



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA AUTONOMÍA DE ACCIÓN DEL
ROBOT INDUSTRIAL MITSUBISHI RV-2F”**

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

AUTOR:

JONATHAN GEOVANNY RUANO ALVAREZ

DIRECTORA:

ING. GABRIELA ALEXANDRA VERDEZOTO CARRANCO MSc.

IBARRA,2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172424736-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	JONATHAN GEOVANNY RUANO ALVAREZ		
DIRECCIÓN:	LA ROLDOS, CONSEJO PROVINCIAL, CALLE G		
EMAIL:	jgruanoa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	023382485	TELÉFONO MÓVIL:	0988090848

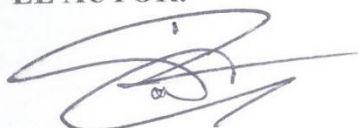
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA AUTONOMÍA DE ACCIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL MITSUBISHI RV-2F”
AUTOR (ES):	JONATHAN GEOVANNY RUANO ALVAREZ
FECHA: DD/MM/AAAA	11 DE FEBRERO DE 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Gabriela Alexandra Verdezoto Carranco

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de marzo de 2020

EL AUTOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jonathan Geovanny Ruano Alvarez', written over a light blue rectangular background.

Jonathan Geovanny Ruano Alvarez
C.C: 172424736-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIA APLICADAS
CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado "SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA AUTONOMÍA DE ACCIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL MITSUBISHI RV-2F", representado por el egresado JONATHAN GEOVANNY RUANO ALVAREZ, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, a los 11 días del mes de marzo de 2020

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'GABRIELA VERDEZOTO'.

Gabriela Alexandra Verdezoto Carranco
DIRECTORA DE TESIS

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el amor, apoyo y consejo que me ha brindado a lo largo de mi formación como profesional y persona.

A mi director de trabajo de grado Gabriela Alexandra Verdezoto por guiarme a lo largo de este proceso con sus conocimientos y experiencias.

A todos los docentes de Ingeniería en Mecatrónica por todas las enseñanzas impartidas en clases.

A mi novia Vanessa Paucar por estar a mi lado en cada instante apoyándome y aconsejándome que lo puedo lograr.

A mis amigos de equipo por todo el trabajo hecho en el transcurso de la carrera, siempre dando lo mejor de nosotros, aprendiendo cada día una cosa nueva y nunca dándonos por vencidos. Al final, todo el esfuerzo y sacrificio valió la pena.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Geovanny Ruano y Beatriz Alvarez a quienes me dieron vida, educación, consejos, apoyo moral y económico y a los cuales amo y llevare siempre en mi corazón.

RESUMEN

La visión por computadora se ha vuelto muy importante en la automatización industrial por sus diversas aplicaciones. La implementación de un sistema de visión artificial en el Brazo Robótico Mitsubishi RV-2F permite una autonomía de acción de acuerdo a la información que percibe de la retroalimentación de la visión por computadora. El sistema de visión está basado en un Sistema Básico Mecatrónico de la norma VDI 2206, el mismo que enfoca todos los procesos necesarios para obtener un producto final, las fases o procesos que constan son las siguientes:

- Etapa de adquisición. - El **Sensor** (cámara web), encargado de capturar una imagen digitalizada en un ambiente idóneo.
- Etapa procesamiento. - El **sistema de adquisición y procesamiento de datos** (Raspberry Pi 3 B) encargados de recibir las señales eléctricas digitales para ser tratadas mediante un muestreo y cuantificación, para luego ser procesadas.
- Etapa de actuación. – EL **actuador**, en este sistema es el brazo robótico Mitsubishi RV-2F encargado de realizar las acciones en base a la información receptada del procesamiento de la tarjeta de adquisición.

El proceso de comunicación entre la tarjeta de adquisición y el Slot 1 del controlador CR750-D del Robot Mitsubishi, se lo realiza mediante las salidas GPIO de la Raspberry Pi de 3.3v que, se amplifican a 24 v mediante optoacopladores para luego, poder activar las entradas digitales del Slot 1.

El presente trabajo además de implementar un sistema de visión por computadora, ofrece el desarrollo de 7 practicas, con el objetivo de que los estudiantes de la materia de Robótica e Inteligencia Artificial de noveno semestre puedan, reforzar y poner en práctica sus conocimientos adquiridos durante su enseñanza-aprendizaje.

ABSTRACT

Computer vision has become very important in industrial automation for various applications. The implementation of an artificial vision system in the Mitsubishi RV-2F Robotic Arm allows an autonomy of action according to the information it perceives from computer vision feedback. The vision system is based on a Basic Mechatronic System of the VDI 2206 standard, which focuses on all the processes necessary to obtain a final product, the phases or processes that consist are the following:

- Acquisition stage. - The sensor (webcam), it allows to capture a digitized image in an ideal environment.
- Processing stage. - The data acquisition and processing system (Raspberry PI 3 B) responsible for receiving digital electrical signals to be treated by sampling and quantification, and to then be processed.
- Act of stage. - The actuator, in this system is the robotic arm Mitsubishi RV-2F in charge of performing actions based on the information received of the processing of the acquisition card.

In the process of communication between the acquisition card and the SLOT 1 of the controller CR750-D of the robot Mitsubishi, it is done by the GPIO outputs of 3.3V Raspberry PI, which are amplified to 24 V by optocouplers, and then activate the digital inputs of the SLOT 1.

The present work in addition to implementing a computer-vision system, offers the development of 7 practices, with the aim of the students of the robotics and artificial intelligence of ninth semester, reinforce and implement their knowledge acquired during their teaching-learning.

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN	xv
PROBLEMA	xv
CAPITULO I. MARCO TEORICO	1
1.1 Robot Industrial Mitsubishi RV-2F	1
1.2 Controlador CR750-D.....	3
1.2.1 Dispositivos de conexión al controlador.....	4
1.2.1.1 Unidad Paralela I/O.....	5
1.2.1.2 Interfaz CC-Link.....	5
1.2.1.3 Interfaz Paralela I/O.....	5
1.3 Sistema básico de un Diseño Mecatrónico	6
1.4 Cámara.....	7
1.4.1 Interface de cámaras digitales.....	8
1.4.1.1 Firewire.....	9
1.4.1.2 Cámara Link.....	10
1.4.1.3 Gigabit Ethernet.....	11
1.4.1.4 USB.....	12
1.5 Adquisición y Procesamiento de datos	13
1.5.1 Tarjetas de adquisición y procesamiento de datos	14
1.5.1.1 Raspberry PI.....	14
1.5.1.2 Arduino	16
1.5.1.3 MyRIO	17
1.5.1.4 PC.....	19
1.5.2 Software	19
1.5.2.1 Matlab	19
1.5.2.2 LabVIEW	20
1.5.2.3 Python	20
1.5.2.4 OpenCV	21
1.6 Etapas de procesamiento de imágenes.....	21
1.6.1 Adquisición de Imágenes.....	22
1.6.1.1 Tipos de imágenes digitales.....	23
1.6.1.2 Imágenes raster.....	24
1.6.2 Pre-Procesamiento.....	24
1.6.2.1 Operaciones básicas.....	25
1.6.2.2 Transformaciones Geométricas.....	25
1.6.2.3 Filtrado.....	26
1.6.2.4 Histograma.....	27
1.6.3 Segmentación.....	27
1.6.3.1 Transformaciones morfológicas.....	28
1.6.3.2 Discontinuidad.....	29
1.6.3.3 Similitud.....	30
1.6.4 Descripción.....	30
1.6.5 Reconocimiento e interpretación.....	31
1.7 Aplicaciones de la Visión Artificial.....	31

CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	33
2.1 Diseño Conceptual.....	33
2.1.1 Diagrama funcional.....	33
2.1.2 Matriz Morfológica.....	33
2.1.3 Método de evaluación.....	34
2.1.3.1 Soluciones.....	34
2.1.3.2 Método selección por criterios ponderados	35
2.1.4 Características Técnicas de la Raspberry Pi 3 modelo B.....	36
2.2 Software	36
2.3 Entradas y Salidas del Controlador CR-750D.....	38
2.3.1 Comunicación Raspberry Pi y Controlador CR-750D.....	40
2.3.2 Optoacoplador PC817.....	40
2.3.3 Diseño e implementación del amplificador para la comunicación	42
2.4 Procesamiento de imágenes digitales.....	45
2.5 Prácticas de laboratorio.....	45
2.5.1 Conocimientos relacionados a la Practica 1: Aplicación de técnicas de visión artificial.....	48
2.5.2 Conocimientos relacionados a la Practica 2: Aplicación de técnicas de morfología.....	48
2.5.3 Conocimientos relacionados a la Practica 3: Detección objetos de color.....	48
2.5.4 Conocimientos relacionados a la Practica 4: Análisis del área del contorno del objeto.....	49
2.5.5 Conocimientos relacionados a la Practica 5: Detección de número de objetos	49
2.5.6 Conocimientos relacionados a la Practica 6: Llenado de columnas	50
2.5.7 Conocimientos relacionados a la Practica 7: Pintado de un formato A3	50
CAPITULO III. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	51
3.1 Comunicación de la cámara	51
3.2 Procesamiento de imágenes	51
3.3 Envío de señales y actuación del Robot.....	53
3.3.1 Envío de señales.....	53
3.3.2 Actuación del Robot en cada una de las Prácticas de Laboratorio	55
3.4 Análisis de resultados	55
3.4.1 Encuesta de valoración del formato y ejecución de las practicas	56
3.4.2 Tabulación y Análisis de la Encuesta	57
3.4.3 Tabulación Practica 3.....	57
3.4.3.1 Tabulación Pregunta 1: El objetivo de la práctica está relacionado al tema.....	57
3.4.3.2 Tabulación Pregunta 2: El marco teórico proporcionado es suficiente para desarrollar la práctica.....	58
3.4.3.3 Tabulación Pregunta 3: Los materiales y equipos indicados en la práctica son adecuados.....	59
3.4.3.4 Tabulación Pregunta 4: El procedimiento establecido en la guía de práctica es apropiado.....	60
3.4.3.5 Tabulación Pregunta 5: El tiempo destinado a la práctica es coherente con las actividades propuestas.	61
3.4.3.6 Tabulación Pregunta 6: La práctica está acorde a los conocimientos adquiridos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.	62

	xi
3.4.4 Tabulación practica 4.....	62
3.4.4.1 Tabulación Pregunta 1: El objetivo de la práctica está relacionado al tema.	62
.....	62
3.4.4.2 Tabulación Pregunta 2: El marco teórico proporcionado es suficiente para desarrollar la práctica.	63
.....	63
3.4.4.3 Tabulación Pregunta 3: Los materiales y equipos indicados en la práctica son adecuados.	64
.....	64
3.4.4.4 Tabulación Pregunta 4: El procedimiento establecido en la guía de práctica es apropiado.....	65
.....	65
3.4.4.5 Tabulación Pregunta 5: El tiempo destinado a la práctica es coherente con las actividades propuestas.	66
.....	66
3.4.4.6 Tabulación Pregunta 6: La práctica está acorde a los conocimientos adquiridos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.	67
3.5 Estimación de tiempos para la ejecución de las practicas.....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
4.1 Conclusiones.....	69
4.2 Recomendaciones.	69
BIBLIOGRAFÍA	71

Lista de tablas

Tabla 1. Características del Robot RV-2F [6]	2
Tabla 2. Características del controlador CR750-D [6]	3
Tabla 3. Tamaño de una imagen [10]	8
Tabla 4. Comparativa de Interfaces [11].....	13
Tabla 5. Profundidad de color RGB	23
Tabla 6. Profundidad de color Gris.....	23
Tabla 7. Profundidad de color Binario.....	24
Tabla 8. Tipos de transformaciones morfológicas.....	28
Tabla 9. Matriz Morfológica.....	34
Tabla 10. Método selección por criterios ponderados.	35
Tabla 11. Principales Características de la Raspberry Pi 3 [32]	36
Tabla 12. Entradas y Salidas Reservadas.....	38
Tabla 13. Datos para el cálculo del circuito. [34]	42
Tabla 14. Pines de conexión GPIO a la ranura 1 (Slot 1).....	44
Tabla 15. Lista de materiales para cada práctica.	45
Tabla 16. Dimensiones y formas de elaboración de los materiales	47
Tabla 17. Modelo de encuesta	56
Tabla 17. Estimación de tiempos	68

Lista de figuras

Figura 1. Dispositivos de conexión al controlador [6].....	4
Figura 2. Conectores del controlador CR750-D [6].....	5
Figura 3. Sistema básico [7].....	6
Figura 4. Elementos de un sistema de visión Artificial.	6
Figura 5. Firewire.....	10
Figura 6. Camera Link [13]	11
Figura 7. Gigabit Ethernet.....	12
Figura 8. Raspberry PI [17]	15
Figura 9. GPIO Raspberry Pi 3 Modelo B. [18]	16
Figura 10. Placa Arduino [21]	17
Figura 11. MyRIO bloque de diagrama del hardware [23].....	18
Figura 12. Etapas de la visión Artificial [4].....	22
Figura 13. Diagrama funcional	33
Figura 14. Entorno de Programación Python 3.....	37
Figura 15. Hardware y Software del sistema de VA a implementar	38
Figura 16. Entradas Reservadas del Slot 1.....	39
Figura 17. Menú del Teach Pendant	39
Figura 18. Entradas/Salidas del Controlador CR-750D.....	40
Figura 19. Optoacoplador PC817 [34].....	41
Figura 20. Circuito Optoacoplador	42
Figura 21. Circuito amplificador de voltaje para 4 entradas.....	43
Figura 22. Funcionamiento salida de voltaje.	44
Figura 23. Activación de entrada 10 del Teach Pendant	44
Figura 24. Funcionamiento de la cámara WEB	51
Figura 25. Imagen capturada de monedas sobrepuestas	52
Figura 26. Prueba de procesamiento de la imagen de monedas	52
Figura 27. Resultado de las monedas sobrepuestas	52
Figura 28. Estado de activación del Switch AUTO/MAN	53
Figura 29. Cambio posición del cable pulsador Robot AUTO/MAN	53
Figura 30. Activación de la entrada 10 (A).....	54
Figura 31. Estado actual de las entradas y salidas del Slot 1	54
Figura 32. Activación de los pines mediante consola.....	55
Figura 33. Programación del Robot.....	55
Figura 34. Tabulación pregunta 1- practica 3	57
Figura 35. Tabulación pregunta 2- practica 3	58
Figura 36. Tabulación pregunta 3- practica 3	59
Figura 37. Tabulación pregunta 4- practica 3	60
Figura 38. Tabulación pregunta 5- practica 3	61
Figura 39. Tabulación pregunta 6- practica 3	62
Figura 40. Tabulación pregunta 1- practica 4.....	62
Figura 41. Tabulación pregunta 2- practica 4.....	63

Figura 42. Tabulación pregunta 3- practica 4	64
Figura 43. Tabulación pregunta 4- practica 4	65
Figura 44. Tabulación pregunta 5- practica 4	66
Figura 45. Tabulación pregunta 6- practica 4	67

INTRODUCCIÓN

PROBLEMA

La robótica es parte de la ciencia y tecnología, a partir del siglo XIX se da comienzo a la revolución industrial donde se empezaron a climatizar las primeras bases de la automatización de todas aquellas tareas repetitivas, con la creación de máquinas montadas sobre guías programadas mediante un tambor magnético o controlada por computador electrónico. Isaac Asimov en el año 1941 emplea el termino robot y en 1954 se patenta el primer robot industrial. [1]

En la actualidad la auténtica revolución industrial ha llegado a través de la computación e internet, la cuarta revolución industrial protagonizada por los robots integrados en sistemas ciber físicos que permitan realizar tareas repetitivas que eran un lastre para los tiempos de producción. Los robots industriales son cruciales para la automatización de procesos, han surgido una infinidad de avances en la robótica para optimizar los trabajos y eliminar actividades peligrosas, pero para ello se hace uso de sensores que permitan simular el comportamiento de una persona. [1]

Uno de los aspectos importantes de un robot Industrial es su autonomía, que se basa en el sistema de navegación automática, que permite al robot reaccionar y tomar decisiones basándose en observaciones de su entorno [2], siendo la falta de visión el principal problema del robot Industrial Mitsubishi RV-2F al no ser capaz de obtener información para actuar de manera precisa y fiable. El robot Mitsubishi ejecuta la acción mediante comandos y puntos programados por el usuario omitiendo si hay o no un objeto donde realizar la acción de trabajo, por lo que no dispone de una capacidad sensorial (cámaras) que le permita percibir y posicionarse frente al objeto.

La Universidad Técnica del Norte cuenta con diferentes laboratorios para el desarrollo y aprendizaje de los estudiantes entre los cuales, se tiene el laboratorio de Manufactura Integrada por Computadora, que es un área donde se realizan procesos automatizados con el uso de un Robot

Industrial Mitsubishi RV-2F dentro de una línea de ensamblaje, capaz de realizar trabajos mediante movimientos programados; la implementación de un sistema de visión artificial ampliará el uso de aplicaciones y por lo tanto se incrementan las habilidades y destrezas en los estudiantes.

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un sistema de visión artificial para autonomía de acción del Robot Industrial Mitsubishi RV-2F del laboratorio de manufactura integrada por computadora.

Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos del sistema de visión por computadora para la adquisición y procesamiento de imágenes.
- Implementar un sistema robótico pre-programado que permita tener autonomía de acción de acuerdo a la información que percibe de la retroalimentación de la visión por computadora.
- Realizar pruebas de funcionamiento para el análisis de resultados.
- Generar aplicaciones usando una plataforma robótica implementada para este tipo de sistemas.

ALCANCE

El proyecto en desarrollo tiene como alcance Implementar un sistema de visión artificial al Robot Industrial Mitsubishi RV-2J ubicado en los laboratorios de la Universidad Técnica del Norte.

En primer lugar, se determinará el procedimiento que realizará la cámara compatible con el robot Industrial para el procesamiento de las imágenes. Esto implica.

- Capturar la imagen proyectada en el sensor de la cámara digital (RGB) para poder transferirla a un sistema electrónico.
- Tratamiento de la señal obtenida por la cámara digital.
- Procesamiento e interpretación de las imágenes captadas por la cámara.
- Tratamiento de la imagen.
- Actuación del robot sobre el entorno en función del resultado obtenido

El procesamiento de imágenes permitirá extraer y analizar datos de las imágenes para su posterior uso en el control autónomo del robot realizando la comunicación entre la computadora y el Robot Industrial Mitsubishi en tiempo real, para lo cual se implementará un sistema pre-programado entre los dos componentes que permita al Robot realizar su función de acuerdo a la retroalimentación (envío y recepción de señales) de la información captada por el sensor.

Las prácticas de laboratorio son un elemento indispensable en la enseñanza de los estudiantes con el objetivo de incrementar sus capacidades, la elaboración de prácticas y manuales claramente definidas posibilitará el uso del Robot Industrial Mitsubishi RV-2F con visión artificial destinado al reconocimiento y localización de objetos para su posterior manipulación.

JUSTIFICACIÓN

El avance de la visión artificial en la actualidad ha experimentado un gran cambio en las pequeñas y medianas empresas mejorando tanto la calidad como la eficiencia de sus productos durante el proceso de fabricación, la visión artificial puede ser definida como los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas desde un mundo tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. [3]

La visión artificial está siendo cada día más utilizada para el control de calidad, precisión y fiabilidad en la automatización de procesos industriales mediante el uso de Robots. Uno de los sentidos más importantes de los seres humanos es la visión, por lo que es fundamental dotar al robot de un sistema de visión para automatizar el proceso de percepción visual mediante el tratamiento de imágenes. La visión por computadora pretende capturar la información visual del entorno físico para extraer características utilizando procedimientos automáticos. [4]

EL objetivo de utilizar el procesamiento de imágenes en la visión artificial es la identificación e inspección de objetos, determinación de la posición de los objetos en el espacio, y determinación de las coordenadas importantes de un objeto con el fin de automatizar tareas repetitivas de inspección realizada por operadores, realizar inspecciones de objetos sin contacto físico, reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados y realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes. [2]

CAPITULO I. MARCO TEORICO

1.1 Robot Industrial Mitsubishi RV-2F

Los Robots Industriales de la familia de MELFA, son utilizadas en diferentes áreas como, Sistemas Industriales de Automatización que ofrecen una máxima eficiencia en su producción, su capacidad de interconexión mediante los diferentes puertos de la unidad de control de Mitsubishi, permite la comunicación de diferentes dispositivos periférico como la cámara para visión artificial, que, brindan la posibilidad de controlar cualquier paso del proceso.

La mayoría de los Robots Industriales cuentan con la posibilidad de integración de un sistema de visión artificial con cámaras dedicadas para cada robot dependiendo del fabricante capaces de ser desarrolladas para diferentes aplicaciones como el reconocimiento de objetos, detección de posición correcta de piezas, verificación de montajes y autonomía propia del Robot, las mismas que se conectan a través de los puertos del propio controlador.

Las principales características que ofrece el Robot Industrial Mitsubishi RV-2F, brazo articulado vertical de 6 ejes con capacidad de carga de 2 Kg y con un radio de alcance de 504 mm de longitud al extender todas sus partes, permite, que además de su diseño amigable responda a las necesidades de los usuarios, tales aplicaciones como montaje y paletización, en la Tabla 1 se describen las principales características del Robot Industrial Mitsubishi RV-2F. [5]

Tabla 1. Características del Robot RV-2F [6]

Características		Especificación RV-2F	
Grado de Libertad		6	
Montaje		Suelo, pared, techo	
Construcción		Brazo Articulado vertical	
Sistema de accionamiento		AC servo motor (J2, J3, J5)	
Detección de Posición		Encoder de valor Absoluto	
Fuerza de elevación	Kg	2	
Radio de Alcance	mm	504	
Rango de movimientos	J1	Grados	480(-240+240)
	J2		240(-120+120)
	J3		160(0+160)
	J4		400(-200+200)
	J5		240(-120+120)
	J6		720(-360+360)
Velocidad de movimiento	J1	Grados/s	300
	J2		150
	J3		300
	J4		450
	J5		450
	J6		720
Velocidad máxima resultante	mm/s	4955	
Tiempo de ciclo (carga 1 Kg)	s	0.6	
Repetibilidad de posicionamiento	mm	± 0.02	
Temperatura Ambiente	°C	0 -40	
Peso	Kg	19	
Momento Nominal	J4	Nm	4.17
	J5		4.17
	J6		2.45
Momento inercia nominal	J4	Kgm	0.18
	J5		0.18
	J6		0.04
Cableado de Herramienta		4 entradas / 4 salidas	
Tubo neumático para herramienta		∅ 4*4	
Presión de alimentación neumática	MPa	0.5 ± 10%	
Brida de la pinza		ISO 9409-1-31.5	
Grado de Protección		IP30	
Controlador del Robot		CR750-D	

Nota. Datos tomados de los manuales publicados por la Compañía Mitsubishi Electric, Copyright 2012.

1.2 Controlador CR750-D

El controlador CR750-D del robot, permite su funcionamiento y es el mismo que limita la capacidad de memoria, entradas y salidas necesarias y opcionales, interfaz entre otros.

Tabla 2. Características del controlador CR750-D [6]

Modelo		CR705-D
Método de control de ruta		Control PTP y control CP
Numero de ejes del controlador		6
Lenguaje del robot		MELFA-BASIC
Capacidad de memoria	Número de puntos aprendidos	39000
	Numero de pasos	78000
	Numero de programas (Unidad)	512
Entradas/salidas externas	I/O generales	0 entradas/ 0 salidas (256/256 para opciones)
	I/O dedicadas	Asignadas para I/O generales
	Apertura/cierre de la mano	8 entradas/ 8 salidas
	Entrada paro emergencia	1 (redundante)
	Entrada interruptor de puerta	1 (redundante)
	Habilitar entrada dispositivo	1 (redundante)
	Salida paro emergencia	1 (redundante)
	Salida de modo	1 (redundante)
	Salida de error del robot	1 (redundante)
	Ejes adicionales de sincronización	1 (redundante)
Interfaz	Rs-422	1 (Teaching Pendant)
	Ethernet	1
	USB	Solo funciones dispositivos 2.0
	Slot dedicado a la mano	1 (Dedicado para interfaz mano neumática)
	Ejes adicionales	1(SSCNET III)
	Slot de extensión	2
	Entrada Encoder	2
Temperatura Ambiente (°C)		0 - 40
Humedad Relativa (%RH)		45 - 85
Alimentación	Rango de voltaje de entrada	200 -230 V
	Capacidad potencia (KVA)	0.5
Dimensiones externas (mm)		430*425*174
Peso (Kg)		18

1.2.1 Dispositivos de conexión al controlador.

Los dispositivos que se presentan en la Figura 1 pueden ser instalados en el controlador CR750-D, estos dispositivos permiten la conexión de diferentes dispositivos periféricos mediante interfaces o unidades paralelas de ampliación de entradas y salidas.

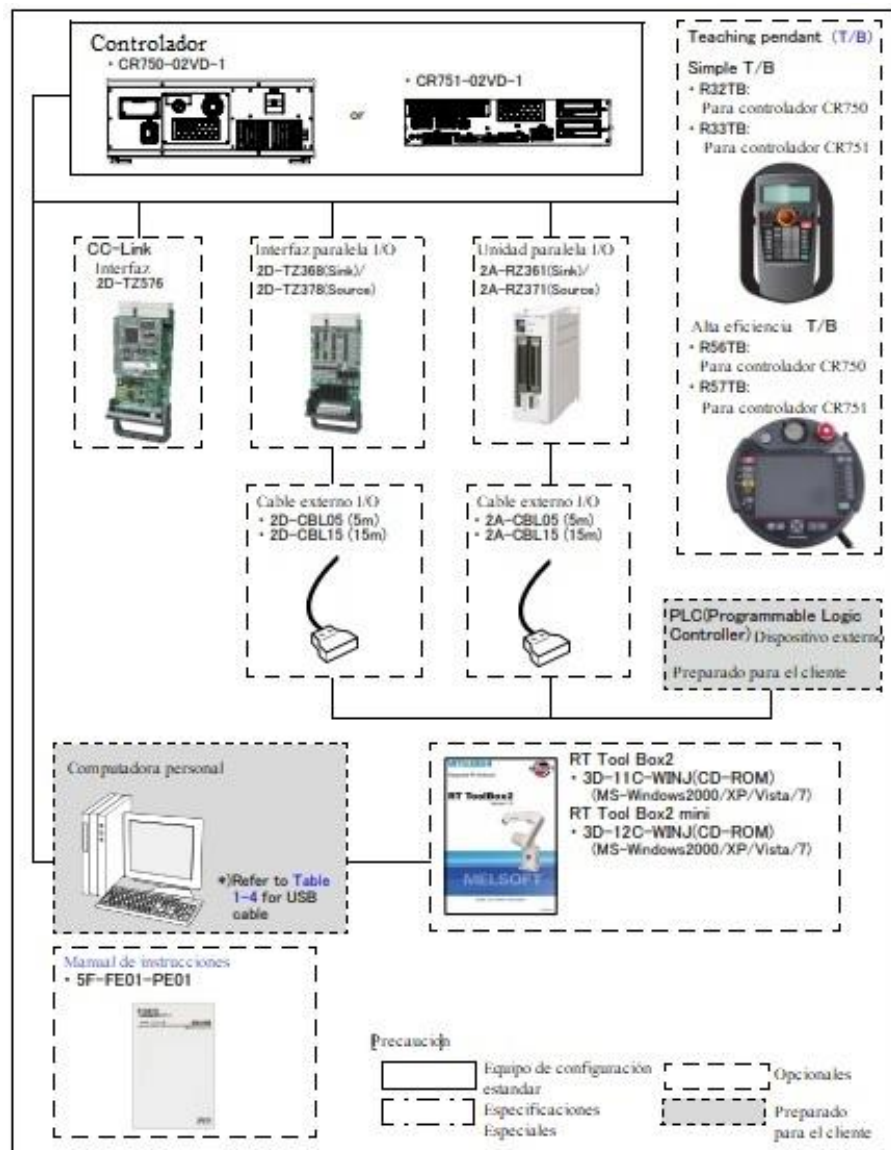


Figura 1. Dispositivos de conexión al controlador [6]

1.2.1.1 Unidad Paralela I/O

La Unidad Paralela I/O es usada para expandir a 32 entradas/salidas externas del controlador, la conexión de esta unidad se realiza mediante el Puerto del controlador RIO

1.2.1.2 Interfaz CC-Link

Interfaz CC-Link (Control and Communication Link Interface por sus siglas en inglés), esta interfaz de opción no solo es para agregar datos de bits al controlador, sino también para agregar la función de red de campo CC-Link que permite transmisión cíclica de datos de palabras. Para montar la tarjeta de interfaz puede ser montada en la ranura 2 (Slot 2).

1.2.1.3 Interfaz Paralela I/O

La interfaz Paralela I/O se utiliza para expandir a 32 entradas y salidas externas, que también es posible el uso combinado con la unidad de entrada y salida paralela, el montaje de esta interfaz se realiza en la ranura 1 (slot 1), como se observa en la Figura 2.

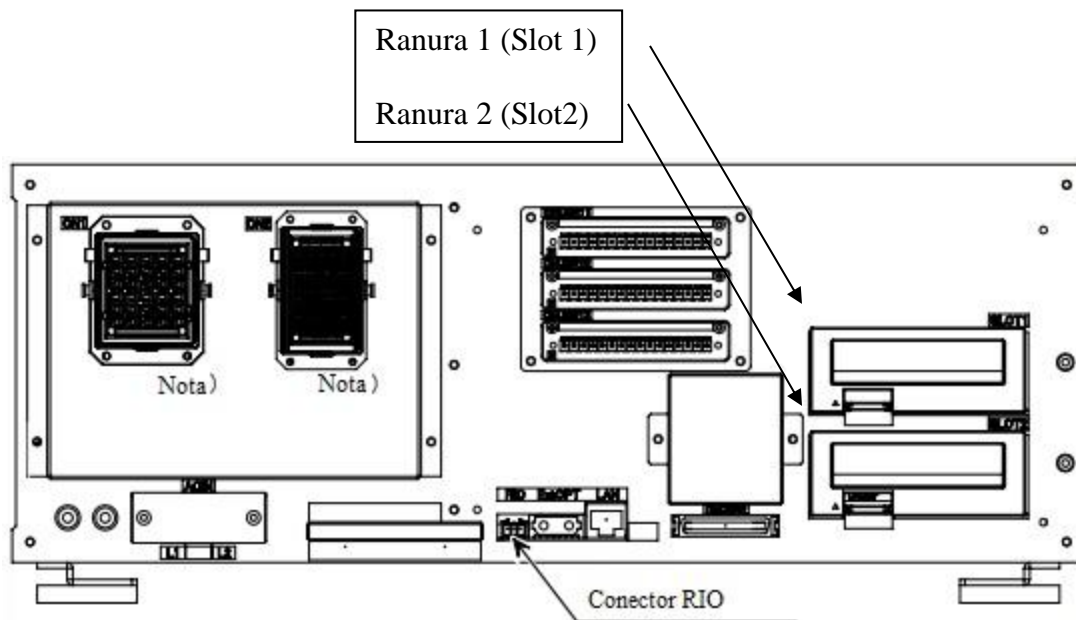


Figura 2. Conectores del controlador CR750-D [6]

1.3 Sistema básico de un Diseño Mecatrónico

El sistema básico de un diseño basado en la norma VDI 2206, se basa en un enfoque concurrente, donde enfoca todos los procesos necesarios para obtener un producto final óptimo, teniendo en cuenta todas las fases de un ciclo del producto como en la Figura 3.

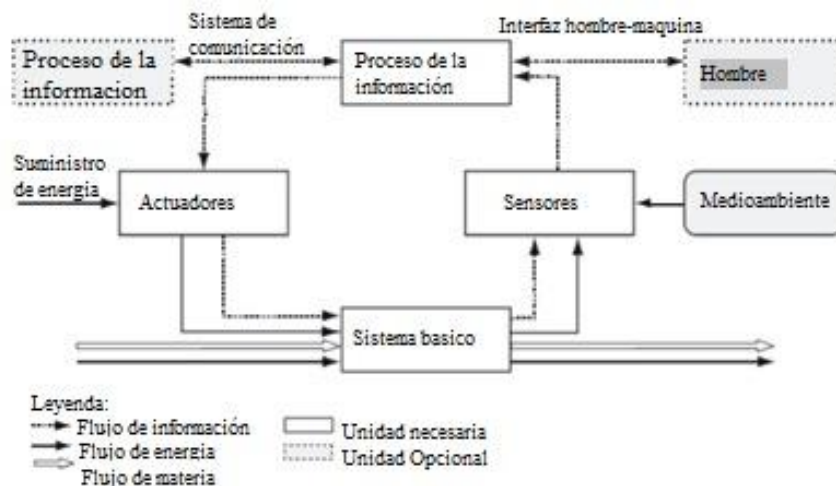


Figura 3. Sistema básico [7]

La configuración de visión artificial está basada en un sistema básico mecatrónico, donde constan de los siguientes elementos:

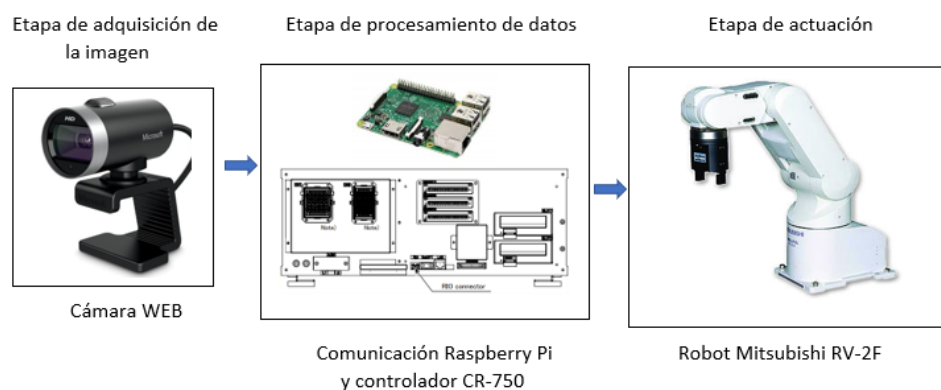


Figura 4. Elementos de un sistema de visión Artificial.

El primer elemento estaría constituido por la captación de la imagen, el **Sensor**, encargado de capturar una imagen digitalizada en un ambiente idóneo con una iluminación constante, donde se encuentran todas las características de los objetos a procesar, para luego almacenarla en la tarjeta de procesamiento. Entre los dispositivos de captura o sensores se encuentra. [8]

Segundo, el **sistema de adquisición y procesamiento de datos** encargados de recibir las señales eléctricas digitales para ser tratadas mediante un muestreo y cuantificación. Las señales se depositan en el bus de expansión del medio de transmisión de datos (USB, Firewire, Ethernet) se envía hasta que un procesador las recibe y las procesa a un tipo de información de alto nivel. [8]

Tercero, el **actuador**, en este sistema es el brazo robótico Mitsubishi RV-2F encargado de realizar las acciones en base a la información receptada del procesamiento de la tarjeta de adquisición.

1.4 Cámara

Cámara es un dispositivo compuesto por un sensor y la electrónica asociada, formada por un juego de lentes y el diafragma, el dispositivo encargado de transformar las señales luminosas que aparecen en la escena, en señales analógicas o digitales, construye la imagen sobre un plano del sensor compuesto en base a las señales, y las transmite hacia la tarjeta de adquisición del procesador. Se divide en dos partes, el sensor, que captura las propiedades del objeto en forma de señales luminosas y lo transforma en señales analógicas o digitales, y la óptica que se encarga de proyectar los elementos adecuados de la escena ajustando una distancia focal adecuada. [9]

Existen de varios tipos, formas, tamaños y precio, pero se debe tomar en cuenta características especiales para adquirirla como:

- La resolución. - El número de pixeles que contienen las imágenes.
- La memoria. - La cantidad de espacio para almacenar las fotografías.
- Compresión de Archivos. - Es la cantidad de compresión que permite la cámara; a menor compresión mayor será la calidad de la imagen

La resolución es uno de los aspectos más importantes al momento de adquirir un cámara ya que de esto depende el tamaño de la imagen como se ve en la tabla 3 una imagen con una resolución de 640x 480, quiere decir que la imagen a representar tiene, 640 filas por 480 columnas, y dependiente de ello y la profundidad de la imagen se obtiene el tamaño del archivo representado en bits.

Tabla 3. Tamaño de una imagen [10]

Resolución	Profundidad del pixel	Tamaño del archivo
640x480	8 bits	2'457.600 bits

1.4.1 Interface de cámaras digitales.

El crecimiento de las cámaras digitales en el mundo industrial ha ido en aumento debido a varios aspectos como prestaciones, funcionalidad, conectividad, resolución. Depende en gran medida de una buena conectividad para poder interactuar con los diferentes equipos o dispositivos.

Uno de los aspectos importantes a tomar en cuenta, es la opción a elegir la conectividad entre la cámara y el dispositivo de adquisición debido al aumento del ancho de banda. Existen múltiples tipos de conexión dependiendo del ancho de banda necesario, longitud

máxima de cables, entorno ambiental en el que aplicarlo, tipo de uso, tiempo de vida, el coste, desarrollo de software y haciéndolo más cómodo para el usuario del sistema.

La conectividad más tradicional se realiza mediante RS422 y LVDS digital que están todavía disponibles pero cada vez están siendo menos utilizados. Los estándares de conexión que se utilizan actualmente debido a su facilidad de uso son Camera link, USB 2.0, IEEE 1394a y IEEE 1394b (Firewire), así como GigE Visión (gigabit Ethernet). Cada uno de estos estándares ofrece diferentes ventajas y desventajas, con lo cual los requisitos específicos de cada sistema definirán cual es la aplicación más adecuada. [11]

1.4.1.1 Firewire.

Firewire es un estándar de comunicación conocido como IEEE 1394. Es un puerto de conexión de Entrada y Salida con una capacidad de transportar información a gran velocidad de hasta 400 Mbps (50 MB/s), funciona mediante transferencia de datos en serie, típicamente se encuentra en la conexión de cámaras, pantallas LCD, impresoras. [12]

La conectividad Firewire se encuentra dependiendo de su aplicación en 4 y 6 hilos, la diferencia radica en que el bus de 6 hilos proporciona alimentación de 24 VDC al dispositivo y el de 4 hilos no. Su comunicación es punto a punto sin tener la necesidad de un dispositivo que gestione la comunicación. Su ancho de banda permite un direccionamiento máximo de 1023 buses con 63 dispositivos por bus [11]

El Firewire es capaz de interactuar directamente con el firmware de una cámara de video haciendo fácil su adquisición [12]. La longitud del cable estándar es de 4.5 metros, se puede hacer uso de la instalación de concentradores para que se pueda ampliar la longitud del cable hacia los dispositivos lejanos y no perder información.



Figura 5. Firewire
Fuente: [12]

1.4.1.2 Cámara Link.

Este protocolo de comunicación es diseñado principalmente para aplicaciones de visión por computadora, el mismo que está basado en un la interfaz Nacional Semiconductor Channel-Link basada en la tecnología LVDS con la finalidad de proporcionar a las industrias y científicos un método de comunicación estándar y de fácil accesibilidad por los consumidores. [13]

El protocolo fue desarrollado por los mismos fabricantes de cámaras, que se vieron en la necesidad de adaptar sus aplicaciones usadas mediante comunicación USB que es un protocolo más general. [11]

La tecnología LVDS (Señal diferencial de bajo voltaje, por sus siglas) proporciona una velocidad de transmisión alta, su principal funcionamiento se basa en una señal diferencial, quiere decir que su señal es transmitida por duplicado por el emisor, pero con diferente voltaje, una señal es transmitida por su polo positivo y la otra por su polo negativo, mientras que el receptor se encarga de comparar estas señales asignando un valor lógico.

Chanel Link de Nacional Semiconductor, tiene un controlador y receptor el cual acepta 28 señales de datos en un extremo y un reloj del otro. Además, reduce drásticamente el número de conductores en los cables. Los cables asignados en grupos de siete bits se

transmiten en cables de diez hilos (5 pares trenzados). La velocidad de transmisión de datos es de hasta 1.8Gbps. [11]



Figura 6. Camera Link [13]

1.4.1.3 Gigabit Ethernet.

Gigabit Ethernet es un protocolo ampliamente conocido y utilizado gracias a su gran capacidad de transmisión de datos, alcanzando una velocidad de 1 gigabit por segundo en distancias de hasta 100 metros, es decir supera en velocidad de comunicación a los protocolos como Cámara Link, USB2 y Firewire. [11]

Gigabit Ethernet convierte la información receptada por la cámara ya sea imágenes o frames de un video en paquetes IP, la cual es enviada a través del cable Ethernet hacia un ordenador o dispositivo de procesamiento. Gracias a la gran velocidad que presenta en grandes distancias, su procesamiento es en tiempo real obteniendo un funcionamiento óptimo en las aplicaciones. [11]

Además de los beneficios que presenta este protocolo, cabe mencionar su alta eficiencia energética que consume menos de 2W independientemente de cuantos datos sean transferidos y su fácil instalación en lugares de difícil acceso.



Figura 7. Gigabit Ethernet

1.4.1.4 USB

USB (Universal Serial Bus) es el protocolo más extendido a nivel mundial desarrollado a mediados de los años 1990, este protocolo permite la comunicación, alimentación eléctrica entre ordenadores y dispositivos periféricos, USB fue diseñada como una interfaz para dispositivos periféricos y no para transmisión de datos a alta velocidad- [14]

Existen dos tipos de USB, el tipo A más común y usado, generalmente para dispositivos que usan poco ancho de banda como las Cámaras WEB, el segundo de sus cuatro pines transmite los datos de manera asíncrono, es decir envía datos por paquetes separados y reserva una parte de los paquetes para eventos inesperados, esperando una señal que sea transmitida o recibida por el dispositivo [14]

La longitud de cables en USB 2.0, está estrictamente limitada a 5 metros, pero si se requiere más longitud, se puede extender mediante el uso de repetidores (concentradores) intermedios. [12]

Tabla 4. Comparativa de Interfaces [11]

	GIGE	Camera Link	FireWire	USB
Tipo de estándar	Comercial	Comercial	Consumidor	Consumidor
Tipo conexión	Punto a punto o LAN	Punto a punto	Igual a igual	Maestro-esclavo
Ancho de banda	<1000 Mbps	4.080 Mbps	<800 Mbps	480 Mbps USB2.0
Topología	Link	Link	Bus	Bus
Cableado	RJ-45	MDR-26	4/6 pin STP	4-pin STP
Interfaz cámara	Adaptador externo o incorporado	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Interfaz PC	GigE NIC	Capturador de cuadros PCI	Tarjeta PCI	Tarjeta PCI
Tipo transferencia de datos	Dedicado	Dedicado	Asíncrono/ isócrono	Asíncrono/ isócrono
Transmisión de video	Continuo	Continuo	Ráfaga	Ráfaga
Distancia	<100 m	<10 m	<4.5 m	<5 m
Interrupciones máximos	no limite	no limite	72 m	30 m
Max. con fibra óptica	no limite	no limite	200 m	No disponible
Soporte de internet	si	no	no	no
Max. # de cámaras	Sin limite	1	63	127
Modo Full-dúplex	si	si	si	si
Control de red	si	no	si	no
Control I/O	RS-232 o GPIO	si	si	si
Señal en tiempo real	No	si	No	no

1.5 Adquisición y Procesamiento de datos

La adquisición y procesamiento de datos, es el proceso de muestreo de señales y la digitalización de las mismas, para que puedan ser procesadas y poderlas visualizar, analizar y almacenar mediante el uso de herramientas de software especializados en el uso de visión por computadora.

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar, obtener las características de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles, la imagen puede haber sido obtenida y procesada en diferentes etapas como se menciona en el apartado 1.6.

National Instrument menciona: “La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable.” [15].

1.5.1 Tarjetas de adquisición y procesamiento de datos

1.5.1.1 Raspberry PI.

Raspberry PI es una placa computadora (SBC) que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común, esta pequeña computadora “se conecta a su televisor o pantalla, un teclado y un mouse. Puede usarlo para aprender a programar y construir proyecto de electrónica como lo haría una PC de escritorio, como hojas de cálculo, procesamiento de texto, navegación en internet” lo menciona la página oficial. [16].

Existe una gran variedad de modelos con diferentes características del procesador que están disponibles según la aplicación que se requiera realizar, dependiendo del modelo, La Raspberry PI tiene 40 o 26 pines GPIO de interfaz dedicados expandibles mediante el uso del bus I2Co SPI. En cualquiera de los casos, estos incluyen un UART (Universal Asynchronus Receiver-Transmitter, por sus siglas en ingles), un bus I2C, un bus SPI con dos selecciones de chip, audio I2S, dos fuentes de salida de voltaje de 3v y 5v y tierra, también hay un puerto de cámara CSI-2 dedicado para el módulo de cámara Raspberry y un puerto de pantalla DSI para la pantalla táctil LCD de Raspberry PI [16].

El sistema Raspberry depende de la aplicación que se va a realizar existentes en diferentes versiones, pero la más común se observa en la Figura 8, la cual cuenta con un Procesador que posee un chip de 32 bits, con un sistema de 700 MHz, el cual es construido sobre una arquitectura ARM11, los chips ARM vienen en una variedad de arquitecturas con diferentes núcleos configurados para proporcionar diferentes capacidades a diferentes precios. El modelo B tiene una memoria RAM de 512 MB y el modelo A tiene una de 256 MB ubicado en la parte superior del SoC por lo que no es posible su extracción para no dañar la tarjeta, si algún usuario quisiera ampliar su capacidad de RAM, en versiones superiores a la Raspberry 2 modelo B su memoria RAM viene por separada ubicado en la parte inferior de la PBC, pero de la misma forma no es recomendable ampliar la memoria. [17].

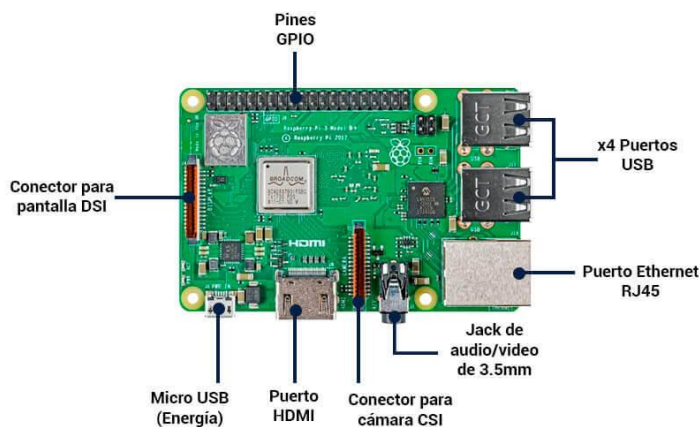


Figura 8. Raspberry PI [17]

La Raspberry Pi cuenta con 26 pines llamados GPIO (General Purpose Input/Output por sus siglas en inglés) que pueden configurarse para conectar cualquier periférico, sensor o actuador.

Los pines GPIO en general entregan en nivel alto, un voltaje de 3.3v y generan hasta 16 mA, el cual puede leerse o escribirse como un valor digital, uno en alto y cero en bajo, la Figura 9 muestra los pines GPIO de la Raspberry Pi 3 B.

Raspberry Pi B+/2 B Rev 1 (J8)			
3.3V	1	2	5V
GPIO2	3	4	5V
GPIO3	5	6	GND
GPIO4	7	8	GPIO14
GND	9	10	GPIO15
GPIO17	11	12	GPIO18
GPIO27	13	14	GND
GPIO22	15	16	GPIO23
3.3V	17	18	GPIO24
GPIO10	19	20	GND
GPIO9	21	22	GPIO25
GPIO11	23	24	GPIO8
GND	25	26	GPIO7
ID_SD	27	28	ID_SC
GPIO5	29	30	GND
GPIO6	31	32	GPIO12
GPIO13	33	34	GND
GPIO19	35	36	GPIO16
GPIO26	37	38	GPIO20
GND	39	40	GPIO21

Figura 9. GPIO Raspberry Pi 3 Modelo B. [18]

1.5.1.2 Arduino

Arduino es una placa que permite la adquisición y procesamiento de datos dirigida a estudiante o ingenieros electrónicos, basada en un hardware y software. El hardware permite leer entradas ya sean analógicas o digitales de sensores, leds, Switch, y poder convertirlas en salidas para la actuación de un controlador o indicador. El software, un lenguaje de programación Arduino de código abierto basado en el cableado. [19]

El cableado es definido para código abierto programables en placas de microcontroladores, el cableado permite escribir software y a la vez controlar dispositivos conectados a los microcontroladores. Los microcontroladores más comunes donde se hace el uso de cableado son los procesadores AVR atmega. [20]

Arduino usa su propio lenguaje de programación, que consiste en una estructura de 3 partes principales, la primera parte define las funciones para controlar la placa Arduino y realizar los cálculos, la segunda perteneciente a las variables los tipos de datos y constantes, y la tercera, la Estructura los mismos elementos que se usa en el código Arduino. [19]

Existen una gran variedad de placas Arduino (Uno, Mega, Nano, etc.) constituidos en una placa. El Arduino Uno es uno de las más comunes y utilizados para proyectos de adquisición y procesamiento de datos, basado en un microcontrolador Atmega328, con 14 pines de Entrada/Salida digitales que leen las señales y las procesan (de los cuales 4 son usadas para PWM, 2 para UART), para entradas analógicas dispone de 6 pines, un plug USB para la alimentación y comunicación con el IDE Arduino, un conector para una fuente externa, 2 pines de voltaje de 3.3V y 5V y tierra. [21]



Figura 10. Placa Arduino [21]

1.5.1.3 MyRIO

National Instruments una empresa que acelera la productividad y la innovación gracias a sus dispositivos electrónicos avanzados. MyRIO una placa de procesamiento basada en un procesador dual-core ARM Cortex-A9, diseñada para aplicaciones de robótica, sistemas

embebidos, control y mecatrónica, permite reconfigurar las Entradas/Salidas para múltiples aplicaciones. [22]

MyRIO de National Instrument proporciona entradas analógicas (AI), salidas analógicas (AO), entradas y salidas analógicas (DIO), acelerómetro, uso de Wireless, audio, salida de potencia y un puerto USB para comunicar diferentes interfaces en un dispositivo compacto integrado. El bloque de diagrama de una MyRIO se presenta la Figura 11.

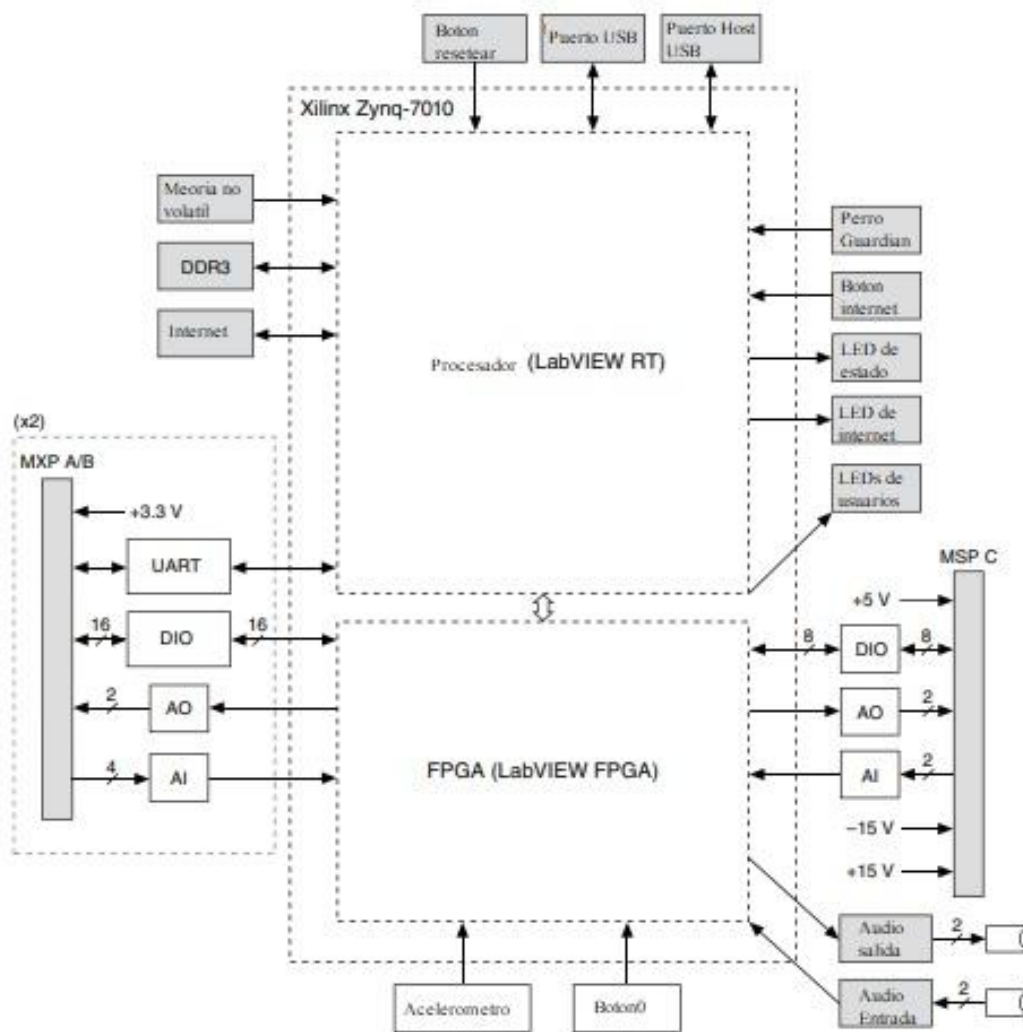


Figura 11. MyRIO bloque de diagrama del hardware [23]

NI MyRIO presenta 3 conectores o canales A, B y C, los conectores de expansión A y B son idénticos y cada uno dispone de las entradas y salidas analógicas y digitales, pines para PWM, pines para la comunicación UART, I2C y SPI, además de cada canal tiene fuente de salida de 3 y 5v y tierra. El canal C tiene menos entradas y salidas y sus fuentes son de 15 y 5V. [23]

1.5.1.4 PC

Las computadoras de peso y tamaño ligero, son un gran instrumento para la generación de muchas aplicaciones, permite el diseño de interfaces, control en tiempo real, programación en diferentes lenguajes.

Una laptop es también desarrollada como una tarjeta de adquisición y procesamiento de datos puesto que admite la transmisión de datos de diferentes periféricos de entrada en diferentes modos, y un procesamiento de datos en diferentes softwares (Matlab, LabVIEW, Arduino, etc.) con lenguajes de programación diferentes. Uno de los inconvenientes que se presenta para elegir como una opción de tarjeta de adquisición y procesamiento de datos, es su elevado coste y su tamaño para su instalación.

1.5.2 Software

Existe una gran variedad de software libres que nos proporcionan herramientas avanzadas para poder trabajar en la adquisición y procesamiento de imágenes, entre las cuales se mencionan una lista de los softwares más completos y fáciles de manejar.

1.5.2.1 Matlab

Matlab es un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación avanzado propio, que permite entre muchas aplicaciones, el análisis de señales,

matemáticas de matrices, arrays, creación de interfaces de usuario (GUI), visión artificial y la comunicación entre otros Hardware. [24]

Matlab es una herramienta potente que presenta la posibilidad de realizar trabajos en dos dimensiones y tres dimensiones mediante el uso de librerías especializadas. Existen muchas áreas de trabajo donde Matlab puede aplicarse para resolver problemas del entorno, como por ejemplo el procesado de imágenes que proporciona a científicos, investigadores e ingenieros un conjunto flexible de herramientas para resolver problemas complejos en el tratamiento de imágenes.

1.5.2.2 LabVIEW

LabVIEW proporciona a diferencia de Matlab, un lenguaje de programación en un entorno gráfico, más dinámico y fácil de usar. La forma de visualización resulta una manera fácil de integrar hardware de medidas, realizar diagramas complejos, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas. [25]

Entre las aplicaciones que se puede realizar en LabVIEW se encuentra un sistema de visión para el análisis y procesamiento de imágenes que se realiza mediante cámaras inteligentes diseñadas para una amplia variedad de aplicaciones como el reconocimiento de objetos, ensamble y robótica guiada por visión.

1.5.2.3 Python

El sitio oficial de Python menciona, “Python es un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos de alto nivel eficientes y un enfoque simple pero efectivo para la programación orientada a objetos. La elegante sintaxis y escritura dinámica de Python, junto con su naturaleza interpretada, lo convierten en un

lenguaje ideal para la creación de scripts y el rápido desarrollo de aplicaciones en muchas áreas en la mayoría de las plataformas” [26]

1.5.2.4 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es un software de código abierto dirigido al aprendizaje y visión por computadora. La infinidad de aplicaciones como la detección de movimiento, control de sistemas y procesos y algunos más que se puede realizar, acelera el uso de la percepción de las maquinas como un sentido de una persona, aumentando la productividad en el ámbito comercial. [27]

OpenCV es un producto con licencia BSD (Berkeley Software Distribution), es decir su código fuente es abierto y permisible a ser modificado por Instituciones o empresas que usen de esta librería para propósitos comerciales o de investigación. La librería posee más de 2500 algoritmos que incluyen visión por computadora y aprendizaje automático para la detección de objetos, rostros, identificación de objetos mediante Maching Learning, extraer objetos de interés (ROI) para un posterior procesamiento, calibración de cámaras, visión estéreo y visión robótica. [27]

1.6 Etapas de procesamiento de imágenes.

“La Visión Artificial puede ser definida como los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas desde un mundo tridimensional a partir de imágenes bidimensionales”

La visión artificial consiste en ciertos pasos fundamentales, donde se lleva a cabo el proceso de visión artificial aplicado en un entorno, donde acelera la percepción de las maquinas (robots), estos procesos pueden ser divididos en 5 procesos (Figura 12).

Adquisición de la imagen digital, Preprocesamiento, Segmentación, Representación y Descripción, Reconocimiento e interpretación. [28]

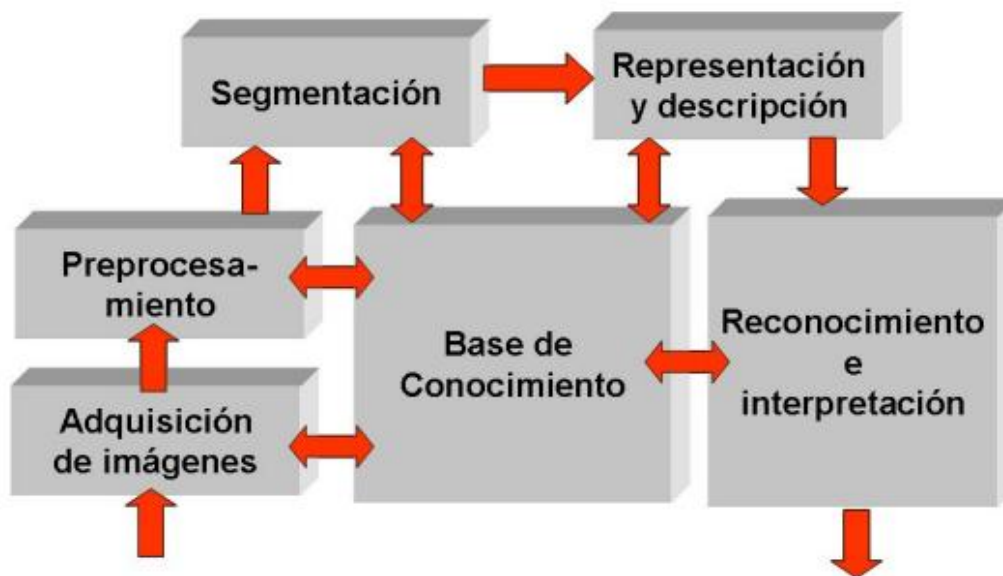


Figura 12. Etapas de la visión Artificial [4]

1.6.1 Adquisición de Imágenes.

Es el proceso donde se obtiene una imagen digital a través de un dispositivo como una cámara digital, video-cámara, escáner, telescopio, etc. Esta etapa de formación de imágenes es la etapa más importante porque se forman es decir su objetivo es realzar la imagen mediante técnicas para poder continuar con las siguientes etapas. [4]

El método de captación de imágenes para su procesamiento es de manera digital, donde, se obtiene matrices con valores positivos y enteros. Los valores de esta matriz que toma en cada punto dependen del brillo que presenta en esos puntos en la imagen original. La representación de cada color se realiza mediante un vector con valores enteros.

“La imagen digital se define como una matriz bidimensional $f(x, y)$ donde x, y son las coordenadas del plano y f es la intensidad o el nivel de gris en ese punto” lo menciona [29]. El nivel de intensidad depende mucho de la profundidad de bits en una imagen, a continuación, se detalla la clasificación de la profundidad de bits en las imágenes.

1.6.1.1 Tipos de imágenes digitales.

Imagen digital RGB

Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel y pertenece a un número de bit para representar en el espacio RGB. La cantidad de número de bits en una imagen depende de la profundidad en RGB un total de 8 bits, tiene 24 bits de profundidad. [10]

Tabla 5. Profundidad de color RGB


Canales	8 bits		Cantidad
3 - RGB		24	$2^{24} = 16,777,216$ colores

Imagen digital Gris

Nivel de gris - Cuando una imagen es digitalizada, la intensidad del brillo en la escena original correspondiente a cada punto es cuantificada, dando lugar a un número denominado "nivel de gris" [30]. En imágenes de 8 bits puede tener hasta 256 tonos de gris, donde el 0 corresponde al color negro y 255 en niveles de gris corresponde al color blanco. [10]

Tabla 6. Profundidad de color Gris

Canales	8 bits		Cantidad
1		8	$2^8 = 256$

Imagen digital Binaria

Imagen binaria. Es aquella que sólo tiene dos niveles de gris: negro y blanco. Cada píxel se convierte en negro o blanco (o para negro y 1 para blanco) en función del llamado nivel binario o UMBRAL [30]. Tiene una profundidad de color de 1 bit.

Tabla 7. Profundidad de color Binario

Canales	1 bit		Cantidad
1		2	$2^1 = 2$

1.6.1.2 Imágenes raster.

Las imágenes raster se nombran así porque están definidas por un número fijo de píxeles y dependen directamente de la resolución o calidad. Los píxeles ubicados en una cuadrícula con valores que definen una ubicación y valor de intensidad del píxel. Estas imágenes pueden perder detalles al ser ampliadas modificando su calidad. Existen algunos formatos los cuales son admitidos por diferentes programas o procesadores entre ellos se tiene: TIFF, BMP, GIF, JPEG, PNG, cada uno se limita a una cierta cantidad de colores y con propias características como su calidad, la calidad de las imágenes expuestas en el apartado 1.4. [10]

1.6.2 Pre-Procesamiento.

El objetivo principal es mejorar y realzar las características de una imagen mejorando su aspecto y hacer más evidente en ella ciertos detalles que se desean notar para posteriores niveles de visión [10]. El preprocesamiento pretende reparar los desperfectos de una imagen producidos durante su adquisición debido algunos factores como la degradación que se manifiesta en forma de ruido, pérdida de definición por mucho o poco contraste o brillo o por falta de una ecualización apropiada. [28]

El preprocesamiento incluye técnicas que son frecuentemente utilizadas para mejorar el contraste, brillo, nitidez, niveles de grises, aumentar o disminuir los bordes, mejorar texturas, realce de ciertos detalles o características, etc., tales como operaciones básicas, transformaciones geométricas, filtrado e histograma, con el objetivo de mejorar la calidad informativa de la imagen adquirida.

1.6.2.1 Operaciones básicas.

Las operaciones básicas utilizada en la visión artificial tiene como objetivo acceder a los valores de pixeles y modificarlos, acceder a las propiedades de la imagen, dividir y combinar imágenes. Entre las principales operaciones se tiene: [28]

- Operaciones Aritméticas
- Operaciones lógicas
- Transformaciones no lineales
- Realce de niveles
- Umbralización

1.6.2.2 Transformaciones Geométricas.

Estos algoritmos pretenden modificar las características geométricas de una imagen en un sistema de coordenadas, para la reconstrucción de imágenes deformadas, giro y ajustes de las mismas o de las deformaciones que se presentan por una mala adquisición de la imagen. Se usan algoritmos dedicados para las siguientes aplicaciones. [28]

- Giro o rotación
- Traslaciones o desplazamiento
- Escalado o de Zoom

- Mejoramiento de la resolución
- Deformación.

1.6.2.3 Filtrado

El filtrado, uno de los aspectos importantes en la aplicación de una imagen, su objetivo, eliminar el ruido producido por factores externos (sensores, ruidos eléctricos, perturbaciones en el medio de transmisión, efectos térmicos, campos electromagnéticos, entre otros.), obteniendo una nueva imagen con las características acentuadas o disminuidas pudiendo observar en ella ciertos detalles, para ellos existen números métodos que se aplican en la etapa de filtrado ya sea en el dominio espacial (directamente sobre los pixeles) o en el dominio de la frecuencia (indirectamente en los pixeles, utilizando ponderación de otros valores de pixeles). [8]

Filtros en el dominio espacial

- Filtros de suavizamiento. – Objetivo es eliminar el ruido o detalles pequeños que no sean de interés es decir eliminan las altas frecuencias.
- Filtro de acentuamiento. – Por el contrario, el filtro de acentuamiento intensifica los detalles y cambios bruscos de intensidad mientras atenúa las altas frecuencias.

Filtros en el dominio de la frecuencia

Son filtros basados en la transformada de Fourier (discreta, discreta inversa, rápida) el objetivo es aplicar la transformada (filtro ideal, filtro Butterworth) y calcular su inversa para regresar al modo espacial [8].

1.6.2.4 Histograma.

El histograma permite determinar los niveles de intensidad de una imagen definidos en escala de grises con valores entre 0 y 255 (0 = negro, 255 = blanco) e imágenes RGB (Red, Green, Blue, por sus siglas en inglés) donde cada canal es evaluado y determinado su nivel de intensidad en la imagen.

En el histograma se pueden aplicar algoritmos como la **Ecualización**, donde su objetivo radica en la distribución uniforme de los píxeles para que cada nivel tenga una misma profundidad, mejorando el contraste de la imagen. [9]

1.6.3 Segmentación.

“Segmentación es el proceso que divide una imagen en objetos que sean de nuestro interés de estudio” [10, p. 29]. Es decir, dividirla en zonas disjuntas e individualizadas, separando los objetos del fondo en un primer plano para así determinar las características propias de cada uno de ellos. La segmentación es una etapa crucial para poder continuar con las siguientes etapas, el reconocimiento de un conjunto de objetos puede complicarse dependiendo de la cantidad que se tenga que reconocer y de la disposición de estos en un entorno. [28]

El proceso de segmentación se encarga de evaluar si cada píxel de la imagen pertenece o no al objeto de interés. Esta técnica de procesamiento de imágenes idealmente genera una imagen binaria, donde los píxeles que pertenecen al objeto se representan con un 1, mientras que los que no pertenecen al mismo se representan con un 0.

Existen diversas técnicas que se aplican a una imagen con un conjunto de objetos complejos, es decir objetos sobrepuestos unos sobre otros, con el uso de algoritmos

(transformaciones morfológicas) se puede resolver estos problemas presentados comúnmente en el entorno industrial. Los algoritmos de segmentación se basan en una de estas dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad o similitud entre los niveles de gris de píxeles vecinos.

1.6.3.1 Transformaciones morfológicas.

“El procesamiento morfológico es una técnica de visión por computadora que analiza las imágenes basándose en propiedades de la forma”, menciona [9]. La mayoría de estos métodos son aplicables tanto a imágenes binarias como a imágenes en nivel de gris.

Las transformaciones morfológicas modifican la forma y estructura de uno o varios objetos identificados en una imagen, además ayuda a separar objetos sobrepuestos, descomponer formas complejas en formas más simples para su análisis, entre algunos algoritmos se tiene:

Tabla 8. Tipos de transformaciones morfológicas.

Operación	Descripción
Erosión	Durante el proceso el elemento estructurante (Kernel) se desliza a través de la imagen. Los píxeles menores al elemento estructurante no aparecerán en la imagen resultante, es decir un pixel de la imagen original (0 o 1) solo se considera 1 si todos los píxeles dentro del Kernel son 1. Por lo tanto, los bordes de los objetos de la imagen serán descartados dependiendo del tamaño del Kernel, como resultado disminuye el tamaño de la imagen. Esta función resulta conveniente para eliminar píxeles blancos (sal) y separando objetos
Dilatación	El proceso de dilatación es lo opuesto al proceso de erosión, en este caso los píxeles se transforman a 1 si al menos un pixel de la imagen de los que caen dentro de la ventana del Kernel es 1. Por lo tanto, la dilatación aumenta el tamaño de la imagen, la región blanca. Elimina píxeles negros (pimienta) y une partes rotas de un objeto.
Apertura	Es una combinación de erosión seguida de dilatación, esta función es ideal para eliminar el ruido, aunque no preserve la misma forma de los objetos, ya que afecta a los bordes suavizándolos mientras que los extremos o esquinas se redondean.

Operación	Descripción	Continuación...
Cierre	El cierre es lo opuesta a la apertura, aplica una dilatación engrandando los objetos y cerrando agujeros, seguida de una erosión reduciendo el objeto. La operación redondea las esquinas internas de los objetos y elimina objetos oscuros.	
Gradiente morfológico	Diferencia entre la dilatación y la erosión de una imagen, útil para la localización de los bordes o perímetro de los objetos.	
TOP-HAT	Operación entre la imagen original y la imagen en apertura. La función extrae características y objetos brillantes de la imagen.	
BOTTON-HAT	Operación entre la imagen en cierre y la imagen original. Esta función extrae objetos oscuros de la imagen.	
Transformación a distancia	Permite delimitar la distancia entre los objetos mediante una conexión de píxeles, lo que permite separar el área del fondo con el del objeto	

1.6.3.2 Discontinuidad

El objetivo principal de la discontinuidad se basa en el análisis de una imagen que recorre mediante un elemento estructural cada pixel en busca de cambios bruscos de nivel de gris.

- **Bordes.** – “Agrupa los píxeles que se han generado. Para que un píxel de borde se defina como píxel de frontera, necesita que otros píxeles tengan la misma dirección y módulo del gradiente” (Acurio, 2010).
- **Líneas.** – Los algoritmos para la detección de líneas se encargan de determinar cómo cambia los píxeles vecinos en términos de intensidad. Mediante el cálculo de derivadas evalúa gradientes donde su magnitud indica con que rapidez están cambiando los píxeles y la dirección (horizontal, vertical o diagonal), para donde están cambiando

1.6.3.3 Similitud.

La similitud como le define la real academia española “Relación entre cosas que tienen características comunes”, es decir que mediante criterios como el crecimiento de regiones o la Umbralización se fijan características similares en una imagen.

- **Crecimiento de región.** – “Se basan en tomar un pixel o conjunto de pixeles como una región inicial y a partir de estos “crecer” la región con puntos similares hasta llegar a ciertos límites” menciona [8, p. 121]
- **Umbralización.** – La umbralización es un método usado frecuentemente en la aplicación de visión artificial, separa el o los objetos del fondo de una imagen, se basa en la eliminación de valores superiores o inferiores (estableciéndolos a cero). [28]

1.6.4 Descripción.

Es el proceso que obtiene características relevantes convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro. Estas características se las puede obtener determinando los contornos de un objeto y pueden ser externas como la forma, perímetro, eje mayor, eje menor, rectángulo mínimo que contiene la región, excentricidad; o internas como el área, centro de gravedad, patrones de texturas (liso, áspero, regular), color (promedio y mediana de niveles de intensidad, máximo y mínimo de valores de intensidad), entre otros.

La descripción es fundamental para la localización y cuantificación de objetos en la imagen, uno de los procesos usuales para identificar objetos es conocido como etiqueta, donde cada pixel de la imagen tiene que tener una etiqueta que los defina, de forma que

todos los píxeles etiquetados con un mismo número, letra o color pertenezcan a un objeto de la imagen. [28]

1.6.5 Reconocimiento e interpretación.

El reconocimiento es el proceso que clasifica en categorías los objetos presentes en la imagen utilizando los descriptores del proceso anterior. Los objetos detectados que presenten descriptores semejantes se agrupan automáticamente en una misma clase o categoría o con una mínima intervención humana. Para esto se utiliza técnicas como métodos estadísticos avanzados, estructurales (sintáctico), basados en la apariencia, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, entre otros. Este proceso en sí mismo es una línea de investigación bastante extensa. [29]

1.7 Aplicaciones de la Visión Artificial

Uno de los sentidos más importantes de los seres humanos es la visión. Esta es empleada para obtener información visual del entorno físico. Por tanto, visión artificial o también llamada visión por computadora, captura la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales, utilizando procesos automáticos. [4].

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos.
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales. [31]

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1 Diseño Conceptual

2.1.1 Diagrama funcional

El diagrama funcional o diagrama de bloques presentado en la figura 13 mediante un mapa conceptual, muestra los diferentes procesos que se deben llevar a cabo para un sistema de adquisición de una imagen.

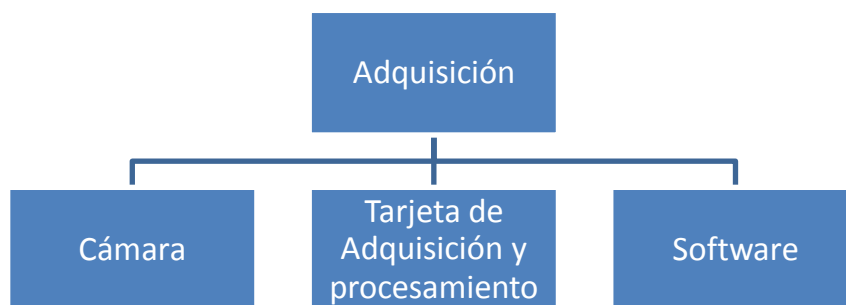


Figura 13. Diagrama funcional










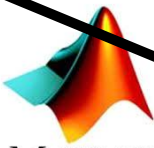


2.1.2 Matriz Morfológica

La matriz Morfológica es una técnica para generar una lluvia de ideas, consiste en descomponer una idea en sus elementos básicos con el objetivo de construir una matriz que permita relacionar tales partes y obtener diferentes ideas.

La matriz presentada en la tabla 9 descompone en diferentes dispositivos básicos los procesos o elementos que se requieren para un sistema como lo es la adquisición de una imagen. La descomposición presenta:

- Cámara. – diferentes cámaras con su sistema de comunicación
- Tarjetas de adquisición. – para el procesamiento de la imagen.
- Software. – los diferentes softwares disponibles para la tarjeta de adquisición.

Tabla 9. Matriz Morfológica

Cámara				
	GIGE	USB	Camera Link	Firewire
Tarjeta de Adquisición				
	Arduino	Raspberry	PC's	MyRIO
Software				
	OpenCV	Matlab	LabVIEW	C++

2.1.3 Método de evaluación

El método de evaluación permite describir las diferentes ideas de tal forma que se generen soluciones o criterios que se pueden evaluar para poder determinar la mejor opción de un sistema.

2.1.3.1 Soluciones.

Tomate: La primera etapa, el uso de una cámara USB (WEBCAM), que se conecta hacia una tarjeta de adquisición de datos Raspberry, donde se realiza la programación mediante el lenguaje OpenCV

Azul: Una cámara GIGE visión que se conecta a la tarjeta de adquisición Raspberry que por medio del lenguaje C++ se realiza la programación.

Negro: Cámara USB que se conecta a la tarjeta de adquisición y procesamiento Arduino, donde se realiza la programación en el lenguaje C++.

Verde: Una Cámara Link que se enlaza a la tarjeta MyRIO, donde se realiza la programación grafica en el software LabVIEW.

Rojo: Cámara USB que se conecta mediante un Laptop para poder realizar la programación en el software de Matlab.

2.1.3.2 Método selección por criterios ponderados

El método realiza un análisis cuantitativo en el que se comparan las diferentes alternativas mediante criterios con el objetivo de obtener una solución óptima.

Tabla 10. Método selección por criterios ponderados.

Criterios/Solución	Importancia	Amarillo	Azul	Negro	Verde	Rojo
Costo	5	1	1	-1	1	1
Mantenimiento	4	0	-1	1	0	1
Facilidad de operación	2	1	0	0	1	0
Eficiencia	4	-1	0	1	-1	0
Conectividad	5	1	-1	0	0	-1
Adaptación al espacio de trabajo	3	-1	-1	-1	0	0
Peso	2	1	1	0	-1	0
Protección	3	1	0	1	-1	-1
Rendimiento	5	1	-1	-1	0	-1
Tiempo de respuesta	4	0	1	0	0	0
Total +		6	3	3	2	2
Total -		-2	-4	-3	-3	-3
Total, Ponderado		2.5	1.5	0.5	-0.5	-0.5

Selección Óptima mediante una evaluación de criterios ponderados, la opción tomate. Como la solución recomienda utilizar Raspberry pi, a continuación, se detallan las características técnicas en la tabla 11.

2.1.4 Características Técnicas de la Raspberry Pi 3 modelo B

En la tabla 11 se presentan las principales características de la Raspberry Pi 3 B.

Tabla 11. Principales Características de la Raspberry Pi 3 [32]

Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bits CPU
1GB de RAM
GPIO extendido de 40 pines
Salida de voltaje de los pines 3.3v
Corriente de salida de los pines 16mA
BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth Low Energy (BLE) a bordo
100 base Ethernet
4 puertos USB 2.0
Salida de 4 polos estéreo y puerto de video compuesto
HDMI de tamaño completo
Puerto micro SD para cargar el sistema operativo
Puerto de cámara CSI
Puerto de pantalla DSI
Fuente de alimentación micro USB

2.2 Software

En función al hardware seleccionado, se decide utilizar como software de visión artificial para reconocimiento de objetos el lenguaje de programación Python 3.7.4 que será desarrollado en la Raspberry Pi 3 B como se observa en la Figura 14. Sin embargo, para validar el desarrollo de los algoritmos implementados en dicho lenguaje, usamos previamente OpenCV, debido a las facilidades que este lenguaje ofrece para la lectura y procesamiento de imágenes.

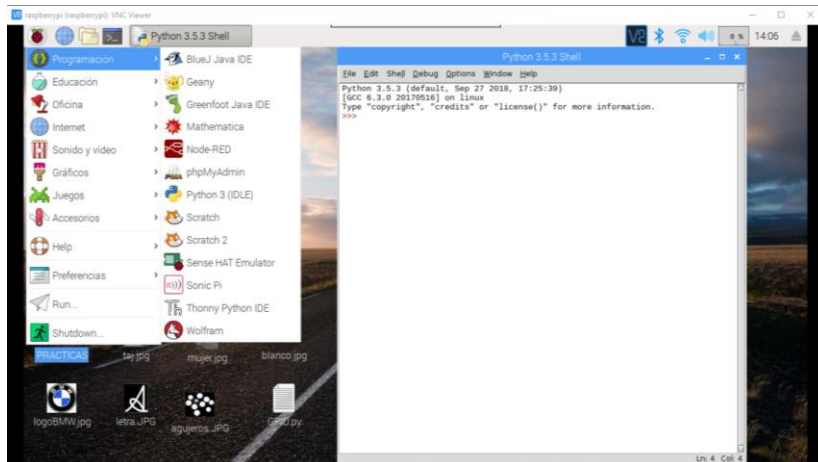
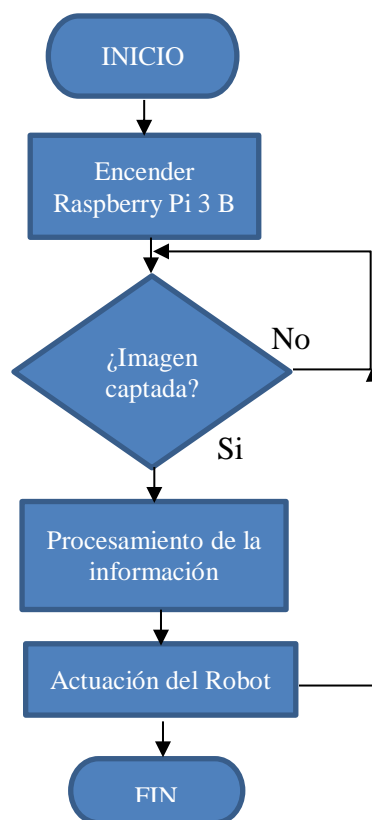


Figura 14. Entorno de Programación Python 3

El siguiente diagrama de flujo, muestra cómo se comporta el sistema de visión artificial mediante una secuencia para la adquisición, procesamiento de la imagen y la actuación del Robot Industrial Mitsubishi RV-2F.



El hardware y software seleccionados mediante una evaluación de criterios ponderados para el sistema de visión artificial se implementa en base a un sistema básico mecatrónico como se observa en la Figura 15

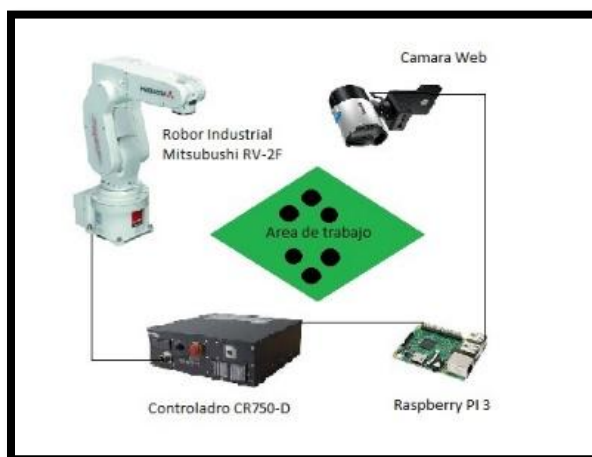


Figura 15. Hardware y Software del sistema de VA a implementar

2.3 Entradas y Salidas del Controlador CR-750D.

El controlador CR-750D dispone de una Interfaz paralela de I/O (Slot 1) que administra las salidas del PLC como entradas al Controlador, correspondientes a los pulsadores. Estas entradas y salidas a la Ranura 1 (Slot 1) trabajan con señales de tensión que interpretan como “1” a una corriente continua de 24v y como “0” a una corriente de 0v.

El Robot Industrial Mitsubishi RV-2F dispone de las siguientes entradas y salidas reservadas en el slot 1 como se pueden observar en la siguiente Figura 16 y Tabla 12.

Tabla 12. Entradas y Salidas Reservadas

Input	Salida PLC	Entrada Slot	Output	Salida Slot
Stop		0	Run	0
Servo OFF	O02	1	Servo ON	1
Error Reset	O03	2	Error	2
Start	16	3	Oper. Enable	3
Servo ON	O01	4	Assembling	4

Input	Salida PLC	Entrada Slot	Output	Salida continuación...
Oper. Enable	07	5	Cycle End	5
Robot Auto/Man	O04	6	Close Gripper	6
Robot Start	O01	7	Screwier Start	7
Cycle Start	O05	8	Screwing	8
Tall Bearing	O06	9		



Figura 16. Entradas Reservadas del Slot 1.

De las 32 entradas totales, hay 23 disponibles para conectar las salidas de la Raspberry Pi y poder realizar la comunicación. Para observar en el Teach Pendant las entradas y salidas en uso se realiza lo siguiente.

1. Entramos al Menú



Figura 17. Menú del Teach Pendant

- Dentro del menú se selecciona **Monitor** que dirigirá a la siguiente ventana donde se seleccionará en el submenú el ítem **General Purpose Signal** donde se indican las entradas y salidas del controlador.

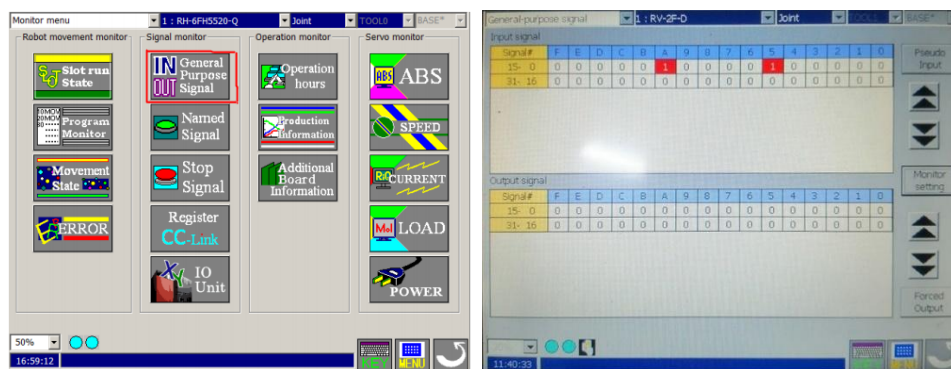


Figura 18. Entradas/Salidas del Controlador CR-750D

2.3.1 Comunicación Raspberry Pi y Controlador CR-750D

La comunicación entre la Raspberry Pi y el Controlador CR-750D se realiza mediante entradas y salidas digitales, como se menciona en el literal 1.5.1.1, la Raspberry Pi entrega un voltaje de 3,3 VDC en sus pines GPIO, y a diferencia de la Interfaz Paralela de I/O del controlador en la ranura 1 (Slot 1) donde su voltaje necesario para activar las entradas digitales es de 24 VDC, por tal motivo es necesario un circuito amplificador de voltaje que permita elevar el voltaje de 3,3 V a 24 V. En el siguiente apartado se describe el circuito que permitirá la amplificación correcta.

2.3.2 Optoacoplador PC817

La señal de entrada para un nivel alto en el Slot 1 es de 24v, sin embargo, la señal de salida que generan los pines GPIO de la Raspberry es de 3.3v, con el objetivo de realizar la comunicación es necesario una amplificación de voltaje.

El optoacoplador PC817 es conocido como un sistema de aislamiento eléctrico a través de un acoplamiento óptico, es decir el optoacoplador permite hacer un aislamiento galvánico entre dos etapas de un circuito manteniendo una comunicación entre ellos, su funcionamiento básico se basa en el acoplamiento de un fotodiodo infrarrojo (emisor) con un fototransistor (colector-emisor), es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activando el fototransistor mediante la luz emitida por el fotodiodo, garantizando así el aislamiento y protección eléctrica de la parte digital de control. [33]

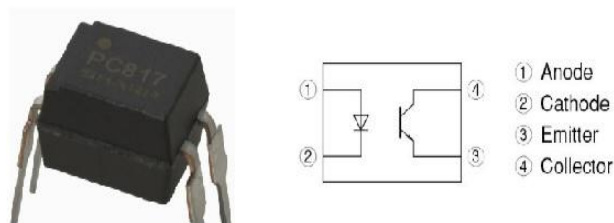


Figura 19. Optoacoplador PC817 [34]

El optoacoplador PC817 permitirá trabajar con dos etapas del circuito de diferente voltaje para el control de cargas en DC de hasta 35 V y 50 mA como lo menciona el datasheet.

Se realiza los cálculos para el circuito de la Figura 20. Por un lado, se conectará la salida del pin (GPIO) de la Raspberry al circuito primario como si se fuera a alimentar un simple led, para ello se tiene que poner una resistencia en serie para limitar la corriente, y para el circuito secundario como se desea una salida digital, se deberá usar una resistencia ya sea en Pull-Up o Pull Down. [35]

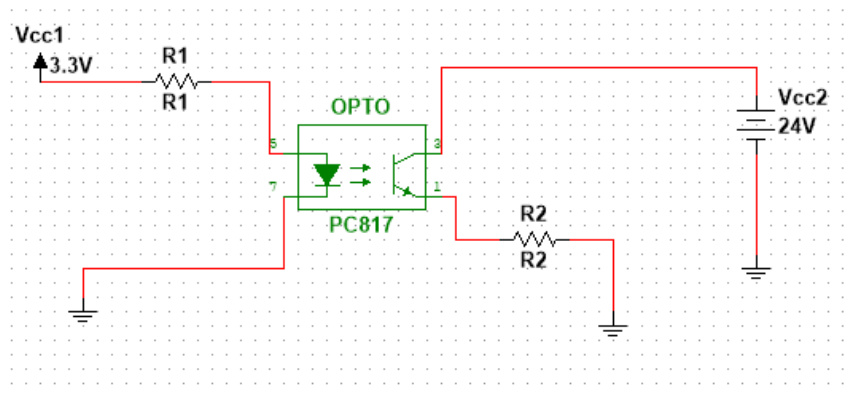


Figura 20. Circuito Optoacoplador

2.3.3 Diseño e implementación del amplificador para la comunicación

En la Tabla 13 se indican los datos necesarios para el cálculo del circuito a implementar en la etapa de comunicación entre la Raspberry Pi y el Controlador CR-750D.

Tabla 13. Datos para el cálculo del circuito. [34]

Datos de la Raspberry Pi (circuito Primario)	
V_{CC1}	3.3 v
I_F	16 mA
Datos para el circuito secundario	
V_{CC2}	24 v
Datos del Optoacoplador PC817	
CTR_{min}	50 %
V_{Fmin}	1.2 v
V_{Fmax}	1.4 v
I_{max}	50 mA
$V_{CE (sat) máx.}$	0.22 v

A continuación, se detallan los cálculos de los elementos del circuito de la Figura 20.

- Elección de R1

$$R1 = \frac{V_{CC1} - V_F}{I_F} \longrightarrow R1 = \frac{3.3 \text{ V} - 1.2}{16 \text{ mA}} = 131 \Omega$$

Valor de resistencia comercial **180 Ω**

- Elección de R2 – Fototransistor saturado

Para que el fototransistor este saturado.

$$I_C < CTR * I_F \longrightarrow I_{C(max)} < 0.5 * I_{F(min)}$$

$$I_{C(max)} = \frac{V_{CC2} - V_{CEmin}}{R_2}$$

I_{Fmin} se puede calcular del circuito primario.

$$I_{F(min)} = \frac{V_{CC1min} - V_{Fmax}}{R_1} \longrightarrow I_{F(min)} = \frac{3V - 1.4V}{180\Omega} = 8.8mA$$

Se impone la ecuación de saturación del transistor

$$\frac{V_{CC2} - V_{CEmin}}{R_2} < 0.5 * 8.8mA \rightarrow R_2 = \frac{V_{CC2} - V_{CEmin}}{0.5 * 8.8mA} \rightarrow R_2 = \frac{24V - 0}{0.5 * 8.8mA} = 5.45k\Omega$$

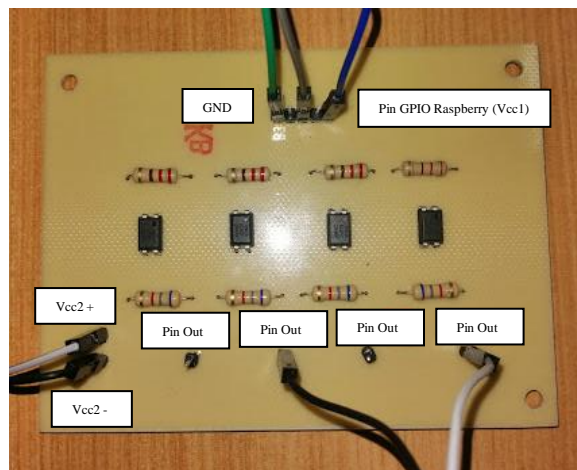


Figura 21. Circuito amplificador de voltaje para 4 entradas

Como se observa en la Figura 22, si se activa una salida del pin de la Raspberry mediante código, entrará un voltaje de 3,3v por el pin de entrada del circuito (Vcc1) que activará el fotodiodo y permitirá que circule el voltaje de 24 v (Vcc2) por el pin de salida (Pin Out) del circuito. Por ejemplo, se activa la salida 11 y 15 de los pines de la tarjeta.

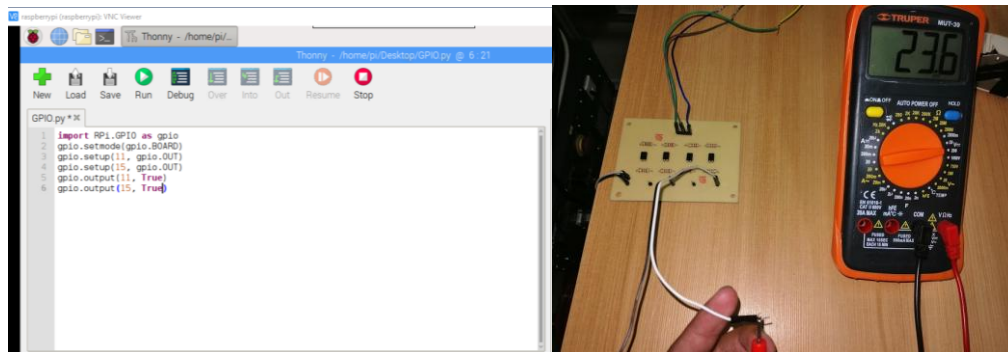


Figura 22. Funcionamiento salida de voltaje.

La comunicación entre el controlador CR-750 y la Raspberry se la realiza mediante las entradas digitales disponibles de la ranura 1 (Slot 1), el mismo donde se conecta el pin de salida del circuito (Pin Out) para activar o desactivar una entrada en el controlador, la cual se puede verificar en el Teach Pendant como se observa en Figura 23.

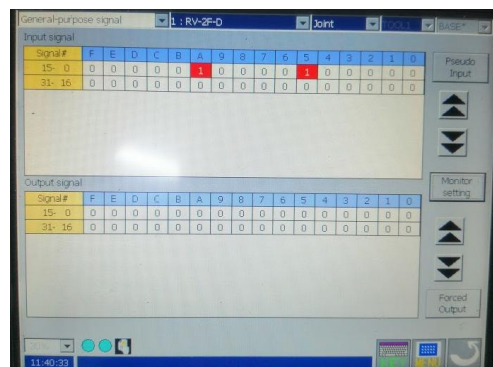


Figura 23. Activación de entrada 10 del Teach Pendant

Cada Pin de salida GPIO se conecta a una de las entradas del slot 1, ver Tabla 14.

Tabla 14. Pines de conexión GPIO a la ranura 1 (Slot 1)

Pin de la Raspberry Pi 3		Entrada Slot 1
numero de la tarjeta (BOARD)	Numero del chip (BCM)	
11	17	10(A)
12	18	11(B)
13	27	12(B)
15	22	13(C)

2.4 Procesamiento de imágenes digitales

Como ya se mencionó en el literal 1.7, existen 5 etapas a realizar para el proceso de visión por computadora (Adquisición de la imagen, Preprocesamiento, Segmentación, Descripción, Reconocimiento e interpretación) las cuales se detallan en el **Anexo B**.

2.5 Prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio realizadas para los estudiantes, las cuales permite poner en práctica los conocimientos adquiridos de Robótica y Visión por Computadora son realizadas bajo formatos establecidos y verificadas por el autor, docente y usuarios externos. Referirse al ANEXO D.






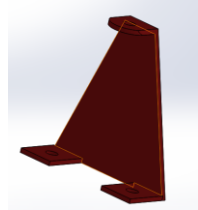
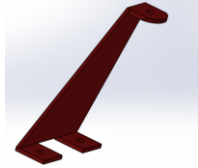
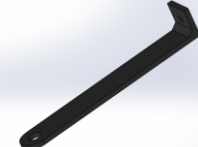
A continuación, se detallan los materiales necesarios para cada práctica (tabla 15), así como sus dimensiones generales y formas de elaboración (tabla 16), para detalles más específicos ver el ANEXO F (planos).

Tabla 15. Lista de materiales para cada práctica.

Práctica	Materiales
1. Aplicación de técnicas de visión artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red
2. Aplicación de técnicas de morfología	<ul style="list-style-type: none"> • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red • Hoja de papel Bond A4 • Marcador negro
3. Detección de objetos de color	<ul style="list-style-type: none"> • Robot Mitsubishi RV-2F • Teach Pendant R56TB • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red

	Materiales Continuación...
	<ul style="list-style-type: none"> • Estación 3 • Soportes (Base 1 y Pieza 1)
4. Análisis del área del contorno del objeto	<ul style="list-style-type: none"> • Robot Mitsubishi RV-2F • Teach Pendant R56TB • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red • Probetas 1 y 2 • Estación 1 y 3 • Soportes (Base 1 y Pieza 1)
5. Detección de números de objetos	<ul style="list-style-type: none"> • Robot Mitsubishi RV-2F • Teach Pendant R56TB • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red • Probetas 1 y 2 • Estación 2 y 3 • Soportes (Base 1 y Pieza 1)
6. Llenado de columnas	<ul style="list-style-type: none"> • Robot Mitsubishi RV-2F • Teach Pendant R56TB • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red • Probetas 1 y 2 • Estación 2 y 4 • Soporte (Base 2)
7. Pintado de un formato A3	<ul style="list-style-type: none"> • Robot Mitsubishi RV-2F • Teach Pendant R56TB • Raspberry Pi 3 • Cámara WEB • Laptop • Cable de Red • Brocha • Formato A3 • Pintura de agua • Estación 5

Tabla 16. Dimensiones y formas de elaboración de los materiales

Materiales	Dimensiones	Forma de elaboración	Elemento
Probeta 1	Ø 40 externo x Ø 15 interno x 17mm	Filamento PLA	
Probeta 2	Ø 19,70 mayor x Ø 14,60 menor x 41 mm	Filamento PLA	
Estación 2 (Matriz de almacenamiento)	325 x 325 x 65 mm	Madera	
Estación 3 (Base de ubicación de las piezas)	150 x 198 x 20 mm	Filamento PLA	
Estación 5 (Tablero para la pintura)	1500 x 700 x 414.1 mm	Madera	
Soporte Base 1	95 x 100 x 30 mm	Filamento PLA	
Soporte Base 2	165 x 121 x 34 mm	Filamento PLA	
Soporte Pieza 1	24 x 150 x 25 mm	Filamento PLA	

2.5.1 Conocimientos relacionados a la Practica 1: Aplicación de técnicas de visión artificial

En la practica 1, los estudiantes tendrán que implementar algoritmos básicos de visión por computadora tales como:

- Adquisición de imagen y video
- Conversión de imágenes
- Generación y ecualización de histogramas
- Filtrado de imágenes

2.5.2 Conocimientos relacionados a la Practica 2: Aplicación de técnicas de morfología.

La practica 2, se basa en la adquisición de una imagen, la misma que se le aplicará técnicas de morfología para modificar su forma, eliminando bordes, separando objetos o eliminando el ruido, como, por ejemplo:

- Umbralización
- Erosión
- Dilatación
- Apertura
- Cierre o gradiente morfológico.

2.5.3 Conocimientos relacionados a la Practica 3: Detección objetos de color

El trabajo en conjunto entre el robot industrial Mitsubishi RV-2F y la visión artificial se pone en práctica mediante la detección de colores (Azul, Verde, Rojo) donde, si un color

es detectado por la cámara WEB, enviará una señal al controlador del Robot que activará una entrada y realizará un movimiento en específico, en esta práctica se aplicará:

- Adquisición de video
- Segmentación – Detección de objetos de interés
- Contornos

2.5.4 Conocimientos relacionados a la Practica 4: Análisis del área del contorno del objeto

La práctica consiste en realizar movimientos de traslación y rotación automáticos del robot dependiendo de las entradas digitales recibidas de la programación en la Raspberry Pi, la cual tendrá que:

- Adquirir una imagen
- Umbralizar
- Detectar los contornos del objeto
- Analizar del área del contorno

2.5.5 Conocimientos relacionados a la Practica 5: Detección de número de objetos

El objetivo se basa en la detección de números de objetos (1, 2, 3 o 4), mediante la aplicación de técnicas donde, si un número de objetos cualquiera es detectado, el robot realizará una acción determinada, para ello se aplicará:

- Umbralización
- Análisis de contornos
- Etiquetado

2.5.6 Conocimientos relacionados a la Practica 6: Llenado de columnas

En una matriz de 4x4, el robot mediante movimientos de traslación, llenará una columna o fila de forma automática, saltándose el espacio llenado por un objeto hasta completarla, donde la visión por computadora tendrá que:

- Adquirir la imagen
- Umbralizar
- Obtener las propiedades de la imagen (tamaño)
- Analizar el objeto de interés
- Determinar si un espacio de esa fila o columna está o no ocupado por algún objeto.

2.5.7 Conocimientos relacionados a la Practica 7: Pintado de un formato A3

En esta práctica el robot girará 180° en su eje (J1) desde su posición home, donde en una plataforma (Estación 5) se colocará una cartulina formato A3, la cual será pintada con el uso de una brocha y pintura de agua. La cámara WEB implementada en el brazo del robot realizará el siguiente análisis:

- Adquisición de la imagen
- Umbralización
- Propiedades de la imagen
- Análisis ROI (Region Object Interest) del formato A3 por secciones
- Cada vez que se haya pintado una sección completamente, pasará a pintar la siguiente sección.

CAPITULO III. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Comunicación de la cámara

Al conectar la cámara WEB a la Raspberry, se digita desde el **LX terminal** el comando **lucvview** para comprobar su funcionamiento, tal como se observa en la figura 24.

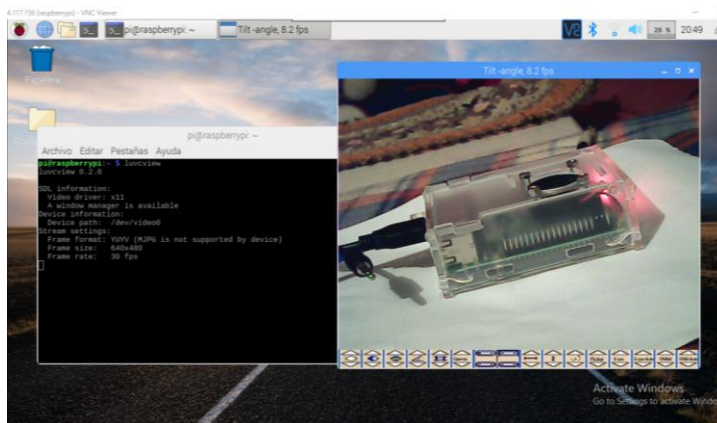


Figura 24. Funcionamiento de la cámara WEB

Como se puede observar, al ejecutar el comando, se indica en el LX terminal la información de la cámara WEB, y una nueva ventana con la transmisión de video.

3.2 Procesamiento de imágenes

Los códigos de Vision Artificial incluidos en el Anexo B, fueron explicados al estudiante Fernando Madera para la realización de las 7 prácticas de laboratorio, donde el análisis de los diferentes algoritmos para el procesamiento de imágenes, es uno de los primeros pasos que tuvo que realizar en la Raspberry Pi.

Las primeras 2 practicas realizadas, son únicamente con el uso de la Raspberry Pi, donde muestran la adquisición y procesamiento de una imagen captada con la cámara WEB, como se puede observar en el siguiente ejemplo, el estudiante realizó una captura de un conjunto de monedas sobrepuestas para poder procesarlas, separarlas y distinguirlas.

1. Imagen capturada.



Figura 25. Imagen capturada de monedas sobrepuestas

2. Procesamiento de la imagen

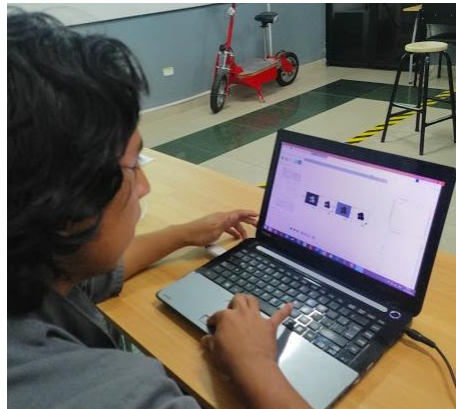


Figura 26. Prueba de procesamiento de la imagen de monedas

3. Resultado

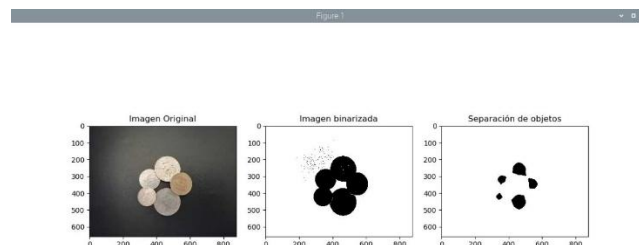


Figura 27. Resultado de las monedas sobrepuestas

3.3 Envío de señales y actuación del Robot

3.3.1 Envío de señales

Para comprobar el envío y recepción de una señal digital al SLOT 1, se hizo uso de uno de los pulsadores instalados para el Robot Industrial Mitsubishi RV-2F (AUTO/MAN). Observar el estado actual en el que se encuentra activado el Switch AUTO/MAN (entrada Slot1 O04) en la figura 28.

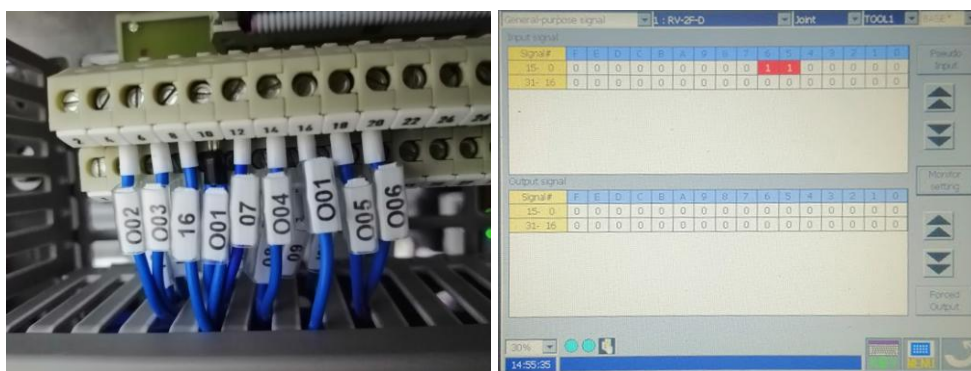


Figura 28. Estado de activación del Switch AUTO/MAN

Para esta prueba se desconectó del SLOT 1 el cable que da la señal de entrada del pulsador (ver tabla 12) para poder usarlo y verificar si las demás entradas del SLOT están habilitadas.



Figura 29. Cambio posición del cable pulsador Robot AUTO/MAN

Se conectó en una de las entradas disponibles (entrada 10 del Slot) y mediante el Teach Pendant se verificó si se activa o no la entrada como se muestra a continuación.

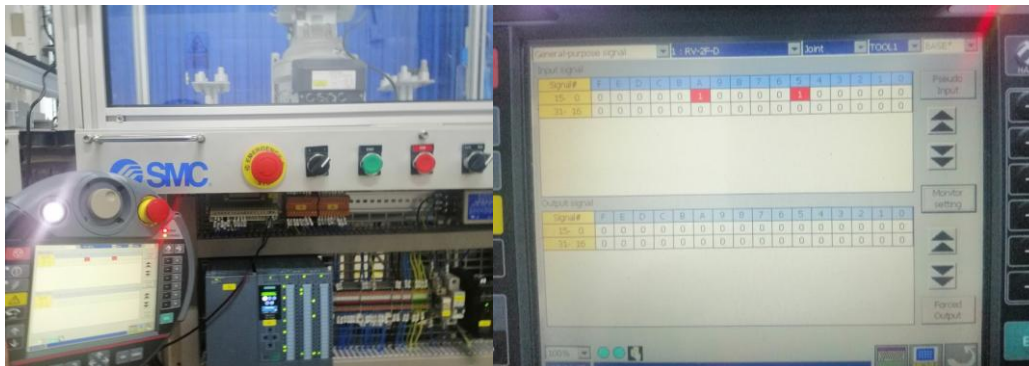


Figura 30. Activación de la entrada 10 (A)

La comunicación entre la placa Raspberry Pi y el controlador CR-750 se realiza con el uso de Entradas y Salidas digitales donde 24v es 1 y 0V es 0, ya que la Raspberry Pi suministra 3.3V de salida por cada pin del GPIO se implementó un amplificador de voltaje compuesto por optoacopladores. En el siguiente ejemplo se observa la activación de las entradas del slot por consola.

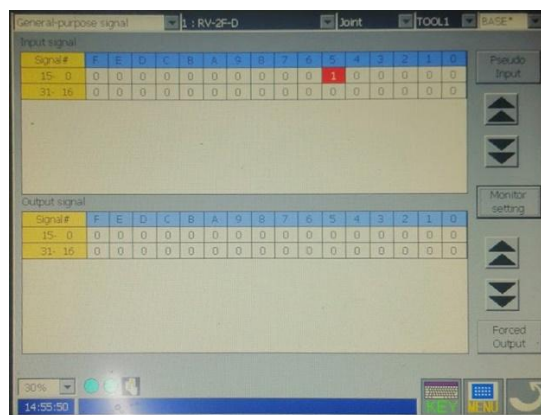


Figura 31. Estado actual de las entradas y salidas del Slot 1

Mediante la consola se activa las salidas GPIO las mismas que por medio del amplificador activa las entradas del slot como se observa.

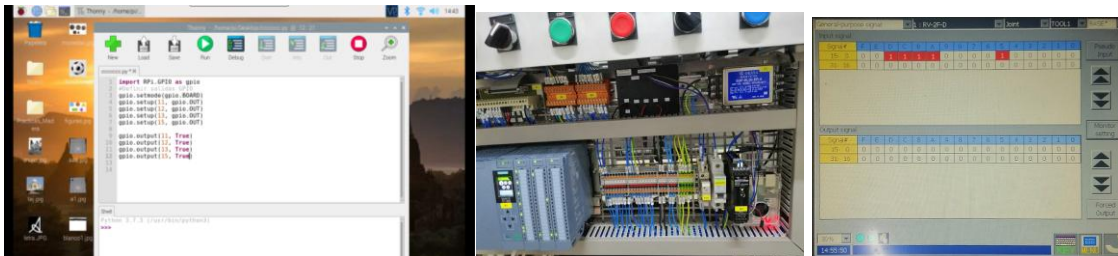


Figura 32. Activación de los pines mediante consola.

3.3.2 Actuación del Robot en cada una de las Prácticas de Laboratorio

El estudiante Fernando Madera con los conocimientos de programación de movimientos de traslación y rotación realizadas en el lenguaje MELFA BASIC del Controlador, verificó el comportamiento y actuación del Robot en base a las entradas y salidas adquiridas por la Raspberry Pi, ver ANEXO G (Resultados).



Figura 33. Programación del Robot

3.4 Análisis de resultados

Las prácticas de laboratorio ejecutadas por los estudiantes de noveno semestre de la materia de Robótica e Inteligencia Artificial muestran el resultado del trabajo en conjunto

entre la visión artificial y la programación del brazo Robótico Mitsubishi RV-2F, ver el ANEXO G para más detalles acerca del desarrollo de las practicas.

3.4.1 Encuesta de valoración del formato y ejecución de las practicas

Se plantea una encuesta que contiene 6 preguntas con una escala de ponderación de 1 a 5, siendo 1 el puntaje más bajo correspondiente a “Totalmente en desacuerdo” y 5 la puntuación más alta correspondiente a “Totalmente de acuerdo”. El modelo de la encuesta se evidencia en la Tabla 17.

Tabla 17. Modelo de encuesta

Instrucciones:					
Lea cuidadosamente cada una de las preguntas y marque el número que describa mejor su opinión, con base en la siguiente escala:					
5	4	3	2	1	
Totalmente de acuerdo	Parcialmente de acuerdo	Indiferente	Parcialmente en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	
Practica #: _____					
Preguntas	5	4	3	2	1
El objetivo de la práctica está relacionado al tema.					
El marco teórico proporcionado es suficiente para desarrollar la práctica.					
Los materiales y equipos indicados en la práctica son adecuados.					
El procedimiento establecido en la guía de práctica es apropiado.					
El tiempo destinado a la práctica es coherente con las actividades propuestas.					
La práctica está acorde a los conocimientos adquiridos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.					
Observaciones:					

3.4.2 Tabulación y Análisis de la Encuesta

La encuesta se aplica a 18 estudiantes de noveno semestre que están matriculados en la asignatura de Robótica e Inteligencia Artificial, de las practicas propuestas, se analizan la ejecución de las prácticas de laboratorio 3 y 4, con el objetivo de obtener información que pueda ayudar a mejorar el contenido de las guías de prácticas. Dirigirse al ANEXO E (encuestas).

3.4.3 Tabulación Practica 3

3.4.3.1 Tabulación Pregunta 1: El objetivo de la práctica está relacionado al tema.

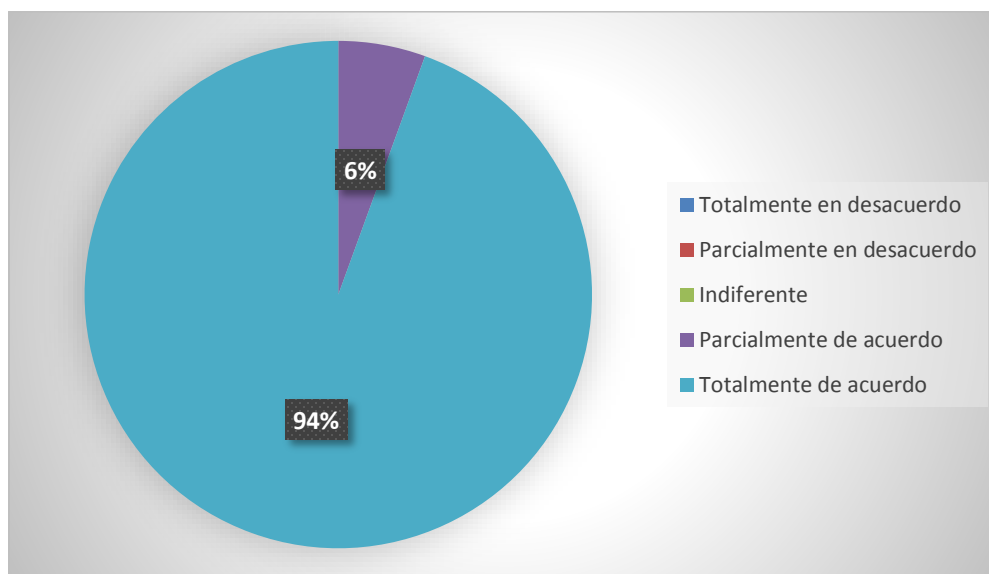


Figura 34. Tabulación pregunta 1- practica 3

Análisis

El resultado de esta encuesta para la pregunta 1, indica que el 94% de los estudiantes tienen claro el objetivo de la práctica, es decir que están en total acuerdo con el tema.

Observaciones

No se presentó ninguna observación por parte de los estudiantes encuestados.

3.4.3.2 Tabulación Pregunta 2: El marco teórico proporcionado es suficiente para desarrollar la práctica.

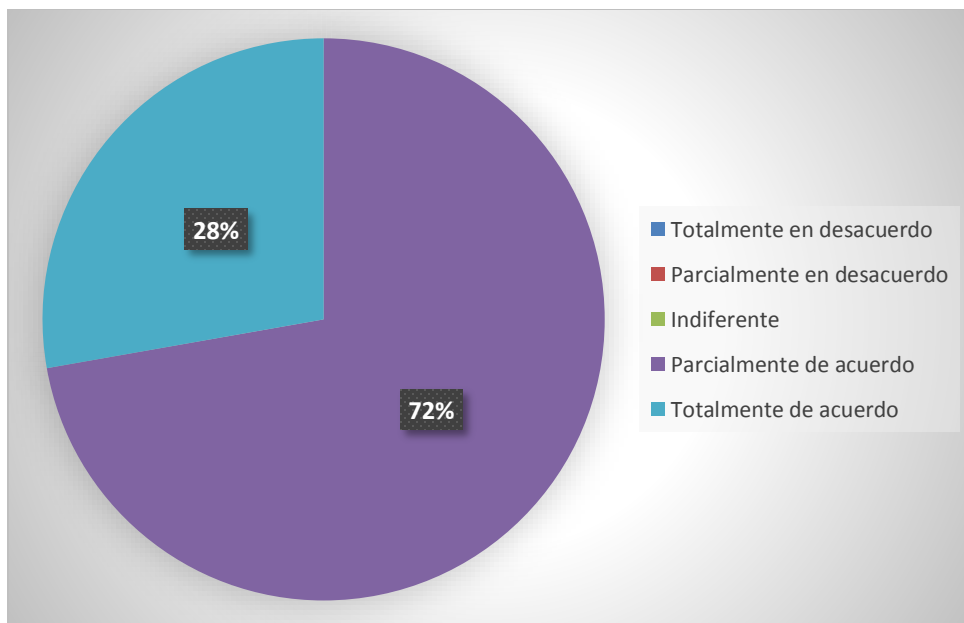


Figura 35. Tabulación pregunta 2- practica 3

Análisis

La tabulación indica que el 72% de los estudiantes están parcialmente de acuerdo con respecto al marco teórico proporcionado y un 28% totalmente de acuerdo, es decir que, la mayoría de los estudiantes mencionan que el marco teórico es comprensible y suficiente para poder desarrollar la práctica sin ninguna dificultad.

Observaciones

Recomiendan colocar más ejemplos en el marco teórico para incrementar el entendimiento y conocimiento del uso de la herramienta proporcionada

3.4.3.3 Tabulación Pregunta 3: Los materiales y equipos indicados en la práctica son adecuados.

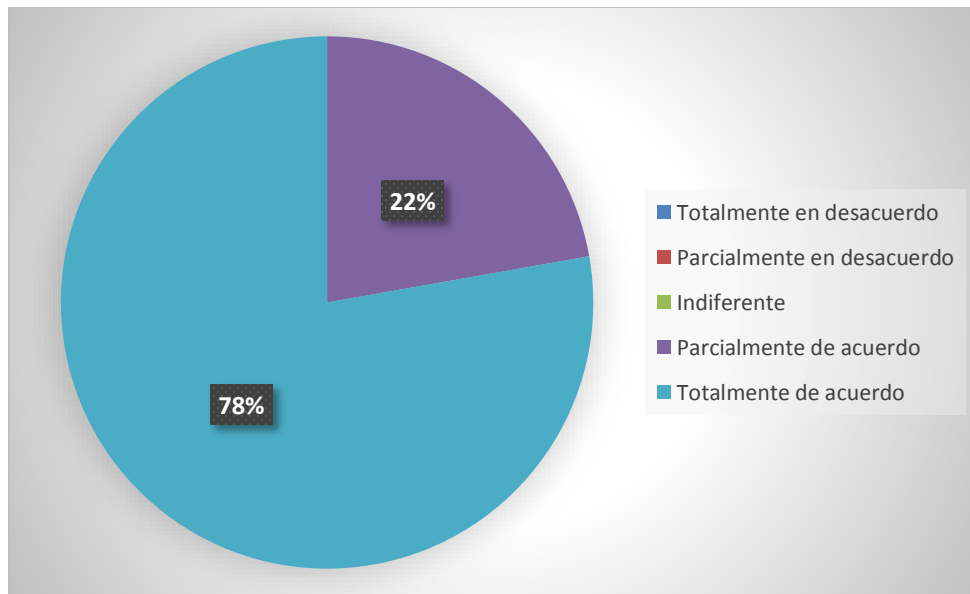


Figura 36. Tabulación pregunta 3- practica 3

Análisis

Los resultados obtenidos para la pregunta 3 muestran que, el 78% de los estudiantes dicen estar totalmente de acuerdo en relación a los materiales entregados para el desarrollo de la práctica y un 22% parcialmente de acuerdo y ningún estudiante en desacuerdo. Se puede concluir que no es necesario de ningún elemento extra para poder realizar la práctica.

Observaciones

No se indicó ninguna observación por parte de los estudiantes encuestado. Se podría incluir una descripción breve de todos los materiales que se utilizaran en las prácticas de laboratorio entre el Robot Industrial y el Sistema de Visión por computadora.

3.4.3.4 Tabulación Pregunta 4: El procedimiento establecido en la guía de práctica es apropiado.

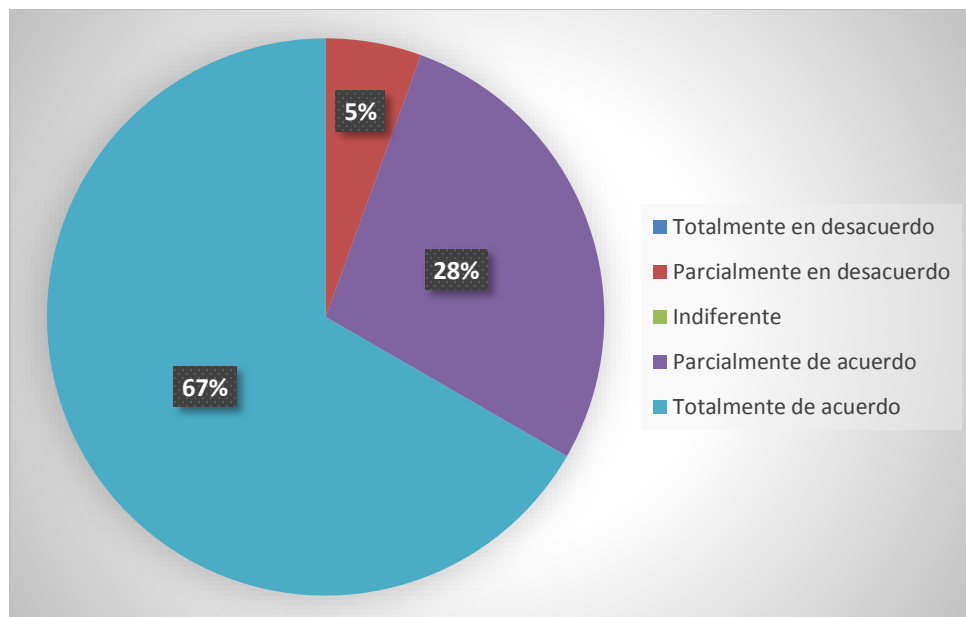


Figura 37. Tabulación pregunta 4- practica 3

Análisis

El resultado de esta encuesta para la pregunta 4 indica que, en su mayoría con un 67% de los 18 estudiantes dicen estar totalmente de acuerdo con el procedimiento descrito para el correcto desarrollo de la práctica, a pesar de que un 5% de los estudiantes se muestran un desacuerdo parcial, debido a la poca comprensión por parte de los estudiantes.

Observaciones

Entre las recomendaciones se indican que se detalle más rigurosamente el procedimiento. Cabe indicar que en el practica 3 y en los anexos de instalación, se establecen conexiones y parámetros de funcionamiento general que serán útiles para el desarrollo y comprensión de todas las practicas, de tal forma que en las siguientes practicas se emite esta información en el procedimiento.

3.4.3.5 Tabulación Pregunta 5: El tiempo destinado a la práctica es coherente con las actividades propuestas.

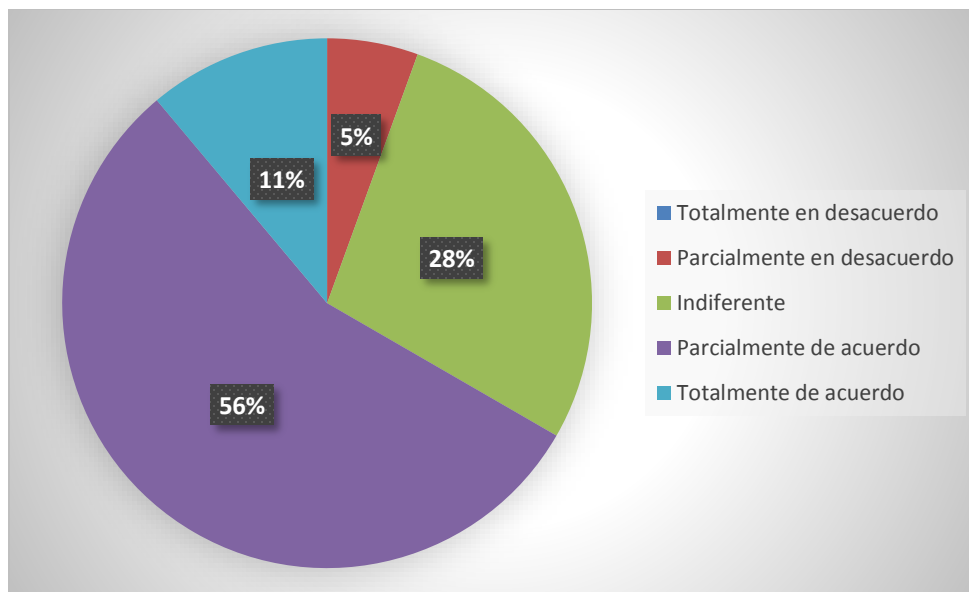


Figura 38. Tabulación pregunta 5- practica 3

Análisis

En esta pregunta se observa que, el 56% de los estudiantes se muestran parcialmente de acuerdo frente al tiempo establecido para la práctica, y un 33% entre total y parcialmente desacuerdo con el tiempo, existe inconformidad por parte de la mitad de los estudiantes en este aspecto debido a algunos factores, entre ellos la disponibilidad de los laboratorios.

Observaciones

Ser más rigurosos con el tiempo que se le da al equipo para terminar la práctica, ya que esto perjudica al equipo siguiente y consideran que en la practica 3 se debe extender el tiempo de desarrollo de la práctica porque cuanto se están familiarizando con los dispositivos.

3.4.3.6 Tabulación Pregunta 6: La práctica está acorde a los conocimientos adquiridos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.

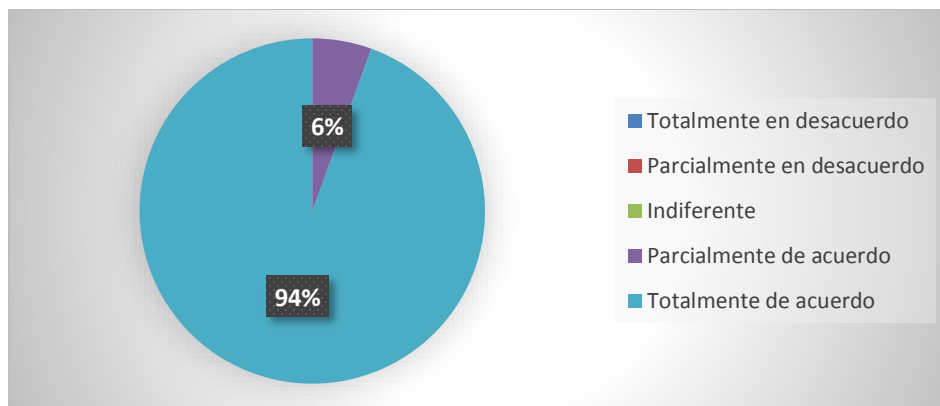


Figura 39. Tabulación pregunta 6- practica 3

Análisis

El análisis de la pregunta 6 indica, que un 94% está totalmente de acuerdo en que, los conocimientos adquiridos en clases o talleres son adecuados y permite aplicarlo durante la realización del laboratorio.

Observaciones

Ninguna

3.4.4 Tabulación practica 4

3.4.4.1 Tabulación Pregunta 1: El objetivo de la práctica está relacionado al tema.

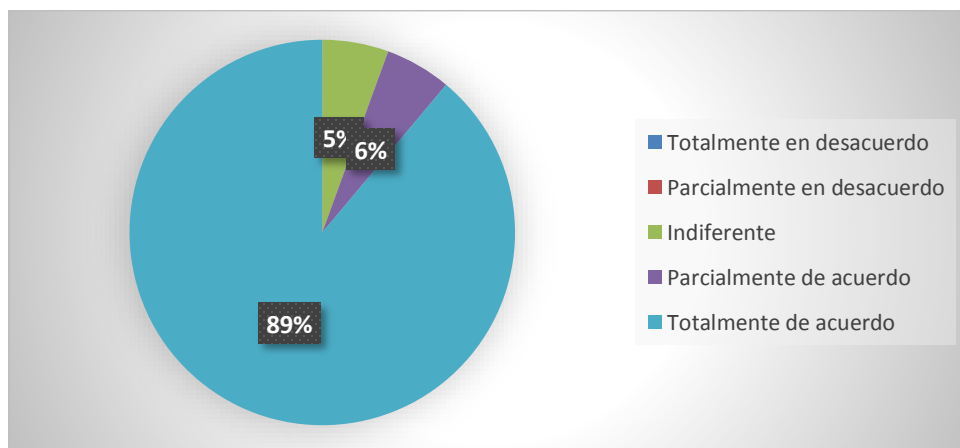


Figura 40. Tabulación pregunta 1- practica 4

Análisis

En la tabulación se observa que, en su mayoría los estudiantes con un 89% y un 6% dicen estar totalmente de acuerdo y parcialmente de acuerdo respectivamente con el objetivo planteado para la elaboración de la práctica.

Observaciones

Ninguna observación.

3.4.4.2 Tabulación Pregunta 2: El marco teórico proporcionado es suficiente para desarrollar la práctica.

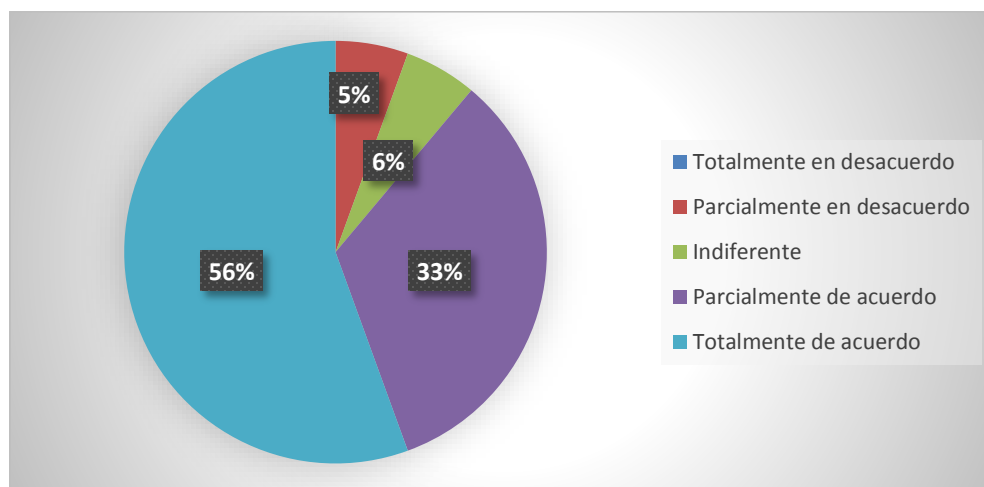


Figura 41. Tabulación pregunta 2- practica 4

Análisis

Se observa que el 56% de los 18 estudiantes dicen estar totalmente de acuerdo y un 33% parcialmente de acuerdo, es decir que, los códigos proporcionados son los suficientes para el desarrollo, por lo cual no existe inconvenientes al momento de leer el marco teórico.

Observaciones

Uno de los estudiantes recomienda que, se debería realizar más talleres con el uso de los códigos para una mejor comprensión y poder realizar la práctica sin ninguna dificultad.

3.4.4.3 Tabulación Pregunta 3: Los materiales y equipos indicados en la práctica son adecuados.

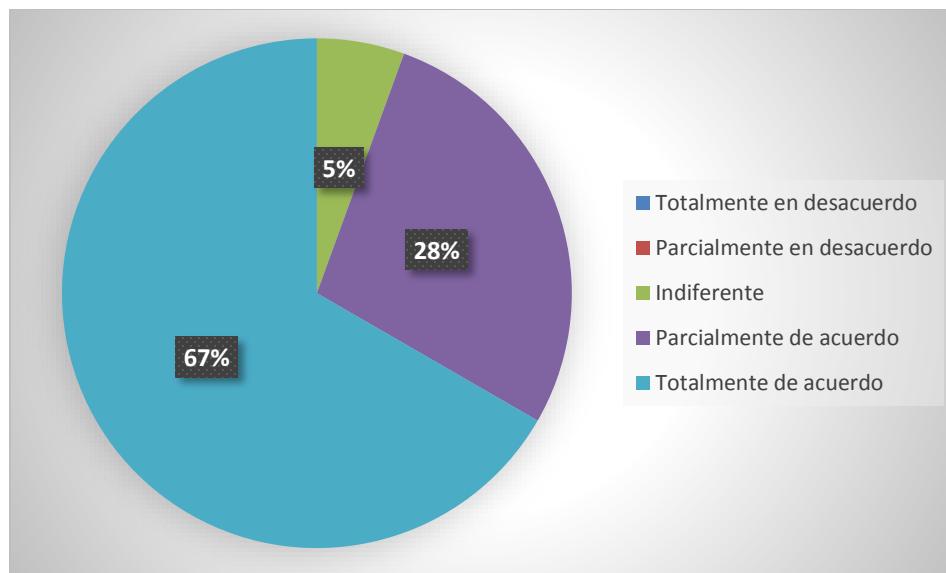


Figura 42. Tabulación pregunta 3- practica 4

Análisis

En la tabulación de la pregunta 3, en su mayoría dicen estar totalmente de acuerdo con un 67% en relación a los materiales indicados y proporcionados para la elaboración de la práctica, ya que en la practica 3 se hace uso de los mismos materiales para su elaboración y los estudiantes ya se encuentran familiarizados, además se menciona que se debe leer previamente los anexos correspondientes al uso e instalación de los equipos.

Observación

No se indica ninguna observación por parte de los estudiantes, pero es recomendable indicar más a detalle el uso de los materiales y equipos proporcionados de la misma forma que en la practica 3.

3.4.4.4 Tabulación Pregunta 4: El procedimiento establecido en la guía de práctica es apropiado.

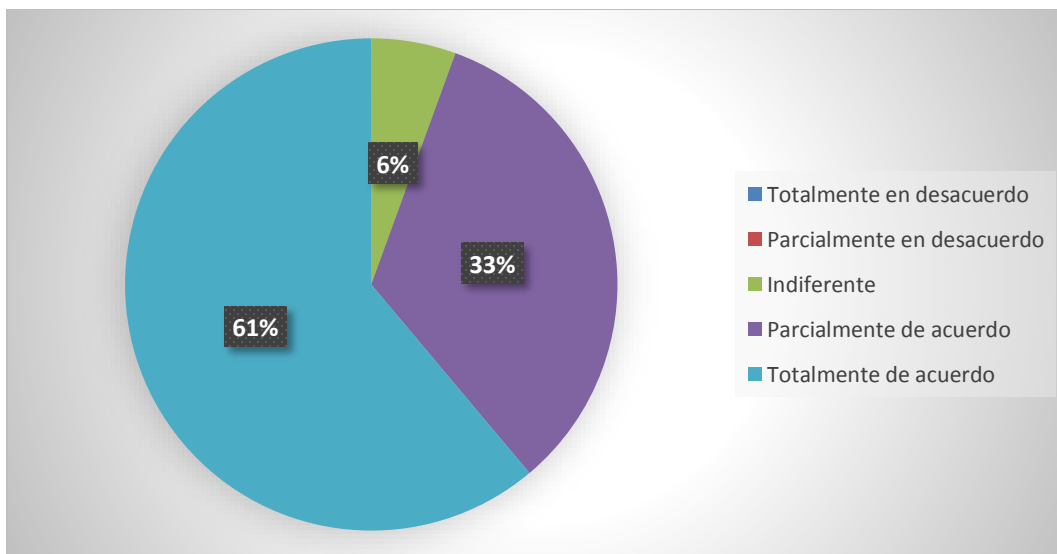


Figura 43. Tabulación pregunta 4- practica 4

Análisis

Con un 61% los estudiantes expresan un total acuerdo frente al procedimiento establecido en la práctica y un 33% parcialmente de acuerdo, se concluye que los pasos para la ejecución de la práctica se logran entender con facilidad y no hay dificultad para su correcto desarrollo.

Observaciones

En las recomendaciones se indica por parte de los estudiantes, que no se debe colocar el primer paso, el cual menciona la alimentación de la Raspberry Pi ya que es algo redundante, además, se debe añadir un literal donde se indique, colocar y centrar la cámara con una iluminación adecuada, para evitar problemas al momento del análisis.

3.4.4.5 Tabulación Pregunta 5: El tiempo destinado a la práctica es coherente con las actividades propuestas.

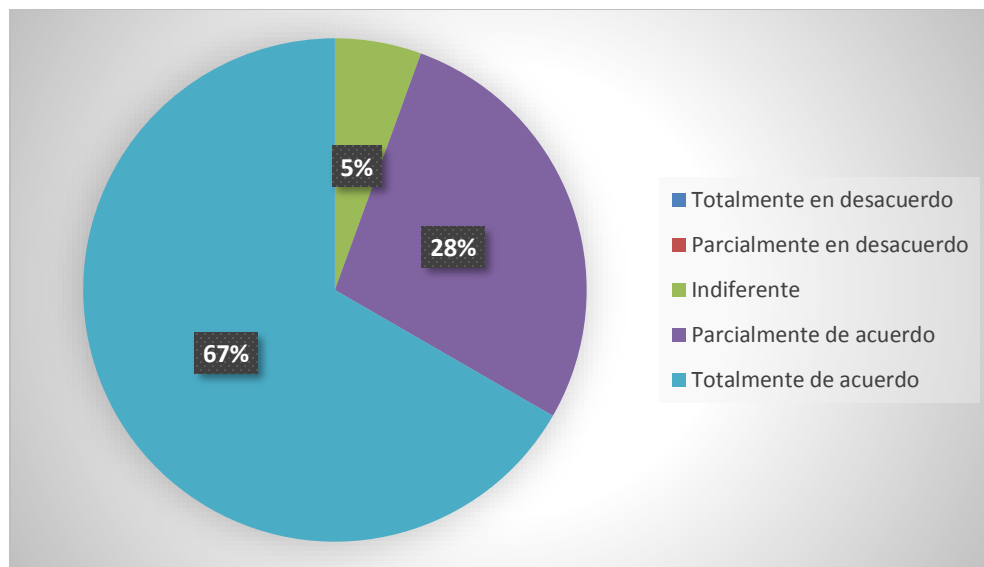


Figura 44. Tabulación pregunta 5- practica 4

Análisis

El 67% de los 18 estudiantes encuestados dicen estar totalmente de acuerdo, el 28% un acuerdo parcial y el 5% le es indiferente, frente al tiempo establecido para el desarrollo de la práctica, esto se debe a que los estudiantes se adaptaron correctamente a la practica 3, y no tuvieron dificultad para realizar la practica 4 en el tiempo establecido (2 horas).

Observaciones

De la misma forma que en la practica 3, parte de los estudiantes se muestran inconformes con el tiempo que se le da para empezar la práctica, ya que los laboratorios se encuentran ocupados y los estudiantes no pueden empezar en el tiempo que se les establecido por parte del docente tutor y conlleva a un retraso.

3.4.4.6 Tabulación Pregunta 6: La práctica está acorde a los conocimientos adquiridos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.

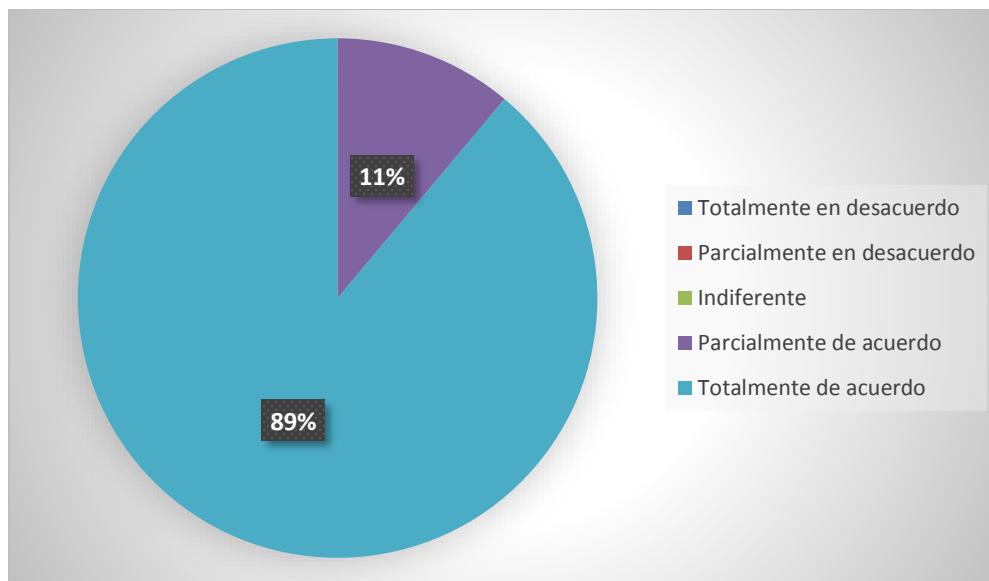


Figura 45. Tabulación pregunta 6- practica 4

Análisis

El 89% y el 11% de los estudiantes muestran un total y parcial acuerdo respectivamente ante esta pregunta, quiere decir que la practica 4 está acorde a los conocimientos recibidos en la materia de Robótica e Inteligencia Artificial.

Observaciones

Ninguna recomendación por parte de los estudiantes

3.5 Estimación de tiempos para la ejecución de las practicas.

Durante la verificación de las practicas desarrolladas por el estudiante Fernando Madera se consideraron los tiempos indicados en la tabla 17, cabe recalcar que el estudiante Fernando Madera carecía de conocimientos acerca del uso de la Raspberry Pi y programación en Python 3.7.4.

Los tiempos expuestos, toman en cuenta la preparación de todos los componentes (instalación soportes, plataformas y estaciones), y la explicación de la programación en Python y el uso de Raspberry Pi.

Tabla 18. Estimación de tiempos

Practica	Estimación de tiempos		
	Programación Raspberry Pi	Programación Teach Pendant	Total
1	1:15 hora	-	1:15 horas
2	1:35 hora	-	1:35 horas
3	1:30 hora	1:40 hora	2:40 horas
4	1:42 hora	1:00 hora	2:42 horas
5	1:15 hora	1:00 hora	2:15 horas
6	1:35 hora	1:05 hora	2:40 horas
7	50 min	1:10 horas	2:00 horas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El requerimiento necesario para la visión por computadora en el Robot Industrial Mitsubishi RV-2F fue analizado mediante una metodología basada en un diseño conceptual, la misma que permitió determinar los requerimientos óptimos para el sistema de adquisición y procesamiento de datos.

Se implemento un sistema robótico pre-programado mediante el uso de una cámara WEB, una tarjeta de adquisición y procesamiento de datos en Raspberry Pi, la misma que se comunica al controlador del Robot Mitsubishi RV-2F mediante entradas digitales, permitiendo una autonomía propia en base a la retroalimentación de la información receptada por la cámara.

Mediante las pruebas realizadas en las diferentes etapas de la visión por computadora (adquisición y procesamiento de la imagen), la comunicación entre la Raspberry Pi y el Controlador CR-750, y la actuación autónoma del robot Mitsubishi RV-2F, se pudo observar un funcionamiento óptimo en términos de comunicación y programación.

La plataforma robótica didáctica implementada en la estación del brazo robótico, permitió generar 7 practicas dedicadas a los estudiantes con el objetivo de que puedan asociar los conocimientos de robótica y visión artificial en una sola plataforma.

4.2 Recomendaciones.

Los códigos proporcionados son los necesarios para realizar una aplicación de visión por computadora, se recomienda hacer uso solo de aquellos códigos.

Centrar la cámara WEB a la estación que se va analizar para un mejor procesamiento de la imagen y una excelente autonomía de acción de robot.

De ser necesario el uso de más pines GPIO de la Raspberry, se puede realizar e implementar otro circuito expuesto en el documento.

Trabajar con una iluminación constante, ya que la exposición de cualquier sombra interferirá en la programación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A. D. Hernandez, «Vision artificial aplicada a la Robotica,» La laguna, San Cristobal, 2016.
- [2] V. P. J. O. Alejandro, «Sistemas de vision Artificial,» Lima, 2014.
- [3] V. C. S. Iván García S., «LA VISIÓN ARTIFICIAL Y LOS CAMPOS DE APLICACIÓN,» Tierra Infinita Vol. 1, Carchi-Ecuador, 2015.
- [4] C. Platero, «Introducción a la Visión Artificial,» Dpto. Electronica, Automática e informática industrial, España, 2014.
- [5] M. Electric, Familia MELFA, Robots Industriales, Asia: Factory Automation, 2016.
- [6] M. E. Corporation, «Mitsubishi Industrial Robot RV-2F-D series,» Asia, Factory Automation, 2012, p. 140.
- [7] I. Publications, VDI 2206 - A new guideline for the design of mechatronic systems, California: Heinz Nixford Institute, 2002.
- [8] E. S. Giovani Gomez, «Introducción a la vision por computadora,» Mexico, 2015.
- [9] G. P. A. d. I. E. Enrique Alegre, «Conceptos y metodos en vision por Computador,» ISBN, España, 2016.
- [10] I. D. G. Santillan, «Vision Artificial y proceamiento digital de imagenes usando Matlab,» Dpto. Electronica, Ibarra, 2008.
- [11] S. Eva Fernandez, «Interfaces para camaras digitales,» Dpto. Informatica, Ecuador, 2013.
- [12] J. A. Castillo, «Profesional Review,» 20 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2019/02/20/firewire-que-es/>. [Último acceso: 22 07 2019].
- [13] OMRON, «OMRON,» 20 enero 2006. [En línea]. Available: <https://industrial.omron.fi/fi/products/cameralink-series>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [14] «Sistema de Conexión,» 07 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://varinter.mx/conexion/puerto-usb/>. [Último acceso: 01 08 2019].
- [15] N. Instrument, «Que es la adquisición de Datos,» [En línea]. Available: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 05 06 2019].
- [16] Raspberrypi, «Que es una Raspberry,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#introduction>. [Último acceso: 10 07 2019].
- [17] Hacedores, «Introducción a Raspberry PI,» 04 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://hacedores.com/introduccion-a-raspberry-pi/>. [Último acceso: 09 07 2019].
- [18] F. Moya, «Taller de Raspberry Pi,» [En línea]. Available: <https://franciscomoya.gitbooks.io/taller-de-raspberry-pi/content/es/elems/gpio.html>. [Último acceso: 21 07 2019].

- [19] Arduino, «Que es arduino,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 28 05 2019].
- [20] Wiring, «Cableado,» [En línea]. Available: <http://wiring.org.co/>. [Último acceso: 02 06 2019].
- [21] J. Guerrero, «Arduino Uno,» 21 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>. [Último acceso: 03 06 2019].
- [22] N. Instrument, «myRIO,» [En línea]. Available: ni.com/es-cr/shop/select/myrio-student-embedded-device. [Último acceso: 27 06 2019].
- [23] N. myRIO, «National Instrument,» de *User guide and Specifications*, National Instrument, 1900, p. 32.
- [24] Matlab, «Mathworks,» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 05 08 2019].
- [25] Labview, «Que es labview,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>. [Último acceso: 15 08 2019].
- [26] Python, «El tutorial de Python,» [En línea]. Available: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>. [Último acceso: 29 08 2019].
- [27] OpenCV, «About OpenCV,» [En línea]. Available: <https://opencv.org/about/>. [Último acceso: 30 08 2019].
- [28] F. M. F. E. M. L. Ana Gonzales, «Tecnicas y Algoritmos basicos de visión artificial,» Grupo de investigacion EDMANS, España, Logroño, 2006.
- [29] V. C. Ivan Garcia, «La vision Artificial y los campos de aplicación,» Universidad del Carchi, Carchi, 2015.
- [30] Etitudela, «Vision Artificial,» [En línea]. Available: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>. [Último acceso: 03 09 2019].
- [31] V. Artificial, «Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales,» Europa, Dpto. Sistemas y Electronica, 2014, p. 20.
- [32] Raspberrypi, «Praspberry Pi 3 Modelo B,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Último acceso: 15 09 2019].
- [33] Mario, «NEOTEO,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.neoteo.com/optoacopladores-electronica-basica/>. [Último acceso: 29 09 2019].
- [34] SHARP, *PC817 Seiries datasheet*, UL: Datasheet.
- [35] L. Llamas, «Salidas y entradas aisladas con optoacoplador,» 08 enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-optoacoplador/>. [Último acceso: 28 09 2019].