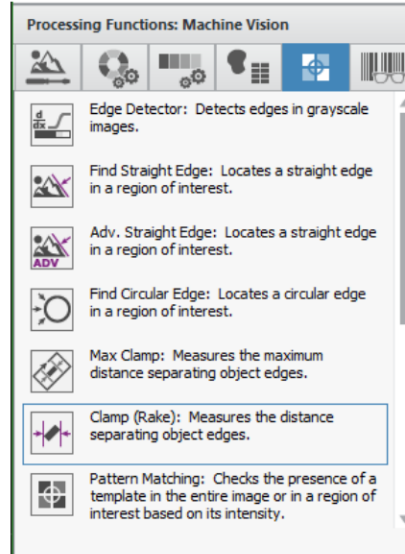


Figura 5.52a: Selección de la función *clamp*.

La obtención de la distancia entre terminales de la terminal de batería fue realizada estableciendo los siguientes parámetros, figura 5.52b.



Figura 5.52b: Parámetro para calcular la distancia entre terminales.

En la figura 5.52c se muestra la distancia analizada de la terminal de batería representada con una línea roja dentro de la region de interes.

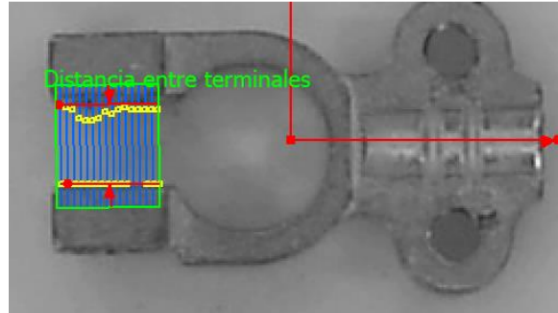


Figura 5.52c: Distancia entre terminales de la pieza.

5.4.2.1.2.3. Selección de controles e indicadores.

Habiendo finalizado la obtención de las dimensiones deseadas de la pieza se procede a seleccionar los controles e indicadores con los que se va a trabajar con LabVIEW, aquí se seleccionan las funciones utilizadas para obtener el radio del orificio poste, distancia entre orificios de sujeción y distancia entre terminales como se muestra en la figura 5.53.

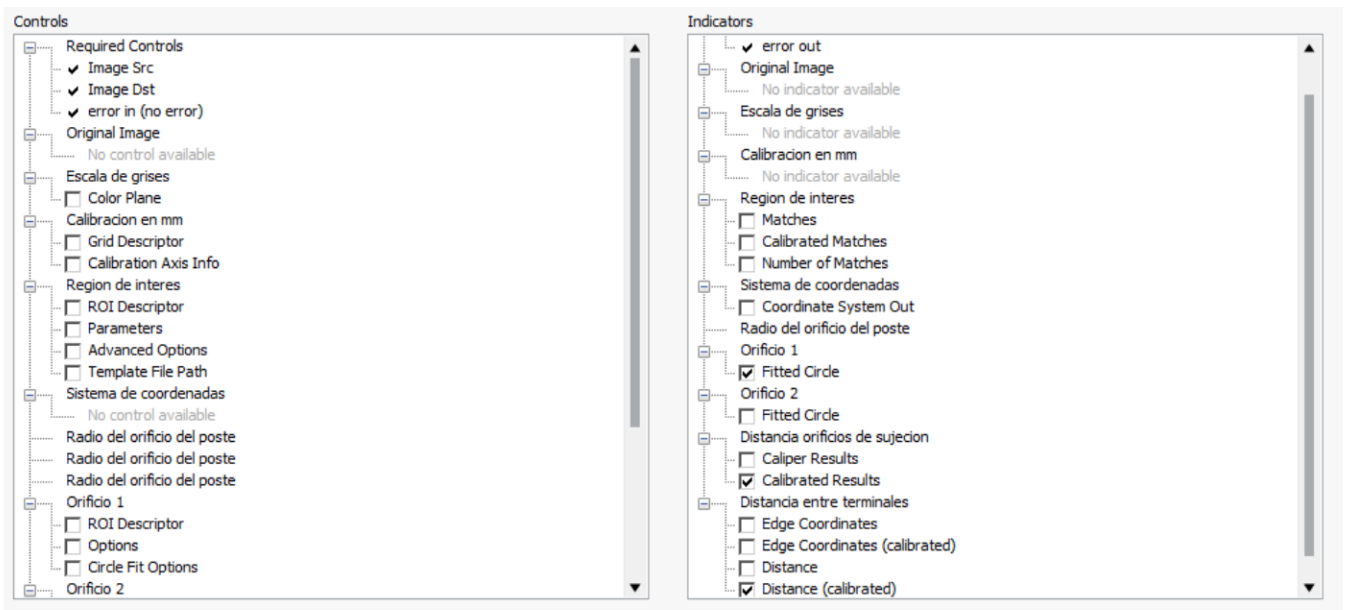


Figura 5.53: Selección de controles e indicadores.

5.4.2.1.2.3. Ajuste de valores de salida de vision assistant.

Tras finalizar la obtencion de características dimensionales y seleccionar los controles e indicadores de salida dentro de *Vision Assistant*, es necesario adecuar los resultados obtenidos con las funciones *find circular edge* y *caliper* para que solo muestren los resultados obtenidos del radio del orificio del poste, distancias entre terminales y orificios de sujecion en milímetros, para lo cual mediante el uso de las herramientas *unbundle by name* y un *index array* es realizada la operación (figura 5.54).

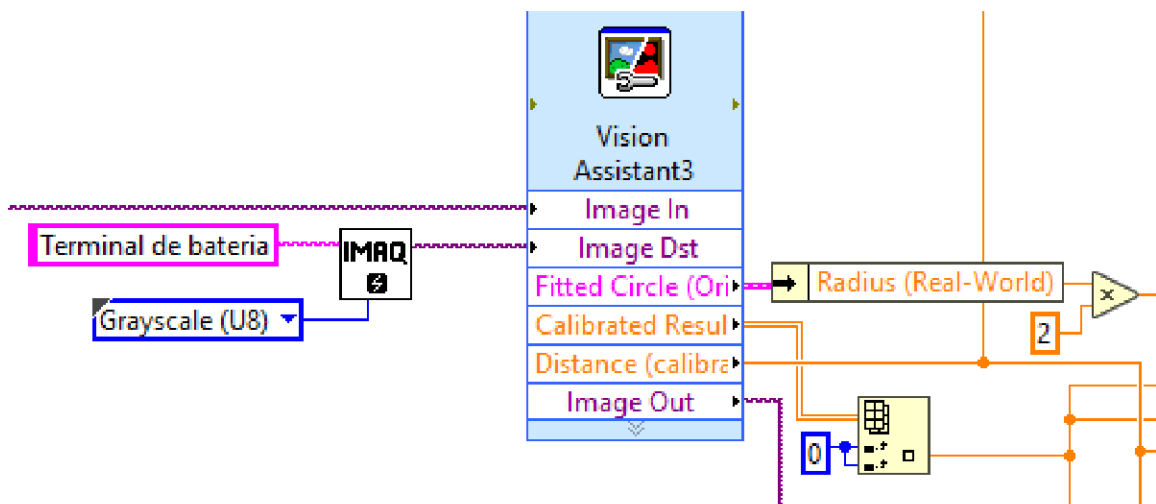


Figura 5.54: Proceso de ajuste de resultados de dimensionamiento.

De igual manera que con la base de aceite es necesario convertir el radio del orificio del poste para obtener el diámetro de una circunferencia por medio de su radio multiplicando por 2 el radio de las circunferencia, por lo que conectando 1 *multiply* a la salida del *unbundle by name* se multiplica el radio obtenido en *vision assistant* por 2 (figura 5.54) .

5.4.2.1.2.4. Tolerancia en dimensionamiento de las piezas.

La tolerancia en el dimensionamiento de piezas consiste en establecer los rangos de tolerancia en el panel principal al diámetro y distancias obtenidas con *Vision Assistant*, tomando como base las medidas realizadas físicamente con el vernier a la terminal de batería, se creó un *subvi* que contiene los pasos realizados para estas operaciones (figura 5.55).

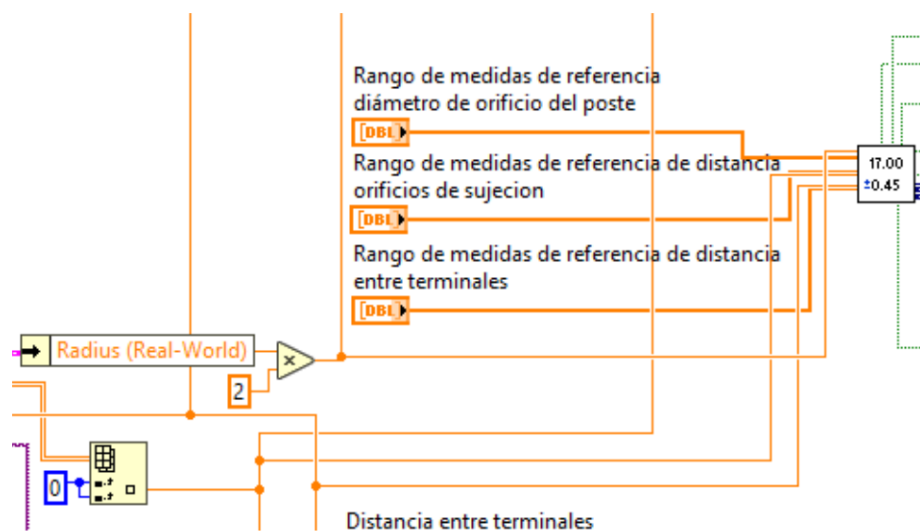


Figura 5.55: Subvi encargado de establecer las tolerancias.

Dentro del subvi el funcionamiento del programa consiste del uso de la herramienta *range and coerce* que determina si el valor entrante *x* cae dentro de un rango especificado por las entradas de límite superior e inferior.

Cuando el resultado del análisis del diámetro del orificio poste, la distancia entre orificios de sujeción y distancia entre terminales entran al *range and coerce*, este determina si se encuentra dentro de las tolerancias establecidas en cada uno de los arreglos de dos indicadores numéricos del panel principal conectados a dos *index array*, si es así en el panel principal se enciende un indicador led de lo contrario permanece apagada (figura 5.56).

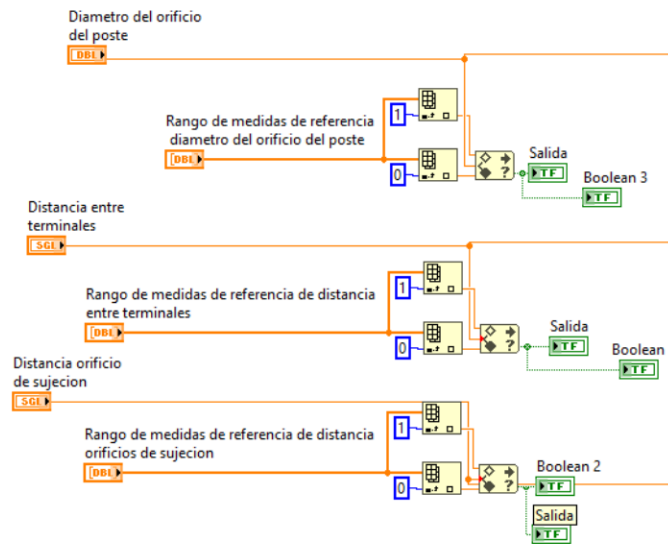


Figura 5.56: Estructura interna del subvi.

Los resultados obtenidos son enviados cada uno a un *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos y así enviarlos individualmente dentro de un *set dynamic data attributes* encargado de establecer los atributos a los datos dinámicos con el nombre respectivo de su medición en milímetros que serán utilizados para la generación del reporte Excel (figura 5.57).

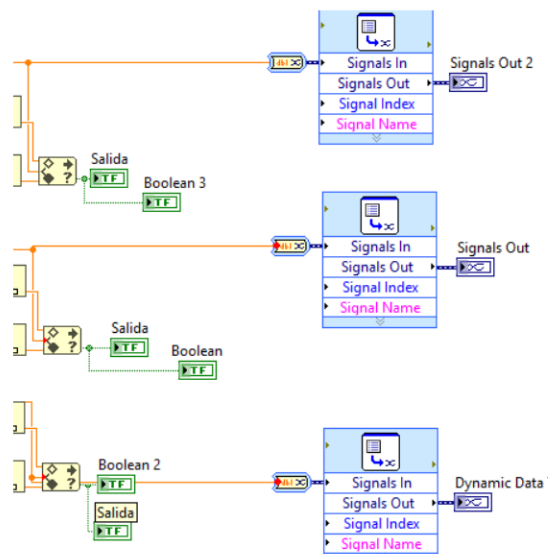


Figura 5.57: Pasos previos antes de enviar los datos de dimensiones a un archivo Excel.

5.4.2.1.2.5. Porcentaje de calidad.

En este apartado se determina que tan alejados están las medidas obtenidas mediante *Vision Assistant* de los valores reales medidos con el vernier vistos en el apartado 5.3 de la terminal de batería, para reducir el espacio dentro del programa se creó un subvi de este proceso figura 5.58.

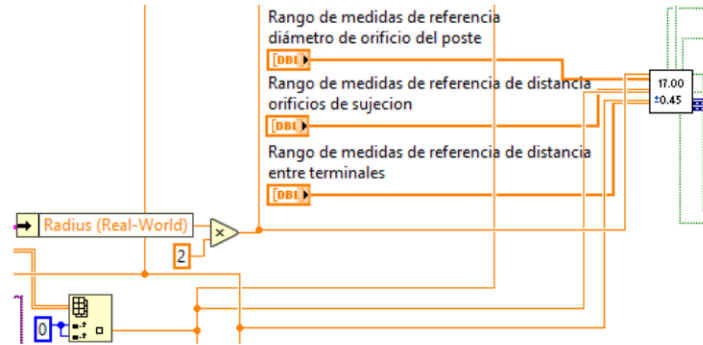


Figura 5.58: Subvi del porcentaje de calidad.

Dentro del subvi el funcionamiento del programa consiste del uso de 4 instrucciones numéricas para determinar el porcentaje de error de los 3 resultados, los resultados obtenidos con *vision assistant* entran a la instrucción *subtract* donde se resta el valor aproximado del valor exacto, el producto se divide entre el valor exacto con la instrucción *divide*, luego se multiplica x 100 (figura 5.59).

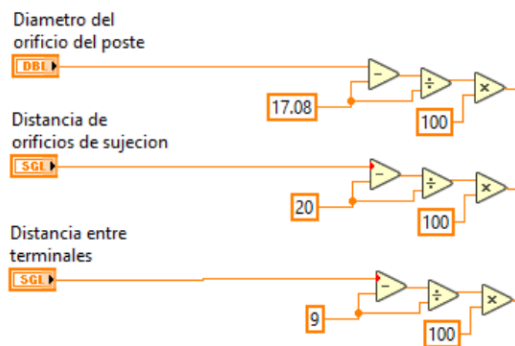


Figura 5.59: Estructura interna del subvi.

Los resultados obtenidos por la fórmula del porcentaje de error aplicada al diámetro y las distancias del terminal de batería son enviados cada uno a un *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos y así enviarlos individualmente dentro de un *set dynamic data Attributes* encargado de establecer los atributos a los datos dinámicos con el nombre “% de error en mm”, que serán utilizados para la generación del reporte Excel (figura 5.60).

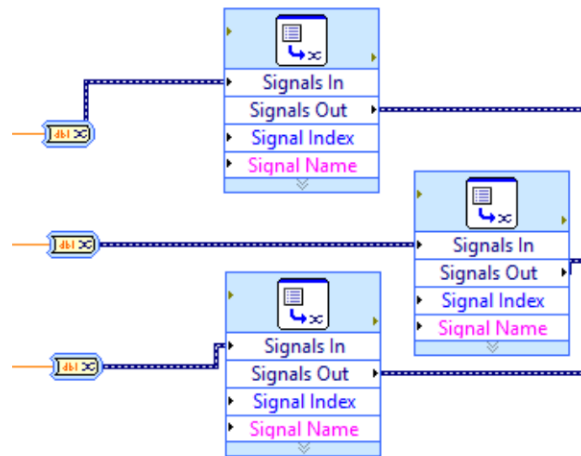


Figura 5.60: Pasos previos antes de enviar los datos de la calidad de las medidas a un archivo Excel.

5.4.2.1.2.6. Piezas aprobadas y rechazadas.

El método para determinar si una pieza es aprobada o rechazada es similar al realizado en el análisis de la base de aceite, la compuerta and solo genera un alto o aprobación cuando las entradas están en alto y un bajo a rechazo con las demás condiciones de entrada. Utilizando 2 compuertas and conectadas a cada una de las salidas del *range and coerce* determinan la aprobación o rechazo de la pieza considerando las 3 mediciones, donde la única forma de que sea aprobada es que las 3 mediciones estén dentro del rango (figura 5.61).

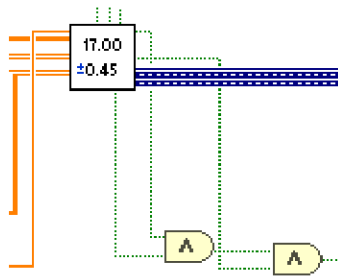


Figura 5.61: Aprobación y rechazo utilizando compuertas and.

Los resultados obtenidos por las compuertas son enviados a dos *convert to dynamic data* para convertir los datos entrantes a datos dinámicos, en el caso para generar el dato cuando la pieza es rechazada se utilizó un comparador que al determinar que la salida de la última and es un 0 (no aprobado) envía un alto al su respectivo *convert to dynamic data* y posteriormente los datos son enviados dentro de un *set dynamic data attributes* con el nombre “piezas aprobadas” y “piezas rechazadas”, que serán utilizados para la generación del reporte Excel (figura 5.62).

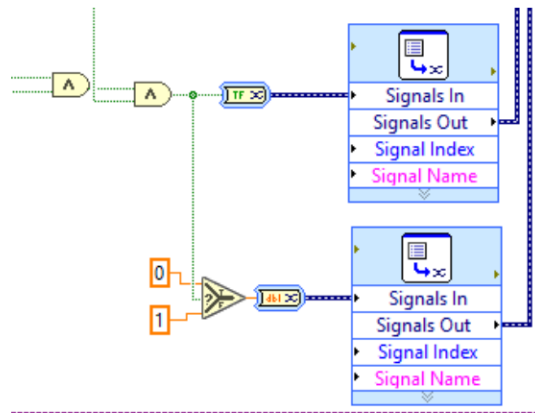


Figura 5.62: Pasos previos antes de generar el reporte de la aprobación o rechazo de la pieza.

5.4.2.2. Generación del reporte de las piezas en Excel.

Este apartado representa el final de la etapa de adquisición y análisis, aquí son guardados los datos de las características dimensionales porcentajes de calidad y se presenta si la pieza analizada dentro de la estructura ha sido aprobada o rechazada por el programa figura 5.63.

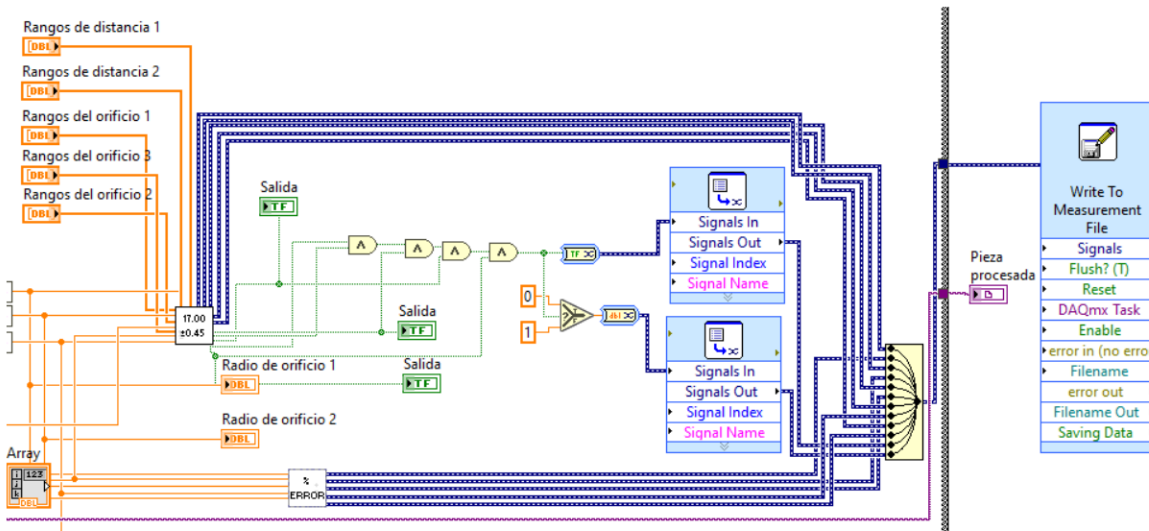


Figura 5.63: Envío de datos de los Set Dynamic Data Attributes a mage signal.

El proceso de guardado consiste del uso de la herramienta *write to measurement file* cuya función es escribir datos en archivos de medición basados en texto (.lvm), archivos de medición binarios (.tdm o .tdms) o archivos de Microsoft Excel (.xlsx), una vez dentro de la estructura *case* cuando el programa ha finalizado de analizar la pieza y a enviado todos los datos a la herramienta *set dynamic data attributes* a continuación son enviados dentro de un *mage signal* figura 5.63, y finalmente son enviados al vi *write to measurement file* configurado para escribir los datos en un archivo Excel en una ruta específica (figura 5.64), con los siguientes datos: en la primer columna se establece el tiempo y fecha en que se realizó la inspección, en la segunda el resultado de la característica dimensionales medida seguida de su porcentaje de calidad y al final muestra si la pieza ha sido aprobada o rechazada.

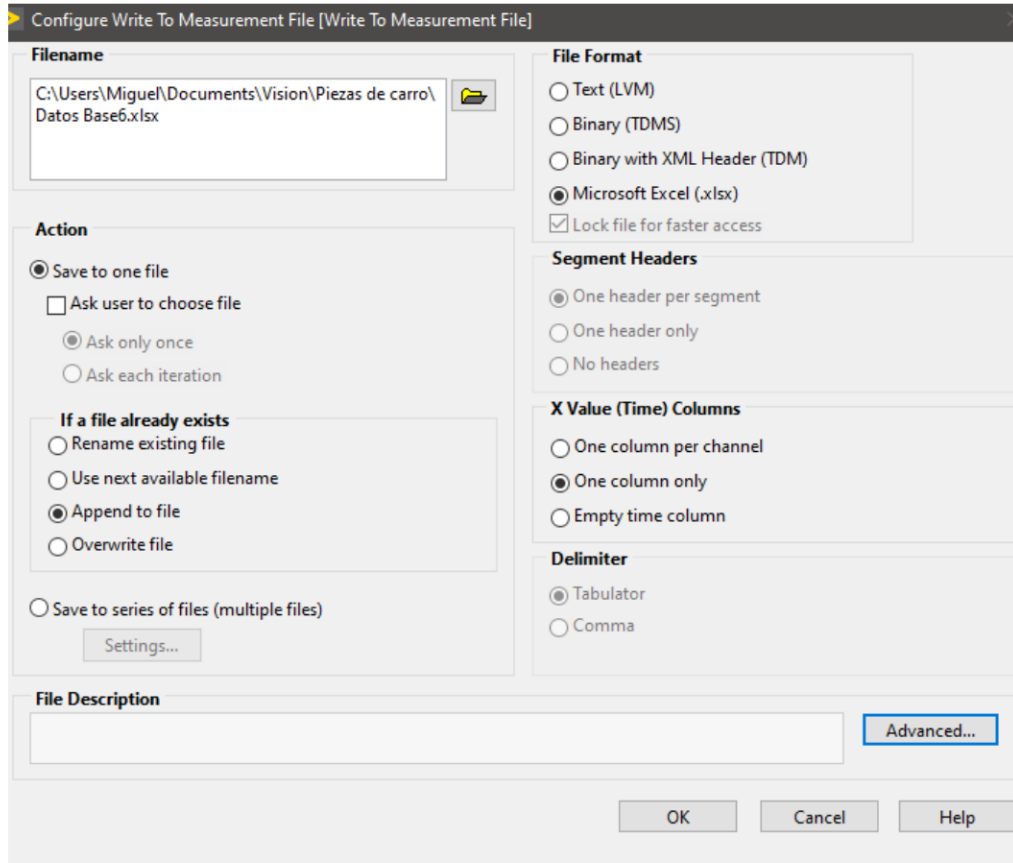


Figura 5.64: Ruta de guardado de archivo Excel y configuración de *Write To Measurement File*.

Por medio del reporte generado es posible determinar es estado de calidad de la pieza, y realizar correcciones en la misma en caso de ser necesario.

Capítulo 6

Resultados

6.1. Interface principal

La interface principal permite al usuario ser capaz de manejar el programa creado para obtener las medidas de las dimensiones de la base de aceite y la terminal de batería de manera individual, todo esto mediante el selector y establecer los rangos de tolerancia límite para cada medición (figura 6.1).

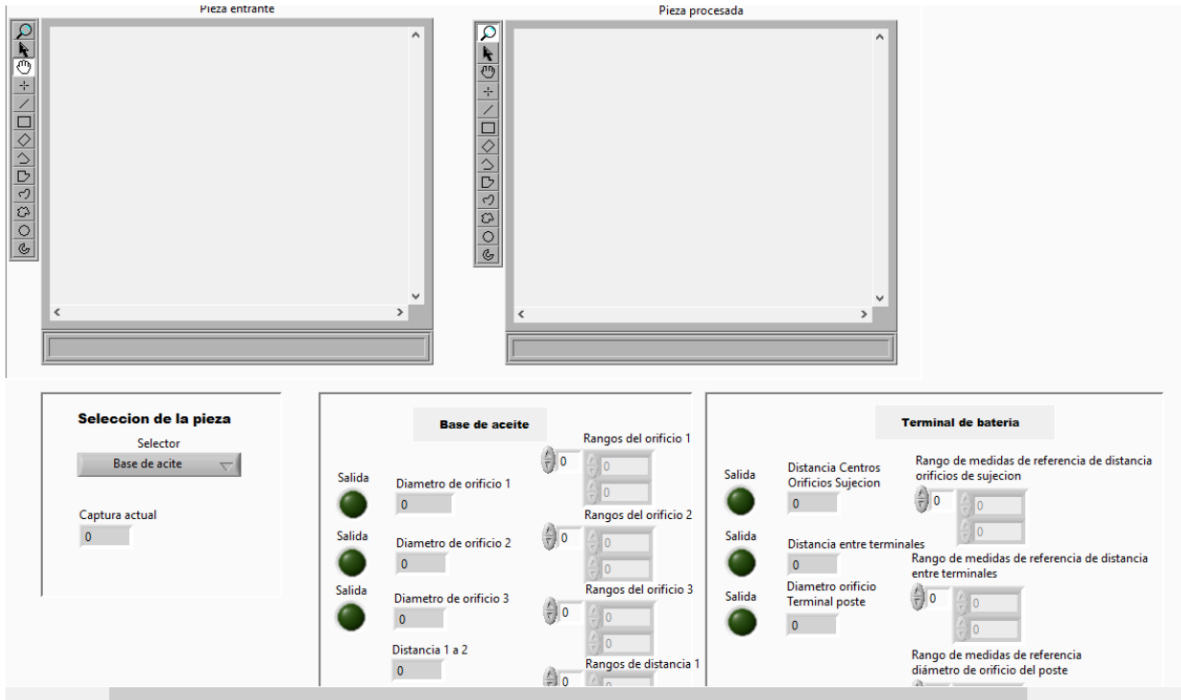


Figura 6.1: Interface principal de control.

6.1.1. Visualización de los procesos

La interface principal está conformada por dos pantallas que nos permiten visualizar los procesos que realiza el programa, en la pantalla de pieza entrante se presenta la pieza que se encuentra dentro de la estructura antes de obtener sus medidas y en la pantalla de pieza procesada se muestra la adquisición de las medidas de la pieza por *Vision Assistant* (figura 6.2).

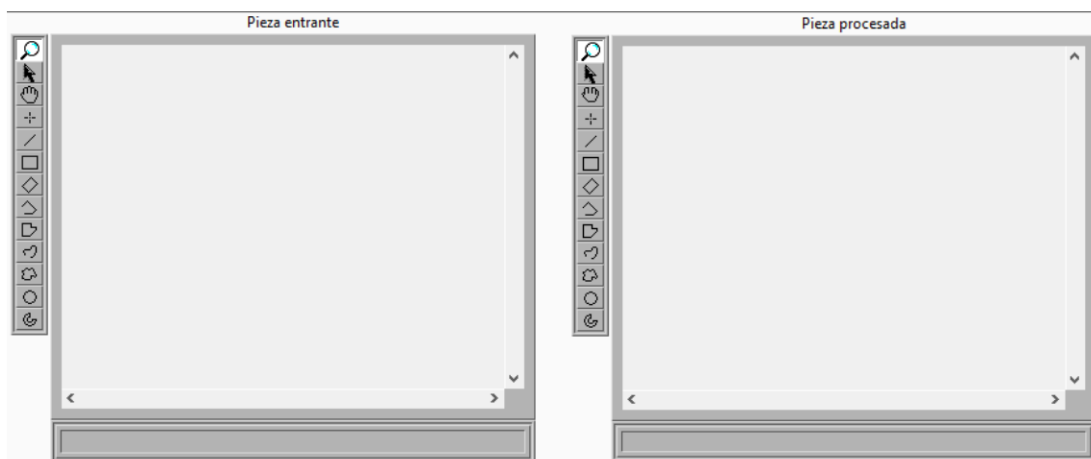


Figura 6.2: Pantallas de visualización de las piezas.

6.1.2 Funcionamiento del panel principal

Para poder iniciar el proceso de obtención de características dimensionales de las piezas, lo primero que se debe hacer es elegir a la pieza utilizando el selector, dentro de este es posible elegir una de las dos piezas que se desee procesar, las cuales son: base de aceite y terminal de batería y en la parte de abajo cuenta con un display numérico que permite visualizar la captura en la que se encuentra actualmente (figura 6.3).

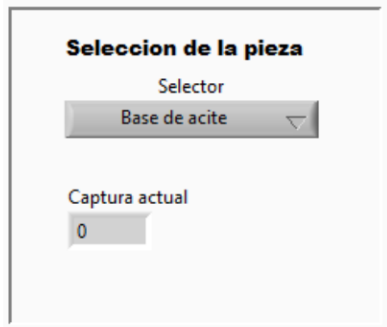


Figura 6.3: Interface de selección.

A la derecha del selector se encuentra dos paneles llamados base de aceite y terminal de batería, aquí se ingresan las tolerancias límite a cada uno de los rangos de medición, primero se debe establecer dentro de los rangos el valor mínimo y luego el valor máximo. Los paneles de base de aceite y terminal de batería también cuentan con indicadores numéricos por los que es posible observar los valores de las medidas realizadas, los leds que poseen a un lado los indicadores numéricos con nombre salida se encargan de mostrar cuando la medida realizada se encuentra dentro de las tolerancias límite establecidas en los rangos, si es así estos encienden, pero si se encuentran fuera de rango se mantendrán apagados. (figura 6.4).

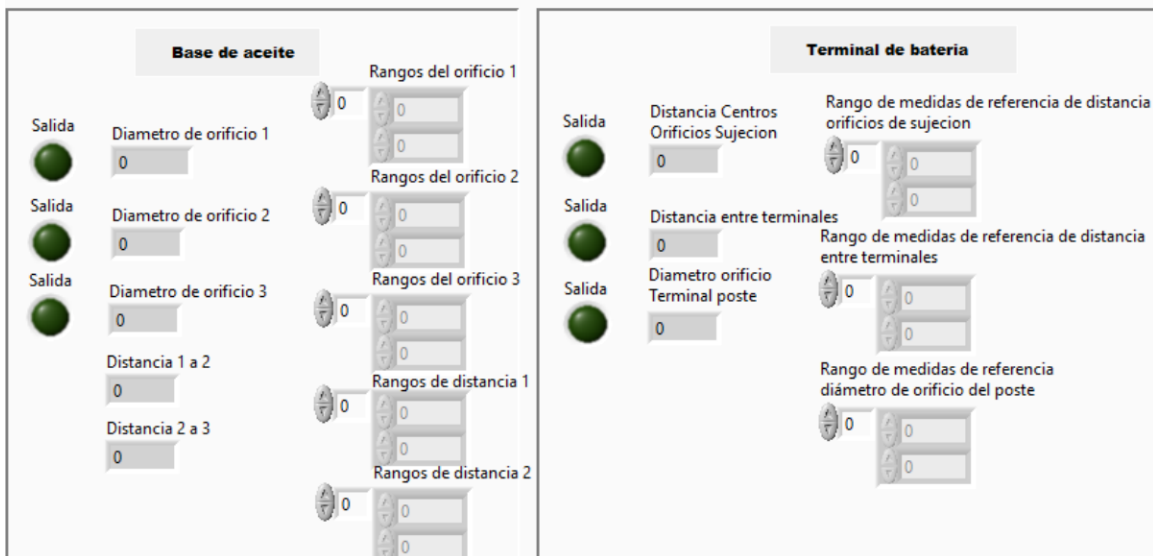


Figura 6.4: Paneles de control de la base de aceite y terminal de batería.

6.2. Visualización de resultados de las piezas

Base de aceite

Habiendo explicado las partes del panel y su funcionamiento, ahora se van a presentar los resultados obtenidos dentro del panel principal, la primera pieza a analizar es la base de aceite (figura 6.5).

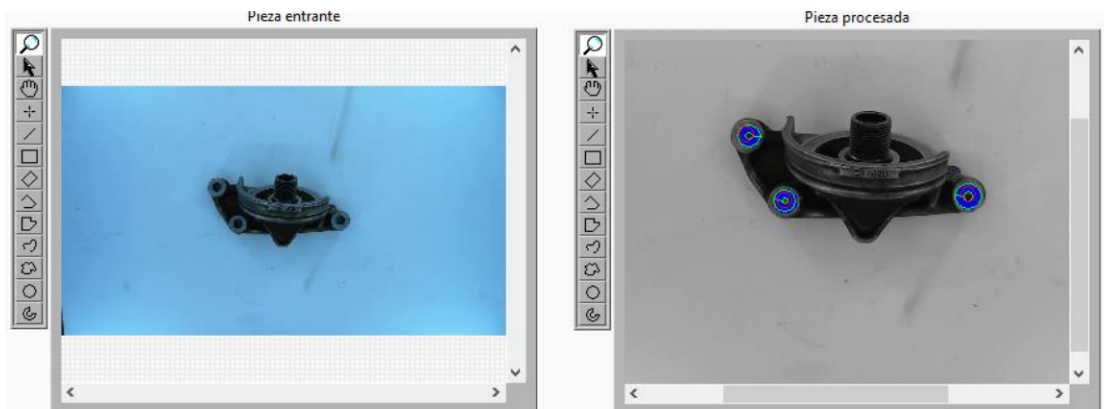


Figura 6.5: Visualización del procesado de la pieza de aceite.

Para establecer los rangos se tomó en cuenta los valores de las medidas realizadas mediante el vernier presentados en el apartado 5.3 de la base de aceite, y se establecieron las tolerancias límite como se muestran a continuación figura 6.6.

Tomando en cuenta el valor real de diámetro de los orificios 1, 2 y 3 de 8.24mm se estableció una tolerancia límite de $\pm 0.35mm$, para la distancia de orificio 1 a 2 con valor real de 39.55mm se estableció una tolerancia límite de $\pm 0.40mm$ y la distancia del orificio 2 a 3 con valor real de 94.64mm una tolerancia límite de $\pm 3.2mm$. Dado que se encuentra dentro de los rangos establecidos en los diámetros de los orificios 1, 2 y 3 los primeros 3 led han encendido, también es posible observar mediante los indicadores numéricos los resultados de los diámetros obtenidos en los orificios 1, 2 y 3 así como las distancias entre los orificios.

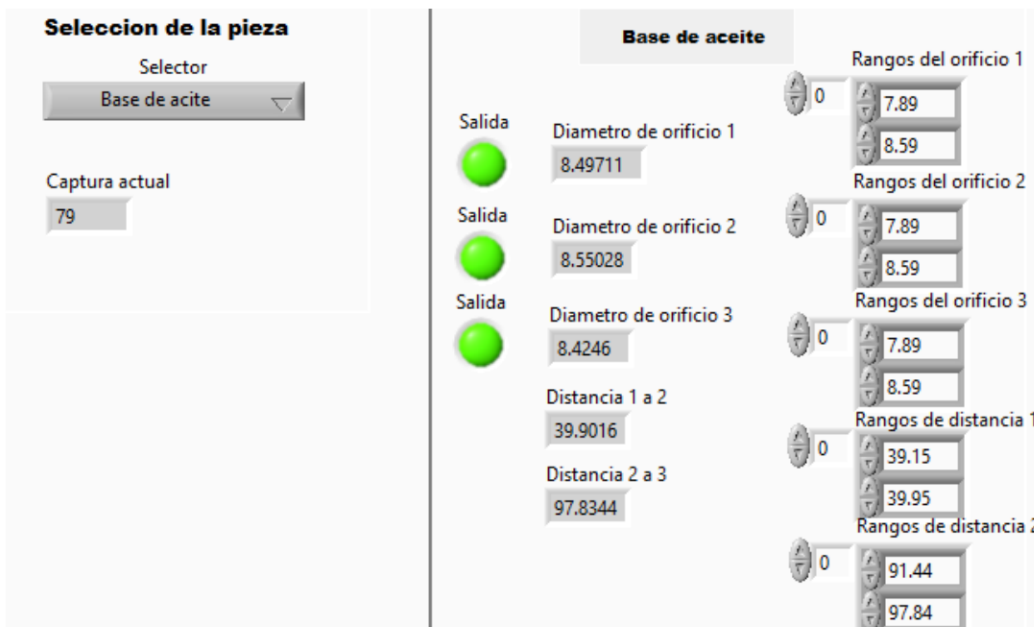


Figura 6.6: Tolerancias y resultados de las medidas de la base de aceite.

Terminal de batería

El siguiente análisis presentado es realizado a la terminal de batería, en el selector se escoge la terminal de batería como siguiente pieza para la obtención de sus características dimensionales figura 6.7.

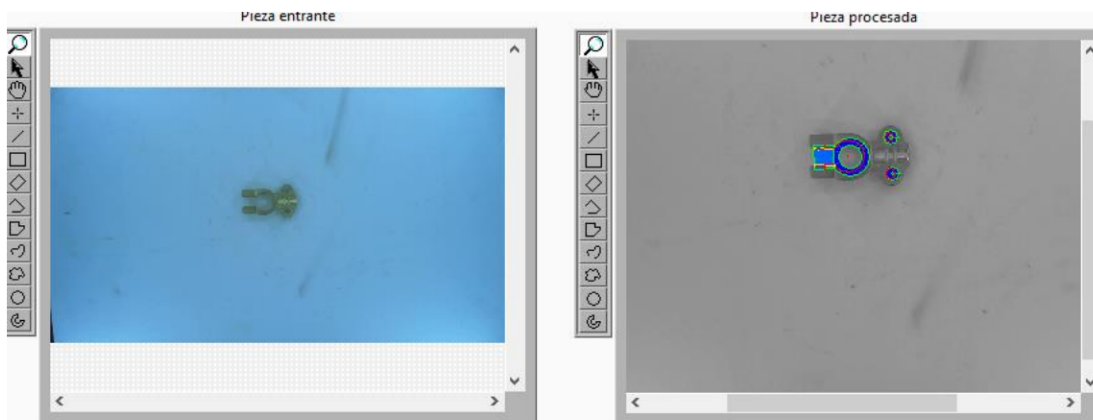


Figura 6.7: Visualización del procesado de terminal de batería.

De manera similar a la base de aceite se tomó en cuenta los valores de las medidas realizadas mediante el vernier, valor real del diámetro de orificio del poste de 17.08mm se estableció una tolerancia límite de $\pm 0.30mm$, para la distancia entre terminales de 9mm una tolerancia límite de $\pm 0.60mm$ y para la distancia orificio de sujeción de 20mm una tolerancia límite de $\pm 0.50mm$ figura 6.8.

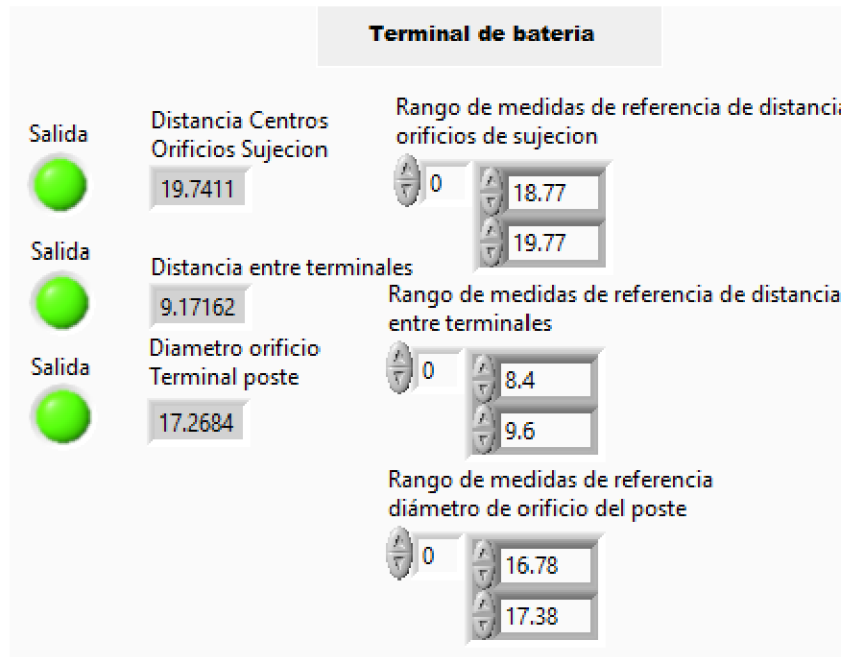


Figura 6.8: Tolerancias y resultados de las medidas de la terminal de batería.

En la imagen 6.8 se puede observar que se encuentra dentro de los rangos establecidos para el diámetro orificio terminal poste como para las distancias de centros orificios sujeción y entre terminales, por lo tanto, los primeros 3 led encendieron, también es posible observar mediante los indicadores numéricos los resultados de las distancias obtenidas además del diámetro de orificio terminal poste.

6.3. Generación del reporte de piezas en Excel

Cuando el programa termina de realizar las etapas de *adquisición de imágenes* así como de *procesamiento y análisis de imagen* de una de las piezas seleccionada para adquirir sus características dimensionales, el programa guarda las mediciones en un archivo Excel en la ruta especificada en el apartado 5.4.2.2., por medio de este archivo el usuario puede identificar los resultados de las medidas, el porcentaje de error que hay en las medidas respecto al valor real, conocer si el programa considera aprobada la pieza o si la rechaza, y corregir los errores de las piezas si es necesario.

A continuación, serán presentados los resultados obtenidos de diámetros, distancias y el porcentaje de error para la base de aceite y la terminal de batería guardados dentro del archivo Excel mediante tablas en las cuales son presentados cada uno de los resultados de la etapa de procesamiento y análisis del programa, este proceso fue realizado 5 veces a cada una de las piezas con el objetivo de determinar la precisión del programa para la adquisición de características dimensionales.

6.3.1. Datos de la base de aceite

En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos de la base de aceite contenidos dentro del archivo Excel de las características dimensionales de 5 análisis realizados. La primera columna de la imagen 6.9a contiene el tiempo en el que se realiza la captura de la pieza con el siguiente formato día/mes/año y hora, posteriormente se muestra el diámetro del primer orificio acompañado del porcentaje de error respecto a su valor real en milímetros.

Capítulo 6. Resultados.

Time	Diámetro de orificio 1 en mm	% de error de orificio 1 en mm
10/21/2021 12:58:26.324	8.497113	3.120302
10/21/2021 12:58:38.341	8.502959	3.191255
10/21/2021 12:58:46.742	8.506691	3.23654
10/21/2021 12:58:56.575	8.512534	3.307453
10/21/2021 12:59:05.027	8.496999	3.118923

Figura 6.9a: Columnas de tiempo, diámetro y porcentaje de error de orificio 1 en mm.

La imagen 6.9b muestra los valores obtenidos del diámetro de los orificios 2 y 3, así como su porcentaje de error.

Diámetro de orificio 2 en mm	% de error de orificio 2 en mm	Diámetro de orificio 3 en mm	% de error de orificio 3 en mm
8.550281	3.765545	8.424603	2.240325
8.534797	3.577639	8.432283	2.333537
8.56175	3.904727	8.4156	2.131066
8.562062	3.908524	8.41821	2.162745
8.563516	3.926167	8.414758	2.120848

Figura 6.9b: Columnas de diámetro y porcentaje de error de orificios 2 y 3 en mm.

La imagen 6.9c muestra el valor obtenido de la distancia de orificio 2 a 3 en mm y su correspondiente porcentaje de error.

Distancia de orificio 2 a 3 en mm	% de error de orificio 1 en mm
97.834396	3.375313
97.827774	3.368316
97.823364	3.363656
97.832436	3.373241
97.815788	3.355651

Figura 6.9c: Columnas de distancia y porcentaje de error de orificio 2 a 3 en mm.

Capítulo 6. Resultados.

La imagen 6.9d muestra el valor obtenido de la distancia del orificio 1 a 2 en mm, su correspondiente porcentaje de error, así como las columnas que muestran si la pieza ha sido aprobada o no.

Distancia de orificio 1 a 2 en mm	% de error de orificio 1 en mm 2	Piezas aprobadas	Piezas rechazadas
39.901604	0.889011	1	0
39.895363	0.873231	1	0
39.899384	0.883397	1	0
39.90733	0.903488	1	0
39.906433	0.901222	1	0

Figura 6.9d: Columnas de distancia, porcentaje de error de orificio 1 a 2 en mm y aprobación o rechazo de pieza.

6.3.2. Datos de la terminal de batería

En las siguientes imágenes se presentan los resultados obtenidos de la terminal de batería contenidos dentro del archivo Excel de las características dimensionales de 5 análisis realizados. En la primera columna de la imagen 6.10a se encuentra el tiempo de la captura con el mismo formato que el de la base de aceite, luego el diámetro de orificio terminal poste en mm y su porcentaje de error.

Time	Diametro de orificio terminal poste en mm	% de error en mm
10/7/2021 12:54:32.240	17.307853	1.334035
10/7/2021 13:26:33.334	17.26841	1.103101
10/7/2021 13:27:43.345	17.237941	0.924716
10/7/2021 13:28:31.941	17.264639	1.081027
10/7/2021 13:30:47.845	17.263374	1.073619

Figura 6.10a: Columnas de diámetro y porcentaje de error de orificio terminal poste en mm.

Capítulo 6. Resultados.

La imagen 6.10b muestra la distancia centros orificios sujeción en mm y el porcentaje de error.

Distancia centros orificios sujecion en mm	% de error en mm
19.78108	2.12225
19.74106	1.915644
19.665306	1.524554
19.698006	1.69337
19.360348	0.049831

Figura 6.10b: Columnas de distancia y porcentaje de error de orificios de sujeción en mm.

La imagen 6.10c muestra la distancia entre terminales en mm y el porcentaje de error, así como las columnas que muestran si la pieza ha sido aprobada o no.

Distancia entre terminales en mm	% de error en mm 2	Pieza aproba	Pieza rechazada
9.675883	7.509814	0	1
9.171616	1.90684	1	0
9.573762	6.375133	1	0
9.54702	6.078	1	0
8.547496	5.027824	1	0

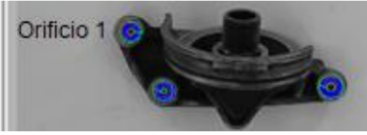


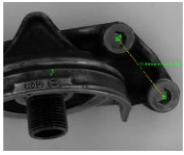
Figura 6.10c: Columnas de distancia, porcentaje de error entre terminales en mm y aprobación o rechazo de pieza.

Capítulo 7

Análisis de Resultados

7.1 Datos de la terminal de batería

En la tabla 7.1 se presentan los resultados obtenidos dentro del archivo Excel de las características dimensionales en la terminal de batería de 5 análisis realizados, dentro de la tabla se presentan las siguientes medidas: los valores reales obtenidos con el vernier, los diámetros de orificio del poste, las distancias entre terminales, las distancias del orificio de sujeción y por último los porcentajes de error con respecto al valor real.

Base de aceite			
Mediciones	Medida con vernier	Medida con el programa	% de error
Diámetro de orificio 1 en mm 	8.24mm	8.497113mm 8.502959mm 8.506691mm 8.512534mm 8.496999mm	3.120302 3.191255 3.23654 3.307453 3.118923
Diámetro de orificio 2 en mm 	8.24mm	8.550281mm 8.534797mm 8.56175mm 8.562062mm 8.563516mm	3.765545 3.577639 3.904727 3.908524 3.926167
Diámetro de orificio 3 en mm 	8.24mm	8.424603mm 8.432283mm 8.4156mm 8.41821mm 8.414758mm	2.240325 2.333537 2.131066 2.162745 2.120848
Distancia de orificio 1 a 2 en mm 	39.55mm	39.901604mm 39.895363mm 39.899384mm 39.90733mm 39.906433mm	0.889011 0.873231 0.883397 0.903488 0.901222

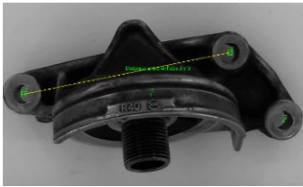
Distancia de orificio 2 a 3 en mm		97.834396mm	3.375313
	94.64mm	97.827774mm	3.368316
		97.823364mm	3.363656
		97.832436mm	3.373241
		97.815788mm	3.355651

Tabla 7.1: Datos de las medidas realizadas en la terminal de batería.

7.2 Datos de la terminal de batería

En la tabla 7.2 se presentan los resultados obtenidos dentro del archivo Excel de las características dimensionales en la terminal de batería de 5 análisis realizados, dentro de la tabla se presentan las siguientes medidas: los valores reales obtenidos con el vernier, los diámetros de orificio del poste, las distancias entre terminales, las distancias del orificio de sujeción y por último los porcentajes de error con respecto al valor real.

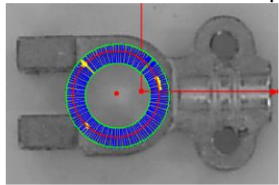
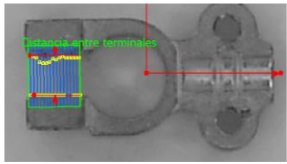
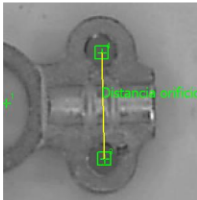
Terminal de batería			
Mediciones	Medida con vernier	Medida con el programa	% de error
Diámetro de orificio del poste en mm 	17.08mm	17.307853mm	1.334035
		17.26841mm	1.103101
		17.237941mm	0.924716
		17.264639mm	1.081027
		17.263374mm	1.073619
Distancia entre terminales en mm 	9mm	9.675883mm	7.509814
		9.171616mm	1.90684
		9.573762mm	6.375133
		9.54702mm	6.078
		8.547496mm	- 5.027824
Distancia orificio de sujeción en mm 	20mm	19.78108mm	- 2.12225
		19.74106mm	- 1.915644
		19.665306mm	- 1.524554
		19.698006mm	- 1.69337
		19.360348mm	- 0.049831

Tabla 7.2: Datos de las medidas realizadas en la terminal de batería.

Capítulo 6. Resultados.

De las medidas realizadas en la base de aceite por el sistema de visión artificial se obtuvieron los siguientes rangos tabla 7.3:

Base de aceite			
Mediciones	Valor real	Rangos del programa	Rangos de error
Diámetro de orificio 1	8.24mm	8.497113mm a 8.512534mm	3.12030 a 3.30745
Diámetro de orificio 2	8.24mm	8.534797mm a 8.562062mm	3.57763 a 3.92616
Diámetro de orificio 3	8.24mm	8.4156mm a 8.432283mm	2.12084 a 2.33353
Distancia del orificio 1 a 2	39.55mm	39.895363mm a 39.907333mm	0.88901 a 0.90348
Distancia del orificio 2 a 3	94.64mm	97.823364mm a 97.834396mm	3.35565 a 3.37531

Tabla 7.3: Rangos de la base de aceite.

Por otro lado, las medidas realizadas en la terminal de batería por el sistema de visión artificial se obtuvieron los siguientes rangos tabla 7.4:

Base de aceite			
Mediciones	Valor real	Rangos del programa	Rangos de error
Diámetro de orificio del poste	17.08mm	17.237941mm a 17.307853mm	0.92471 a 1.33403
Distancia entre terminales	9mm	9.171616mm a 9.675883mm	- 5.02782 a 7.50981
Distancia orificio de sujeción	20mm	19.360348mm a 19.78108mm	- 0.04983 a - 2.1222

Tabla 7.4: Rangos de la terminal de batería.

En base a las tablas 7.3 y 7.4 de las medidas obtenidas para la base de aceite y la terminal de batería se consideran las medidas realizadas por el programa que no se encuentran todavía dentro los rangos deseados, dado que son un tanto variantes las medidas de los orificios y las distancia. El resultado de las medidas obtenidas puede ser causado por la calibración utilizando la regla, por la iluminación o la cámara, por lo que se considera emplear un método distinto de calibración, reajustar la iluminación o emplear otro tipo de cámara, dejando de lado la precisión, el programa es capaz de utilizarse para determinar correctamente las características dimensionales dentro de ciertas tolerancias de rango.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo a futuro

Como conclusión se considera que el presente trabajo pese a no ser tan preciso para la adquisición de características geométricas como se pensaba y que fuera capaz de solucionar los problemas de calidad en la fabricación de piezas automotrices, si se logró cumplir el objetivo de crear un programa capaz de determinar características geométricas que guarden las medidas obtenidas dentro de un archivo Excel que puede servir en tolerancias más grandes, gracias al desarrollo de este proyecto es que fue posible conocer más acerca del sector de calidad dentro de la industria automotriz.

Se considera que el desarrollo de este proyecto puede ser mejorado haciendo algunas modificaciones a la estructura o agregando un control de la base de análisis de piezas que permita ajustar de manera más eficaz las distancias de trabajo entre la cámara y la base, también se tiene como consideración que la cámara sea capaz de moverse de manera controlada hacia la base del análisis y adquirir las características dimensionales de más piezas automotrices.

Referencias bibliográficas

- Baeza, V. V. (2010). *Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7250/1/68.pdf>
- INFAIMON. (2 de junio de 2020). *IFAIMON*. Obtenido de <https://blog.infaimon.com/tecnicas-de-iluminacion-sector-industrial/>
- Krulikowski, A. (2000). *Dimenciones y tolerancias geométricas*. México: Effective Trining inc.
- Kwon, K.-S. (2015). *Practical Guide to Machine Vision Software*. WILEY-VCH.
- Miranda, Ó. (31 de Julio de 2020). *Automática e instrumentación*. Obtenido de <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2734291/aei-521-vision-artificial-refuerza-automatizacion-industrial>
- Moya, S. (15 de 10 de 2019). *Isa de mexico*. Obtenido de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/10/15/como-incrementar-la-produccion-y-mejorar-el-control-de-calidad-de-su-empresa-mediante-sistemas-de-vision-artificial/>
- Vargas Baeza, V. (2010). *Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas* (Tesis de Maestría). <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7250/1/68.pdf>
- Montero Giraldo, C. E. (2007). *Dimensionamiento de piezas usando el sistema de visión de la celda manufacturera flexible en la facultad de ingeniería mecánica* (Tesis de titulación). <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1070/670427G516dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiménez Blanco, M (2019) *La industria Automotriz en México y el desarrollo de proveedores nacionales*.
- Violeta Susana (2021) *Sistema de visión artificial a la extracción de características dimensionales de piezas automotrices planas*.

Anexos

Control de iluminación

El control de iluminación en el interior de la caja es realizado por medio de un circuito constituido por 4 transistores tip41 y 3 interruptores con los que se pueden encender de manera individual un grupo de tiras led interconectadas entre sí situando en la superficie, laterales y la parte inferior de la estructura.

Como se puede observar en la figura 8.1, se está alimentando un extremo de la tira de led con una fuente de 12V, físicamente un cargador realiza esta función y el otro extremo de las tiras de led está conectado al colector del transistor y para poder activar la tira de led es necesario enviarle una pequeña señal a la base del transistor por medio de una segunda fuente de alimentación de 5v por medio del accionamiento de los interruptores.

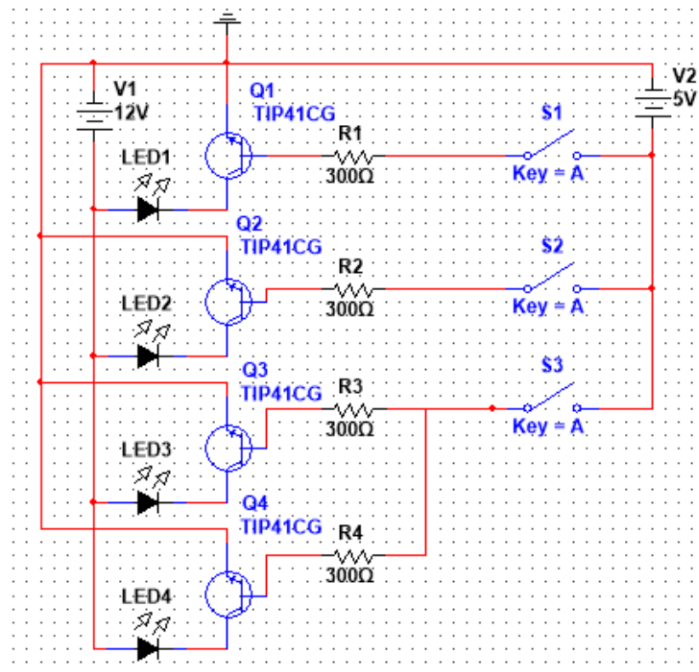


Figura 8.1: Circuito de encendido de la iluminación.

El control de encendido de los leds situados en la parte superior, inferior y los laterales es realizada por los tres interruptores: el interruptor 1 se encarga del encendido de la tira de led conectados en la parte superior de la estructura, el interruptor 2 se encarga de encender la tira de led situada en la parte inferior y tercer interruptor enciende las tiras de led situadas en los laterales de la estructura figuras 8.2a, 8.2b y 8.3c.

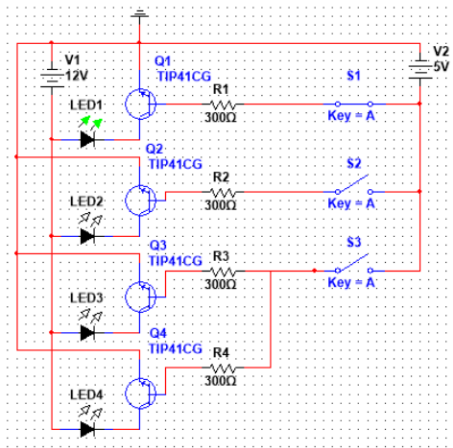


Figura 8.2a: Encendido de la superficie con interruptor 1.

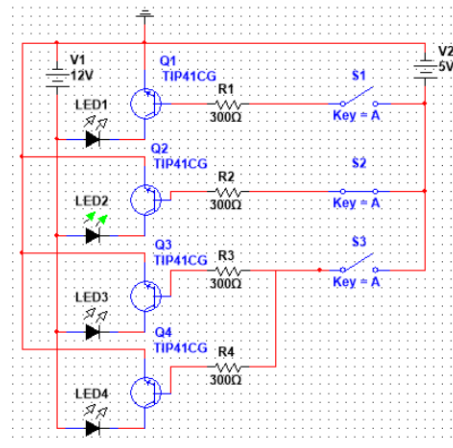


Figura 8.2b: Encendido de la superficie con interruptor 2.

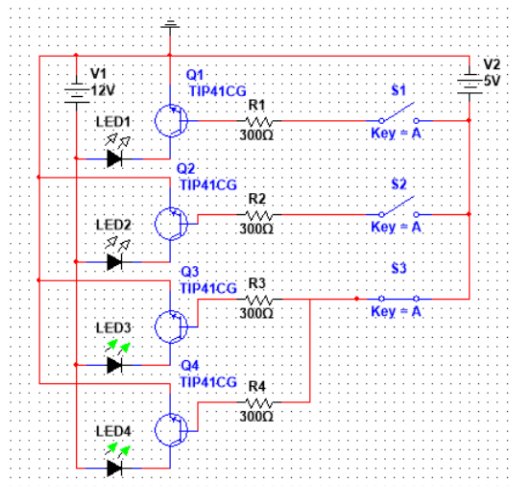


Figura 8.2c: Encendido de la base con interruptor 3.