



**Diseño e implementación de un sistema Control de Calidad por Visión Artificial, indexada
al CIM como estación de control de calidad**

Calero Romo, Edson Ariel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio


23 de agosto del 2023

Latacunga

Document Information

Analyzed document	TESIS CALERO EDSON.pdf (D173094629)
Submitted	2023-08-24 16:31:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com

Sources included in the report

- SA** **UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS ACELDO - MORALES.docx**
Document TESIS ACELDO - MORALES.docx (D158734509)  1
Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com
-
- W** URL: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1682&ni=manufactura-integrada-por-computad...>  1
Fetched: 2023-08-24 16:31:00
-

Firma:



Acuña Coello, Fausto Viniño

C.C.: 0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño e implementación de un sistema Control de Calidad por Visión Artificial, indexada al CIM como estación de control de calidad”** fue realizado por el señor **Calero Romo, Edson Ariel** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

Firma:

Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.: 0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Calero Romo, Edson Ariel**, con cédula de ciudadanía n° 1722385349, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Diseño e implementación de un sistema Control de Calidad por Visión Artificial, indexada al CIM como estación de control de calidad”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

Firma

Calero Romo, Edson Ariel

C.C.: 1722385349



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo **Calero Romo, Edson Ariel**, con cédula de ciudadanía n° 1722385349, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Diseño e implementación de un sistema Control de Calidad por Visión Artificial, indexada al CIM como estación de control de calidad”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

Firma

Calero Romo, Edson Ariel

C.C.: 1722385349

Dedicatoria

Dedico este logro para mi madre Mercedes Romo y hermana Estefanía Calero, quienes me impulsaron y no me dejaron caer en ningún momento, apoyándome en las decisiones que he tomado en toda mi vida universitaria y fuera de ella.

A mis compañeros de universidad que se convirtieron en amigos de toda la vida, por la ayuda incondicional a lograr cada uno de los pasos que hemos pasados juntos y ser un respaldo en los momentos difíciles, en especial para Fernando Mullo y Lenin Dias.

Por último, a todos los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por no solo darme el conocimiento, sino por darme consejos de vida para ser una persona honesta y crítica, en una mención especial para mi tutor Fausto Acuña, por ser paciente y guiarme para lograr este trabajo.

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios por darme la fuerza para conseguir esta meta de mi vida.

A Mercedes Romo, mi madre por los consejos, apoyo en mi vida, para guiarme y nunca dejarme caer en el camino que he decidido tomar y siempre estar dispuesta a hacer lo más posible por mi bienestar.

Mi hermana Estefanía Calero, por todo el apoyo emocional, académico y económico, siendo este último una responsabilidad que no te tocaba, pero aun así me apoyaste las veces que fueron necesarias, sin ti no hubiera llegado a este momento.

Fernando Mullo y Lenin Dias, que fueron mis compañeros, pero se convirtieron en mis amigos, el apoyo en los momentos difíciles, la ayuda incondicional y la motivación de ustedes me permitió para llegar a este momento.

A todos mis compañeros, que convirtieron este proceso un poco más ameno.

A los docentes, que impulsaron mi hambre de conocimiento, para poder convertirme en un profesional y además en una persona de bien.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de Verificación de Contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	11
Índice de tablas	14
Resumen.....	16
Abstract	17
Capítulo I: Estado del Arte	18
CIM	18
Control de calidad por visión artificial	21
Línea Base.....	28
Alternativas de solución.....	30
<i>Alternativa 1.....</i>	<i>30</i>
<i>Alternativa 2.....</i>	<i>30</i>
<i>Alternativa 3.....</i>	<i>31</i>
<i>Alternativa 4.....</i>	<i>31</i>

Selección de alternativas	31
Parámetros de diseño.....	33
Capítulo II: Diseño y selección.....	34
Diseño y selección de los componentes del sistema de visión artificial.....	36
<i>Diseño del plato giratorio</i>	<i>36</i>
<i>Selección del rodamiento</i>	<i>41</i>
<i>Selección del motor y driver.....</i>	<i>43</i>
<i>Selección de la iluminación.....</i>	<i>48</i>
<i>Designación de cámaras.....</i>	<i>49</i>
Diseño del mecanismo de la puerta	50
<i>Selección del tipo de mecanismo</i>	<i>50</i>
<i>Selección del eje y chumaceras.....</i>	<i>51</i>
<i>Selección del motor y driver.....</i>	<i>53</i>
Selección de la placa de control del sistema.....	57
Determinar la fuente de alimentación.....	58
Diseño de la estructura metálica	59
Diseño del sistema eléctrico y electrónica	62
Programación del controlador	63
Programación de la estación	66
Programación para el funcionamiento indexado al CIM	72
Capítulo III: Implementación y Pruebas.....	76
Calibración	81
Pruebas	85

<i>Pruebas de configuración de parámetros del material</i>	85
<i>Pruebas de exactitud, precisión y repetibilidad</i>	90
<i>Pruebas de tiempo de ciclado</i>	92
<i>Pruebas de ciclado individual</i>	93
Validación	94
<i>Validación de hipótesis individual del proyecto titulación</i>	94
<i>Metodología de Validación</i>	94
<i>Aplicación de la metodología</i>	95
<i>Validación de hipótesis general del proyecto</i>	99
<i>Metodología de Validación</i>	99
<i>Aplicación de la metodología</i>	100
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones	102
Conclusiones	102
Recomendaciones	104
Bibliografía	105
Anexos	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Tecnologías presentes en el CIM</i>	18
Figura 2	<i>Protocolos de redes presentes en el CIM</i>	21
Figura 3	<i>Boceto del sistema de visión artificial</i>	34
Figura 4	<i>Boceto general de la estación de control de calidad</i>	36
Figura 5	<i>Distribución de cargas</i>	37
Figura 6	<i>Análisis de deformación por software del plato giratorio</i>	38
Figura 7	<i>Análisis de factor de seguridad por software del plato giratorio</i>	39
Figura 8	<i>Estudio de diseño</i>	40
Figura 9	<i>Análisis de deformación con los valores optimizados</i>	40
Figura 10	<i>Análisis de factor de seguridad con los valores optimizados</i>	41
Figura 11	<i>Distribución de fuerzas sobre el rodamiento</i>	42
Figura 12	<i>Motor NEMA17</i>	46
Figura 13	<i>Driver DRV8825 para el control del motor</i>	47
Figura 14	<i>Tiras led para el sistema de iluminación</i>	49
Figura 15	<i>Cámaras para la estación</i>	49
Figura 16	<i>Boceto del mecanismo de la puerta</i>	50
Figura 17	<i>Distribución de cargas</i>	52
Figura 18	<i>Eje y chumaceras del mecanismo de la puerta</i>	53
Figura 19	<i>Datos para calcular el torque del motor</i>	53
Figura 20	<i>Motor 25GA-370 12V280</i>	56
Figura 21	<i>Driver TB6612FNG para el control del motor</i>	57
Figura 22	<i>Raspberry Pi Pico como placa de control</i>	58
Figura 23	<i>Tamaños existentes del perfil cuadrado</i>	60
Figura 24	<i>Análisis CAE del factor de seguridad de la estructura mecánica</i>	61

Figura 25 <i>Análisis CAE del factor de seguridad de la platina</i>	62
Figura 26 <i>Diagrama de conexiones de eléctrica/electrónica de la estación</i>	63
Figura 27 <i>Diagrama de la programación del controlador</i>	65
Figura 28 <i>Diagrama de la programación en LabVIEW del control de la estación</i>	66
Figura 29 <i>Diagrama de conexión de cámaras en LabVIEW</i>	66
Figura 30 <i>Diagrama de medición del ancho y alto de las piezas</i>	67
Figura 31 <i>Diagrama de detección de circunferencias y su desviación</i>	68
Figura 32 <i>Diagrama de detección lineal y su desviación</i>	69
Figura 33 <i>Diagrama de guardado de imágenes y gráficas</i>	70
Figura 34 <i>Diagrama de guardado de datos de la medición</i>	71
Figura 35 <i>Diagrama de la programación de la estación</i>	72
Figura 36 <i>Diagrama del funcionamiento del brazo robótico</i>	72
Figura 37 <i>Diagrama de funcionamiento del brazo robótico/sexta eje</i>	74
Figura 38 <i>Diagrama del control del 6to eje y del brazo robótico</i>	74
Figura 39 <i>Diagrama de la comunicación MQTT</i>	75
Figura 40 <i>Estructura de la estación de control de calidad</i>	76
Figura 41 <i>Formato de la ubicación de las tiras led y la cámara</i>	77
Figura 42 <i>Colocación del sistema de rotación</i>	77
Figura 43 <i>Sistema de apertura y cierre de la cortina</i>	78
Figura 44 <i>Panel de control de la estación</i>	79
Figura 45 <i>Panel de medición</i>	80
Figura 46 <i>Panel de detección de circunferencia y líneas de contorno</i>	80
Figura 47 <i>Panel de comunicación</i>	81
Figura 48 <i>Puntos de relación de pixeles y milímetros en la medición del alto y ancho</i>	83
Figura 49 <i>Comprobación de la exactitud de la medición</i>	84
Figura 50 <i>Corrección de la medición de la cámara superior</i>	84

Figura 51 <i>Exactitud después de la corrección</i>	85
Figura 52 <i>Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza azul</i>	86
Figura 53 <i>Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza de aluminio</i>	88
Figura 54 <i>Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza de color verde</i>	89
Figura 55 <i>Representación del error en las mediciones</i>	91
Figura 56 <i>Distribución normal de los datos de la Tabla 23</i>	92
Figura 57 <i>Tabla de distribución del Chi-cuadrado</i>	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Funciones Técnicas CAD/CAM en el CIM.</i>	20
Tabla 2 <i>Partes para el funcionamiento del sistema de visión artificial.</i>	22
Tabla 3 <i>Tabla de criterios para la selección de la alternativa.</i>	32
Tabla 4 <i>Selección del rodamiento</i>	42
Tabla 5 <i>Características técnicas del rodamiento 6005.</i>	43
Tabla 6 <i>Selección del tipo de motor para el sistema de rotación.</i>	44
Tabla 7 <i>Selección del tipo de motor NEMA.</i>	46
Tabla 8 <i>Características técnicas del motor NEMA17.</i>	47
Tabla 9 <i>Selección de driver para el sistema de rotación.</i>	47
Tabla 10 <i>Selección del tipo de iluminación</i>	48
Tabla 11 <i>Selección del tipo de led</i>	48
Tabla 12 <i>Selección del mecanismo de la puerta</i>	50
Tabla 13 <i>Selección del material del eje</i>	51
Tabla 14 <i>Selección del motor para el mecanismo de la puerta.</i>	55
Tabla 15 <i>Características técnicas del motor 25GA-370 12V280.</i>	56
Tabla 16 <i>Selección de driver para el mecanismo de la puerta.</i>	57
Tabla 17 <i>Características de las placas</i>	58
Tabla 18 <i>Valores de amperaje máximo y voltaje de trabajo de los componentes.</i>	59
Tabla 19 <i>Valores de pixeles y milímetros en piezas conocidas.</i>	82
Tabla 20 <i>Pruebas de los parámetros para la pieza de color azul.</i>	86
Tabla 21 <i>Pruebas de los parámetros para una pieza de aluminio.</i>	87
Tabla 22 <i>Pruebas de los parámetros para una pieza de color verde.</i>	88
Tabla 23 <i>Valores obtenidos de una misma pieza</i>	90
Tabla 24 <i>Tiempo de los ciclos de transporte de la bandeja</i>	92

Tabla 25 <i>Pruebas de ciclado independientes.....</i>	93
Tabla 26 <i>Frecuencia de los parámetros de evaluación.....</i>	96
Tabla 27 <i>Cálculo del método de la prueba Chi-Cuadrado.....</i>	97
Tabla 28 <i>Pruebas simultaneas de 2 estaciones.....</i>	100

Resumen

El presente trabajo corresponde al Diseño e implementación de un sistema Control de Calidad por Visión Artificial, indexada al CIM como estación de control de calidad. En la cual se creó una sistema de visión artificial en LabVIEW para la comprobación de medidas, detección de circunferencias y contornos, de diversos materiales y colores, con una error del exactitud de 0.6%, una precisión de medición 0.34 mm y una repetibilidad de datos de ± 0.68 mm, siendo automatizado mediante el uso de un sistema mecatrónico, vinculando este proceso mediante un brazo robótico incorporado un sexto eje para el desplazamiento lineal. Con la capacidad de operar de manera simultánea con las demás estaciones del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, las cuales son estaciones de escaneo, estación de soldadura, estación de impresión 3D y la estación de corte laser, usando el brazo robótico y el AS/RS, para la colocación de material o piezas en las diferentes estaciones, mediante el uso de protocolo MQTT mediante una conexión inalámbrica, logrando la creación de un Centro de Manufactura Integrado por Computador (CIM). Todo esto consiguiendo que los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, tengan la capacidad de realizar prácticas y entrenamientos en este sistema de manufactura, de igual manera del proceso de control de calidad por el método de visión artificial adquiriendo criterios de cómo trabaja y opera el sistema. Con la finalidad de obtener profesionales correctamente capacitados en tecnologías presentes en el mundo, promoviendo la actualización constante en la industria manufacturera ecuatoriana.

Palabras Clave: CIM, Control de Calidad, Visión Artificial, LabVIEW

Abstract

This work corresponds to the design and implementation of a Quality Control System by Artificial Vision, indexed to the CIM as a quality control station. In which an artificial vision system was created in LabVIEW for the verification of measurements, circumference and contour detection of various materials and colors, with an accuracy error of 0.6%, a measurement accuracy of 0.34 mm and a data repeatability of ± 0.68 mm, being automated through the use of a mechatronic system, linking this process through a robotic arm incorporating a sixth axis for linear displacement. With the ability to operate simultaneously with the other stations of the CNC laboratory of the “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga”, which are scanning stations, welding station, 3D printing station and laser cutting station, using the robotic arm and the AS/RS, for the placement of material or parts in the different stations, using MQTT protocol through a wireless connection, achieving the creation of a Computer Integrated Manufacturing Center (CIM). All this achieving that the students of the “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”, have the ability to perform practices and training in this manufacturing system, as well as the quality control process by the method of artificial vision acquiring criteria of how the system works and operates. With the purpose of obtaining professionals properly trained in technologies present in the world, promoting the constant updating in the Ecuadorian manufacturing industry.

Key Words: CIM, Quality Control, Machine Vision, LabVIEW

Capítulo I

Estado del Arte

CIM

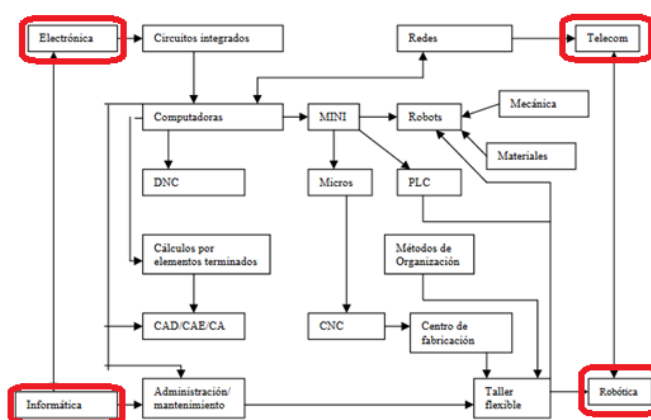
El centro integrado de manufactura (CIM), es un sistema que tiene la finalidad de agilizar la ejecución y planeación en los procesos de producción. (Amaya-Zapata et al., 2016) El mismo que presenta dos formas de funcionamiento:

- Acoplados con un mecanismo semiautomático, que la producción se da gracias al hardware del sistema con la intervención humana.
- Mediante un programa de software que permita automatizar el proceso. Siendo esta forma de uso de técnicas la más exitosa.

Para saber el funcionamiento del CIM, se debe saber las tecnologías que hacen posible el CIM, en la (Zambrano-Rey et al., 2007) , se observa la interrelación de los diferentes componentes del CIM, mediante la relación cuatros áreas importantes presentes en la Figura 1 que es la electrónica, la informática, las telecomunicaciones y la robótica.

Figura 1

Tecnologías presentes en el CIM



Nota. El gráfico representa la relación de las diferentes tecnologías que se involucran en el proceso del CIM. Tomada de (Mendoza Valencia, s. f.).

De la cual se puede observar en la Figura 1 varias partes importantes, entre las cuales están los computadores, las Redes, los Robots, la informática, los circuitos integrados y los procesos de automatización. Pero también una parte importante es los cálculos por elementos terminados, la administración/mantenimiento de los procesos y los métodos de organización.(Mendoza Valencia, s. f.)

Según (Mendoza Valencia, s. f.) tiene varias características importantes que permite determinar el CIM:

- La formación de la organización es forma de red.
- El sistema se centra en la integración de tareas dentro y fuera de la empresa.
- El tiempo de vida del producto que genera depende de las circunstancias, de igual manera tiene la capacidad de generar varios productos en la misma línea.
- La forma de la línea de producción no se tiene una forma característica, permitiéndola tener varias formas dependiendo del área, o utilizar las más conocidas que es U, L o línea recta.
- La forma que se comunican los elementos del mismo es por vehículos guiadas con trayectorias infinitas, entre las cuales tenemos los brazos robóticos.

También en cuenta los tipos de CIM desde la forma de integración (*Revista ElectroIndustria - Manufactura Integrada por Computador (CIM)*, s. f.):

- Tipo I: Solo hay integración funcional en el subsistema de Operaciones.
- Tipo II: Integración entre los subsistemas de marketing y operaciones.
- Tipo III: Fuerte integración interna de la empresa, pero escasa en relación con clientes y proveedores.
- Tipo IV: Es el más complejo, ya que necesita todos los tipos de integración como requisitos previos.

Las funciones que desarrolla el CIM, se concentra en las funciones técnicas CAD/CAM, las cuales presentan diferentes partes del proceso de manufactura. A continuación, en la Tabla 1 se presenta todos los procesos del CIM relacionadas con las funciones CAD/CAM.

Tabla 1

Funciones Técnicas CAD/CAM en el CIM.

Ingeniería Asistida por Computador (CAE)		Bosquejo del producto
	Diseño Asistido por Computador (CAD)	Diseño
Manufactura Asistida por Computador (CAM)		Plan del proceso
		Programación NC
	Plan Asistido por Computadora (CAP)	Control de las maquinas NC, CNC, DNC y Robots.
		Control del Montaje
		Mantenimiento
	Calidad Asistida por Computador (CAQ)	Garantía de la Calidad

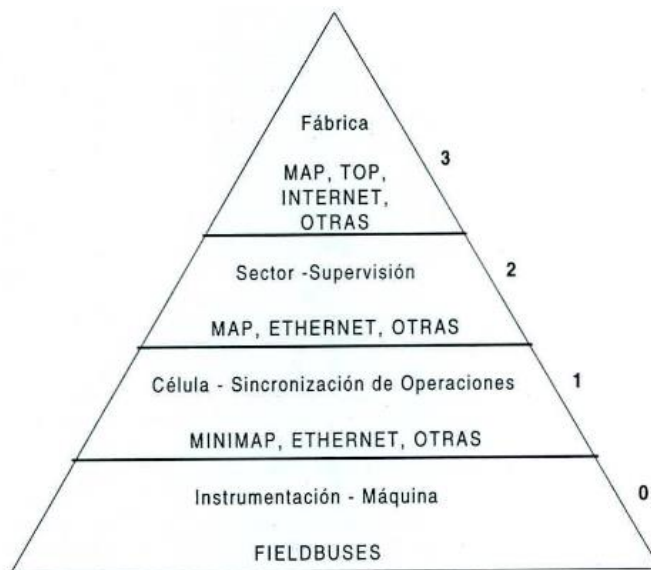
Nota. Esta tabla relaciona los diferentes procesos presentes en el CIM, con los diferentes Técnicas de CAM que son requeridas en cada etapa. Tomado de (Muñoz, 2001).

La forma de comunicación del CIM por lo antes expresado se trata de las redes de comunicación, al tener la integración de las diferentes estaciones como “islas de automatización”, lo cual se debe dividir en diferentes procesos jerárquicos.

Todas las funciones son implementadas, en el sistema distribuido, tienen exigencias en la rapidez y la importancia de estrategia de esa misma acción, cada uno tiene sus propias características fundamentales y temporales. La *Tabla 2* muestra los diferentes protocolos de redes que se agrupan en los diferentes niveles del CIM.

Figura 2

Protocolos de redes presentes en el CIM.



Nota. Protocolos de redes utilizados en los diferentes niveles del CIM. Tomado de (Muñoz, 2001).

Control de calidad por visión artificial

El control de calidad mediante el uso de técnicas y actividades, tiene la finalidad de lograr, mantener y mejorar la calidad de un producto o servicio, mediante la medición de la calidad real, comparándola con las Normas y actuar sobre la diferencia. (BESTERFIELD, 2019) (Juran et al., 2021) Todo este proceso se lo realiza mediante la integración de las siguientes técnicas:

- Especificaciones de lo que se necesita.
- Diseño del producto, para el cumplimiento de las especificaciones.
- Producción o instalación que cumpla las especificaciones.
- Inspección para determinar la conformidad con las especificaciones.
- Examen del uso del producto.

Por lo cual, la estación en específico se concentrará en la parte de inspección. Siendo la inspección la responsable de evaluar la calidad de los artículos producidos.(BESTERFIELD, 2019)

En la producción automática, la inspección realizada por seres humanos, se puede considerar una actitud por parte de los trabajadores de “policía”, produciendo una inspección ineficaz y en consecuencia un deterioro de la calidad. Por lo cual se necesita la utilización de equipos exactos de medición, los cuales pueden ser comprados en casos iguales, pero se pueden diseñar y construir. (BESTERFIELD, 2019)

Para realizar el proceso de visión artificial es importante conocer todas partes para realizar este proceso, que no solo involucra la parte de la cámara, en la *Tabla 2* se presenta los módulos y partes principales que funcione este proceso.

Tabla 2

Partes para el funcionamiento del sistema de visión artificial.

Módulo de digitalización	Convierte la señal de la cámara a una señal digital, con la finalidad de poder realizar procesamiento.
Memoria de imagen	Almacena la salida de digitalización para realizar el procesamiento.
Módulo de visualización	Convierte la señal digital presente en la memoria, la cual se puede visualizar en un monitor.
Procesador de imagen	Realiza el proceso de la interpretación de las imágenes capturadas por la cámara, para poder tener un análisis de eso.
Módulo de entradas/salidas	Este módulo permite controlar los dispositivos para realizar acciones sincronizada, para realizar la toma imágenes y dar resultados.
Comunicaciones	Existe varias vías de comunicación como I/O, ethernet o RS232.

Nota. Partes importantes para la visión artificial en procesos industriales. Tomado de (Artificial, 2012).

Para realizar todos estos procesos o módulos es necesario componentes o elementos que lo hagan realidad, entre los principales se encuentra la cámara, la CPU, la iluminación y los actuadores externos para el funcionamiento completo de la estación de control de calidad.

Se han realizado muchos avances con respecto a la visión artificial en los centros de manufactura en el transcurso de los últimos años.

(Amaya-Zapata et al., 2016) Desarrollo un sistema de visión artificial, en un centro integral de manufactura CIM, para la clasificación de objetos en forma y color. El cual realizo mediante una cámara web integrada utilizando el software libre Python, utilizando la librería OpenCV, procesándolo y mandado las instrucciones mediante un Arduino nano al PLC el encargado del proceso de almacenamiento de los productos.

Teniendo la capacidad de poder identificar figuras como cuadrados y círculos, al mismo tiempo teniendo la capacidad de determinar el color de estas piezas. Pero explica que se tiene una limitante con el conjunto de objetos que se puede realizar el análisis, como son la variación de los materiales, como otro punto expresan que se debe incrementar la base de datos de objetos y la escala de color, y que el sistema se pueda a adaptar a otros modelos de producción.

(Zambrano-Rey et al., 2007) Desarrollo una estación de control de calidad por visión artificial para el centro de manufactura integrada por computador, el cual realizara los análisis de las piezas fabricadas en base a una plantilla configurada mediante una pieza patrón. La cual se realizó la programación en OpenCV, la estación se creó para ser una extensión del CIM, la cual se acopla una cámara en tres posibles posiciones diferentes en ángulos fijados al marco.

La iluminación procede de la parte superior del marco de la estación, mediante dos lámparas halógenas con potencias variable de 75W y 150W. La pieza es colocada en una placa de acero 10/20, el tamaño de la pieza que puede ser analizada es de 30mm a los

100mm, con la finalidad de obtener la mejor resolución, el fondo para obtener un alto contraste en la imagen es de color negro. Por último, se trabajó la captura en escala de grises y en un formato de 1024x768 pixeles.

Para la integración con el CIM, el cual, en la parte física involucro a una reubicación de todos los componentes de la estación, de igual manera reconfiguraciones de las trayectorias y creación de nuevas para el transporte de las piezas. En cuanto a la conexión para la comunicación, debido a la topología existente se realizó la comunicación con el computador de la estación mediante el sistema Ethernet y el protocolo TCP/IP.

Este sistema se realizó pruebas y comparativas con medición de calibrador teniendo un error aproximado de 80 um/pixel, 44 um/pixel y 16 um/pixel, esto dependiendo de la posición de la cámara, todos estos datos siendo muy pequeños para que afecten al proceso de verificación de las piezas. La configuración de plantillas de tolerancia sobre una pieza patrón, con características muy específicas, tiene una gran ventaja permitiendo que de forma fácil y rápida se verifique las medidas de una pieza.

(Martínez, s. f.) Desarrollo un sistema de calidad de tornillos, mediante la visión artificial con LabVIEW, la cual utiliza una cámara web, posterior a esto se procede a realizar la iluminación la cual se lo realizo mediante luz led de 6W y el programa LabVIEW. Para el funcionamiento se procede realizar una programación que permite que el software detecte entre dos productos ya establecidos, se procede a realizar la medida de las diversas dimensiones del producto y por última parte se procede a comprobar su rectitud.

Algo muy importante es tener un buen contraste de los objetos con respecto al fondo, para esto es necesario un fondo gris o negro, de debe ser homogéneo. La cámara debe estar fijada a una misma altura, siempre apuntando ortogonalmente al plano sobre el cual está el

producto. La iluminación debe ser constante, para no generar ruido en las imágenes, con lo cual se puede mitigar con una fuente homogénea de luz, la misma que debe ser una luz fría.

Una vez realizadas las pruebas se puede determinar que el programa realiza detecto el tipo de producto, de igual manera que la rectitud del producto, pero la medida del producto falla en casos es detectada en casos no. Por lo cual es una cuestión a ser tomada.

(Icaza Paredes, 2019) Desarrollo de un sistema de visión artificial con LabVIEW, para la detección de imperfecciones en las latas de atún. La cual utilizo como parte del sistema una fuente de iluminación unas lámparas fluorescentes, utiliza como sensor una cámara de Smartphone, para el control del sistema utiliza el Arduino uno, y para la el proceso de visión artificial LabVIEW.

Cosas a tener en cuenta es el uso de un fondo negro que no genere luz, para la eliminación de ruido para el sistema. También expresa que se debe implementar en un ambiente que se encuentre controlado.

(Quintero Salazar et al., 2013) Desarrollo un sistema para el control de calidad de piezas metalúrgicas desde una imagen 3D, el cual consta de un sensor laser, el mismo que se desplaza mediante un mecanismo electromecánico en el eje Z. Para la adquisición y procesamiento de la información se lo realizo mediante un sistema ROS (Robotic Operating System) y la librería PCL (Point Cloud Library).

El sistema se desplaza a través de un motor, mientras que se adquiere la información, una vez que se acaba la adquisición el proceso se detiene. Culinado esto se extrae las medidas del objeto analizado.

El proceso de control de calidad se lo realiza con tres grupos de cilindros, siendo de diferentes tamaños y pesos, y cada grupo con tres ejemplares iguales. Se tomaron tres

medidas, por lo cual se generó un total de 27 nubes de puntos, las cuales se les realizó un proceso de filtrado para la eliminación de ruido.

Una vez culminadas las pruebas, se realiza el análisis de los errores de los diferentes cilindros. Obteniendo un error fluctuante entre 0.0322% y un 4.5288%, y la desviación estándar de estos resultados, están entre el 0.001855% a 0.005816%.

El sistema diseñado en ROS afecta la cantidad de puntos que puede entregar el sensor, por lo consecuente se debe determinar de forma experimental el ángulo de apertura del sensor. Pero no se utilizó la generación de nube de puntos de ROS, por el alto costo computacional.

El método planteado para el movimiento en la coordenada z, para que se obtenga una aproximación con una confiabilidad aceptable, se la realiza mediante una calibración experimental, debido a que las revoluciones por minuto del motor cambian según la tensión de alimentación, por lo cual es recomendable tener una etapa de regulación para los requerimientos de potencia.

Siendo el desplazamiento notablemente lento de alrededor de 4 cm/s, el tiempo de medida es deficiente, lo cual conlleva una nube de puntos con exceso de información, pero necesaria para poder determinar fallas en la pieza, pero se debe diseñar una estructura de más robusta, que mejore el tiempo de escaneo, garantizando los requerimientos.

(Torres Peña, 2014) Realiza un método para la detección de deformaciones en superficies curvas, la cual se enfocó en huevos avícolas. El cual se basa en la detección de defectos mediante el barrido de un patrón de luz estructurada laser, la cual resalta la geometría como consecuencia de la deformación del láser en la superficie del objeto.

El proceso se realiza mediante un scanner, el cual posee un láser y una cámara CCD para las capturas de las imágenes, el láser genera un patrón de luz estructurada en forma de

línea de 650nm, con una apertura óptica de proyección de 120° a una distancia de 150mm del objeto a analizar.

Mientras que la cámara de captación de imágenes es en formato RGB, que muestre las posibles deformaciones que el láser al entrar en contacto con la superficie, la cual posee una resolución de 1024 x 768 pixeles y ubicada a una distancia de 200 mm del objeto.

El procesamiento de imágenes se lo hace con el programa de MATLAB, el mismo que al obtener la imagen de entrada, se realiza el preprocesamiento de imágenes, posteriormente se creó una red neuronal artificial con la finalidad de clasificar la forma, la cual se debe realizar el entrenamiento de la misma.

La red neuronal varía su eficacia dependiendo de la cantidad de imágenes de entrenamiento y de la figura base que se coloca. Para este caso con 50 imágenes de entrenamiento se obtiene una eficiencia de 91.5% a 95% dependiendo de la figura base, mientras que 100 imágenes de entrenamiento la eficiencia se encuentra entre 93.5% a 95.5%, y la eficiencia con 150 imágenes de entrenamiento es entre 96.5% a 97.5%.

Línea Base

El laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga, es utilizado por las Carreras de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Electromecánica, para ayudar a la formación de los estudiantes en el área de manufactura, con el uso de las siguientes maquinas CNC: fresadora, torno, cortadora laser, impresora 3D, etc.

Todas las máquinas CNC presentes en el laboratorio trabajan de manera independiente, ocasionando que el desarrollo de una pieza pase de una estación a otra estación, de forma manual, haciendo que el proceso sea más lento y con la presencia constante de varios operadores.

Con la finalidad de solucionar este problema, se propone la creación de un Centro de Manufactura Integrado por Computador (CIM), permitiendo una integración de varias máquinas CNC, consiguiendo un proceso de manufactura automatizado, el mismo que tendrá la capacidad de producir varios tipos de productos.

Este proceso de manufactura basado en el CIM al ser automatizado, puede existir errores en la fabricación de las diversas piezas, surgiendo la necesidad de comprobar que las piezas producidas por las máquinas CNC, cumplan con las especificaciones de diseño, la misma que se encuentre integrada al sistema.

Debido a la necesidad de comprobar la calidad de las piezas producidas, se propone la creación de una estación de control de calidad. Existiendo varias formas de realizar este proceso, entre las más utilizadas se encuentran, uso de un sensor de medida (palpador) o por visión artificial.

De las anteriores, se seleccionó la visión artificial para el control de calidad. Debido a las características que presenta este sistema, que son las siguientes: alta velocidad, cero

contactos con la pieza, análisis color, detección de bordes y formas, análisis con los objetos en movimiento y Flexibles.(Artificial, 2012)

Todo esto consiguiendo que los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, tengan la capacidad de realizar prácticas y entrenamientos en este sistema de manufactura, de igual manera del proceso de control de calidad por el método de visión artificial. Con la finalidad de obtener profesionales correctamente capacitados en tecnologías presentes en el mundo, promoviendo la actualización constante en la industria manufacturera ecuatoriana.

Alternativas de solución

Alternativa 1

Para esta alternativa se propone utilizar en la adquisición de imágenes, un Smartphone por la gran resolución que este presenta, teniendo una gran ventaja para el control de calidad por la resolución que posee.

En la parte del software se propone en realizar en Python con la librería OpenCV, la cual permite realizar la interconexión con todos los actuadores y la cámara, y mediante la cual se realizará el proceso de análisis de las mismas.

Y como última parte se seleccionará el método de iluminación el fluorescente, debido a que con la capacidad de que es una luz brillante y con la capacidad de que esta luz no genere sombras que afecten a el control de calidad.

Alternativa 2

En esta alternativa se selección como la adquisición de imágenes, cámaras digitales para computadoras, debido a que presentan una configuración de buena resolución para su tamaño.

Para la siguiente parte se toma como software de desempeño a LabVIEW, el cual permite realizar el análisis de las imágenes, de una manera más directa debido a sus librerías, a su vez con los actuadores. Y por último teniendo una ventaja la cual es tener ya una interfaz de usuario incorporada, permitiendo crear una pantalla para poder observar el proceso de mejor manera.

En la iluminación se seleccionó led, debido a la capacidad de que este poder alumbrar con la misma intensidad que un fluorescente, pero con una eficiencia energética mayor, y con la capacidad de que estas ocupen menos espacio.

Alternativa 3

En esta alternativa se selecciona como medio de medición un sensor laser, que permita el mapeo 3D de las piezas, todo el sistema de mapeo se incorporara a un mecanismo de desplazamiento lineal, para obtener las diferentes nubes de puntos del objeto.

En la parte de programación se seleccionará ROS con la librería PCL para el control, mapeo y procesamiento de la información obtenida, de igual manera el control del mecanismo lineal de desplazamiento.

Alternativa 4

En esta propuesta se utiliza scanner, el cual consta de un láser y una cámara para detectar los bordes que genera el láser, todo esto mandando la información para el procesamiento de imágenes mediante una red neuronal, la cual se lo realiza en el programa MATLAB.

Todo esto se necesita de un sistema de desplazamiento del objeto o del scanner, para poder obtener más información, debido a que este sistema solo se obtiene de una línea del objeto a analizar.

Selección de alternativas

Una vez presentadas las alternativas se procede a presentar el análisis de las alternativas, cada alternativa será analizada, dándole una ponderación de 0 a 5, siendo 0 muy malo y 5 excelente, dependiendo de las características más relevantes para la estación.

Tabla 3

Tabla de criterios para la selección de la alternativa.

Características	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Resolución	4	3	5	3
Alcance	4	3	4	4
Velocidad de captura	5	3	4	4
Interconexión entre los dispositivos	3	4	2	3
Tamaño	2	4	2	4
Peso	2	4	2	3
Sustitución	2	5	1	2
Interfaz para el usuario	2	5	2	2
Facilidad de uso	2	4	2	2
Mantenimiento	1	4	2	2
Ahorro de energía	2	4	3	3
Precio	2	4	3	3
Total	31	47	32	35

Nota. Esta tabla esta realizada por el criterio de valor más alto, es la mejor opción.

Por lo cual una vez observado en la tabla de criterios, la mejor propuesta de alternativas es la 2, la cual conforma por los siguientes objetos: cámaras digitales para computadoras, iluminación led, y el programa de procesamiento LabVIEW.

Parámetros de diseño

Debido a que la estación de control de calidad por visión artificial, se encuentra indexada al CIM, el peso de las piezas producidas se encuentra limitado por la capacidad de carga del manipulador SCORBOT-ER 4u, siendo 1kg la carga máxima. El tamaño máximo de las piezas que van a ingresar a la estación va a ser de 150mmx150mmx150mm.

En cuanto a la iluminación led se va realizar una variación de luminosidad como recomienda (Zambrano-Rey et al., 2007), debido que la cantidad de iluminación es necesaria para el correcto funcionamiento, de igual manera el color de esta luz debe ser luz blanca fría según la recomendación de (Martínez, s. f.).

La superficie de fondo para la toma de imágenes debe ser de color negro como lo expresa (Martínez, s. f.; Zambrano-Rey et al., 2007), con la finalidad de mejorar el contraste entre el objeto de análisis y el entorno.

Debido a que las piezas que ingresan a la estación de control de calidad son de diversas estaciones, éstas presentan diferentes formas y medidas en diversas caras. Para realizar un buen control de calidad se colocan 2 cámaras, una en la parte superior, para la inspección de la primera perspectiva como en (Amaya-Zapata et al., 2016; Martínez, s. f.) y la otra cámara colocada en una superficie lateral, obteniendo información de dicha cara y, mediante un mecanismo que permite girar la pieza, se obtiene información de las caras faltantes como se realiza en (Quintero Salazar et al., 2013).

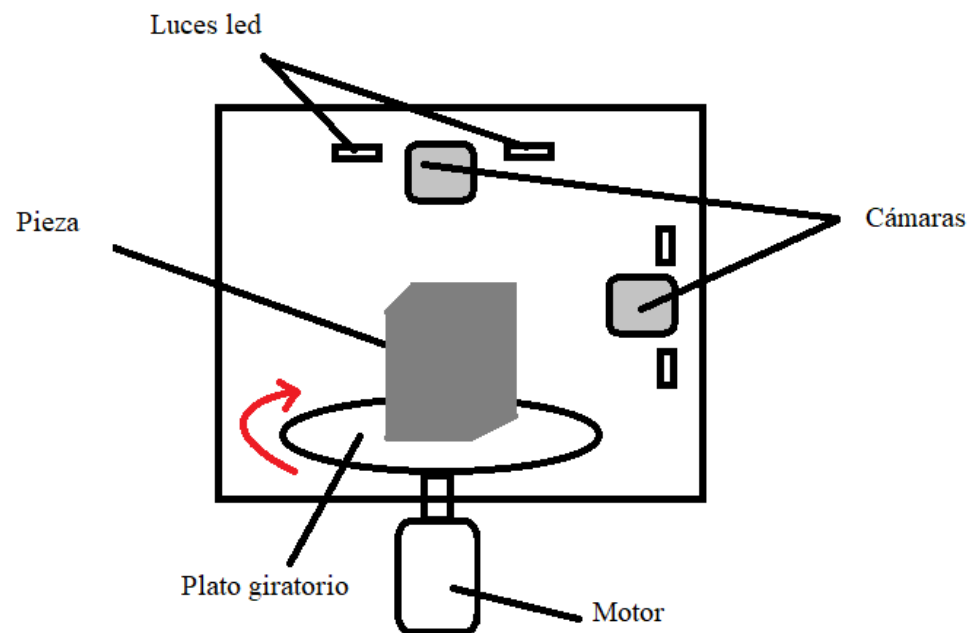
Capítulo II

Diseño y selección

Con lo explicado en los parámetros de diseño y las alternativas de solución, se plantea un posible modelo de la estación de control de calidad como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Boceto del sistema de visión artificial



Nota. Modelo del sistema de visión artificial, donde consta cámaras, luces led y plato giratorio en un ambiente cerrado.

En la Figura 3, las dos cámaras se colocan en diferentes posiciones, una en la parte superior para obtener una imagen superior del objeto, la otra en una vista lateral para tener la información de lateral del objeto.

Junto a las cámaras se colocan las luces led para tomar una imagen del objeto en un ambiente cerrado, esto permite tener una correcta iluminación para que no existan perturbaciones que alteren el resultado. Esto se logra utilizando una técnica de iluminación

como detalla (Martínez, s. f.) llamada difusa plana, en la cual se coloca la luz led en distintos lugares para que genere diferentes ángulos sobre el objeto.

Debido a la diversidad del material con los cuales se fabrica los objetos, se coloca un sistema de iluminación variable, con la finalidad de no generar reflejos o falta de luz que provoquen una medición incorrecta.

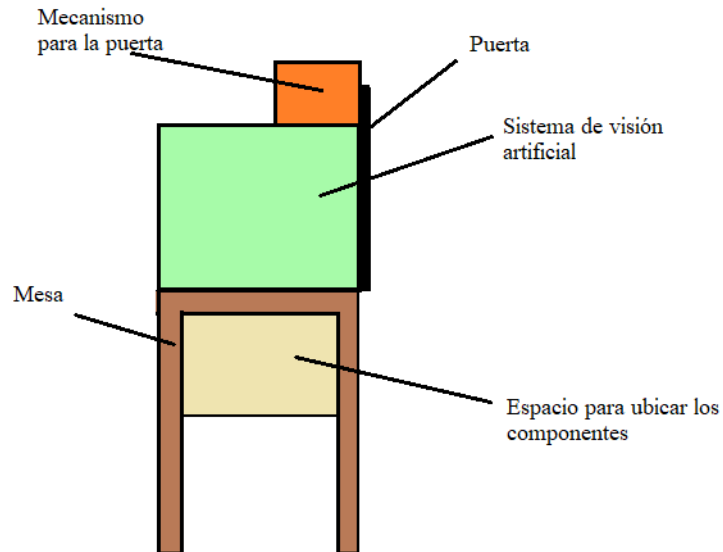
Dado el caso de que el objeto tenga una forma compleja, se ha seleccionado un sistema de rotación para la pieza, con la finalidad de poder tener más información de la misma, sin necesidad de aumentar la cantidad de cámaras. El mecanismo que ejerce este movimiento, debe ser regulable en posición y velocidad, para controlar la precisión del sistema en la captura de las imágenes.

Todo el sistema se coloca sobre una mesa, misma que se encuentra ubicada dentro del área de trabajo del manipulador, posicionando el sistema antes descrito en una base sólida. Por otro lado, en la parte inferior se ubican los componentes para el funcionamiento, como el motor, la fuente de alimentación, el controlador, entre otros.

Debido a la necesidad de crear un sistema de visión cerrado, se coloca un mecanismo de apertura y cierre de una puerta automática, para cumplir con la condición de luz. Este sistema se coloca en la parte superior del sistema de visión artificial. Todo esto se explica en el boceto de la estación, como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Boceto general de la estación de control de calidad



Nota. Modelo de la estructura final de la estación, con la ubicación de las partes que con lo conformaran.

Diseño y selección de los componentes del sistema de visión artificial

Diseño del plato giratorio

Para el diseño del plato giratorio, debido a la complejidad que presenta, se realiza la pieza en impresora 3D, siendo los datos para el diseño los siguientes:

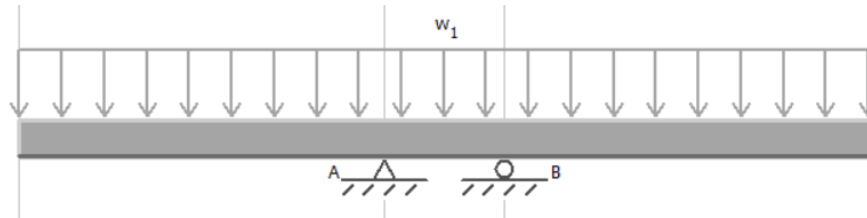
$$m = 1kg \quad \text{material} = \text{PLA} \quad D = 220 \text{ mm}$$

Con estos datos se calcula el espesor del plato para obtener una deformación máxima de 0.46 mm, según (Garcia et al., 2016) este valor es para sistemas que soportan cargas externas, evitando así el contacto en la base y un bloqueo del sistema giratorio. Otro punto que se considera es el factor de seguridad de 2, según (Vidosic, 1957) para materiales conocidos sujetos a cargas con fáciles de calcular, con la finalidad de que no exista ruptura del material.

En el análisis estático se considera ubicar el peso máximo que puede transportar el manipulador, para una condición extrema de trabajo. La misma que se aplica en todo el ancho del plato, teniendo una distribución de peso como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Distribución de cargas.



Nota. Representación de la carga y los apoyos en el plato.

Teniendo el peso de W_1 :

$$W_1 = \frac{m * g}{\text{distancia de contacto}} = \frac{1kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.22m} = 44.59 \frac{N}{m}$$

Conociendo esto el valor de las reacciones A y B son:

$$A = B = 2 * W_1 * a = 2 * 44.59 \frac{N}{m} * 47.25mm = 4.21 N$$

Se procede a calcular el espesor para que la deformación sea de 0.46mm, tomando en cuenta que el módulo elástico del material PLA que ofrece el fabricante es de 2346MPa.

Utilizando la fórmula de deformación máxima, como se muestra a continuación.

$$\delta = \frac{W_1 * a^3}{3 * E * I} [l(4) - a(4)]$$

$$I = \frac{44.59 \frac{N}{m} * (47.25mm)^3}{3 * 2346MPa * 0.46mm} [(94.5mm)(4) - (47.25mm)(4)]$$

$$I = 274.6mm^4$$

Se calcula espesor, mediante el momento de inercia.

$$I = \frac{\text{ancho} * (\text{espesor})^3}{12}$$

$$\text{espesor} = \sqrt[3]{\frac{12I}{\text{ancho}}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 274.6\text{mm}^4}{220\text{mm}}}$$

$$\text{espesor} = 2.46\text{mm}$$

Se procede a calcular el factor de seguridad, con el espesor de 2.46mm, tomando en cuenta que el esfuerzo último del material es de 55 MPa.

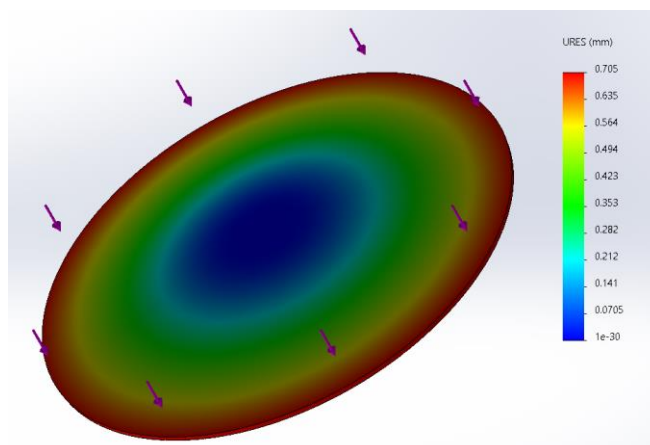
$$\sigma = \frac{\text{Reacciones}}{\text{Area}} = \frac{4.21 \text{ N}}{2.46 \text{ mm}^2} = 1.71 \text{ MPa}$$

$$Fs = \frac{Su}{\sigma} = \frac{55 \text{ MPa}}{1.71 \text{ MPa}} = 32.16$$

Se procedió a realizar la simulación por software para validar los resultados obtenidos analíticamente, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Análisis de deformación por software del plato giratorio

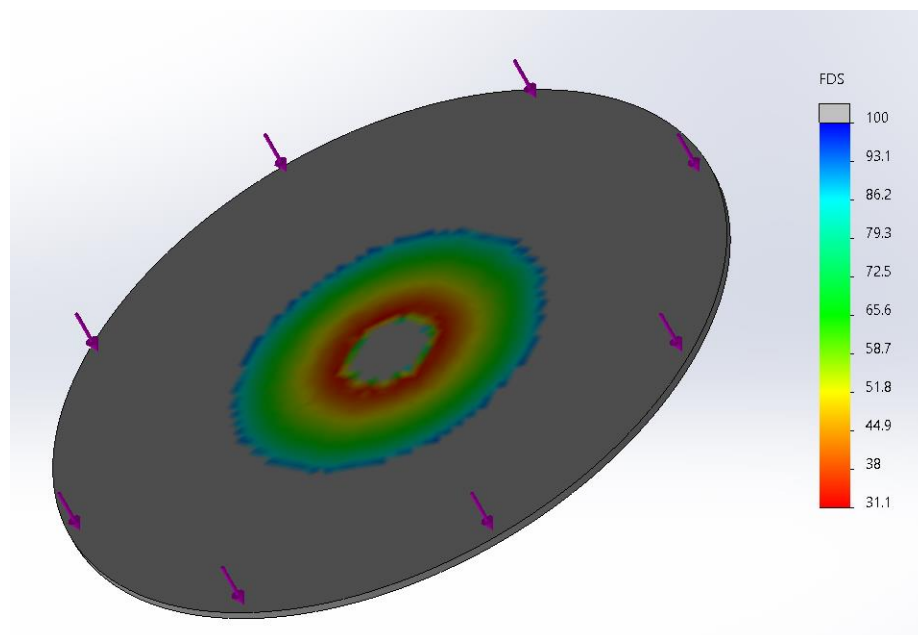


Nota. Resultado del análisis de deformación con las condiciones planteadas.

Como se puede observar, la deformación es mayor con 0.705mm, esto debido a que en los cálculos se tomó como un rectángulo, pero debido a que es una circunferencia y tener menos superficie la deformación aumentara, y las propiedades intrínsecas del material. Mientras que el factor de seguridad que se observa en la Figura 7, es muy similar al valor calculado.

Figura 7

Análisis de factor de seguridad por software del plato giratorio



Nota. Resultado del análisis de factor de seguridad con las condiciones planteadas.

Para reducir la deformación se colocaron 6 soportes a lo largo del plato desde el punto de apoyo, y para reducir el factor de seguridad se redujo el espesor del plato, para realizar este proceso se realizó un estudio de diseño, para conseguir una deformación menor a 0.46 mm y el factor de seguridad más cercano a 2, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

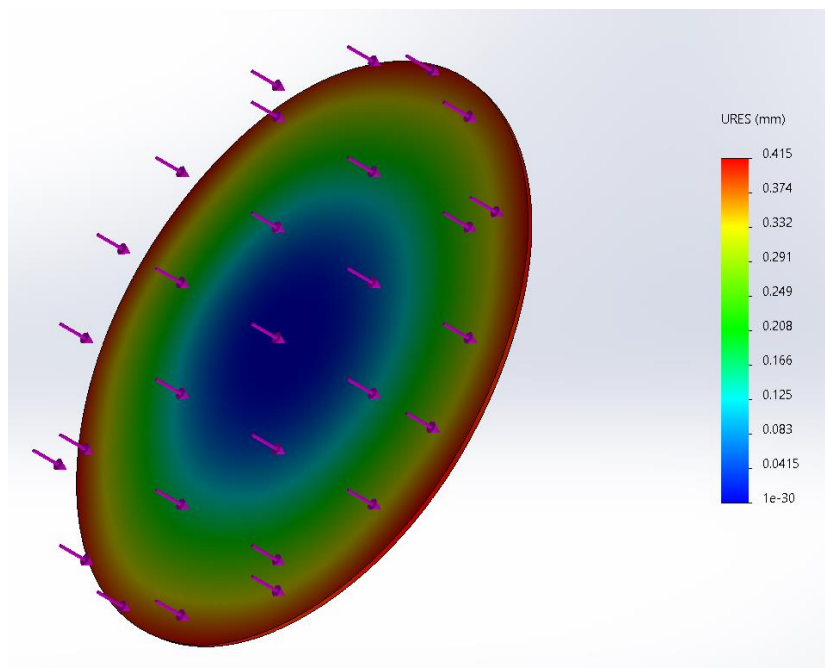
Estudio de diseño.

		Actual	Inicial	Óptimo (1)	Escenario 15	Escenario 16	Escenario 17	Escenario 18	Escenario 19
Ancho de soporte		5°	5°	5°	6°	5°	5.5°	6°	5°
Ancho plato		2mm	2mm	1.5mm	1.75mm	2mm	2mm	2mm	1.5mm
Alto soporte		6mm	6mm	5mm	6mm	6mm	6mm	6mm	7mm
Desplazamiento2	Minimizar	0.41509mm	0.41509mm	0.82989mm	0.45076mm	0.41509mm	0.39304mm	0.3728mm	0.47993mm
Factor de seguridad mínimo1	Minimizar	18.377882	18.377882	12.251674	18.978491	18.377882	19.486580	21.052526	18.537912

Nota. Estudio de diseño con valores de interés: espesor del plato, alto y espesor de los soportes.

Figura 9

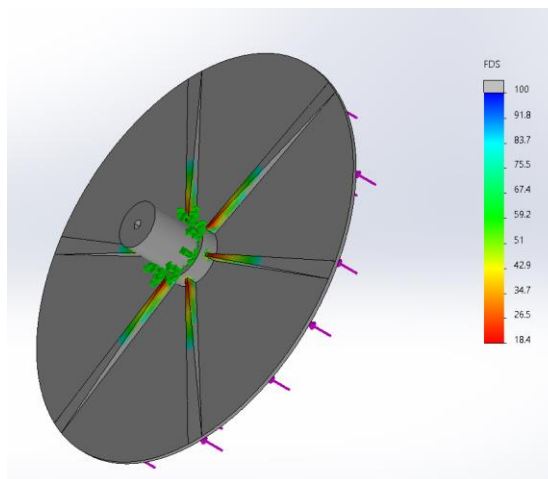
Análisis de deformación con los valores optimizados.



Nota. Deformación con espesor de 2mm y soportes de 6mm de alto y un ancho de 5°.

Figura 10

Análisis de factor de seguridad con los valores optimizados.



Nota. Factor de seguridad con espesor de 2mm y soportes de 6mm de alto y un ancho de 5°.

Como se puede observar en la Figura 8, los valores optimizados son de un espesor de plato de 2mm, y el tamaño de los soportes con una altura de 6mm y el ancho de 5°. Obteniendo una deformación de 0.412 mm como se observa en la Figura 9, la cual cumple con el criterio de diseño de menor a 0.46 mm. El factor de seguridad se ha reducido, como se presenta en la Figura 10, pasando de un valor de 31 a 18.4.

El valor de más importancia es la deformación, por las características del material, siendo este la gran capacidad de deformación. Teniendo como consecuencia un sistema sobredimensionado en el factor de seguridad, para que cumpla la deformación máxima permitida.

Selección del rodamiento

Debido que el plato realizara un giro, se debe ubicar un rodamiento entre el apoyo del plato y la base, para que no exista un rozamiento del plato sobre la base. Para la selección del rodamiento se realiza según los siguientes criterios, en la Tabla 4.

Tabla 4

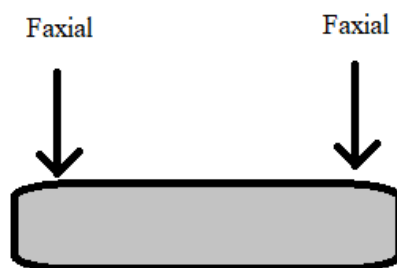
Selección del rodamiento

Tipo de rodamiento	Carga axial en ambos lados	Silencioso	Bajo rozamiento	Altas velocidades	Total
Rígido de bolas	3	5	5	5	18
De bolas de contacto angular	4	4	4	4	16
De rodillos	0	4	3	5	12
De rodillos cónicos	5	1	4	3	13

Por lo presentado en la Tabla 4, el rodamiento rígido de bolas es el seleccionado. Para determinar el tamaño se debe determinar la carga que debe soportar, por lo cual se debe considerar la fuerza que se encuentra sometida como se indica en la Figura 11, siendo la reacciones A y B del plato con el valor de 4.21 N. La recomendación de la vida útil de 8 kh según (Budynas G. & Nisbett, 2008), para máquinas de servicios intermitentes de una operación confiable de gran importancia.

Figura 11

Distribución de fuerzas sobre el rodamiento.



$$\text{Faxial} = 4.21\text{N}$$

$$\text{Horas de servicio} = 8000\text{h}$$

Se procede a calcular la fuerza radial equivalente *Carga dinámica*, del rodamiento según (Budynas G. & Nisbett, 2008).

$$Fd = 2.30 * 4.21N = 9.68 N$$

$$Carga\ dinámica = 9.68N \left(\frac{480 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3} = 75.79 N$$

La carga a soportar es muy pequeña a comparación de la capacidad de carga que tiene el rodamiento. La selección se lo realizara más por el tamaño que por la capacidad de carga. En consecuencia, se selecciona un rodamiento 6005, el mismo que tiene las características mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5

Características técnicas del rodamiento 6005.

Dimensiones	Valor
Diámetro interno	25 mm
Diámetro externo	47 mm
Peso	0.08 kg
Velocidad limite	36000 RPM

Selección del motor y driver.

La selección del motor se basó en los siguientes criterios, considerando las condiciones de funcionamiento del mecanismo de rotación, presentes en la Tabla 6. Siendo el mejor tipo de motor el de paso a paso.

Tabla 6

Selección del tipo de motor para el sistema de rotación.

Tipo de motor	Con Encoder	Paso a Paso	Brushless	Servomotores	Motor DC
Control de posición	3	5	2	4	1
Control de velocidad	3	4	2	4	1
Torque a bajas velocidades	2	4	3	2	2
Tamaño pequeño	4	3	5	5	2
Mantenimiento	2	5	5	2	2
Facilidad de control	4	3	1	5	4
Total	18	24	18	22	12

Para dimensionar el motor, se debe considerar el torque M_m que es capaz de proveer, el cual debe ser mayor al torque para mover la carga desde el reposo M_o , más el torque para mantener el movimiento del mecanismo M_c .

Para lo cual es importante conocer los siguientes datos, masa del objeto m_o y dimensiones, debido a que el objeto puede ser un cubo se debe considerar el valor de los lados A_o y B_o , la masa del plato m_p y el radio R_p . El eje que sale del plato la masa es m_e y el radio R_e .

La velocidad de giro del plato v , el tiempo que alcanza la velocidad deseada (Schneider Electric, 2019) dice que el valor dependerá del controlador t_a , este puede ser de $1s$ a $0.01\mu s$ de manera habitual. La distancia del eje al rodamiento R_r , el coeficiente de fricción del sistema, el cual está dado por el rodamiento Cf_r .

$$\begin{array}{lll}
 m_o = 1 \text{ kg} & A_o = 150 \text{ mm} & B_o = 150 \text{ mm} \\
 m_p = 0.16 \text{ kg} & R_p = 110 \text{ mm} & m_e = 0.01 \text{ kg} \\
 R_e = 12.5 \text{ mm} & v = 5 \text{ RPM} & t_a = 0.01 \text{ s} \\
 R_r = 0.016 \text{ mm} & Cf_r = 0.16 \text{ mm} &
 \end{array}$$

Primero se calcula el torque para mover la carga desde el reposo M_o , se debe calcular los momentos de inercias de todos los componentes:

$$I_o = \frac{1kg}{12} ((0.15m)^2 + (0.15m)^2) = 0.00375 kg \cdot m^2$$

$$I_p = \frac{1}{2} \cdot 0.16kg \cdot (0.11m)^2 = 9.68 \times 10^{-4} kg \cdot m^2$$

$$I_e = \frac{1}{2} \cdot 0.01kg \cdot (0.0125m)^2 = 7.812 \times 10^{-7} kg \cdot m^2$$

$$I_T = 0.00375 kg \cdot m^2 + 9.68 \times 10^{-4} kg \cdot m^2 + 7.812 \times 10^{-7} kg \cdot m^2 = 0.004718 kg \cdot m^2$$

A continuación, se debe calcular la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{0.5235 rad/s}{0.01s} = 52.35 rad/s^2$$

Se calcula M_o :

$$M_o = I_T * \alpha = 0.004718 kg \cdot m^2 * 52.35 \frac{rad}{s^2} = 0.2469 Nm$$

Ahora se calcula el torque para calcular torque para mantener el movimiento M_c , se debe considerar la masa total, la distancia del centro del eje al radio del rodamiento y la fricción del rodamiento.

$$M_c = 1.17 kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.016 m * 0.002 = 3.672 \times 10^{-4} Nm$$

Por lo tanto, el torque que necesita el motor es a la suma de lo antes calculado:

$$M_m = M_o + M_c = 0.2469 Nm + 3.672 \times 10^{-4} Nm = 0.2472 Nm$$

El motor debe tener un torque mayor a 0.2472 Nm, según (A.M.R, 2010) para evitar sufrir sobrecalentamientos, mientras (Oriental Motor USA CORP., 2017) expresa que se debe

colocar un factor de seguridad entre 1.5 a 2 del torque calculado. Por lo cual el torque del motor debe ser de 0.3708 Nm , con este valor se busca el tamaño correcto del motor, basado en la Tabla 7.

Tabla 7

Selección del tipo de motor NEMA.

Tamaño del marco	Diámetro (mm)	Rango típico del Torque (Nm)	Rango típico de velocidad (RPM)
NEMA 8	20	0.01-0.04	0-1000
NEMA 11	28	0.06-0.12	0-1000
NEMA 14	35	0.05-0.5	0-1000
NEMA 16	39	0.1-0.25	0-1000
NEMA 17	43	0.2-1	0-1000
NEMA 23	57	0.5-3	0-1000
NEMA 24	60	1.2-4.6	0-1000
NEMA 34	86	3-12	0-1000
NEMA 42	102	12-20	0-1000

Nota. Tabla de tamaños motores NEMA. Tomado de (ZIKODRIVE, 2018).

De los motores paso a paso se selecciona el NEMA17 como se puede ver en la Figura 12, el cual tiene la capacidad torque de $0.2 \text{ a } 1 \text{ Nm}$, ideal para el sistema de rotación, teniendo más características del mismo, presentes en la Tabla 8.

Figura 12

Motor NEMA17.



Tabla 8

Características técnicas del motor NEMA 17.

Dimensiones	Valor
Torque	0.4 Nm
Momento de inercia	0.082 kg-cm ²
Amperaje	0.84 A
Peso	0.35 kg
Angulo de paso	1.8°
Límite de carga	0.36 kg

El driver seleccionado, según los criterios que se muestran en la Tabla 9, siendo el elegido el driver DRV8825 como se puede ver en la Figura 13. Teniendo un amperaje de trabajo máximo de 2.2 A, un voltaje de alimentación hasta de 45V.

Tabla 9

Selección de driver para el sistema de rotación.

Driver	DRV8825	A4988	DRV8833	TB6560
Amperaje máximo	4	4	2	5
Resolución de pasos	5	4	2	4
Tensión máxima	5	4	2	5
Protecciones	4	4	3	3
Tamaño	4	4	4	2
Total	22	20	13	19

Figura 13

Driver DRV8825 para el control del motor.



Selección de la iluminación

El tipo de iluminación escogido, se lo realiza por criterios ponderados, como se muestran en la Tabla 10. Siendo la seleccionada la iluminación led, por su gran ahorro energético, la capacidad lumínica y su gran utilidad en el control de calidad.

Tabla 10

Selección del tipo de iluminación

Tipo de Iluminación	Fibra óptica	Fluorescente	Led	Laser
Ahorro energético	3	4	5	4
Tamaño	5	2	4	4
Vida útil	4	4	5	5
Costo	2	3	4	2
Capacidad lumínica	2	4	5	3
Versatilidad en control de calidad	1	3	4	3
Total	17	20	27	21

Pero existe diferentes tipos de led, por lo cual se escoge mediante los siguientes parámetros como se muestra en la Tabla 11. La tira led es el tipo de iluminación seleccionada como se puede observar en la Figura 14, por su tamaño pequeño, ahorro energético y la conexión necesaria.

Tabla 11

Selección del tipo de led

Tipos de led	Bobillas	Tiras	Tubos
Tamaño	2	4	1
Tipo de conector	2	4	1
Costo	3	2	3
Capacidad lumínica	4	3	5
Ahorro energético	3	4	2
Total	14	17	12

Y para la determinar el color de la luz y la temperatura, se sigue la recomendación de (Martínez, s. f.), el color que provee la luz debe ser blanca, y de temperatura fría.

Figura 14

Tiras led para el sistema de iluminación

**Designación de cámaras**

Las cámaras que tomaran las imágenes debe ser cámaras web, como utilizo (Amaya-Zapata et al., 2016; Martínez, s. f.) debido a tener una buena resolución, pequeño tamaño y ser sustituible, como muestra en la Figura 15. La resolución de este tipo de cámaras debe ser de 1280 x 720 pixeles como utilizo (Zambrano-Rey et al., 2007), con un lente Estándar que permite un ángulo de visión de 50 grados, como expresa (Artificial, 2012) para espacios no muy grandes, siendo de tamaño mediano.

Figura 15

Cámaras para la estación



Diseño del mecanismo de la puerta

Selección del tipo de mecanismo

Al existir diversos mecanismos para abrir o cerrar una puerta, se selecciona el mejor tipo como se muestra en la Tabla 12, basado en los criterios ponderados. Siendo el mecanismo cortina-persiana el seleccionado para la apertura y cierre automática de la puerta.

Tabla 12

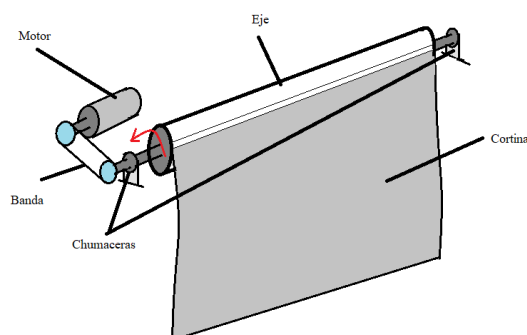
Selección del mecanismo de la puerta

Tipo de mecanismo	Cortina-Persiana	Corrediza	Abatible	4 barras
Espacio necesario	5	2	4	3
Sencillez del mecanismo	4	2	3	4
Costo	4	2	3	4
Rapidez del mecanismo	2	4	4	3
Total	15	10	14	14

Este mecanismo integra un motor que permite automatizar el proceso, como se puede observar en la Figura 16. El material de la cortina debe ser de color negro, por lo explicado anteriormente, la transmisión del movimiento del motor al eje se lo realizara mediante poleas y una banda.

Figura 16

Boceto del mecanismo de la puerta



Nota. Modelo del mecanismo y las partes necesarias del funcionamiento.

Selección del eje y chumaceras

Como primer punto se procede a realizar la selección del material del eje, según (Villalpando Reyna, 2016) expresa materiales idóneos para los ejes, de los cuales se seleccionó tres grupos principales. Se escogió el material mediante los criterios ponderados de la Tabla 13.

Tabla 13

Selección del material del eje

Material del eje	Acero AISI SAE 1020	Acero AISI SAE 4140	Acero AISI SAE 8620
Dureza	2	5	4
Resistencia al medio ambiente	2	4	4
Costo	4	2	2
Módulo de Young	2	5	4
Total	10	16	14

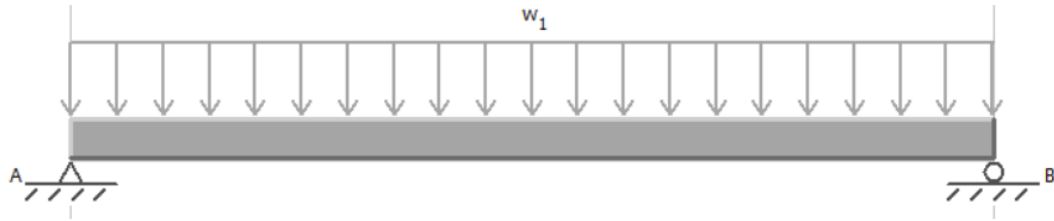
El material del eje seleccionado es el acero **AISI SAE 4140** por la gran dureza, de igual manera la gran resistencia al medio ambiente y el gran modulo Young.

A continuación, se procede a calcular el diámetro del eje teniendo en cuenta los siguientes valores que son: el peso que soportara m , distancia entre los soportes L y el módulo elástico del material E .

Teniendo un peso distribuido por todo el largo del eje como se muestra en la Figura 17, siendo este de la cortina, teniendo $W1$ como:

Figura 17

Distribución de cargas.



Nota. Representación de la carga y los apoyos en el eje.

$$W_1 = \frac{m * g}{L} = \frac{0.6kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.50m} = 11.77 \frac{N}{m}$$

Conociendo esto el valor de las reacciones A y B son:

$$A = B = \frac{W_1 L}{2} = \frac{11.77 \frac{N}{m} * 0.5m}{2} = 2.94 N$$

Se procede a calcular el diámetro a partir de la deformación máxima del eje, según (UNLP, s. f.) la deformación máxima para ejes es de 0.13 mm . Teniendo en cuenta que el material será un acero **AISI SAE 4140** con esfuerzo ultimo de $E = 200000 \text{ MPa}$.

$$d_{max} = \frac{5W_1 L^4}{384EI}$$

$$I = \frac{5qL^4}{384E d_{max}} = \frac{5 * 0.01177 \frac{N}{mm} * (500mm)^4}{384 * 200000 \frac{N}{mm^2} * 0.13mm} = 368.4 \text{ mm}^4$$

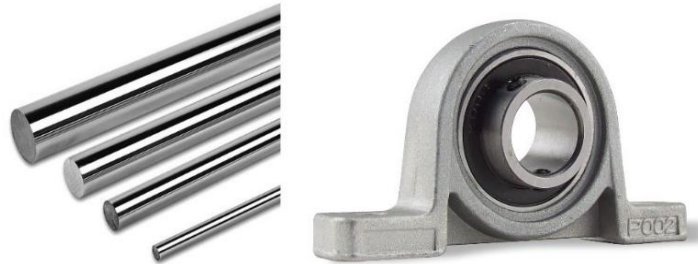
$$I = \frac{1}{4} \pi r^4$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{4I}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{4 * 368.4mm^4}{\pi}} = 4.65 \text{ mm}$$

El diámetro recomendado sería de 9.36 mm , existiendo en el mercado ejes de 8 mm y 10 mm . Se escogió un eje de 10 mm de diámetro, por los estándares. De igual manera se seleccionó la chumacera vertical KP000 para el eje de 10 mm , como se muestran la Figura 18.

Figura 18

Eje y chumaceras del mecanismo de la puerta.

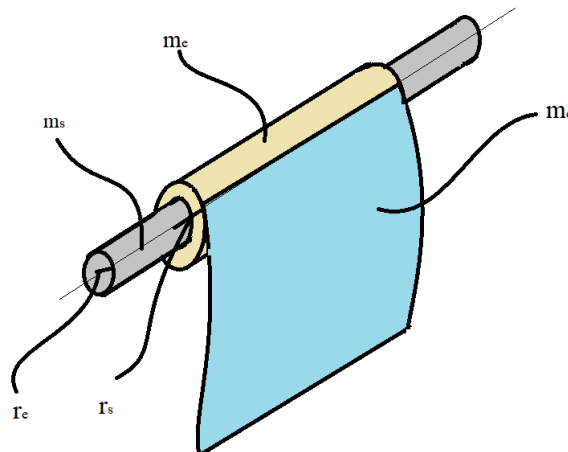


Selección del motor y driver

Para la selección del motor se debe considerar el torque que es capaz de proveer, mismo que debe ser mayor al torque de aceleración del eje M_o , más el torque para levantar la cortina M_c . Para lo cual es importante conocer los datos del mecanismo, tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Datos para calcular el torque del motor



Para calcular el torque de aceleración del eje, se debe considerar la masa del eje m_e , el radio del eje r_e , masa del sujetador de la cortina m_s y el radio del sujetador r_s .

$$\begin{aligned} m_e &= 0.21 \text{ kg} \\ m_s &= 0.36 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_e &= 5 \text{ mm} \\ r_s &= 17.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Se calcula los momentos de inercias:

$$I_e = \frac{1}{2} \cdot 0.21 \text{ kg} \cdot (0.005 \text{ m})^2 = 2.625 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_s = \frac{1}{2} \cdot 0.36 \text{ kg} \cdot (0.0175 \text{ m})^2 = 5.513 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_T = I_e + I_s = 2.625 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 5.513 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 5.775 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

A continuación, se debe calcular la aceleración angular, se debe considerar velocidad de giro $v = 30 \text{ RPM}$, se considera un tiempo de aceleración $t = 0.1 \text{ s}$, esto dependiendo del controlador como explica (Schneider Electric, 2019).

$$\alpha = \frac{3.1415 \text{ rad/s}}{0.1 \text{ s}} = 31.415 \text{ rad/s}^2$$

Se calcula M_o :

$$M_o = I_T * \alpha = 5.775 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 * 31.415 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0.001813 \text{ Nm}$$

Ahora se calcula el torque para calcular torque para levantar la cortina $m_c = 0.123 \text{ kg}$, se debe considerar la masa total, la distancia del centro del eje al borde de la cortina $r_s = 0.0175 \text{ m}$.

$$M_c = 0.123 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0175 \text{ m} = 0.0211 \text{ Nm}$$

Por lo tanto, el torque total es de:

$$M_m = M_o + M_c = 0.001813 Nm + 0.0211 Nm = 0.022913 Nm = 0.2336 kg \cdot cm$$

El motor debe tener un torque mayor a $0.2336 kg \cdot cm$, según (A.M.R, 2010) para evitar sobrecalentamientos, mientras (Oriental Motor USA CORP., 2017) expresa que se debe colocar un factor de seguridad entre 1.5 a 2 del torque calculado. Por lo cual el torque del motor debe ser de $0.3504 kg \cdot cm$.

Otra consideración que se debe tomar, el mecanismo debe poder girar en ambos sentidos, tener un funcionamiento de bajas velocidades, para enrollar y desenrollar la cortina, por lo cual se procede a realizar un análisis de los tipos de motores. Debido al torque requerido, los motores AC y Paso a Paso, poseen un torque muy elevado, mientras que el motor Brushlees tiene un desempeño a mucha velocidad.

Siendo la mejor opción los motores DC, presentando el inconveniente de tener un torque más bajo que el requerido, siendo la solución la utilización de una caja reductora con la finalidad de obtener un torque más elevando y disminuyendo la velocidad máxima. Existiendo los motores reductores, motores DC con una caja reductora incluida comparativa.

Se selecciono un motor reductor con el torque correcto para el sistema, basado en la Tabla 14.

Tabla 14

Selección del motor para el mecanismo de la puerta.

Motores reductores	Velocidades (RPM)	Torque (kg*cm)	Amperaje (mA)
25GA-370 12V1370	1370	0.14	330
25GA-370 12V280	280	0.67	330
25GA-370 12V62	62	3.3	330
25GA-370 12V12	12	16	330
Total	13	13	14

De los motores reductores presentes en la Tabla 14, se seleccionó el 25GA-370 12V280 el cual tiene un torque cercano al valor calculado. Como se puede observar el motor en la Figura 20 y más características del mismo se resumen en la Tabla 15.

Figura 20

Motor 25GA-370 12V280



Tabla 15

Características técnicas del motor 25GA-370 12V280.

Dimensiones	Valor
Torque	0.67 kg*cm
Amperaje	330 mA
Amperaje sin carga	100 mA
Amperaje máximo	1500 mA
Peso	95 g
RPM	280 RPM
Voltaje	12 V

Par la selección del driver para el motor 25GA-370 12V280, debe tener la capacidad de cambio de sentido, control de la velocidad de giro y el amperaje que puede proveer, se lo selecciono mediante la Tabla 16.

Tabla 16

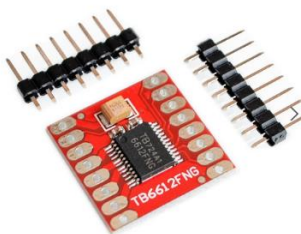
Selección de driver para el mecanismo de la puerta.

Driver	L298N	TB6612FNG	DRV8833	MX1508
Amperaje máximo	4	5	3	3
Frecuencia	3	4	4	3
Tensión máxima	4	4	3	2
Protecciones	4	4	3	3
Tamaño	3	4	4	4
Total	18	21	17	15

Siendo el TB6612FNG el driver seleccionado, como se muestra en la Figura 21, por la capacidad de amperaje de 3 amperios, la frecuencia de trabajo y el poco espacio que ocupa.

Figura 21

Driver TB6612FNG para el control del motor.



Selección de la placa de control del sistema

La placa de control de todo el sistema, debe tener la capacidad de conectarse con el software LabVIEW. Por lo cual se seleccionará la mejor placa, mediante la comparación de los datos técnicos de cada una de ellas, tal como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Características de las placas

Características	Arduino Uno	Raspberry Pi Pico	ESP8266
Voltaje de funcionamiento	5V	1.8V a 5.5V	5V
Pines E/S	14	26	17
Pines PWM	6	16	4
Pines de entrada analógica	6	3	1
Memoria Flash	32KB	2MB	4MB
RAM	2KB	264KB	32KB
Velocidad del reloj	16MHz	133MHz	80MHz/160MHz

Como se puede observar en la Tabla 17, la placa seleccionada es la Raspberry Pi pico como se observa en Figura 22, debido a la cantidad de pines E/S, PWM y analógicos que dispone, de igual manera por su memoria RAM y la velocidad de reloj. Teniendo otras características de importancia como su tamaño, su alto rendimiento y tener un procesador de doble núcleo.

Figura 22

Raspberry Pi Pico como placa de control



Determinar la fuente de alimentación

Para la escoger la capacidad de la fuente, se debe tener en cuenta el amperaje máximo de trabajo y el voltaje que trabaja cada componente. Como se observa en la Tabla 18, los diferentes componentes y las características antes expuestas.

Tabla 18

Valores de amperaje máximo y voltaje de trabajo de los componentes.

Componente	Consumo de Amperaje	Voltaje de trabajo
Motor NEMA17	1.5 A	5 V
Driver DRV8825	0.008 A	8.2 - 45 V
Tira led	2 A	12 V
Motor 25GA-370 12V280	1.5 A	12V
Driver TB6612FNG	0.036 A	3.2 – 40 V
Total	5.044 A	12 V

Como explica (Schneider Electric, 2008) la mayor eficiencia se consigue en que este la carga completa entre el 50% al 70% de la capacidad máxima de la fuente de alimentación. Por lo cual se debe considerar una fuente 1.5 a 2 veces más capacidad del consumo calculado, siendo la fuente un valor entre 7.566 A a 10.088 A. Con esto se seleccionó una fuente de alimentación de 12 V y de 10 A, para que cumpla con un voltaje para el funcionamiento de todos los componentes, y el amperaje recomendado.

Diseño de la estructura metálica

La forma de la estructura seguirá la forma del boceto de la Figura 4, las dimensiones donde se contendrá el sistema se debe tener las siguientes consideraciones, la distancia focal de las cámaras al objeto, la altura del sistema debe ser de un metro de alto, con la finalidad de que este a la altura del brazo robótico. Se selecciono como criterio de construcción que las partes de la estructura estén fijadas por soldadura, como expresa (Cueva de Ingeniería Civil, s. f.), por la gran capacidad de conexión, una gran resistencia a la fatiga y un ajuste más fácil.

El material seleccionado será el acero ASTM A36 según los criterios de (Ferreceros, 2020), debido a la facilidad de soldar, la gran capacidad de conservar su forma y resistencia

mecánica. Se seleccionó un perfil cuadrado como expresa (Alsimet, 2020), por su gran resistencia y fiabilidad, además por su facilidad de soldadura a comparación de otro perfil.

Las dimensiones del perfil cuadrado se pueden observar en la Figura 23, para el diseño se utilizará el perfil más pequeño el cual es de 20mm y un espesor de 1.5mm.

Figura 23

Tamaños existentes del perfil cuadrado

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52

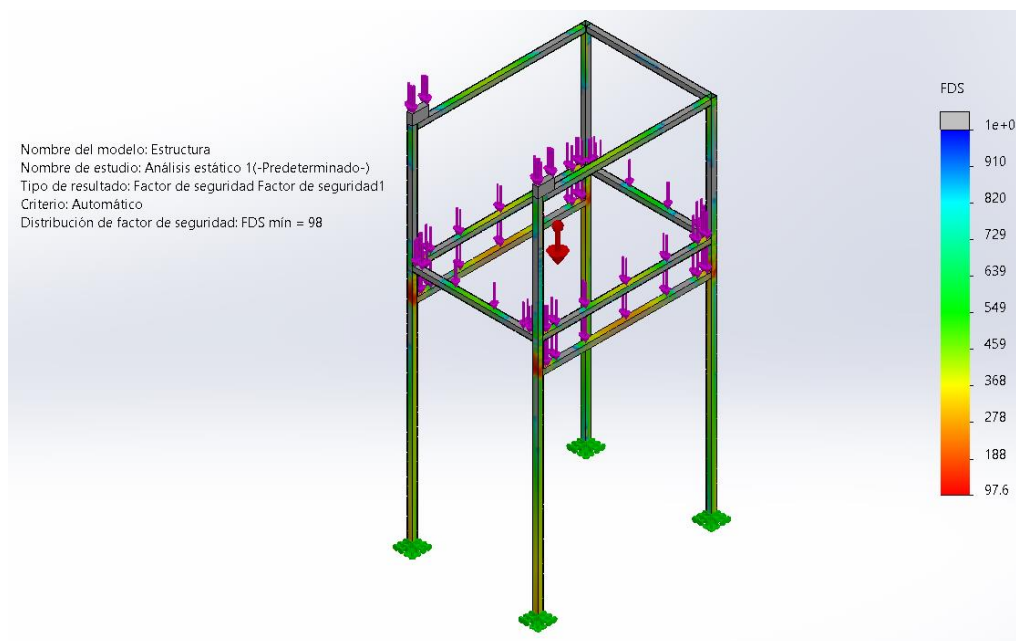
Nota. Dimensiones estandarizadas del perfil cuadrado. Tomando de (DIPAC, s. f.).

Se realizará un análisis de factor de seguridad de la estructura, para lo cual se debe considerar las cargas a la que está sometida, las cuales son el propio peso de la estructura, el peso del sistema de apertura y cierre de la cortina, el peso del sistema de rotación con la pieza y peso de los demás componentes.

Se realizó un estudio estático del factor de seguridad, como se observa en la Figura 24. Que determina que el factor de seguridad es de 98, lo que representa que se encuentra sobre dimensionado.

Figura 24

Análisis CAE del factor de seguridad de la estructura mecánica



Este valor se debe al poco esfuerzo que está sometida a la estructura, se trabaja con las dimensiones especificadas debido a que es el perfil de menores dimensiones y el material es el seleccionado para este tipo de estructuras como lo expresa (Ferreaceros, 2020).

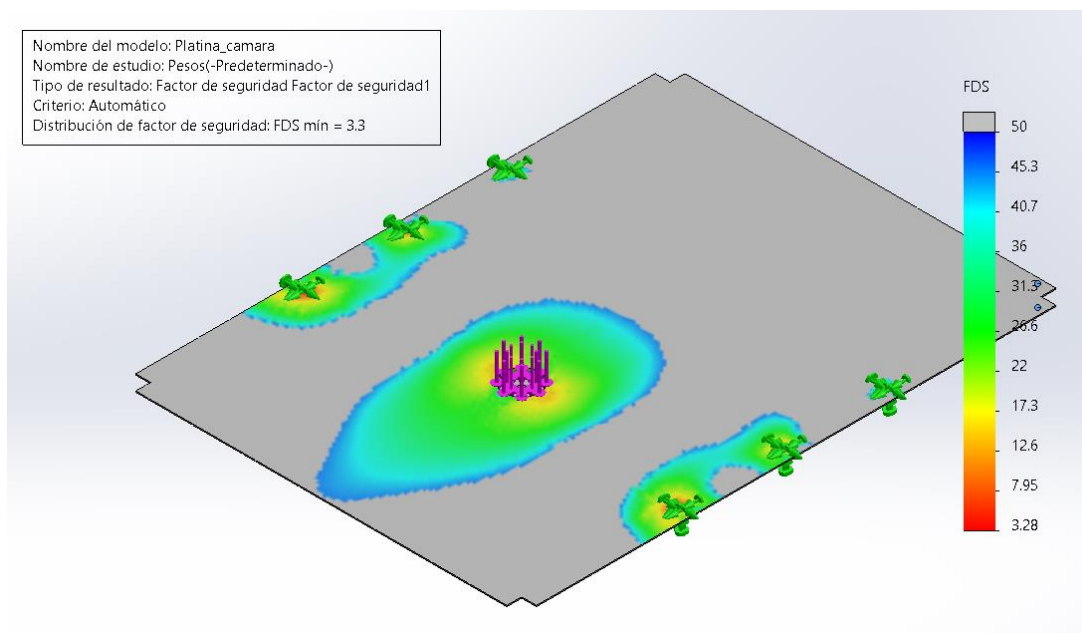
Las dimensiones totales de la estructura son las que se puede observar en el Anexo 1.

Otro componente importante es la plancha que sostendrá todo el sistema de rotación, la misma que se debe pintar de color negro como se especifica en los parámetros de diseño. El material seleccionado para la platina es de aluminio 1060 templado H18 como especifica (Aymet, 2020), debido a tener una buena resistencia, no ser afectado por corrosión y se ligero a comparación de otros materiales.

Al analizar el factor de seguridad como se observa en la Figura 25, se puede determinar que el espesor correcto es de un 1.5mm, en la cual se puede observar que el factor de seguridad es de 3.3, cumpliendo con las condiciones que especifica en (Vidosic, 1957).

Figura 25

Análisis CAE del factor de seguridad de la platina.



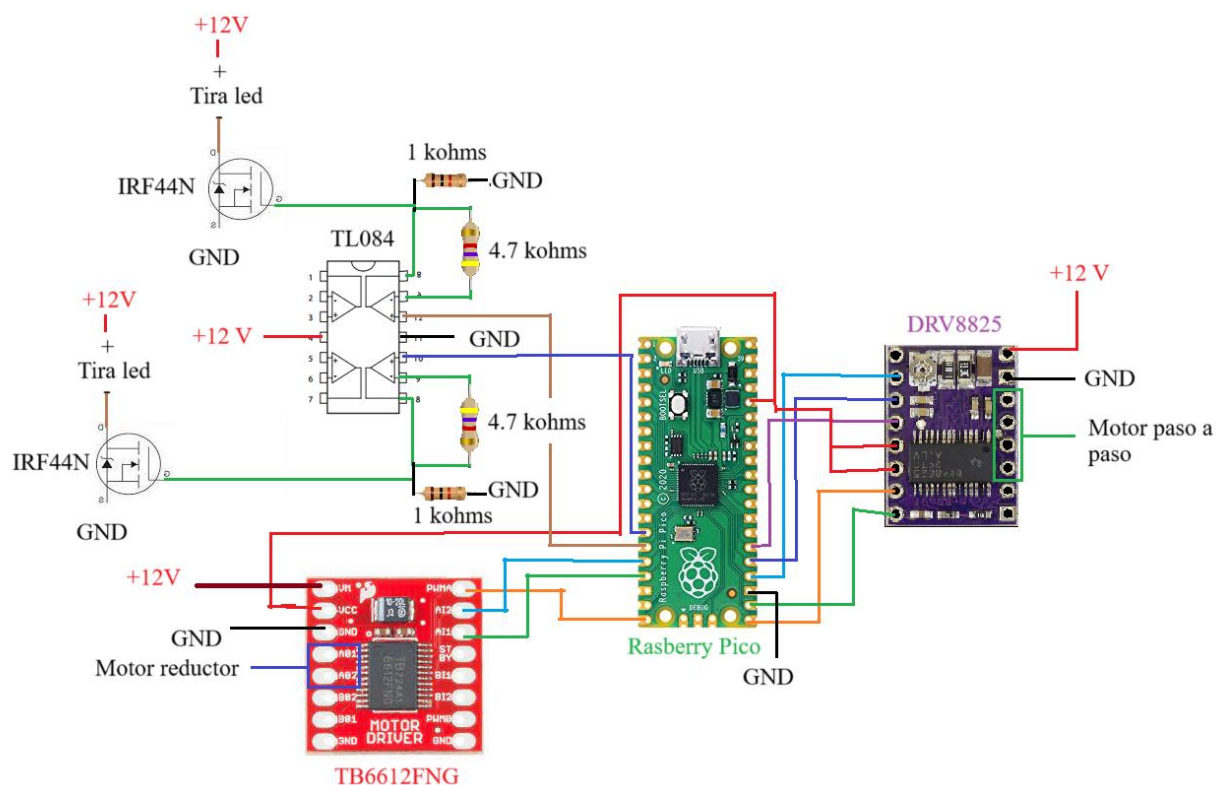
En cuanto a las dimensiones de la plancha estas se pueden observar en el Anexo 2.

Diseño del sistema eléctrico y electrónica

Se debe realizar la conexión de la Raspberry Pico con los drivers DRV8825 y TB6612FNG, para el control de los motores paso a paso y el motor reductor. Mientras que para el control de iluminación se la realizara los MOSFET IRF44N, pero se debe realizar una etapa de amplificación de la señal que es enviada desde el controlador, para esto es utilizada el amplificador operacional TL084, en una configuración de amplificador no inversor, con un valor de 1 a 5.7 veces la señal que ingresa. Toda estas conexiones se puede observar en la Figura 26.

Figura 26

Diagrama de conexiones de eléctrica/electrónica de la estación



Programación del controlador

Para controlar todos los componentes se seleccionó un modo de programación por comunicación serial. Tal como se muestra en la Figura 27, al iniciar se espera recibir una serie de datos de 4 caracteres, los mismos que se separan en 3 variables (a,b,c).

Posterior a esto se procede a realizar una comparación de la variable "a", si el valor de esta variable es 1 se controlará el motor paso a paso del sistema de rotación, se activa las salidas del controlador para el modo de micro pasos 1/16. Se compara la variable "b" si es igual a 1 se activa la salida digital para poner el sentido de giro horario, pero si el valor es igual 2 el sentido de giro será antihorario. Posterior a esto se convierte el valor de la variable "c", en micro pasos que realiza el motor.

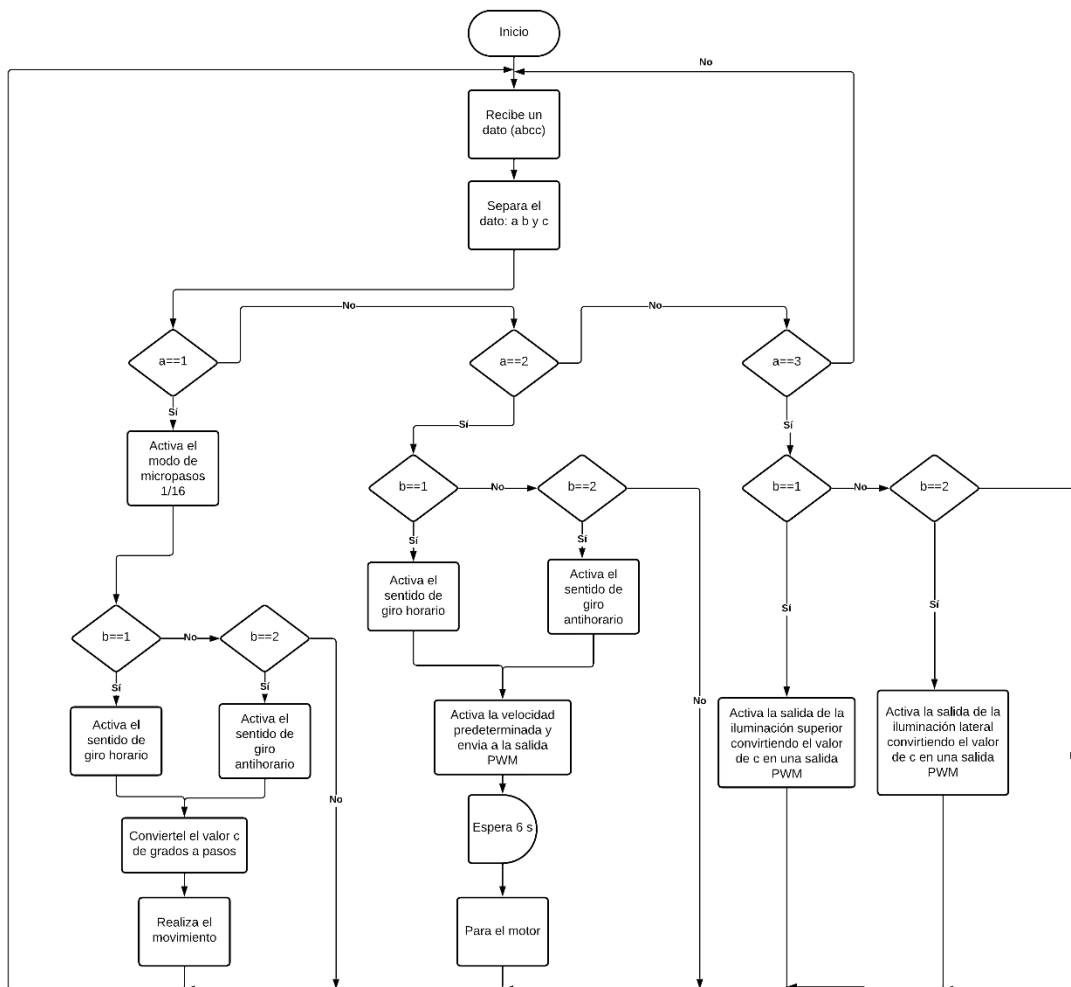
Si el valor de la variable “a” es 2, se controla el motor para sistema de la cortina. Se compara la variable “b” si el valor es 1, se activa las salidas digitales para poner el sentido de giro del motor horario, después se activa la velocidad establecida para el motor, se mantiene la velocidad durante 6 segundos, después se para el motor. Sin embargo, si el valor de “b” es 2, se configura para el sentido de giro del motor sea antihorario, y realizando el mismo proceso.

Por último, si el valor de la variable “a” es 3, se controla el sistema de iluminación. Se compara si la variable “b” es de valor 1, se activa la salida PWM para la iluminación superior, el valor de PWM se obtiene del valor de la variable “c”. Mientras que, si el valor de la variable “b” es de valor 2, se activa la salida PWM en la iluminación lateral, y realizar la misma conversión que se realiza en la variable “c”.

Esta programación se realizó en el software Thonny, el cual se utilizó el lenguaje de programación de MicroPython. La programación total se observa en el Anexo 3.

Figura 27

Diagrama de la programación del controlador.

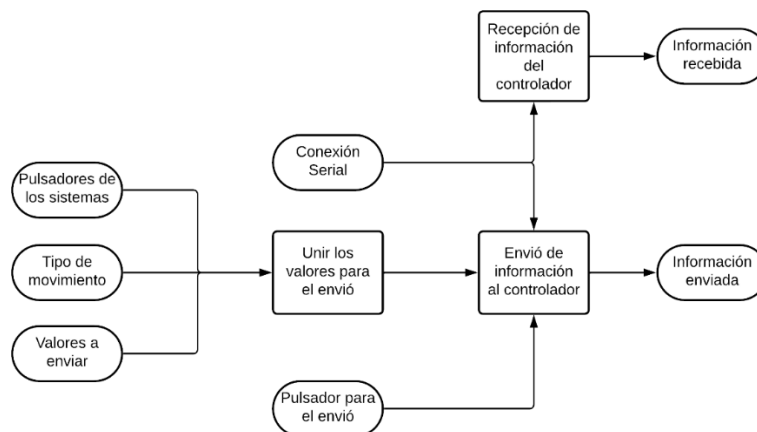


Programación de la estación

Se realiza la programación en LabVIEW, mediante la comunicación serial se envía y recibe la información del controlador, tal como se ve en la Figura 28. La programación completa de LabVIEW se puede observar en el Anexo 4.

Figura 28

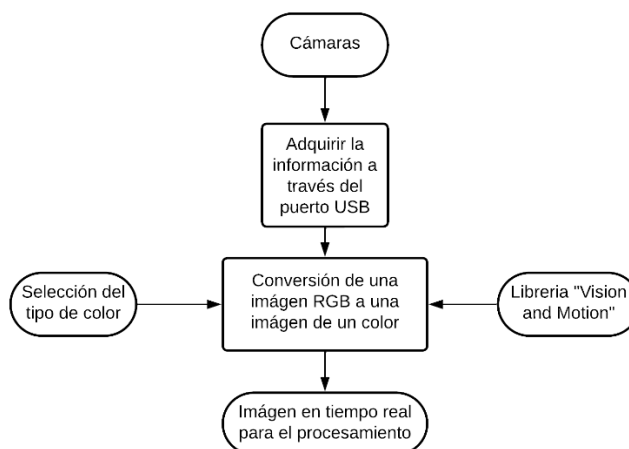
Diagrama de la programación en LabVIEW del control de la estación



Para el proceso de control de calidad, primer se debe adquirir las imagen de las cámaras, se utiliza la librería "Vision and Motion", para lo cual se inicia la adquisición de la información de las cámaras, se procede a realizar un procesamiento de la imagen para poder ser analizada posteriormente en las diferentes mediciones, como se puede observar en el diagrama de la Figura 29.

Figura 29

Diagrama de conexión de cámaras en LabVIEW



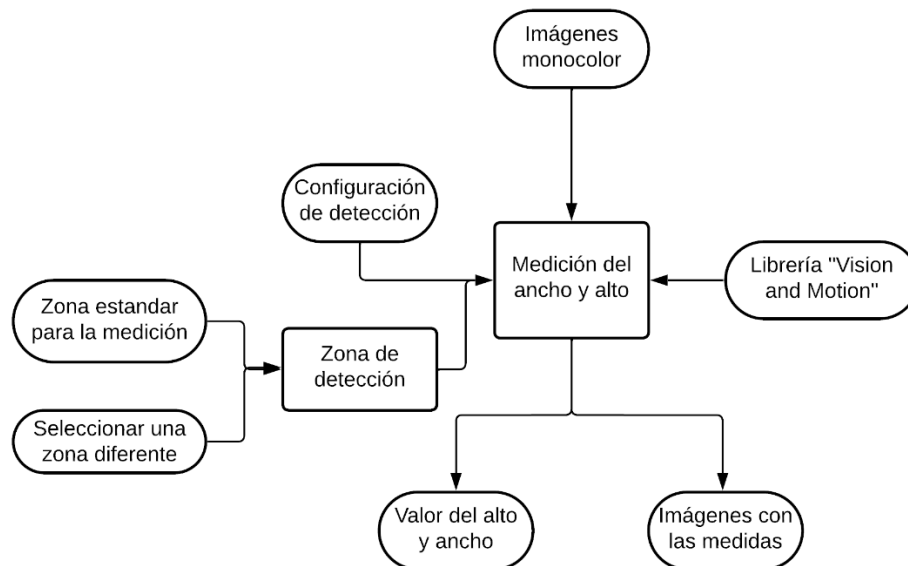
Se realiza la medición del ancho y alto, como se muestra el diagrama de programación en la Figura 30. Para realizar esto se toma la imagen procesada anteriormente.

Se utiliza un bloque de la librería "Vision and Motion", que utiliza el cambio de contraste en las imágenes para determinar puntos, con los mismo calcula la distancia de pixeles que existen en el ancho y alto. Estos puntos solo se determinarán por la zona de detección, la misma que se puede cambiar.

Dando como respuesta de este proceso el valor del ancho y alto, teniendo una imagen con la información de medición. La programación completa de la medición en LabVIEW se puede observar en el Anexo 5.

Figura 30

Diagrama de medición del ancho y alto de las piezas



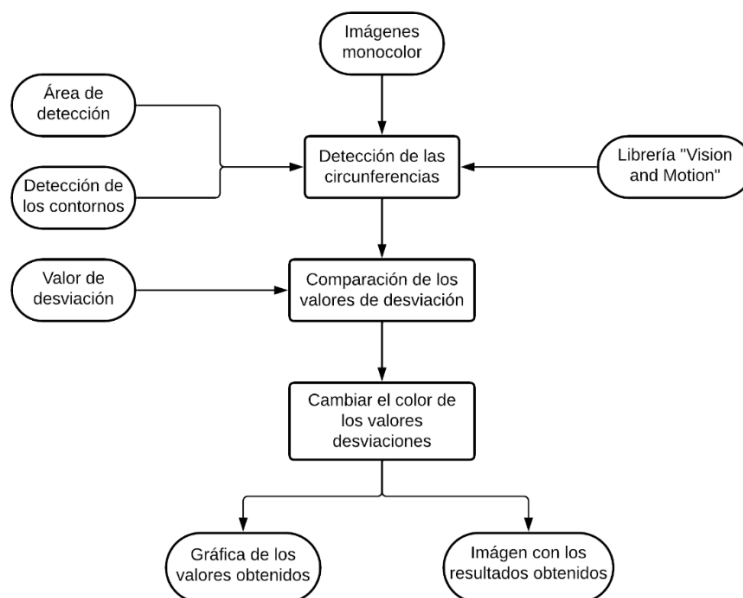
Otro aspecto que se puede realizar es la detección de circunferencias y determinar si estas presentan imperfecciones en su perímetro, la misma que presenta el valor de desviación

de cada pixel que lo conforma en una gráfica. Lo cual se puede observar el diagrama de programación en la Figura 31, la programación se puede observar en el Anexo 6.

El proceso empieza con la imagen antes procesada, se extrae la circunferencia, del área de detección determinada y el modo de la detección de los contornos, se compara estos valores obtenidos con el valor aceptable en la desviación de una circunferencia perfecta. Con esa información se cambia el color de los pixeles que tiene una desviación mayor a que nosotros aceptamos, se cambia el color verde a un color rojo. Esta información se presenta en una imagen sobre la misma pieza.

Figura 31

Diagrama de detección de circunferencias y su desviación

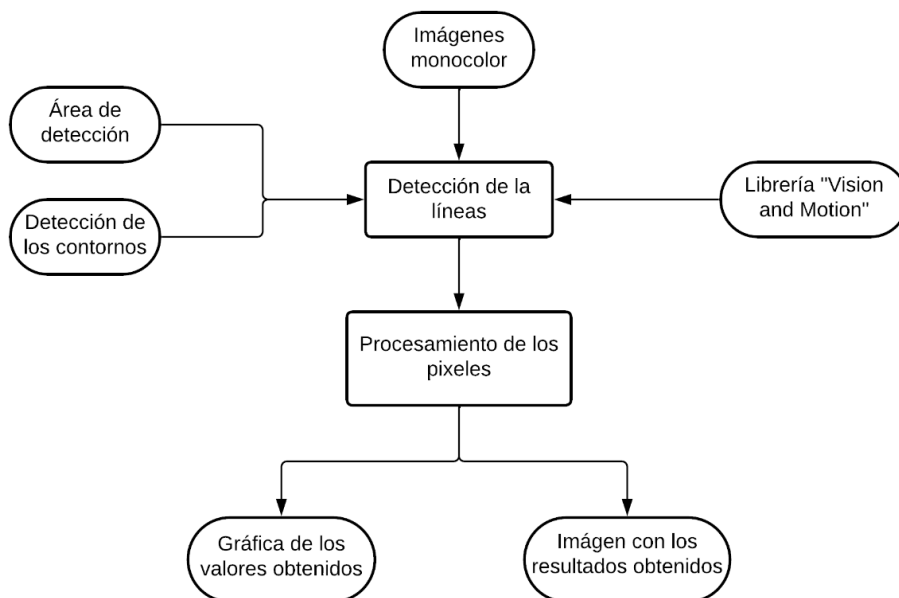


Como último punto se puede determinar la linealidad de un contorno en específico, esto se lo realizo mediante la utilización de la librería, con el área de detección de los contornos y de la forma que se detectan los contornos, siendo la forma esta por direcciones de superior a inferior, derecha a izquierda y viceversa. Se presenta la misma imagen la línea detectada y en

una gráfica se presenta las valores de la desviación que existan, tal como se muestra en el diagrama de la Figura 32. La programación completa se puede dirigir al Anexo 7.

Figura 32

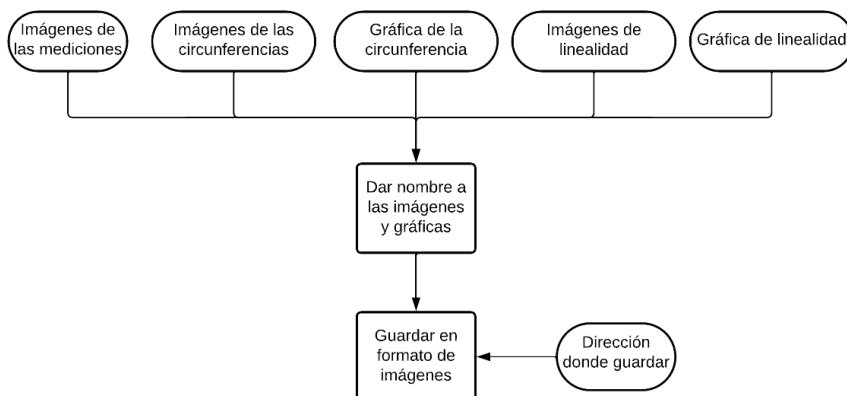
Diagrama de detección lineal y su desviación



Una realizado todo el proceso de detección de medidas, circunferencias y linealidad, se guarda la información de las imágenes, para los cuales se debe dar un nombre a las imágenes, de igual manera se pone la dirección donde se va a guardar. Tal como se puede observar en el diagrama de la Figura 33.

Figura 33

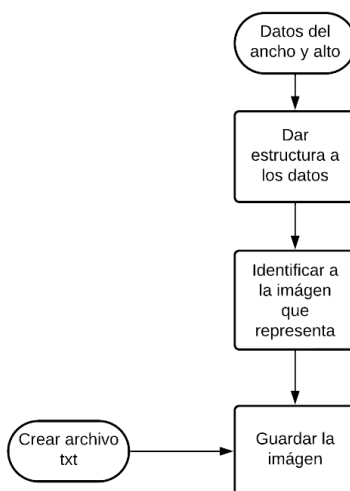
Diagrama de guardado de imágenes y gráficas.



Para guardar la información del ancho y alto de las imágenes tomadas se guarda en documento de texto creado por el usuario, en la dirección que se desea. Tal como se puede observar el diagrama en la Figura 34, mientras que la programación completa para guardar toda la información se encuentra en el Anexo 8.

Figura 34

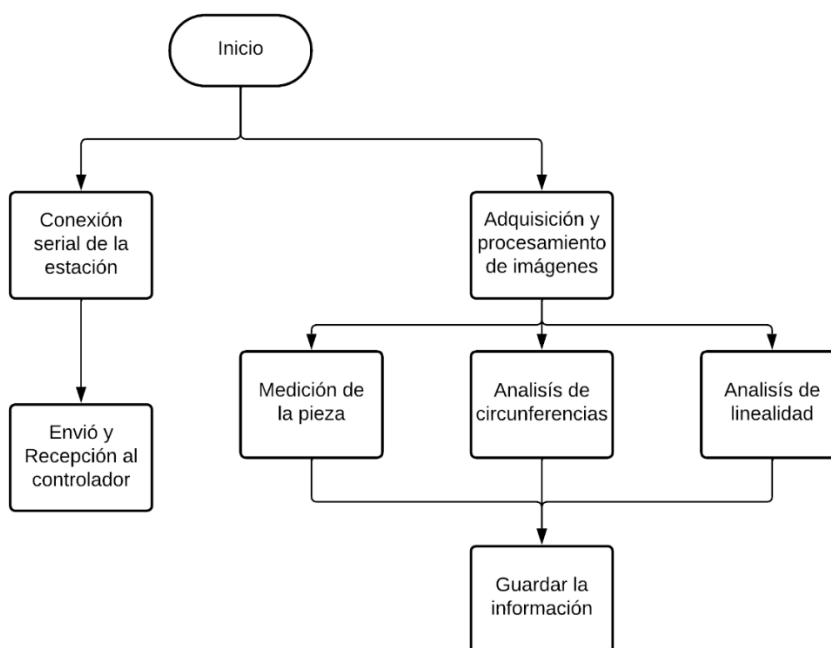
Diagrama de guardado de datos de la medición.



La programación completa de LabVIEW, es la integración de todas las partes antes expresadas, en un mismo ciclo de trabajo, la integración de todo esto se debe seguir como se muestra en el diagrama en la Figura 35.

Figura 35

Diagrama de la programación de la estación.

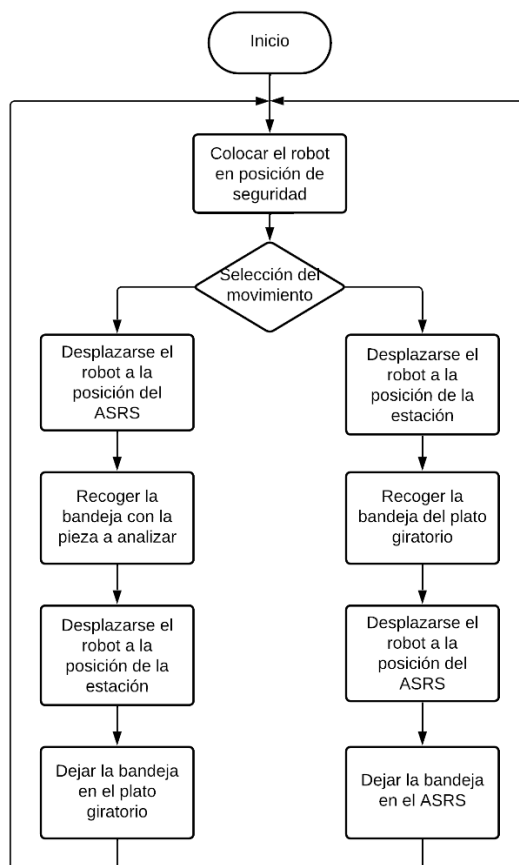


Programación para el funcionamiento indexado al CIM

Para el funcionamiento indexada en el CIM, se realiza como primera parte la programación del brazo robótico y el movimiento del sexto eje. Todo esto con la finalidad de recoger las piezas desde el ASRS a la estación y viceversa. Siguiendo el diagrama de movimientos como se muestra en la Figura 36.

Figura 36

Diagrama del funcionamiento del brazo robótico.



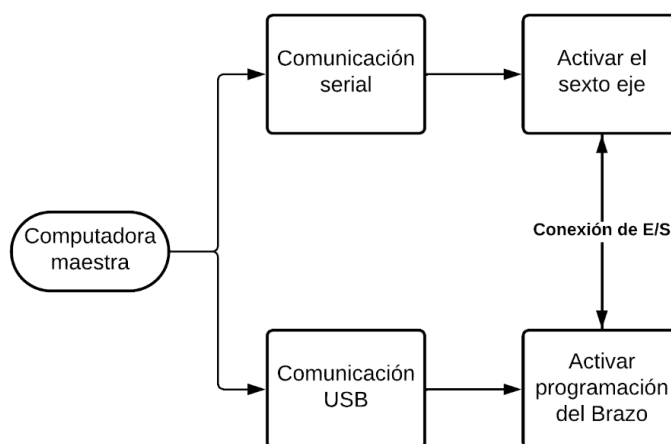
Con la secuencia que debe cumplir el brazo robótico, se procede a programar los movimientos para lograr el funcionamiento de recoger y dejar la bandeja de la pieza del ASRS a la estación y viceversa. Estos movimientos se programan en el software Scorbace mediante la programación guiada por el operador, con esto se procede a realizar toda la secuencia de los puntos creados, se crean cada secuencia de movimientos separadas y que sean activadas por las entradas digitales existentes en el controlador. Se puede observar la programación del Scorbace en el Anexo 9.

A continuación, se debe programar el sexto eje, el cual se debe desplazar a las posiciones del ASRS a la de la estación y viceversa. Pero estos movimientos deben ser realizado antes y después de acabar todos los movimientos del brazo robótico como se muestra en la Figura 36.

Para desplazar el sexto eje se realiza mediante la comunicación serial, la activación del movimiento del brazo robótico y el desplazamiento final del sexto eje, se utilizan las entradas y salidas digitales del controlador del robot, y la entradas y salidas del controlador del sexto eje. Como se puede observar en el diagrama presente en la Figura 37.

Figura 37

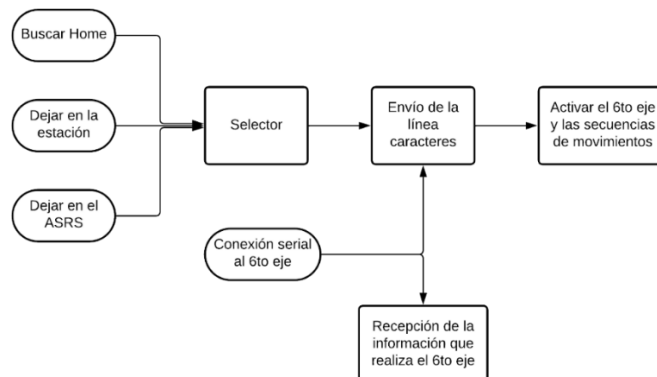
Diagrama de funcionamiento del brazo robótico/sexto eje.



Para lo cual la programación de control de la comunicación serial, se la realiza desde LabVIEW, enviando línea de caracteres predeterminados para realizar tres opciones, las cuales son buscar Home, recoger la bandeja del ASRS y dejar en la estación, y viceversa. Como se puede observar en el diagrama de la Figura 38, mientras que la programación completa en LabVIEW en el Anexo 10.

Figura 38

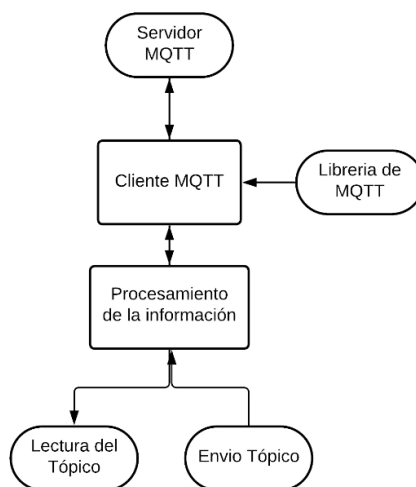
Diagrama del control del 6to eje y del brazo robótico.



En la intercomunicación de estaciones se procede a realizar una comunicación MQTT, para lo cual en el programa LabVIEW se crea un cliente que se conectara al servidor propio del CIM, el mismo que enviara el tópicos para el inicio de la estación de escaneo y recibir el tópicos al finalizar el proceso. Como se puede observar en el diagrama de la Figura 39. La programación completa está en el Anexo 11

Figura 39

Diagrama de la comunicación MQTT.



Capítulo III

Implementación y Pruebas

Como primer punto se construyó la estructura metálica, de la misma manera el soporte del sistema de rotación siguiendo las condiciones de diseño. Para cumplir con la finalidad de ser un ambiente controlado se colocó planchas de madera MDF de color negro en la parte interna, tal como se puede observar en la Figura 40.

Figura 40

Estructura de la estación de control de calidad

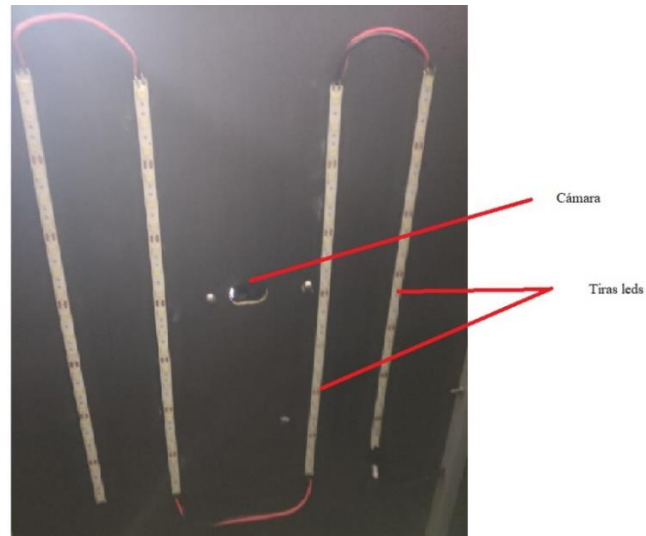


A continuación, se procede a realizar la instalación de las tiras led y la ubicación de las cámaras, siguiendo los parámetros de diseño, para iluminación se realiza una distribución de las tiras led para crear una condición de iluminación difusa y ubicando la cámara en el centro de la iluminación, como se muestra en la Figura 41.

Esta forma de distribución se aplicó en la parte superior y lateral de estación, como se determinó en los parámetros de diseño.

Figura 41

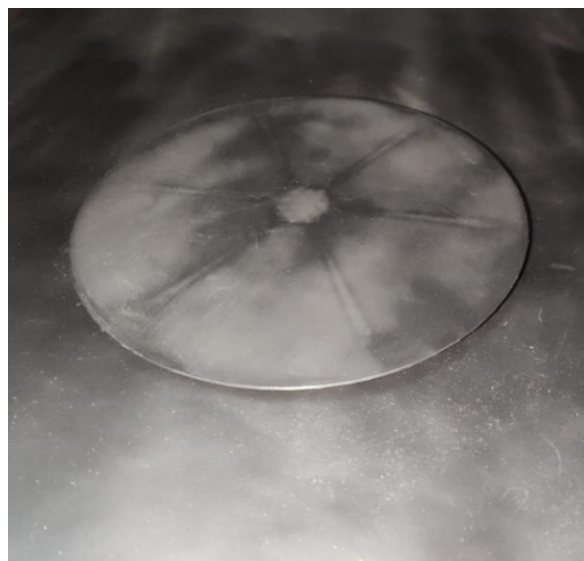
Formato de la ubicación de las tiras led y la cámara.



Una vez colocada la iluminación se procede a pintar el soporte del sistema de rotación y colocar todo el sistema de rotación de la pieza, como se puede observar en la Figura 42. Según el análisis en el diseño del sistema de rotación.

Figura 42

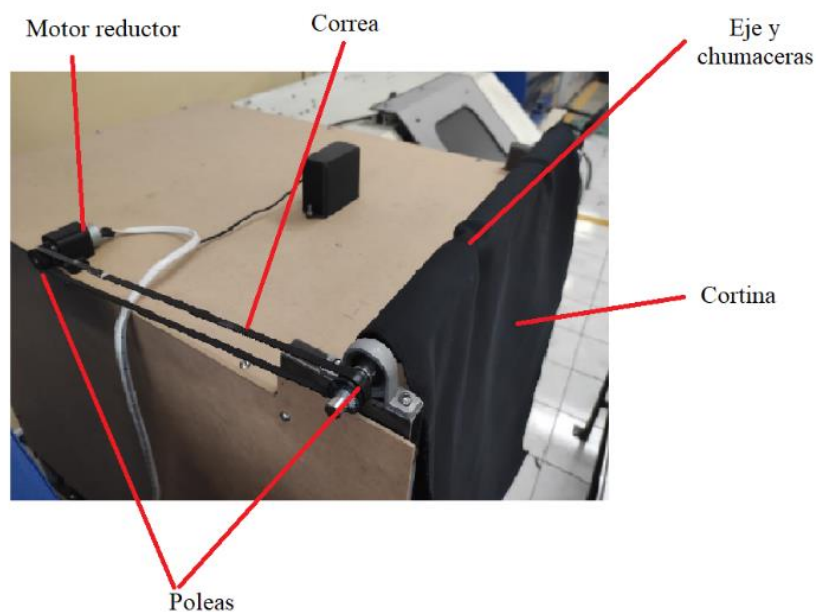
Colocación del sistema de rotación



A continuación, se procedió a colocar el sistema de apertura y cierre de la cortina como se puede observar en la Figura 43.

Figura 43

Sistema de apertura y cierre de la cortina



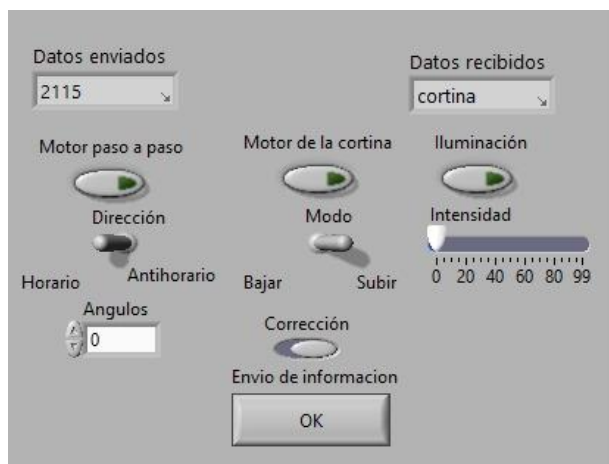
Cabe recalcar que las poleas tienen una relación de 1:1 ya que el motor tiene la capacidad de activar el sistema sin la necesidad de realizar una reducción de velocidad. La correa y las poleas son GT2, que son dentadas con una separación de cada diente de 2 mm.

Instalado los sistemas de la estación son conectados siguiendo el diagrama eléctrico/electrónico presente en la Figura 26.

Para finalizar se realiza la programación de la estación en el programa LabVIEW, creando el panel de control de los diferentes sistemas de la estación como se puede observar en la Figura 44.

Figura 44

Panel de control de la estación

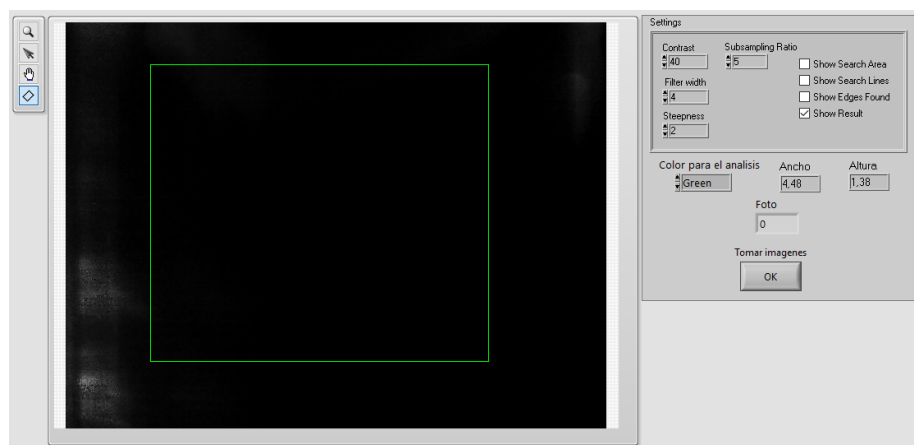


En este panel se controlará los 3 sistemas, para activar uno de ellos se debe seleccionar el botón indicado, si selecciona el motor paso a paso, se controlará el sistema de rotación, con la posibilidad de seleccionar la dirección y el ángulo que desea rotar.

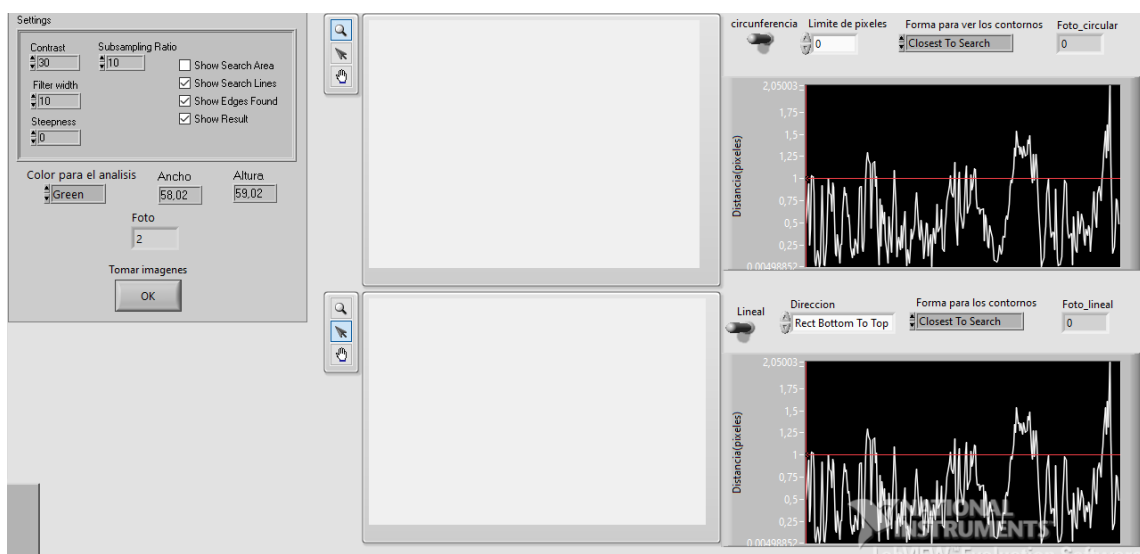
Si selecciona el motor de la cortina, se controlará el sistema de apertura y cierre de la cortina, pudiendo seleccionar que suba o baje, y si exista un error en las posiciones finales se puede realizar correcciones pequeñas de posicionamiento, activando el switch con el mismo nombre.

Por último, en la selección de la iluminación, se permite controlar la intensidad de la misma, mientras que la selección si es el panel superior o lateral se lo realiza de manera automática dependiendo de la cámara que se está utilizando en el momento, que se presenta en la panel de visión artificial.

En el panel de medición como se presenta en la Figura 45. donde esta una presentación de la imagen en tiempo real de la cámara, con el procesamiento seleccionado en el panel de configuración presente a la derecha.

Figura 45*Panel de medición*

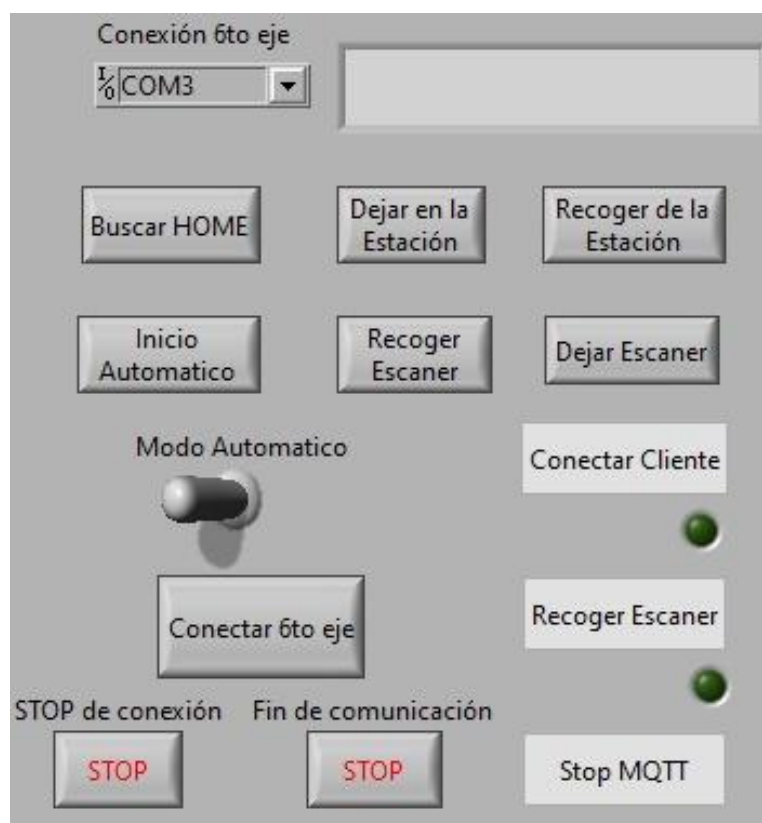
Se presenta los paneles detección de circunferencias y líneas de contorno, como se puede observar en la Figura 46. Para acceder a cada uno de estos modos se debe activar los switch. A demás se puede configurar los parámetros de detección de cada modo, así como la presentación de la información de desviaciones en graficas de cada caso.

Figura 46*Panel de detección de circunferencia y líneas de contorno.*

Por último, se tiene el panel de la comunicación para la manipulación del brazo robótico, el sexto eje y la estación de escaneo, como se puede observar en la Figura 47. Teniendo botones para la conexión del sexto eje, conexión con el cliente de MQTT, botones para utilizar el brazo robótico, y la activación automática para el funcionamiento del CIM.

Figura 47

Panel de comunicación



Calibración

Una vez realizado la implementación de todas las partes, se procede a realizar una transformación de los resultados en pixeles a milímetros.

Se obtiene el valor de pixeles de piezas con medidas conocidas, se creó una tabla que relaciona estos valores como se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19

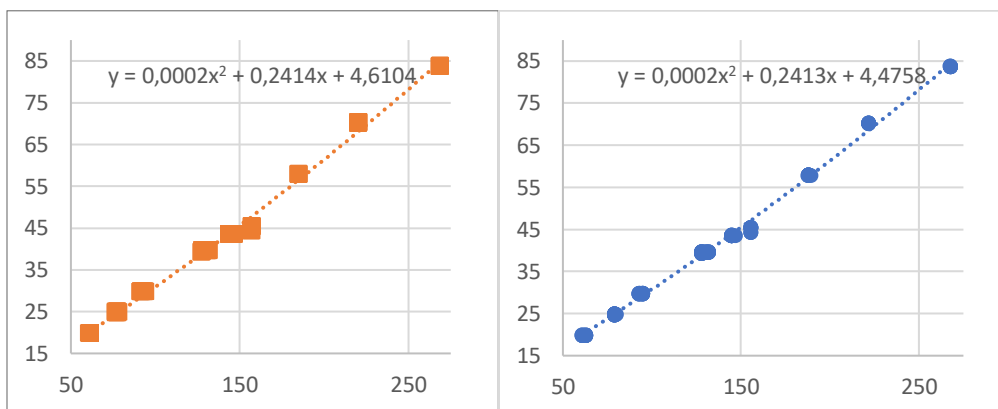
Valores de pixeles y milímetros en piezas conocidas.

Ancho				Alto			
Pixeles	Milímetros	Pixeles	Milímetros	Pixeles	Milímetros	Pixeles	Milímetros
127.601	39.31	267.44	83.66	220.646	70.35	185.135	57.98
127.65	39.38	267.6	83.78	220.554	70.25	185.198	57.95
127.703	39.31	267.568	83.66	220.572	70.35	185.212	57.98
127.659	39.66	267.575	83.78	220.572	70.1	185.175	57.95
127.68	39.31	267.44	83.71	220.529	70.35	185.204	57.85
127.674	39.66	187.668	57.85	220.507	70.1	268.805	83.71
127.655	39.38	187.698	57.98	220.624	70.25	268.701	83.66
221.674	70.35	187.793	57.95	127.947	39.31	268.84	83.78
221.649	70.1	187.627	57.95	128.588	39.66	268.85	83.78
221.6412	70.25	189.2577	57.85	127.85	39.38	268.686	83.71
221.642	70.35	144.8	43.51	127.684	39.31	143.8	43.51
221.538	70.1	144.8	43.52	127.78	39.66	143.8	43.52
130.179	39.7	146.8	43.52	157.584	45.45	143.8	43.52
131.73	39.59	144.8	43.51	156.956	44.34	146.797	43.51
131.705	39.52	144.8	43.52	157.477	45.35	146.8	43.52
131.643	39.7	144.8	43.52	157.477	45.45	146.8	43.52
131.73	39.52	62.637	19.77	157.614	45.35	61.643	19.77
129.7719	39.7	62.625	19.78	156.914	45.45	61.62	19.78
155.448	45.45	62.642	19.82	131.815	39.7	61.672	19.82
155.474	44.34	62.665	19.87	131.108	39.59	61.668	19.87
155.449	45.45	62.652	19.77	131.213	39.7	61.659	19.77
267.605	83.71	60.726	19.78	185.131	57.85	61.64	19.78
60.733	19.82	94.725	29.7	61.628	19.82	77.748	24.85
60.696	19.87	94.731	29.82	61.663	19.87	77.782	24.95
60.705	19.77	94.726	29.83	61.647	19.77	91.658	29.7
60.723	19.78	92.79	29.71	61.647	19.78	91.986	29.82
78.766	24.71	92.747	29.7	77.258	24.71	92.429	29.83
78.751	24.85	92.6727	29.71	76.692	24.85	93.609	29.71
78.748	24.95	94.599	29.7	77.584	24.95	92.647	29.7
78.755	24.82	78.769	24.85	77.772	24.82	94.44	29.71
78.755	24.71	78.759	24.95	77.775	24.71	93.643	29.7

Con estos datos se obtiene puntos en un plato XY, siendo X el número de pixeles y Y el valor de milímetros medidos, a los que se aplicó regresión polinomial de segundo orden o lineal, todo con la finalidad de que los valores se acerquen a los reales, esto con la medida del ancho y alto, como se muestra en la Figura 48.

Figura 48

Puntos de relación de pixeles y milímetros en la medición del alto y ancho.

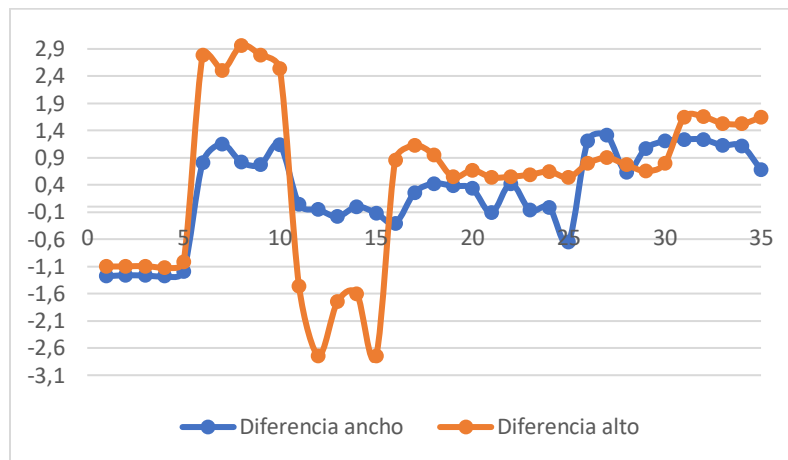


Una vez obtenida la ecuación de regresión lineal/polínomial, se aplica en la programación para obtener como resultado de la medición, el valor de ancho y alto en milímetros. Cabe recalcar que este proceso se debe realizar en las 2 cámaras de manera idéntica, la cual se obtuvieron resultados diferentes tanto entre el ancho y alto, como entre cámaras.

Una vez ingresadas las ecuaciones, para obtener la medición en milímetros, se comprueba la exactitud de la medición, tal como se muestra en la Figura 49, se presenta la diferencia entre lo real y lo obtenido por la medición del control de calidad.

Figura 49

Comprobación de la exactitud de la medición

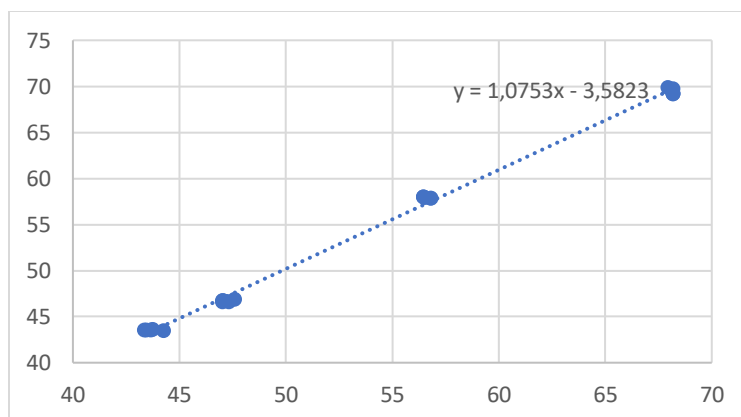


Se puede observar que tiene un diferencia es muy grande entre lo medido por las cámaras y lo real, siendo esta diferencia de 3mm máximos y mínimo de 0.5 mm, para lo cual no es aceptable ese error.

Posterior a esto se realizó una reconfiguración, con los datos obtenidos para que la exactitud de medición mejore, se realizó otra interpolación de los datos, tal como se muestra en la Figura 50. Con lo cual se procede a realizar la corrección con esta ecuación.

Figura 50

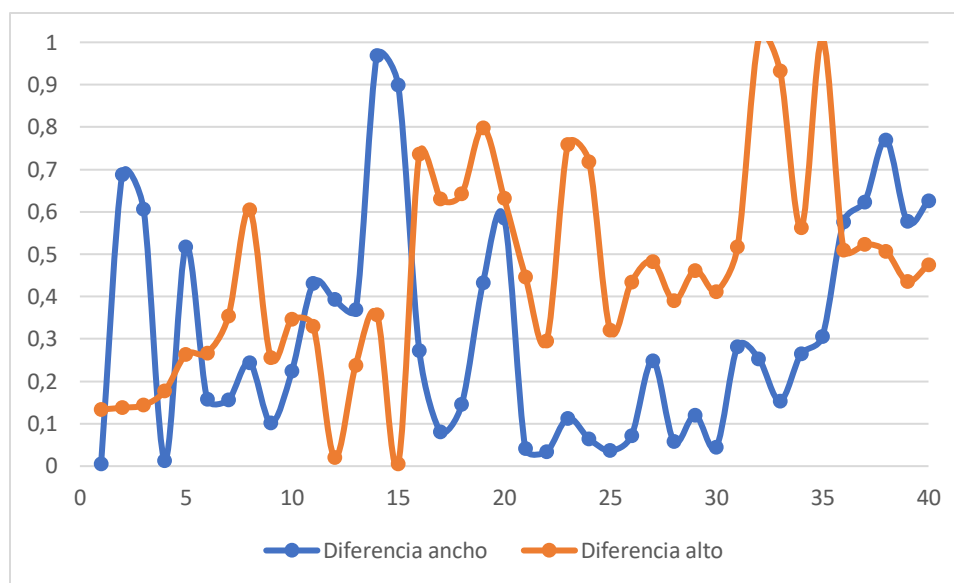
Corrección de la medición de la cámara superior.



Ingresada esta ecuación en el proceso se obtiene la siguiente exactitud como se puede observar en la Figura 51. De la medición de varias piezas y varios parámetros.

Figura 51

Exactitud después de la corrección



Con la corrección del proceso se puede observar que la exactitud mejoro teniendo un valor máximo de 1mm a tener un valor mínimo cercano a cero.

Pruebas

Se realizaron pruebas de diferentes tipos para reconocer el comportamiento de la estación, así determinar las condiciones de funcionamiento en la indexado al CIM, como se muestra a continuación.

Pruebas de configuración de parámetros del material

En estas pruebas se determinará la configuración de parámetros, para que la medición sea más exacta, estos valores dependerán del material y color de la pieza. Estos parámetros son: La iluminación, el contraste, el submuestreo, el filtrado y el formato del espectro del color.

Con lo cual se realizó pruebas para pieza de plástico de color azul, con lo que se probó diversas configuraciones de parámetros como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Pruebas de los parámetros para la pieza de color azul.

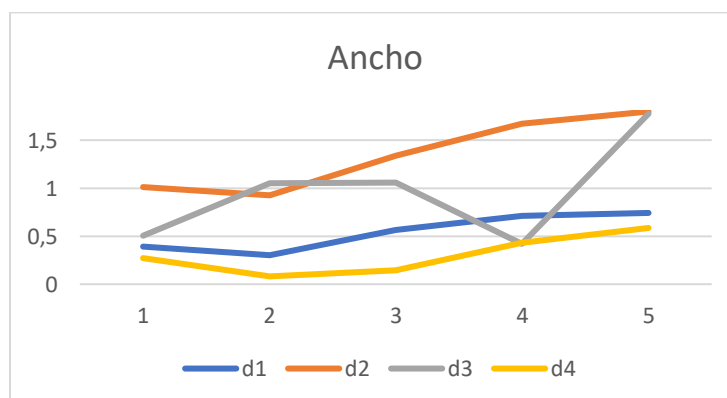
Parámetros	Prueba 1 (d1)	Prueba 2 (d2)	Prueba 3 (d3)	Prueba 4 (d4)
Contraste	40	40	60	60
Submuestreo	15	15	15	5
Filtrado	20	5	5	5
Formato del espectro del color	Azul	Azul	Azul	Azul
Iluminación	70	70	40	40

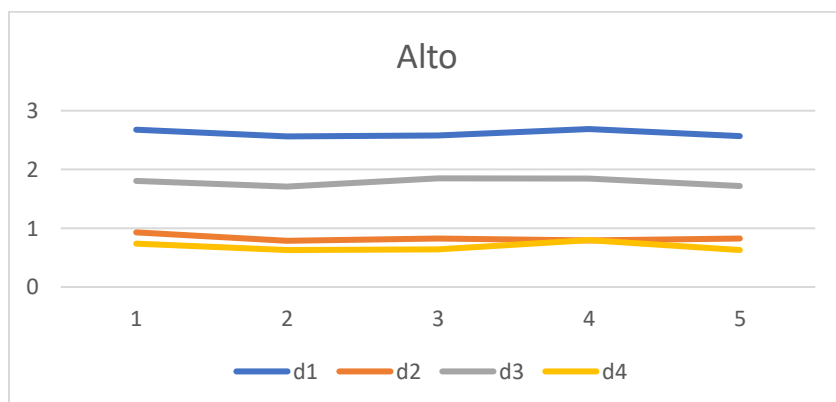
Con estos parámetros se realizó 5 tomas de imágenes como lo expresa (Becerra, 2004), teniendo una desviación estándar máxima de los valores de 36%, por cada prueba, se puede ver la diferencia entre el valor medido y el valor real del objeto en el ancho y alto. Como se puede observar en la Figura 52. La mejor configuración para este tipo de material y color, sabiendo que la mejor es la configuración de la prueba 4.

Esta configuración es la mejor debido a que la diferencia tanto en el ancho como alto, es la menor de todas las pruebas, siendo en ancho y alto de 0.5mm a menor.

Figura 52

Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza azul.





Se realizó el mismo procedimiento para una pieza de aluminio, con la Tabla 21 se ve las configuraciones de parámetros de la prueba.

Tabla 21

Pruebas de los parámetros para una pieza de aluminio.

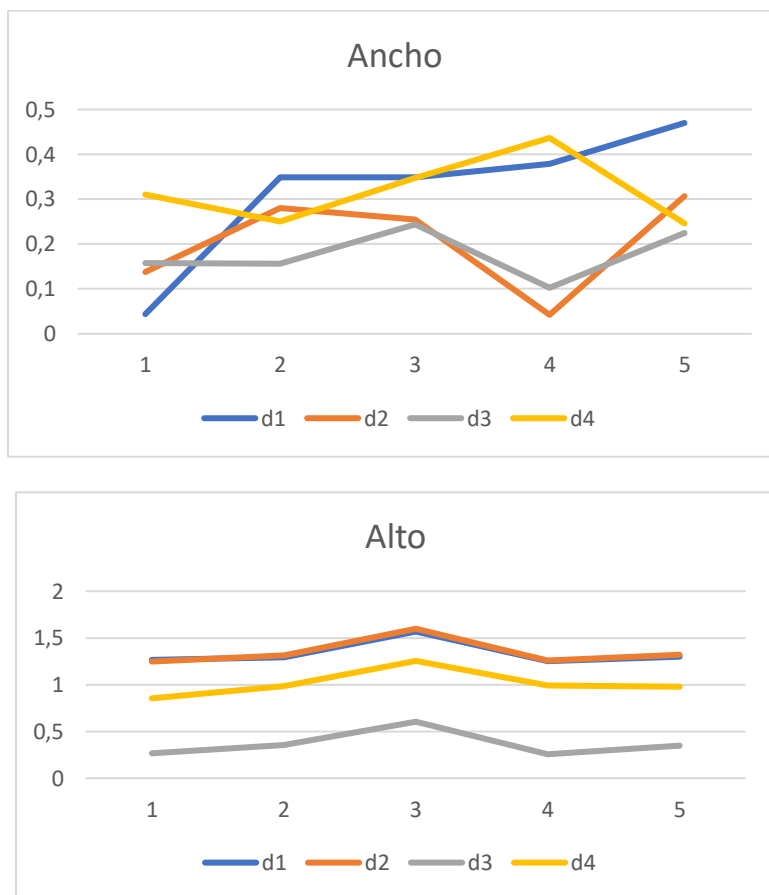
Parámetros	Prueba 1 (d1)	Prueba 2 (d2)	Prueba 3 (d3)	Prueba 4 (d4)
Contraste	60	60	60	60
Submuestreo	10	15	15	5
Filtrado	10	10	15	5
Formato del espectro del color	Value	Value	Value	Value
Iluminación	60	60	60	50

Se puede observar en la Figura 53, que la mejor configuración para detectar este tipo de material es con la configuración de la prueba 3.

Esta configuración es la mejor debido a que la diferencia tanto en el ancho como alto, es la menor de todas las pruebas, siendo en ancho de 0.3mm a menor, mientras que el alto de 0.5mm a menor.

Figura 53

Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza de aluminio.



Se realizo el mismo procedimiento para una pieza de plástico de color verde, con la Tabla 22 se ve las configuraciones de parámetros de la prueba.

Tabla 22

Pruebas de los parámetros para una pieza de color verde.

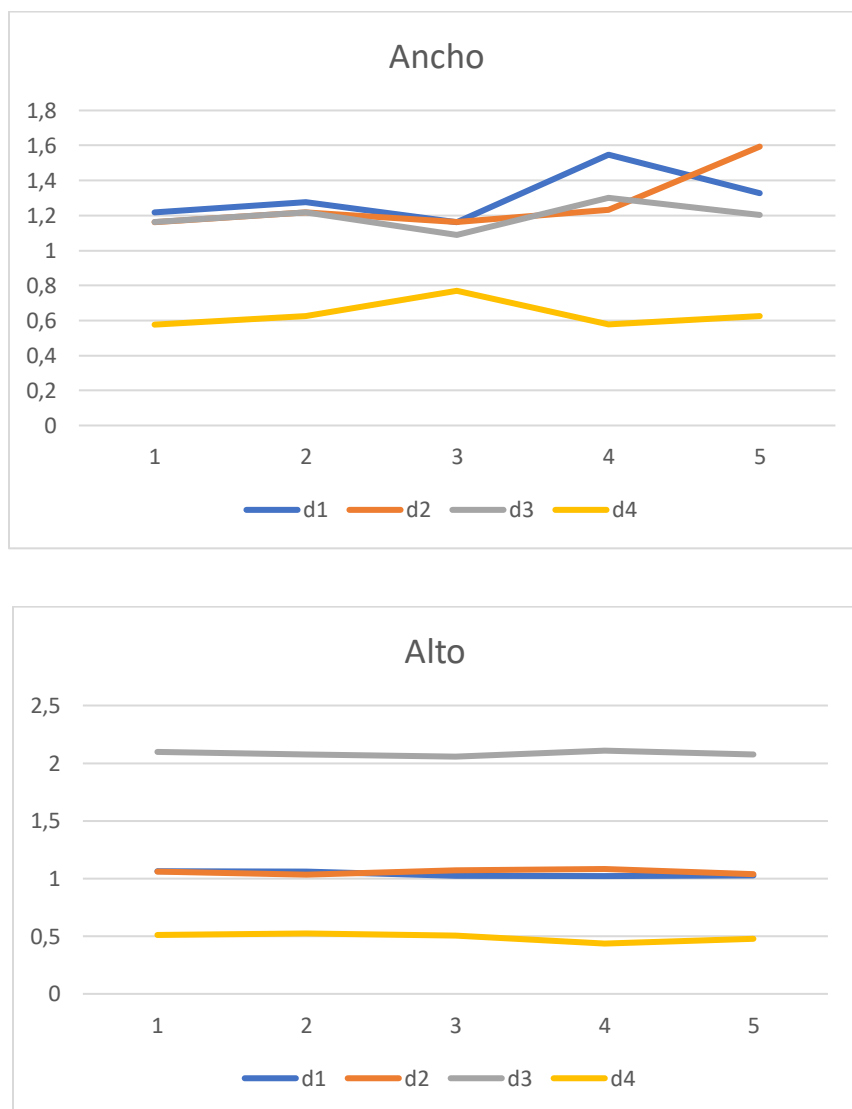
Parámetros	Prueba 1 (d1)	Prueba 2 (d2)	Prueba 3 (d3)	Prueba 4 (d4)
Contraste	70	80	80	80
Submuestreo	5	5	10	10
Filtrado	5	5	5	5
Formato del espectro del color	Verde	Verde	Verde	Verde
Iluminación	12	12	12	10

Se puede observar en la Figura 54, que la mejor configuración para detectar este tipo de material es con la configuración de la prueba 4.

Esta configuración es la mejor debido a que la diferencia tanto en el ancho como alto, es la menor de todas las pruebas, siendo en ancho de 0.7mm a menor, mientras que el alto es de 0.5mm a menor.

Figura 54

Valor de la diferencia de las diferentes pruebas de la pieza de color verde.



Pruebas de exactitud, precisión y repetibilidad

Con la calibración y determinación los parámetros del material, se tomaron 30 muestras de una misma pieza con una medida 43.51 mm, como dice (Becerra, 2004) para tener una desviación estándar del 10% con la finalidad de poder determinar la exactitud y precisión de las medición, tal como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23

Valores obtenidos de una misma pieza

Valores medidos		
43.52037	43.20332	43.95433
43.52087	43.20541	43.95091
43.50903	43.44122	43.95758
43.51462	43.337	43.97149
43.52705	43.27988	43.9623
43.51546	43.21964	43.95246
43.51862	43.06872	42.86684
43.51283	42.9275	43.1855
43.511	43.96554	43.95327
43.54354	43.96416	43.95463

Para determinar la precisión de las mediciones, se va a basar en la desviación estándar de los valores obtenidos. Aplicando la siguiente formula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$s = 0.3412$$

Por lo tanto, la precisión de la estación es de 0.3412 mm.

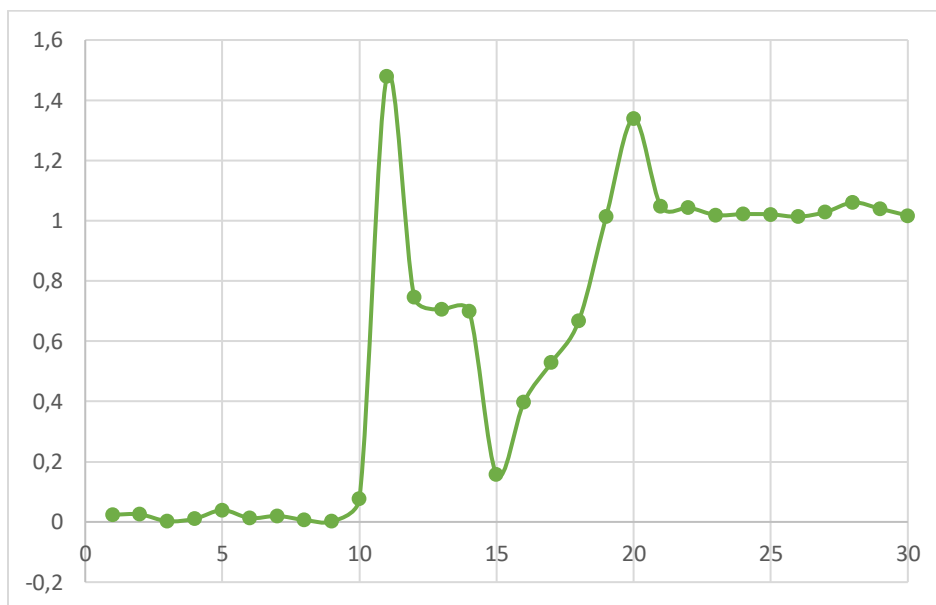
A continuación, se calculará la exactitud de la estación, para lo cual se toman los datos de la Tabla 23, se calcula el promedio de los datos y se compara con el valor real medido por el calibrador, aplicando la siguiente formula:

$$E = \frac{x - x_i}{x_i} * 100\%$$

Siendo x el valor de los datos, x_i el valor real de medición, observando el error en cada valor como se muestra en la Figura 55.

Figura 55

Representación del error en las mediciones

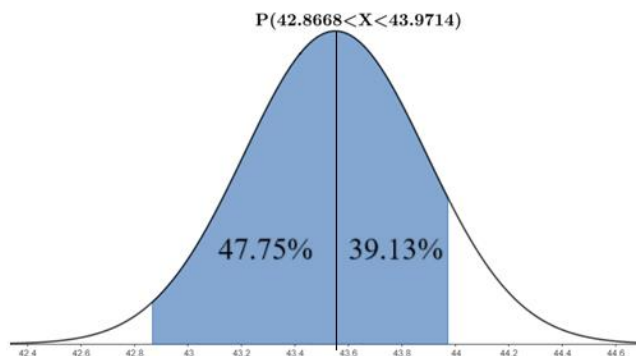


Por lo tanto, los error existentes en las mediciones van de un valor de 1% a -1.5%, lo cual representa un error promedio de 0.6%.

Mientras que para la repetibilidad de los valores se lo analiza por la distribución normal como se muestra en la Figura 56, tomando el mínimo y máximo de los valores medidos y analizar el porcentaje que pertenece el grupo de datos de la Tabla 23.

Figura 56

Distribución normal de los datos de la Tabla 23



Se puede determinar en la repetibilidad de mediciones menores al valor promedio se encontrarán entre 2 desviaciones estándar y solo un 0.05% se encontrarán a mayor a 2 desviaciones estándar, mientras que la mediciones mayores al valor promedio se encontrarán en su mayoría en una desviación estándar y el 5.03% se encontrara entre 1 y 2 desviaciones estándar.

Con cual se puede determinar que el 99.95% de los datos se encuentra dentro de 2 desviaciones estándar, lo significa un valor de repetibilidad ± 0.683 mm.

Pruebas de tiempo de ciclado

Se procedió a tomar el tiempo de dejar la bandeja desde el ASRS a la estación y viceversa, tal como se puede observar en la Tabla 24.

Tabla 24

Tiempo de los ciclos de transporte de la bandeja

Tiempo en dejar en la estación (s)	Tiempo en recoger de la estación (s)
122	89
124	91
122	91
124	89

Tiempo en dejar en la estación (s)	Tiempo en recoger de la estación (s)
124	91
122	91
122	89
123	91
124	90
124	89

En el proceso de dejar la bandeja desde el ASRS a la estación de control de calidad, se tiene un promedio de 123 segundos con una desviación de ± 1 segundo. Mientras que el proceso de recoger la bandeja desde la estación al ASRS, teniendo un tiempo promedio de 90 segundos con una desviación de ± 1 segundo.

Pruebas de ciclado individual

Se realiza 10 pruebas de la comprobación de la estación de control de calidad, con el movimiento del manipulador, el panel del control de LabVIEW. Teniendo que en cuenta que se realice las correctamente la sujeción de la bandeja, la subida y bajada correcta de la cortina y que no exista colisión. Como se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25

Pruebas de ciclado independientes.

Pruebas individuales			
No. Pruebas	Funcional	No Funcional	Porcentaje
1	X		10%
2	X		10%
3	X		10%
4	X		10%
5	X		10%
6		X	10%
7	X		10%
8		X	10%
9	X		10%
10	X		10%
Total	8	2	100%

Se puede determinar que la efectividad de todo el sistema de la estación es de un 80%, teniendo un 20% de falla las cuales han sido un 10% por rozamiento al entrar la bandeja en la estación de control de calidad, y por falla en el sistema en la sujeción de la bandeja.

Validación

Para esta punto, se realizará la validación de la hipótesis individual del proyecto de titulación y la hipótesis general del proyecto.

Validación de hipótesis individual del proyecto titulación

Se presento en el proyecto de titulación con la siguiente hipótesis: Mediante el diseño e Implementación de un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, se podrá indexar al CIM como una estación de control de calidad, para realizar prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de ESPE Sede Latacunga.

La hipótesis, es necesaria extraer la variable independiente y la variable dependiente para la validación.

Variable independiente: Diseño e Implementación del sistema de Control de Calidad por Visión Artificial.

Variable dependiente: Indexar al CIM como una estación de control de calidad, para realizar prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de ESPE Sede Latacunga.

Metodología de Validación

Se utilizo el método de Chi-Cuadrado para la validación de la hipótesis, por lo cual se plantea la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

H_0 : Mediante el diseño en implementación de un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, no se podrá indexar al CIM como una estación de control de calidad, para realizar prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de ESPE Sede Latacunga.

H_1 : Mediante el diseño en implementación de un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, se podrá indexar al CIM como una estación de control de calidad, para realizar prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de ESPE Sede Latacunga.

Aplicación de la metodología

Para realizar el proceso de validación se realiza una encuesta, para obtener los datos, para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), con la método estadístico del Chi-Cuadrado.

La encuesta se aplicó a 30 estudiantes matriculados en la materia Manufactura Asistida por Computador CAM de la carrera de ingeniera Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga. La encuesta se realizaron 10 preguntas para la evaluación de los parámetros que se muestran a continuación.

1. Integración de la estación de control de calidad con el CIM.
2. Facilidad del uso en prácticas de manufactura.
3. Aprendizaje de manejo y programación de la estación indexada al CIM.
4. Uso de la estación indexada al CIM en la automatización de operaciones de control de calidad.
5. Funcionalidad de la estación indexada al CIM, al uso prolongado y continuo.

En la Tabla 26, se presenta el resumen de las preguntas que se obtuvieron en la encuesta realiza como se puede observar en el Anexo 12. Las mismas que se presenta el número de aceptación y rechazo en cada parámetro, como el número de total de aceptación y rechazo.

Tabla 26*Frecuencia de los parámetros de evaluación*

Parámetro	Aceptación	Rechazo	Total
Integración de la estación de control de calidad con el CIM.	30	0	30
Facilidad del uso en prácticas de manufactura.	26	4	30
Aprendizaje de manejo y programación de la estación indexada al CIM.	29	1	30
Uso de la estación indexada al CIM en la automatización de operaciones de control de calidad.	25	5	30
Funcionalidad de la estación indexada al CIM, al uso prolongado y continuo.	16	14	30
Total	126	24	150

Se procede a calcular las frecuencias esperadas, como se indica en la fórmula a continuación.

$$f_e = \frac{T_a * T_p}{n}$$

Donde f_e es la frecuencia esperada, T_a es el número total de valoraciones, T_p es el total de muestras del parámetro y n es el total de valoraciones.

Como se muestra en la Tabla 27, se presenta el cálculo del Chi-cuadrado, teniendo en cuenta la frecuencia esperadas antes calculadas.

Tabla 27*Cálculo del método de la prueba Chi-Cuadrado*

Parámetro	Frecuencia absoluta f_a	Frecuencia esperada f_e	$f_a - f_e$	$(f_a - f_e)^2$	$\frac{(f_a - f_e)^2}{f_e}$
Parámetro 1 Aceptación	31	25.2	5.8	33.64	1.334920635
Parámetro 1 Rechazo	0	4.8	-4.8	23.04	4.8
Parámetro 2 Aceptación	27	25.2	1.8	3.24	0.128571429
Parámetro 2 Rechazo	3	4.8	-1.8	3.24	0.675
Parámetro 3 Aceptación	27	25.2	1.8	3.24	0.128571429
Parámetro 3 Rechazo	3	4.8	-1.8	3.24	0.675
Parámetro 4 Aceptación	25	25.2	-0.2	0.04	0.001587302
Parámetro 4 Rechazo	5	4.8	0.2	0.04	0.008333333
Parámetro 5 Aceptación	16	25	-9.2	84.64	3.358730159
Parámetro 5 Rechazo	14	5	9.2	84.64	17.63333333
Total				28.74404762	

Con lo cual se obtuvo el valor de chi cuadrado es de $\chi^2 = 28.744$, para comprobar la prueba estadística, se utiliza la tabla de Chi – Cuadrado, pero primero se calcula los grados de libertad de la prueba estadística aplicando la siguiente fórmula.

$$v = (f - 1)(c - 1)$$

Donde v es un número de grados de libertad, f es el número de filas y c es el número de columnas, por lo tanto, el grado de libertad es de 4.

Para lo cual para hallar el valor crítico se utiliza la Figura 57, para hallar se utiliza la intersección de los grados de libertad y el nivel de significancia, este valor se calcula con el nivel de confianza del 95% es decir que un nivel de significancia del 0.05.

Figura 57

Tabla de distribución del Chi-cuadrado

Grados de libertad	Áreas en la cola superior									
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.647	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188

Nota. Valor crítico con los criterios de grados de libertad y de grado de confiabilidad del Chi-Cuadrado. Tomado de (Studocu, s. f.).

Se obtiene que el valor crítico de 9.488 cuando se realiza el cálculo con un 95% de confianza y un grado de libertad de 4. Se realice la comprobación del valor estadístico de la prueba que es de 28.744 con el valor crítico 9.488, se determina que el valor estadístico es mayor que el valor crítico, con lo cual se rechaza la hipótesis nula H_0 y se aprueba la hipótesis alternativa H_1 , la misma que expresa que “Mediante el diseño en implementación de un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, se podrá indexar al CIM como una estación

de control de calidad, para realizar prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de ESPE Sede Latacunga”.

Validación de hipótesis general del proyecto

En el proyecto general se planteó la hipótesis: Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podrá realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Se realiza la extracción de las variables independiente y la variable dependiente se presentan a continuación:

Variable independiente: Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva.

Variable dependiente: Realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Metodología de Validación

Se utilizo la evaluación porcentual del número de repeticiones exitosas de trabajo del CIM con las estaciones de trabajo simultáneamente en un número determinado de repeticiones, para la validación de la hipótesis, por lo cual se plantea la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

H_0 : Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, no se podría realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

H_1 : Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podría realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Aplicación de la metodología

Se realizaron 10 pruebas de trabajo simultanea de la estación de control de calidad y la de escaneo, el mismo que procesara la pieza en la estación de escaneo y posteriormente se realiza el control de calidad. Para lo cual se comprobará la comunicación MQTT e interacción del manipulador con las estaciones.

Tabla 28

Pruebas simultaneas de 2 estaciones

Pruebas simultaneas de la estación de escaneo y control de calidad			
No. Pruebas	Funcional	No Funcional	Porcentaje
1	X		10%
2	X		10%
3	X		10%
4	X		10%
5	X		10%
6		X	10%
7	X		10%
8		X	10%
9	X		10%
10	X		10%
Total	8	2	100%

Se determinó que el correcto funcionamiento de 2 estaciones simultaneas es de un 80%, mientras que un 10% de las fallas es por un error en la comunicación MQTT entre las 2 estaciones y un 10% por una falla en la sujeción de la pieza a analizar.

Se asigna el índice de porcentaje de funcionalidad a la hipótesis alternativa H_1 y el índice de porcentaje de no funcional a la hipótesis nula H_0 y al realizar la comparación se observa que $H_1 > H_0$, rechazando la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, con lo

cual se concluye que “Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podría realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.”

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La precisión de 0.34 mm, depende los siguientes factores: ubicación y rotación de la pieza en la bandeja de transporte, la iluminación, el contraste, el filtrado, el muestreo de píxeles y el espectro de color en el análisis. Al alterar alguna de los factores antes expresados la precisión de la estación va variar, pudiendo ser mayor o menor.

El error de la exactitud obtenido de 0.6%, depende de la ubicación y rotación para mejorarla se debe ubicar la cara donde se medirá de forma paralela al posición de la cámara, si no es paralela el error de exactitud aumentara en gran medida. Otro aspecto es la iluminación la misma debe ser configurada dependiendo del material a analizar, si no se configura de manera correcta, puede presentar un error de exactitud mayor debido a que el objeto podría reflejar demasiada luz.

En cuanto la repetibilidad de ± 0.69 mm, esto se puede modificar por los factores de filtrado y muestreo de píxeles, mientras más grandes sean estos valores, la repetibilidad mejorara, pero se obtiene un efecto contrario en la precisión y exactitud. Por lo cual se debe variar estos valores entre 5-15 por los resultados obtenidos en las pruebas. Si el valor es menor a 5 los valores fluctúan en gran medida, mientras que si son mayores a 15 son más estables pero la precisión y exactitud se ve afectada.

El espectro de color de las imágenes más estables para las mediciones son el azul, verde, value e iluminación. Mientras que los espectro de color Hue y Saturación, son más fluctuantes provocando más fallas en las mediciones.

El funcionamiento de la estación con el brazo robótico y el sexto eje, tiene una efectividad del 80% gracias a las siguientes características, la ubicación de la estación con

respecto al sexto eje, consiguiendo que las vibraciones sean menores frente a la misma, el programa de comunicación del sistema, al utilizar LabVIEW la comunicación serial con el controlador del sexto eje, el envío y recepción de la información es más rápido y estable que con el otro método ocupado en las otras estaciones pertenecientes al CIM.

El funcionamiento indexado del CIM, se alcanzó una efectividad del 80%, los errores presentes son la pérdida de precisión del brazo robótico, en el proceso de recolección de la estación de escaneo, y la falla de envío y recepción de datos a través del protocolo MQTT, por el error en los tiempos de lectura y escritura de los tópicos necesarios para el funcionamiento.

Recomendaciones

Para mejorar el funcionamiento del CIM, se debe realizar una repotenciación del sexto eje, cambiando el sistema de transmisión por cadena, a un sistema husillo de bolas, para tener mejor precisión y velocidad.

La automatización de control de la estación, se propone el uso de sensores para mejorar el sistema de apertura y cierre de la cortina. De igual manera utilizar un encoder para mejorar la exactitud del sistema de rotación.

De igual manera el uso de inteligencia artificial para la corrección de la orientación de las piezas a analizar, con el uso del sistema de rotación.

Se plantea el uso de machine learning para realizar más procesos de control de calidad, dentro de la misma aplicación de LabVIEW, como puede ser conteo de objetos, clasificación, procesamiento de imágenes, etc.

Bibliografía

Alsimet. (2020, agosto 31). *Características del tubo cuadrado y principales aplicaciones*.
<http://alsimet.es/es/noticias/caracteristicas-del-tubo-cuadrado-y-principales-aplicaciones>

Amaya-Zapata, S., Pulgarín-Velásquez, D., & Torres-Pardo, Í. D. (2016). Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM). *Lámpsakos*, 15, Article 15. <https://doi.org/10.21501/21454086.1702>

A.M.R. (2010). *Determine la potencia del motor DC*.
<https://www.motoresdc.es/documentos/como-elegir-el-motor-dc-adecuado.pdf>

Artificial, V. (2012). Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. *Ministerio de Educación y Formación Profesional, Gobierno de España*.

Aymet. (2020, diciembre 28). *Chapas de aluminio: Beneficios para la industria - Aymet*.
<https://aymet.com.ar/los-beneficios-de-usar-chapas-de-aluminio-en-la-industria/>

Becerra, L. O. (2004, octubre 27). *Número de mediciones necesarias*. Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología.

BESTERFIELD, D. H. (2019). *Control de calidad*.

Budynas G., R., & Nisbett, J. K. (2008). DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY. En *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (Octava, p. 563). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Cueva de Ingeniería Civil. (s. f.). *Conoce algunas Ventajas y desventajas de la Soldadura*. Recuperado 23 de agosto de 2023, de <https://www.cuevadelcivil.com/2013/03/ventajas-y-desventajas-de-la-soldadura.html>

DIPAC. (s. f.). Tubo Estructural Cuadrado Negro. *DIPAC*. Recuperado 23 de agosto de 2023, de <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/>

Ferreaceros. (2020, julio 24). *Características del acero*. 409503811-FERREACEROS. <https://www.ferreaceroscancun.com/blog/articulos/que-es-el-acero>

García, K. L., Castro, S. M., & Pérez, I. del C. D. (2016). Diseño de sistema para viviendas con lámina colaborante metálica. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 10(1), 1-14.

Icaza Paredes, W. A. (2019). Desarrollo de sistema de visión artificial con labview que permita detectar imperfecciones en las latas de atún [BachelorThesis]. En *Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro*. <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4921>

Juran, J. M., Gryna, F. M. J., & Bingham, R. S. J. (2021). *Manual de control de la calidad. Volumen 1*. Reverte.

Martínez, M. A. (s. f.). *VISIÓN ARTIFICIAL CON LABVIEW: SISTEMA DE CALIDAD DE TORNILLOS*.

Mendoza Valencia, J. (s. f.). *Metodología de organización de las empresas metal-mecánicas en México aplicando la manufactura integrada por computadora (cim)*.

Muñoz, G. T. (2001). Las Funciones Y Redes En Una Maufactura Integrada Por Computadora (CIM). *Electrónica - UNMSM*, 7, Article 7.

Oriental Motor USA CORP. (2017). *Cálculos para aplicación de dispositivo giratorio*. <https://www.orientalmotor.com.mx/herramientas-de-dimensionamiento-para-motores/dispositivo-giratorio-dimensionamiento.html#>

Quintero Salazar, E. A., Calvo Salcedo, A. F., & Bejarano Martínez, A. (2013). *Sistema para el Control de Calidad de Piezas Metalúrgicas a partir de Imágenes 3D*.

Revista ElectroIndustria—Manufactura Integrada por Computador (CIM). (s. f.).

Recuperado 7 de marzo de 2023, de

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1682&ni=manufactura-integrada-por-computador-40cim41>

Schneider Electric. (2008, febrero). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*.

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/946/946-guia-instalaciones-electricas-2008-s.e.pdf>

Schneider Electric. (2019). *Guía de la biblioteca M241 PTO PWM*. [https://product-](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m241pto/index.htm#t=m241pto%2FM241Lib-PTO-Configuration%2FM241Lib-PTO-Configuration-3.htm%23TOC_Configuraci%C3%B3n_delbc-1&rhtocid=_0_4_3_2_2_0)

[help.schneider-](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m241pto/index.htm#t=m241pto%2FM241Lib-PTO-Configuration%2FM241Lib-PTO-Configuration-3.htm%23TOC_Configuraci%C3%B3n_delbc-1&rhtocid=_0_4_3_2_2_0)

[electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m241pto/index.htm#t=m241pto%2FM241Lib-PTO-Configuration%2FM241Lib-PTO-Configuration-3.htm%23TOC_Configuraci%C3%B3n_delbc-1&rhtocid=_0_4_3_2_2_0](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m241pto/index.htm#t=m241pto%2FM241Lib-PTO-Configuration%2FM241Lib-PTO-Configuration-3.htm%23TOC_Configuraci%C3%B3n_delbc-1&rhtocid=_0_4_3_2_2_0)

Studocu. (s. f.). *Tabla CHI Cuadrado*. Recuperado 22 de agosto de 2023, de

<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-cotopaxi/estadistica/tabla-chi-cuadrado/11975867>

Torres Peña, J. C. (2014). *Detección de deformidades en superficies curvas mediante visión por computadora, con aplicación en el control de calidad de huevos avícolas*. [Thesis].

<http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/231>

UNLP. (s. f.). *Deformacion de ejes y arboles radial*. Recuperado 20 de junio de 2023, de

https://www1.ing.unlp.edu.ar/catedras/A0050/descargar.php?secc=0&id=A0050&id_inc=61063

Vidosic, J. P. (1957). *Machine design projects*. Ronald Press Co.

<https://catalog.hathitrust.org/Record/002020945>

Villalpando Reyna, Á. F. (2016, enero 23). *Diseño de flechas o ejes (selección de materiales)*. <https://www.slideshare.net/Masson72/diseo-de-flechas-o-ejes-seleccin-de-materiales>

Zambrano-Rey, G. M., Parra-Rodríguez, C. A., Manrique-Torres, M. R., & Bustacara-Medina, C. J. (2007). Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM). *Ingeniería y Universidad*, 11(1).

ZIKODRIVE. (2018). *Tamaños de bastidor de motor paso a paso NEMA y lo que significan*. <https://zikodrive.com/es/uFAQS/nema-motor-marco-tamanos-media/>

Anexos