

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**



**“BRAZO ROBOT, PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE
OBJETOS, CONTROLADO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, COMO
COMPLEMENTO DE TECNOLOGÍA ROBÓTICA EN LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA AÑO 2014.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTOR:

NELSON DAVID DE LA ROSA MEJILLÓN

TUTOR:

ING. SENDEY VERA GONZÁLEZ

LA LIBERTAD – ECUADOR

2014

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“BRAZO ROBOT, PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE
OBJETOS, CONTROLADO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, COMO
COMPLEMENTO DE TECNOLOGÍA ROBÓTICA EN LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA AÑO 2014.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

NELSON DAVID DE LA ROSA MEJILLÓN

TUTOR:

ING. SENDEY VERA GONZÁLEZ

LA LIBERTAD – ECUADOR

2014

La Libertad, 5 de noviembre del 2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, **“BRAZO ROBOT, PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS, CONTROLADO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, COMO COMPLEMENTO DE TECNOLOGÍA ROBÓTICA EN LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA AÑO 2014”**, elaborado por el señor De la Rosa Mejillón Nelson David, egresado de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes.

Ing. Sendey Vera González

TUTOR

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

En mi calidad de Licenciada de la especialidad de Lengua y Literatura, luego de haber revisado y corregido la tesis “BRAZO ROBOT, PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS, CONTROLADO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, COMO COMPLEMENTO DE TECNOLOGÍA ROBÓTICA EN LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA AÑO 2014”, previa la obtención del Título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA, de los estudiantes de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, DE LA ROSA MEJILLÓN NELSON DAVID, certifico que está habilitada con el correcto manejo del lenguaje, claridad en la expresión, coherencia en los conceptos, adecuado empleo de la sinonimia, corrección ortográfica y gramatical.

Es cuanto puedo decir en honor a la verdad.

La Libertad, xxxxx del 201x

Lcda. xxxxxxxxxxxxxxxx

LICENCIADA EN LITERATURA Y PEDAGOGÍA

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado primeramente a Dios, quien con su gracia y amor infinito me ha dado la vida, las fuerzas y la sabiduría para lograr tan anhelado sueño.

A mis padres Pablo y Alicia por su amor, comprensión y sacrificio constante, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, que frente a problemas y situaciones difíciles que nos ha presentado la vida hemos sabido superarlo, me han dado la oportunidad de estudiar y concluir con esta etapa importante de mi vida. Va por ustedes, por lo que valen.

Nelson David De la Rosa Mejillón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todopoderoso creador del universo y dador de la vida que me dio las fuerzas, proveyó de recursos y me llenó de fe para creer y cumplir con todas mis metas propuestas.

A mi padre, Pablo De la Rosa, por el esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. A mi madre, Alicia Mejillón, por sus consejos, que me enseñaron a superarme cada día. A mis hermanos, Pablo y Néstor, por compartir alegrías, tristezas, éxitos y fracasos.

Al Ing. Sendey Vera, tutor de tesis, por su asesoría y dirección en el trabajo de investigación.

A todos y cada uno de los docentes, por compartir sus conocimientos, con entrega y dedicación, que han aportado a mi formación como profesional.

Gracias.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Freddy Villao Santos, MSc.
Decano de la Facultad de
Sistemas y Telecomunicaciones

Ing. Washington Torres Guin, MSc.
Director de la Escuela de
Electrónica y Telecomunicaciones

Ing. Sendey Vera González
Profesor Tutor

Ing. Samuel Bustos Gaibor
Profesor Área

Ab. Joe Espinoza Ayala
Secretario General

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“BRAZO ROBOT, PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE
OBJETOS, CONTROLADO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, COMO
COMPLEMENTO DE TECNOLOGÍA ROBÓTICA EN LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA AÑO 2014.”**

Autor: NELSON DAVID DE LA ROSA MEJILLÓN

Tutor: ING. SENDEY VERA GONZÁLEZ

RESUMEN

En este trabajo se presenta la implementación de un brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos, controlado mediante inteligencia artificial. El objetivo es implementar un robot dotado de cierto grado de inteligencia, que tenga la capacidad de identificar objetos mediante su visión, para poder manipular tres cubos de colores, rojo, verde y azul, ubicados en una mesa de trabajo en orientación y posición desconocida. Se presentan técnicas de Visión Artificial utilizando algoritmos y funciones establecidas por LabView, además del desarrollo de cálculos de cinemática inversa aplicadas al movimiento del brazo robot. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó la metodología basada en cuatro fases que requiere el proyecto: Investigación preliminar, definición de requerimientos del sistema, diseño técnico; y, programación y pruebas. Se utilizaron técnicas e instrumentos como son observación directa, documental y encuestas dirigidas. Con su aplicación, este proyecto inicial pretende abrir las puertas para el estudio y el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial a otras modalidades de la robótica.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	III
CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
TRIBUNAL DE GRADO	VII
RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO REFERENCIAL.....	3
1. MARCO REFERENCIAL	3
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	5
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	7
1.4.1. Objetivo General.	7
1.4.2. Objetivos Específicos.	7
1.5. HIPÓTESIS.....	8
1.6. RESULTADOS ESPERADOS	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO	9
2. MARCO TEÓRICO.	9
2.1. ANTECEDENTES.....	9
2.1.1. Históricos.....	10
2.2. BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1. Inteligencia Artificial.....	11
2.2.2. Visión Artificial	12
2.2.3. LabView.....	14
2.2.4. Procesamiento y análisis de imágenes	15
2.2.5. Software Arduino.....	16

2.2.6	Arduino Uno	16
2.2.7	Cámara Web USB.....	18
2.2.8	Servomotor.....	18
2.2.9	Brazo Robot	19
2.2.10	CINEMÁTICA DEL ROBOT.....	21
2.3.	VARIABLES.....	23
2.4.	MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	24
2.5.	TÉRMINOS BÁSICOS	26
CAPÍTULO III	.....	29
ANÁLISIS	.....	29
3. ANÁLISIS	.....	29
3.1.	DIAGRAMA DEL PROCESO.....	29
3.1.1	Descripción funcional de los procesos	30
3.2.	IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.	33
3.3.	ANÁLISIS DE SISTEMA.....	34
3.3.1.	Análisis Técnico	34
3.3.2.	Análisis Económico	36
3.3.3.	Análisis Operativo	39
CAPÍTULO IV	.....	41
DISEÑO	.....	41
4. DISEÑO	.....	41
4.1.	ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.....	42
4.1.1.	Diseño del Sistema de Visión.....	43
4.1.2.	Diseño del Manipulador.....	56
4.2.	DISEÑO DE INTERFAZ (GRÁFICA)	70
CAPÍTULO V	.....	75
IMPLEMENTACIÓN	.....	75
5. IMPLEMENTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS	.....	75
5.1.	CONSTRUCCIÓN.....	76
5.1.1.	Placa Arduino.....	76
5.1.2.	Placa de Alimentación.....	77
5.1.3.	Construcción del brazo robot.....	77
5.1.4.	Implementación del sistema de visión.....	81
5.2.	PRUEBAS.....	82

5.2.1. Experimento 1	83
5.2.2. Experimento 2	87
5.2.3. Experimento 3	90
5.2.4. Experimento 4	94
5.2.5. Experimento 5	97
5.2.6. Experimento 6	101
5.2.7. Experimento 7	105
5.3. DOCUMENTACIÓN.....	108
5.4. DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS.....	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXO 1	114
ANEXO 2	130
ANEXO 3	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Control de Calidad para Botellas Mediante VA.....	13
Figura 2.2: Placa Arduino UNO.....	17
Figura 2.3: Partes Internas del Servomotor	19
Figura 2.4: Cinemática Directa.....	22
Figura 2.5: Cinemática Inversa	22
Figura 3.1: Diagrama de Proceso General.....	30
Figura 4.1: Diagrama de Bloques del Prototipo	42
Figura 4.2: Diagrama del Diseño de Visión.....	43
Figura 4.3: Iluminación Frontal.....	45
Figura 4.4: Iluminación Lateral.....	45
Figura 4.5: Iluminación por Campo Oscuro.....	46
Figura 4.6: Iluminación por Contraste	46
Figura 4.7: Iluminación Coaxial.....	47
Figura 4.8: Iluminación Difusa Tipo Domo	47
Figura 4.9: Función de una Cámara	49
Figura 4.10: Partes de la Cámara.....	49
Figura 4.11: Instrumentos Virtuales de NI Vision Depeloment.....	52
Figura 4.12: Diagrama para el Almacenamiento de Patrones.....	53
Figura 4.13: Diagrama para el Reconocimiento de Objetos.....	54
Figura 4.14: Diagrama del Procesamiento de Imagen	55
Figura 4.15: Diseño Estructural del Brazo Robot.....	57
Figura 4.16: Diseño Posicional del Brazo Robot.....	58
Figura 4.17: Primer Diseño Estructural de la Pinza Robot.....	59
Figura 4.18: Segundo Diseño Estructural de la Pinza Robot	59
Figura 4.19: Arquitectura del Arduino UNO.....	61
Figura 4.20: Diseño de la Placa de Alimentación.....	62
Figura 4.21: Análisis 2D de Cinemática Inversa	64
Figura 4.22: Análisis 3D de Cinemática Inversa	66
Figura 4.23: Diagrama del Brazo Robot.....	69
Figura 4.24: Menú Principal de la Aplicación	71
Figura 4.25: Ventana de Selección de Patrones.....	72
Figura 4.26: Ventana de Patrones Guardados.....	72

Figura 4.27: Ventana de Manipulación de Objetos	73
Figura 4.28: Ventana de Cinemática Inversa	74
Figura 5.1: Arduino Mega y Arduino UNO.....	76
Figura 5.2: Conexiones de la Placa de Alimentación.....	77
Figura 5.3: Base del Brazo Robot	78
Figura 5.4: Construcción del Brazo Robot	79
Figura 5.5: Primera Pinza del Brazo Robot.....	79
Figura 5.6: Segunda Pinza del Brazo Robot.....	80
Figura 5.7: Brazo Robot Implementado	80
Figura 5.8: Cámara e Iluminación	81
Figura 5.9: Cámara e Iluminación (vista aérea)	81
Figura 5.10: Prototipo de Brazo Robot Controlado Mediante IA.....	82
Figura 5.11: Presentación de Cubos de Colores RGB.....	84
Figura 5.12: Ventana para Selección de Patrones.....	84
Figura 5.13: Selección del Patrón Color Rojo	85
Figura 5.14: Selección del Patrón Color Azul.....	85
Figura 5.15: Selección del Patrón Color Verde	85
Figura 5.16: Ventana de Patrones Guardado en Memoria	86
Figura 5.17: Ubicación del Cubo Azul.....	88
Figura 5.18: Reconocimiento del Cubo Azul	88
Figura 5.19: Captura del Cubo Azul.....	89
Figura 5.20: Clasificación del Cubo Azul.....	89
Figura 5.21: Ubicación del Cubo Verde	91
Figura 5.22: Reconocimiento del Cubo Verde	92
Figura 5.23: Captura del Cubo Verde	92
Figura 5.24: Clasificación del Cubo Verde.....	93
Figura 5.25: Ubicación del Cubo Rojo	95
Figura 5.26: Reconocimiento del Cubo Rojo.....	95
Figura 5.27: Captura del Cubo Rojo	96
Figura 5.28: Clasificación del Cubo Rojo	96
Figura 5.29: Ubicación de los Dos Cubos Verdes.....	98
Figura 5.30: Reconocimiento de los Cubos	99
Figura 5.31: Captura de los Cubos	99
Figura 5.32: Ubicación de los Objetos	101

Figura 5.33: Ventana de Patrones Guardados en Memoria.....	102
Figura 5.34: Reconocimiento de la Tapa Esférica	102
Figura 5.35: Reconocimiento del Pendrive	103
Figura 5.36: Reconocimiento del Adaptador de Enchufe	103
Figura 5.37: Captura de la Tapa Esférica	104
Figura 5.38: Captura del Pendrive	104
Figura 5.39: Captura del Adaptador de Enchufe.....	104
Figura 5.40: Posición del Brazo Físico y Simulado	106
Figura 5.41: Posición del Brazo Físico y Simulado	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Variable Independiente	23
Tabla 2.2: Variable Dependiente.....	23
Tabla 3.1: Hardware para el Desarrollo	35
Tabla 3.2: Software para el Desarrollo.....	35
Tabla 3.3: Hardware para la Implementación	36
Tabla 3.4: Costos de Suministros	36
Tabla 3.5: Costos de Hardware para el Desarrollo	37
Tabla 3.6: Costos de Software para el Desarrollo.....	37
Tabla 3.7: Costo Total del Desarrollo.....	37
Tabla 3.8: Costo de Hardware para la Implementación	38
Tabla 3.9: Costo Total de Implementación.....	38
Tabla 3.10: Costo Total de Desarrollo e Implementación	39
Tabla 4.1: Dimensiones del Brazo Robot.....	57
Tabla 5.1: Resultados del Experimento 1	87
Tabla 5.2: Resultados del Experimento 2	90
Tabla 5.3: Resultados del Experimento 3	94
Tabla 5.4: Resultados del Experimento 5	97
Tabla 5.5: Resultados del Experimento 5	100
Tabla 5.6: Resultados del Experimento 6	105
Tabla 5.7: Resultados del Experimento 7	108

INTRODUCCIÓN

Actualmente está surgiendo una nueva clase de robots, que tienden a realizar actividades humanas, tales como caminar, tomar objetos y tomar decisiones en diversas circunstancias, mostrando las nuevas habilidades dotados de cierto nivel de inteligencia.

Dada la importancia y el crecimiento acelerado de la robótica, surgió la necesidad de desarrollar este tipo de proyecto tecnológico, ya que con la elaboración de un brazo robot para el reconocimiento y manipulación de objetos, controlado mediante inteligencia artificial, se podrá asimilar y crear nuevos conocimientos aplicados en este ramo de la investigación científica.

El campo de la inteligencia artificial está en continuo perfeccionamiento y se encuentra con alto grado de uso en países con mayor desarrollo tecnológico, pero en el Ecuador esta área está poco explorada, es por ello que se planteó esta tesis, como un aporte de explorar nuevas áreas en la robótica, desarrollado con recursos propios, empezando desde cero con respecto a los conocimientos de visión artificial y programación G. La idea generalmente, es un concepto que se ha implementado ya en otros países y tal vez en Ecuador, pero con tecnología de importación, el control de un sistema robótico mediante inteligencia artificial donde contempla la visión por computadora y la manipulación autónoma de un brazo robot sin que intervengan otros sistemas de control, tales como sensores de posición, sensores ultrasónicos, sensores de color o sensores infrarrojos.

La visión artificial por computadora, es una de las bases principales de este proyecto, ya que es una disciplina en creciente auge con amplitud de aplicaciones, como por ejemplo, inspección automática, reconocimiento de objetos, mediciones, entre otros. El futuro es aún más prometedor; la

creación de máquinas autónomas capaces de interactuar inteligentemente en el entorno que se encuentren mediante la capacidad de aprender, percibir y tomar decisiones.

El fin de este trabajo, es aportar conocimientos para fomentar el desarrollo tecnológico en Ecuador, como en otros países que generan su propia tecnología. Dada la importancia que en el país actualmente se está cambiando la matriz productiva, dando mayor importancia al desarrollo y explotación del conocimiento. La carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE no es la excepción, ya que se ha aportado con ideas productivas para el desarrollo tecnológico, logrando reconocimientos a nivel nacional y destacándose entre otras universidades de alto renombre, por lo que llena de orgullo como carrera y engrandece el prestigio de la institución, es por ello que se plantea este proyecto tecnológico, ya que con los recursos necesarios se puede llegar a otro nivel.

En este proyecto se ven plasmados muchos meses de trabajo, logrando así una evolución de conocimiento y de madurez como futuro profesional.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se realiza la identificación del problema, la situación actual, la justificación, el objetivo general, los objetivos específicos, la hipótesis y los resultados esperados.

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE, tiene siete años de creación y parte de su misión dice, “Formar profesionales con alto nivel científico y técnico, aptos para

adaptarse a los cambios tecnológicos...”, durante este periodo de tiempo no se ha incursionado en este campo de la robótica como es la Inteligencia Artificial, ya que es un campo que en la actualidad es utilizado para resolver diversos problemas de la vida real o para facilitar tareas que para el ser humano son peligrosas, tediosas o que simplemente se pueden mejorar procesos.

En el laboratorio de Electrónica de la carrera, se han desarrollado varios robots, algunos manipuladores pero con poca precisión debido a que funcionan con motores de corriente continua y no con servomotores. Nadie ha incursionado en el campo de la Inteligencia Artificial, debido a la complejidad del desarrollo y a la investigación que este demanda, pero es importante para la carrera que se dé este tipo de investigación, ya que tiene un gran potencial para el desarrollo de futuras aplicaciones.

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA

Para la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE es importante, dentro de la línea de investigación en Robótica, incrementar el conocimiento que permita el desarrollo y perfeccionamiento de los sistemas que emulan los movimientos de algunas partes del cuerpo humano y el desarrollo de inteligencia artificial, con el objetivo de diseñar sistemas robóticos que realicen actividades que el ser humano no puede desarrollar, ya sea por limitaciones físicas, por la existencia de ambientes hostiles o manejo de sustancias peligrosas, que ponen en riesgo su seguridad. También, el estudio de estos sistemas obedece a la necesidad de mecanismos que realicen

operaciones repetitivas y que pudieran ser una alternativa para personas que las requieran.

La escasa inversión en programas o proyectos, en donde se incentive la investigación en estos tipos de estudios, hace que de las asignaturas y simuladores de programación relacionados a robótica solo se conozcan la manipulación básica del software o solo teórica relacionada al tema, por lo que se debe mejorar el sistema de educación en presentaciones prácticas haciendo que se intercambien los porcentajes (teórico/práctico a práctico/teórico).

Así mismo, los estudiantes tienen un escaso conocimiento en el funcionamiento práctico de las nuevas tecnologías para la educación, medicina y otras ramas en donde se requiera este tipo de aplicaciones utilizando robótica, por lo cual se hace imperante que se diseñe diferentes tipos y modelos de robot de acuerdo a las necesidades de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Ante la necesidad de realizar un proyecto en el cual se plasmen los conocimientos y habilidades obtenidas durante los estudios universitarios en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, se ha decidido incursionar en el mundo de la robótica, esta rama del conocimiento que además de integrar un sin número de disciplinas, es de suma importancia y de gran trascendencia para la vida humana.

En el laboratorio de Electrónica de la UPSE, se cuenta con algunas aplicaciones e investigaciones relacionadas con el desarrollo de manipuladores que reproducen algunos movimientos de extremidades superiores humanas, es por ello que mediante este proyecto de brazo robot con inteligencia artificial, se busca incrementar dicho conocimiento en esta línea de investigación, se pretenden lograr algunos objetivos, el principal de ellos es dar un paso importante en investigación con Inteligencia Artificial, con el fin de contribuir al desarrollo de muchas aplicaciones, en donde, aparte de reconocer y manipular objetos de orientación y posición desconocida, se pueda dar inicio a aplicaciones en otras modalidades de la robótica, por ejemplo, en áreas como la medicina, militar, exploración, agricultura, o muchas aplicaciones industriales.

Una de las líneas de investigación y de desarrollo muy interesante en robótica, es lo relativo a la Inteligencia Artificial, en ello no sólo se espera dotar un computador con la capacidad de percibir, sino de reconocer, es decir de identificar lo percibido y posteriormente tomar decisiones. Se ha avanzado poco en materia de inteligencia, visión e interpretación en el país, debido a la dificultad y complejidad que presenta para el desarrollo de dichos proyectos.

La realización de éste proyecto se convertirá en un antecedente para el futuro desarrollo de tecnologías en la provincia de Santa Elena, destinado a lograr mejoras en diversas áreas, y a minimizar los costos de importación de tecnologías extranjeras. Puede afirmarse entonces, que el desarrollo de un brazo robot controlado mediante Inteligencia Artificial para la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE, además de

incentivar la investigación y cooperación entre estudiantes de distintas carreras, tendría una influencia importante para el desarrollo de tecnología robótica en el país.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo consta de un objetivo general y varios objetivos específicos que en base al estudio del problema se planteó:

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar y construir un brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos, controlado mediante inteligencia artificial, como complemento de tecnología robótica en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Implementar un sistema de visión artificial, para la identificación y reconocimiento de objetos.
- Emplear una técnica de iluminación óptima, para obtener un buen enfoque del objeto.
- Diseñar y construir un brazo robot, para la manipulación de objetos.
- Desarrollar un algoritmo de reconocimiento y control de objetos mediante el software LabView y cálculos de cinemática inversa.
- Pruebas con el brazo robot, para evaluar y garantizar su funcionamiento.

1.5. HIPÓTESIS.

El desarrollo de un brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos controlado mediante inteligencia artificial, permitirá incrementar el desarrollo de tecnología robótica en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE.

1.6. RESULTADOS ESPERADOS

- Aplicación informática para el reconocimiento y manipulación de objetos mediante Inteligencia Artificial.
- Aplicación informática para el control en tres dimensiones de un brazo robot con cinco grados de libertad.
- Los estudiantes podrán interactuar con el brazo robot con inteligencia artificial, con fines pedagógicos.
- Este proyecto servirá como base para el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas en el área de robótica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración de este proyecto, como componentes de hardware y software útiles para el desarrollo de aplicaciones robóticas.

2.1. ANTECEDENTES.

Para el desarrollo de este proyecto se citó documentación bibliográfica complementada con información actualizada existente en el internet.

A continuación se presentan los antecedentes históricos, exponiendo así la evolución que nos ha llevado al desarrollo de esta tecnología.

2.1.1. Históricos

Los esfuerzos por reproducir algunas habilidades mentales humanas en máquinas y androides se remontan muy atrás en la historia. El mito del coloso de Rodas entre los griegos, las estatuas "parlantes" del medioevo, el androide de Von Kempelen que jugó al ajedrez con Napoleón, y el "motor analítico" de Charles Babbage que calculaba logaritmos, son sólo algunos de los ejemplos de este antiguo interés. Igualmente, la concepción de la inteligencia humana como un mecanismo no es reciente ni ha estado dissociada de la psicología: Descartes, Hobbes, Leibniz, y el mismo Hume se refirieron a la mente humana como una forma de mecanismo.

La Inteligencia Artificial surge definitivamente a partir de algunos trabajos publicados en la década de 1940, que no tuvieron gran repercusión, pero a partir del influyente trabajo en 1950 de Alan Turing, matemático británico, se abre una nueva disciplina de las ciencias de la información.

Si bien las ideas fundamentales se remontan a la lógica y algoritmos de los griegos, y a las matemáticas de los árabes, varios siglos antes de Cristo, el concepto de obtener razonamiento artificial aparece en el siglo XIV. A finales del siglo XIX se obtienen lógicas formales suficientemente poderosas y a mediados del siglo XX, se

obtienen máquinas capaces de hacer uso de tales lógicas y algoritmos de solución.¹

Ya en el siglo XX, el escritor checo KarelCapek (1890-1938) le dió nombre al hombre mecánico en su obra teatral R.U.R. (Robots Universales Rossum), que se estrenó en Europa en 1920, utilizando la palabra "robot", que es de origen checo y significa siervo o esclavo.

Cuando la computación empezó a surgir como una ciencia, se empezaron a dar cuenta de que los robots podía realizar tareas mucho más complejas de lo que ellos imaginaban; se interesaron en el concepto del "razonamiento Humano"; se dieron cuenta de que si pudieran "aprender" de su medio, se podría realizar el sueño de cualquier científico: crear vida artificial.²

2.2. BASES TEÓRICAS.

A continuación se presentan los puntos específicos de las bases teóricas para el presente trabajo de investigación.

2.2.1. Inteligencia Artificial.

Se denomina inteligencia artificial a la rama de la ciencia informática dedicada al desarrollo de agentes racionales no vivos. Para explicar mejor esta definición, entiéndase a un agente como cualquier cosa capaz de percibir su entorno (recibir entradas), procesar tales percepciones y

¹http://biblioteca.itam.mx/estudios/estudio/estudio10/sec_16.html

²<http://axxon.com.ar/zap/c-zapping0122.htm>

actuar en su entorno (proporcionar salidas). Y entiéndase a la racionalidad como la característica que posee una elección de ser correcta, más específicamente, de tender a maximizar un resultado esperado.

Su funcionamiento es el siguiente, un ordenador ejecuta las órdenes para procesar datos que le son suministrados sin que disponga de capacidad para desarrollar razonamiento alguno acerca de dicha información. Frente a ello, la propuesta de la inteligencia artificial consiste en lograr que el procesador se adapte al método de razonamiento y comunicación humanos, para que pueda, no sólo poner en práctica los algoritmos que en él introduce el hombre, sino establecer los suyos para resolver problemas. El ordenador puede calcular el área de un polígono, siempre que posea el programa que le proporciona el dato de la medida de uno de sus lados y la fórmula correspondiente para realizar dicha operación; la inteligencia artificial pretende que el procesador sea instruido en los principios de la geometría, para por sí mismo, resolver la cuestión, a partir de un algoritmo de su propia creación. En definitiva, la inteligencia artificial explora los mecanismos que convierten a un ente en una máquina pensante.³

2.2.2. Visión Artificial

La visión artificial (VA) surgió a partir del desarrollo de la inteligencia artificial (IA), con el propósito de programar un computador para que sea capaz de “entender” una

³http://www.academia.edu/7908741/INTELIGENCIA_ARTIFICIAL_INFORME

escena o las características de una imagen. Por lo que se puede definir a la visión artificial como el “proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes utilizando para ello un computador”. En otras palabras, es un campo de la Inteligencia Artificial que mediante la utilización de técnicas adecuadas, permite la obtención de información especial obtenida a través de imágenes digitales.

También es conocida como "Visión por Computadora", conjunto de todas aquellas técnicas y modelos que permiten la adquisición, procesamiento, análisis y explicación de cualquier tipo de información espacial del mundo real, obtenida a través de imágenes, el cual tiene un sinnúmero de aplicaciones.⁴



Figura 2.1: Control de Calidad para Botellas Mediante VA.

Fuente: Directindustry.es

⁴http://www.ecured.cu/index.php/Visi%C3%B3n_Artificial

2.2.3. LabView.

El software NI LabView es un entorno de programación gráfica (G) para pruebas, control y diseño, que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto para ayudarle a programar de la misma manera en que usted piensa. Tal como aprender cualquier software de programación nuevo.

Los programas desarrollados con LabView se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, lo que da una idea de su uso en origen: el control de instrumentos. El lema de LabView es: "La potencia está en el Software". Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño). Esto no significa que la empresa haga únicamente software, sino que busca combinar este software con todo tipo de hardware, como tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, y otro Hardware.⁵

LabView brinda la flexibilidad de un potente lenguaje de programación sin la complejidad de los entornos de desarrollo tradicionales, entre algunos beneficios tenemos:

- Fácil de aprender.
- Funcionalidad completa.
- Capacidades de E/S integradas.
- Compatibilidad con varias tarjetas para Adquisición de datos.

⁵ Programación grafica para ingenieros”, José Miguel Martínez y Manuel Jiménez Buendía

- Control de Instrumentos en tiempo real.
- Comunicación con varios software de programación.

2.2.4. Procesamiento y análisis de imágenes

El procesamiento de imágenes es la transformación de una imagen en otra, para hacer que el análisis posterior de las imágenes sea más fácil y más fiable. En el análisis de imágenes se utilizan algoritmos para extraer información representativa de los objetos presentes en una imagen. Para ello vamos a valernos de la herramienta NI Vision Development de LabView.

El Módulo LabVIEW NI Vision Development es para científicos, ingenieros y técnicos que desarrollan aplicaciones de visión artificial y de imágenes científicas de LabVIEW. Incluye IMAQ Vision, una biblioteca de poderosas funciones para procesamiento de visión y el Vision Assistant un entorno interactivo para desarrolladores que necesitan generar rápidamente prototipos para aplicaciones o que necesitan inspección fuera de línea.⁶

NI Vision Assistant permite adquirir y capturar imágenes provenientes de dispositivos o cámaras que contengan un estándar compatible. Además contiene las herramientas para el procesamiento de Imágenes y permite transferir las operaciones realizadas al diagrama de bloque del

⁶http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Curso%20de%20Instrumentacion/2012_Introducci%F3n%20al%20NI%20IMAQ%20para%20c%E1maras%20USB.pdf

programa en Labview. En este proyecto se utilizara una cámara web USB de computadora, la cual es compatible con las herramientas de visión que nos ofrece este paquete de LabView.

2.2.5. Software Arduino

Arduino es una herramienta para hacer que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico a través de tu ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física (physical computing) de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa. El software es visualmente sencillo pero es una poderosa herramienta diseñada para programar en línea de códigos, además está disponible en varias versiones y para diferentes sistemas operativos.

Es compatible con diversos software de programación el cual es muy útil como complemento en el desarrollo de proyectos. Gracias a que es de código abierto, en la red se puede encontrar varios códigos realizados, como un código llamado LIFA_Base, el cual permite la comunicación entre en software LabView y Arduino útil para este proyecto.

2.2.6 Arduino Uno

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y

puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino y el entorno de desarrollo Arduino.

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega 328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un puerto ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador o la batería para empezar.⁷

La función principal en el proyecto, es actuar como interfaz para el control de servomotores.

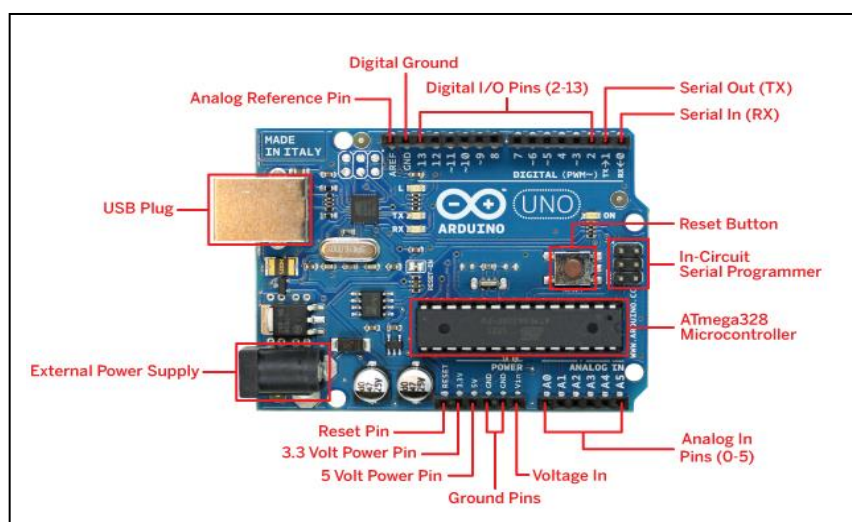


Figura 2.2: Placa Arduino UNO.
Fuente: Arduinoarts.com

⁷Arduino UNO, <http://mikroe.es/tag/atmega328p-pu/>

2.2.7. Cámara Web USB

Una webcam o cámara web suelen ser los dos términos, en inglés y en español, utilizados para definir a cualquier cámara que genera imágenes a las que se puede acceder a través de un servidor de Internet o enchufarse a una PC, a través de un puerto USB.

Esencialmente, una cámara web es una cámara que se encuentra conectada a una computadora, ya sea directamente o de manera inalámbrica, y nos permite captar imágenes que hacen posible la visualización remota.

Las posibilidades que brinda este dispositivo hacen que la tecnología detrás de la webcam sea ampliamente utilizada por todo tipo de usuarios de todo el mundo para diferentes propósitos como: cámaras de seguridad, video llamadas, espías, proyectos de robótica para fines educativos.

2.2.8. Servomotor

Un Servo es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots.

Los Servos son sumamente útiles en robótica. Los motores son pequeños, tiene internamente una circuitería de control interna y es sumamente poderoso para su tamaño. Un servo normal o Standard como el HS-300 de Hitec tiene 42 onzas por pulgada o mejor 3kg por cm. de torque que es bastante fuerte para su tamaño. También potencia proporcional para cargas mecánicas. Un servo, por consiguiente, no consume mucha energía. Se muestra la composición interna de un servo motor en el cuadro de abajo. Podrá observar la circuitería de control, el motor, un juego de piñones, y la caja. También puede ver los 3 alambres de conexión externa. Uno es para alimentación Vcc (+5volts), conexión a tierra GND y el alambre blanco es el alambre de control.⁸

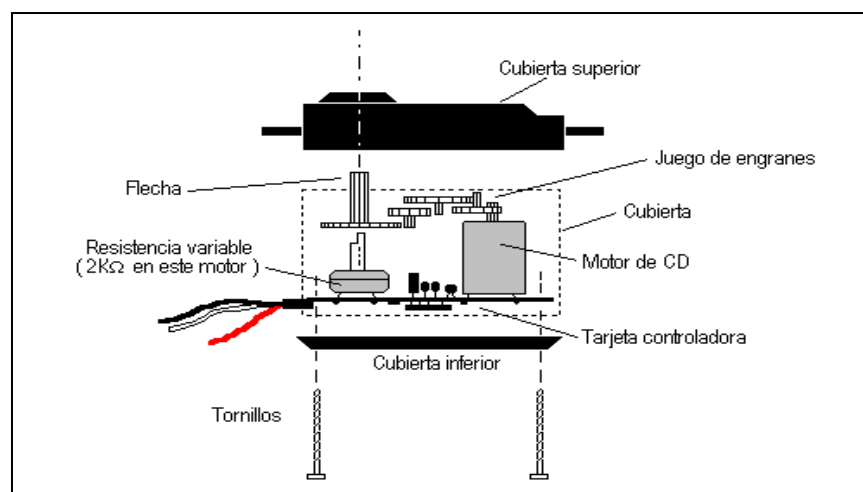


Figura 2.3: Partes Internas del Servomotor.

Fuente: Monografias.com

2.2.9. Brazo Robot

El brazo robótico ha sido diseñado en base a la gran versatilidad del brazo humano, en un principio los diseños

⁸<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>

fueron rudimentarios pero con el tiempo se logró igualar, incluso, superar la complejidad de los movimientos. El brazo robótico es de gran importancia en la industria no solo por su eficacia al realizar trabajos, sino porque sustituye al hombre en labores de producción que no corresponden a un humano, es decir mejora la calidad de vida.

El diseño de un manipulador robótico se inspira en el brazo humano, aunque con algunas diferencias. Por ejemplo, un brazo robótico puede extenderse telescópicamente, es decir, deslizando unas secciones cilíndricas dentro de otras para alargar el brazo. También pueden construirse brazos robóticos de forma que puedan doblarse como la trompa de un elefante. Las pinzas están diseñadas para imitar la función y estructura de la mano humana. Muchos robots están equipados con pinzas especializadas para agarrar dispositivos concretos, como una gradilla de tubos de ensayo o un soldador de arco.

Las articulaciones de un brazo robótico suelen moverse mediante motores eléctricos, electrónicos o por presiones ya sean de aceite o de aire. En la mayoría de los robots, la pinza se mueve de una posición a otra cambiando su orientación. Una computadora calcula los ángulos de articulación necesarios para llevar la pinza a la posición deseada, un proceso conocido como cinemática inversa.⁹

Algunos brazos multiarticulados están equipados con servo controladores, o controladores por realimentación,

⁹ Robótica, <http://edumexico.net/menu/articulos/Cap4/robotica.htm>

que reciben datos de un ordenador. Cada articulación del brazo tiene un dispositivo que mide su ángulo y envía ese dato al controlador.¹⁰

La caja de herramientas proporcionada por Labview, permite utilizar varios instrumentos virtuales, ideales para la generación de trayectorias de un brazo robot, como la cinemática, dinámica, matrices jacobianas entre otros.

2.2.10. CINEMÁTICA DEL ROBOT

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares. Existen dos problemas fundamentales para resolver la cinemática del robot, el primero de ellos se conoce como el problema cinemático directo y el segundo como el problema cinemático inverso.

Cinemática Directa: Consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.¹¹

¹⁰<http://www.sabersinfin.com/articulos-2/ciencia-y-tecnologia/921-antecedentes-y-prospectiva-de-la-robica.html>

¹¹<http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r91/r91.htm>

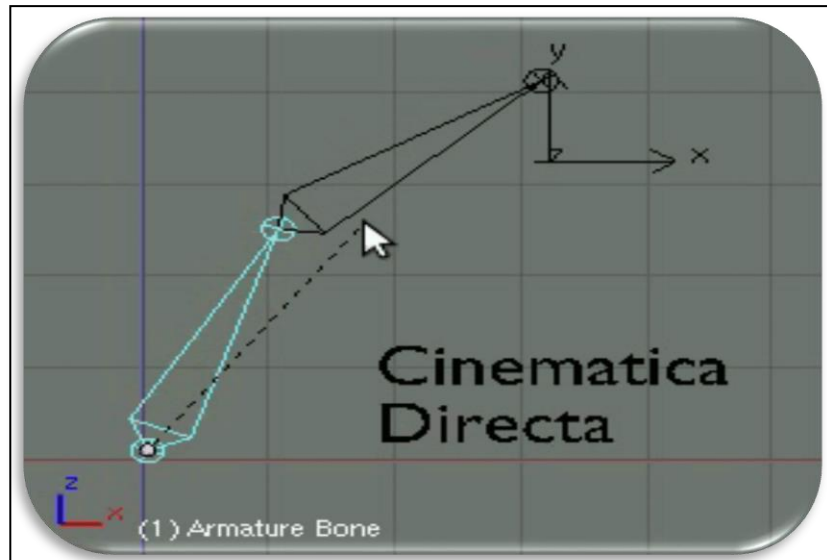


Figura 2.4: Cinemática Directa.
Fuente: Escuela Superior de Informática "ESI"

Cinemática Inversa: Se especifica la posición en el espacio que queremos alcanzar y se calcula automáticamente una posible configuración de rotaciones que debe adoptar el brazo.¹²

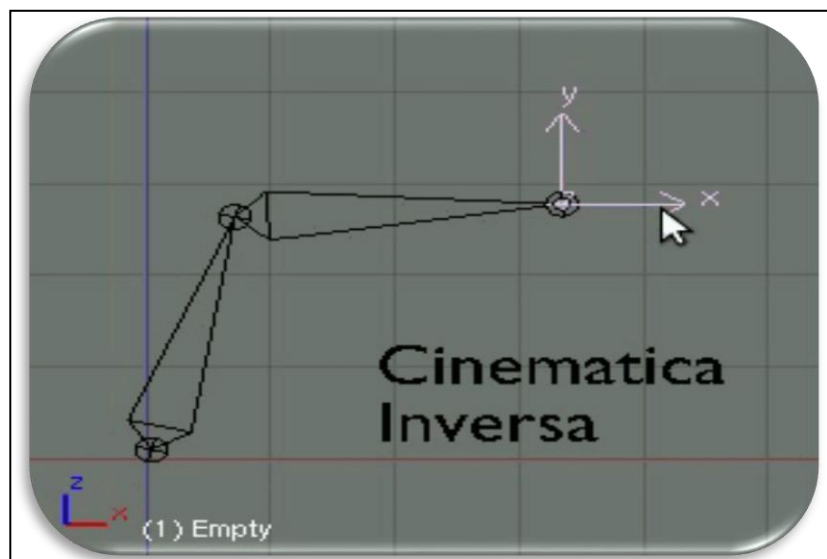


Figura 2.5: Cinemática Inversa.
Fuente: Escuela Superior de Informática "ESI"

¹²<http://www.esi.uclm.es/www/cglez/fundamentos3D/04.05.FKIK.html>

2.3. VARIABLES

Tabla 2.1: Variable Independiente

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
El desarrollo de un brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos controlado mediante inteligencia artificial.	Es un brazo robot dotado de cierto grado de inteligencia, con la capacidad de identificar objetos, agarrarlos y posicionarlos en otro sitio, basado en sistemas de V.A. y cálculos de cinemática.	Sistema de Visión	Efectividad en la detección de objetos.	<u>Técnicas</u> Observación directa. Observación indirecta. Recolección de datos.
		Técnicas de Iluminación	Efectividad para la identificación de objetos.	<u>Instrumentos</u> Desarrollo de la aplicación en LabView. Sketch de interfaz entre Arduino y LabView.
		Locomoción del Brazo Robótico	Grados de Libertad, cálculos de cinemática	
		Nivel de Control	Nivel de inteligencia.	

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Tabla 2.2: Variable Dependiente

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Permite incrementar el desarrollo de tecnología robótica en la carrera de electrónica y telecomunicaciones de la UPSE	Contribuye significativamente en la evolución de la capacidad innovadora de los estudiantes de la carrera de electrónica y telecomunicaciones de la UPSE, para el desarrollo de futuras aplicaciones robóticas.	Actitudes científicas	Pensamiento tecnológico, manejo del computador, habilidades de aprendizaje.	<u>Técnicas</u> Observación directa. Observación indirecta. Encuestas.
		Productividad de diseño	Originalidad Elaboración.	
		Resolución de problemas	Desarrollo de habilidades, capacidad de redefinición.	

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

2.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

La metodología utilizada para el desarrollo investigativo de este proyecto de “brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos controlado mediante inteligencia artificial, como complemento de tecnología robótica en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UPSE”, está basado en cuatro fases, en los cuales se utilizan diferentes métodos de investigación.

También se definen las fuentes y técnicas de investigación necesarias para la adquisición de información.

Los métodos utilizados en este proyecto son:

Método de empírico.

El método empírico es un modelo de investigación que se basa en la experimentación y la lógica empírica, su fundamento radica en percepción directa del fenómeno de investigación y del problema. Este método será utilizado en la fase 1 y 2.

Método de sistémico.

El método sistémico se basa en un orden manifestado por reglas, que permitiría llegar a tener una comprensión total de una situación dada. Este método será utilizado en la fase 3 y 4.

Las fases que comprenden la metodología para el desarrollo del proyecto son:

FASE 1

Investigación preliminar: El objetivo en esta fase de investigación es buscar información suficiente para conocer las necesidades y

beneficios dentro del proyecto, luego realizar un estudio para determinar la factibilidad de una solución.

FASE 2

Definición de los requerimientos del sistema: En esta fase se desea conocer los requerimientos de los usuarios en relación al proyecto en desarrollo. Aquí se identifican los atributos, capacidades, características y/o cualidades del prototipo, para que tenga un valor y utilidad para el usuario final. La información de los requerimientos es proporcionada por las encuestas realizadas.

FASE 3

Diseño técnico: El diseño técnico consiste en la búsqueda de soluciones innovadoras entre la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos.¹³ Referencia las decisiones de carácter estético o técnico para la determinación de sus componentes y la relación entre ellos, con el fin de determinar la estructura del objeto (método sistémico). En otras palabras se realiza la documentación del diseño, que especifica y describe la estructura del prototipo, la interfaz de usuario y sus funciones.

FASE 4

Programación y pruebas: En esta fase se ejecutan los sistemas y cada uno de los componentes desarrollados en el proyecto. Los resultados observados se registran para proporcionar información objetiva sobre la calidad del prototipo y garantizar de esta forma un correcto desempeño de funcionalidad.

¹³ <http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1H8RYR9RD-3R4ZJ2-403T/>

Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación que se utilizaron dentro de esta temática de estudio son la observación directa, revisión documental y encuestas dirigidas a docentes y estudiantes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

Para la observación directa, se establecieron problemas que a simple vista no son detectadas a los ojos de los demás sino de aquella persona que está inmersa en este tipo de estudio, para ello se recogerá la información proporcionada por los involucrados, para procesarlos y llegar a conclusiones importantes para este estudio.

La revisión documental es una parte fundamental, para lo cual, se debe tener cuidado con la información adquirida, ya que un dato mal proporcionado podría establecer parámetros erróneos en el estudio, para ello se utilizarán libros, folletos, tesis, informes, revistas, videos, entre otros, que serán la base fundamental de este proyecto.

Se aplicarán las encuestas a docentes y estudiantes, en donde se tomará una muestra para la determinación o demostración de las hipótesis de acuerdo a lo que se quiere profundizar y obtener una mayor información.

2.5. TÉRMINOS BÁSICOS

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso

con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Algoritmo: Es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad, mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.

Androide: Es la denominación que se le da a un robot u organismo sintético antropomorfo que, además de imitar la apariencia humana, imita algunos aspectos de su conducta de manera autónoma.

Cinemática: Es la rama de la física que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan (las fuerzas) y se limita, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo.

Dinámica: Es la rama de la física que describe la evolución en el tiempo de un sistema físico en relación con las causas que provocan los cambios de estado físico y/o estado de movimiento.

Humanoide: Se refiere a cualquier ser cuya estructura corporal se asemeja a la de un humano.

IA: Corresponde a la abreviación de Inteligencia Artificial.

Microcontrolador: Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.

PAC: Siglas de Controlador de Automatización Programable, combinan las mejores características de la PC, incluyendo el procesador, la RAM.

Procesador: Es un circuito integrado que contiene todos los elementos de la CPU.

Puerto ICSP: (In Circuit Serial Programming), es un conector que disponen algunas placas mediante el cual podemos actualizar o reprogramar el chip sin desconectarlo del zócalo de donde se lo está utilizando.

PWM: (Pulse Width Modulation) o Modulación por Ancho de Pulso, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica.

Resonador cerámico: Un resonador cerámico es un componente electrónico que tiene características piezoeléctricas que hacen que el material de cerámica genere energía eléctrica cuando se ve sujeto a expansiones y compresiones electromecánicas.

VA: Sigla de Visión Artificial.

Vis: Siglas de Instrumentos Virtuales, utilizados por el software LabView de National Instruments.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS

3. ANÁLISIS

Para el análisis correspondiente en este capítulo del proyecto, se indicarán los requerimientos, especificaciones técnicas, procedimientos y viabilidad.

3.1. DIAGRAMA DEL PROCESO

A continuación se muestra el diagrama de procesos (figura 3.1), que cumple el robot para un correcto funcionamiento, se indica los procesos a nivel de software y de hardware.



Figura 3.1: Diagrama de Proceso General.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

3.1.1 Descripción funcional de los procesos

El presente proyecto está basado en una secuencia de etapas en las que se aplican distintas técnicas, tanto para el procesamiento de imágenes como para el análisis matemático del brazo robot, es por ello que el proyecto se divide en dos etapas como son: el sistema de visión y el manipulador.

A. SISTEMA DE VISIÓN

Adquisición

Esta es la primera etapa del proceso, el cual tiene como objetivo adquirir la imagen del medio exterior mediante un sistema de adquisición de imágenes y una técnica de iluminación adecuada, para mejorar el enfoque del objeto.

En este proyecto se cuenta con una cámara USB regular, utilizadas en videoconferencias, compatible con el software LabView. Adicionalmente, es importante aplicar una buena técnica de iluminación, ya que se pueden simplificar algoritmos complejos para el procesamiento de imágenes.

Almacenamiento

Esta etapa se encarga de guardar la imagen adquirida por la cámara, hacia la memoria del computador. Se utiliza una librería proporcionada por LabView para ubicar el directorio donde se almacenarán las imágenes.

Procesamiento

En esta etapa ya se tiene la imagen guardada en la memoria de la computadora, será el patrón que seguirá el brazo robot mediante la visión. Entonces se procede a la extracción de la imagen guardada para realizar el procesamiento, que consiste en proporcionar cierta información de él. Esta información servirá para realizar un muestreo eficiente de imágenes y extracción de información del objeto censado.

Reconocimiento

En la etapa de reconocimiento se realiza nuevamente la generación de un stream de video, para ejecutar el censado del objeto a identificar. Se realiza una comparación entre el objeto censado y el patrón almacenado en la memoria de la computadora, en otras palabras el robot identifica y localiza el objeto que está viendo.

Resultados

En esta última etapa del sistema de visión se espera obtener como resultado la obtención de cierta información del objeto, como por ejemplo, el reconocimiento del color y el seguimiento constante mediante un cuadro indicativo. Además de información del posicionamiento exacto de la ubicación del objeto, en un plano de dos dimensiones (x,y).

B. MANIPULADOR

Interpretación

Se adquieren los datos proporcionados por el sistema de visión (valores de coordenadas x,y), los cuales son de gran importancia para el posicionamiento del brazo robot. Con esto se logra que el robot interprete o comprenda estos datos y sepa en qué lugar se encuentra el objeto.

Procesamiento

En esta etapa se procesan los datos de posicionamiento adquiridos (x,y), para realizar cálculos de cinemática

inversa, que son necesarios para posicionar el brazo robot en un espacio de tres dimensiones. Por lo tanto, se obtiene el valor de los ángulos de cada articulación que conforman el brazo, dados en grados.

Comunicación

Se realiza la comunicación entre el software y el brazo físico mediante una interfaz de comunicación. La tarjeta Arduino es la indicada para realizar esta tarea, gracias a que LabView cuenta con librerías de comunicación y compatibilidad con Arduino.

Arduino proporciona varios puertos de comunicación, los cuales sirven para enviar datos y poder movilizar los servomotores que conforman el brazo robot.

Ejecución

En esta última etapa se ejecuta el resultado final, logrando que el brazo robot realice tareas como, la recolección del objeto, independientemente de la posición que este se encuentre y la clasificación del mismo en relación a su color.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario tener presente los siguientes requerimientos, que son fundamentales para su correcto funcionamiento.

- El desarrollo de la aplicación está basado en el software LabView 2012 y Arduino 1.0.5.

- El escenario o mesa de trabajo debe tener un buen contraste para identificar de mejor manera los objetos y sus características, preferible un fondo blanco.
- Es importante emplear un buen método de iluminación aplicando técnicas adecuadas al proyecto.
- El brazo robot tiene un mejor rendimiento si es construido de materiales livianos.
- Debe seleccionarse el modelo adecuado del servomotor a utilizar, considerando la capacidad de torque requerida.
- En la etapa de alimentación, debe basarse en los requerimientos técnicos de cada dispositivo.
- Elaboración de un manual de usuario de la aplicación desarrollada, para facilitar el uso a los beneficiarios del proyecto.

3.3. ANÁLISIS DE SISTEMA

En esta sección se determinará la viabilidad del proyecto, analizando los factores técnicos y económicos para su implementación, desde un punto de vista económico y tecnológico.

3.3.1. Análisis Técnico

A continuación se detallan los recursos necesarios para el desarrollo e implementación del presente proyecto:

Cant.	Hardware	Descripción
1	Computador	Procesador Celeron 1.8 Ghz, 2G de RAM, Disco Duro de 80 Gb.
1	Cámara USB	Genius, VGA
1	Tarjeta Arduino	Arduino mega 2560, 53 puertos
1	Impresora	Canon MP250

Tabla 3.1: Hardware para el Desarrollo

Cant.	Hardware	Descripción
1	Sistema Operativo	Windows 7 STARTER
1	Microsoft Office	2007 Profesional
1	LabView 2012	Versión para Windows 7
1	NI Vision Development	Módulo de Visión para LabView
1	NI LabView Robotics	Módulo de Robótica para LabView
1	Arduino	Versión 1.0.5
1	Arduino Toolkit	Interface Arduino

Tabla 3.2: Software para el Desarrollo

Cant.	Hardware	Descripción
1	Tarjeta Arduino	Arduino UNO, 13 puertos
1	Estructura metálica	Material Aluminio
1	Plancha de madera	MDF de 60 x 60 cm.
3	Servos HITEC 3-11	Servomotores de 3.7 Kg/cm.
2	Servos TowerPro 995	Servomotores de 15 Kg/cm.
1	Fuente de poder	De 9VDC – 1000 mA.
5	Borneras dobles	Bornes plásticos

1	Jack DC hembra	Conector de alimentación dc.
1	Cable USB 2.0	Tipo A-B, 3m.
1	Multímetro Digital	
1	Baquelita	
1	Juego de cables	
2	Spray color negro	

Tabla 3.3: Hardware para la Implementación

3.3.2. Análisis Económico

El análisis económico que se detalla a continuación especifica cada uno de los recursos necesarios para el desarrollo e implementación del proyecto, por lo tanto se describen los costos de hardware, software y suministros utilizados.

Costos para el desarrollo del proyecto.

A continuación se detallan los rubros de los costos necesarios para el desarrollo del proyecto, como el costo de suministros, costo de software y costo de hardware para el desarrollo.

Cant.	Descripción	Valor	Subtotal
4	Resma formato A4	\$ 5.00	\$ 20.00
4	Tinta Impresora Canon	\$ 6.00	\$ 24.00
1	Conexión a internet	\$ 100.00	\$ 100.00
1	Materiales y herramientas varias	\$ 50.00	\$ 50.00
TOTAL			\$194.00

Tabla 3.4: Costos de Suministros

Cant.	Hardware	Valor	Subtotal
1	Computador (CPU)	\$ 200.00	\$ 200.00
1	Cámara USB	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Tarjeta Arduino MEGA	\$ 50.00	\$ 50.00
1	Impresora	\$ 120.00	\$ 120.00
TOTAL			\$395.00

Tabla 3.5: Costos de Hardware para el Desarrollo

Cant.	Software	Valor	Subtotal
1	S.O. Windows 7	\$ 100.00	\$ 100.00
1	Microsoft Office	\$ 52.00	\$ 52.00
1	LabView 2012 para Windows	\$1200.00	\$1200.00
1	NI Vision Development	\$ 465.00	\$ 465.00
1	NI LabView Robotics	\$2275.00	\$2275.00
TOTAL			\$4092.00

Tabla 3.6: Costos de Software para el Desarrollo

Descripción	Subtotal
Suministros	\$ 194.00
Hardware	\$ 395.00
Software	\$ 4092.00
TOTAL	\$ 4681.00

Tabla 3.7: Costos Total del Desarrollo

Costos para la implementación del proyecto.

A continuación se detalla el rubro de los costos del hardware para la implementación del proyecto:

Cant.	Hardware	Valor	Subtotal
1	Tarjeta Arduino UNO	\$ 30.00	\$ 30.00
1	Estructura metálica	\$ 20.00	\$ 20.00
1	Plancha de madera MDF	\$ 15.00	\$ 15.00
3	Servos HITEC 3-11	\$ 16.00	\$ 48.00
2	Servos TowerPro 995	\$ 27.00	\$ 54.00
1	Fuente de poder 9v	\$ 15.00	\$ 15.00
5	Borneras dobles	\$ 00.50	\$ 2.50
1	Jack DC hembra	\$ 1.00	\$ 1.00
1	Cable USB 2.0	\$ 6.50	\$ 6.50
1	Multímetro Digital	\$ 20.00	\$ 20.00
1	Baquelita	\$ 2.50	\$ 2.50
1	Juego de cables	\$ 7.00	\$ 7.00
2	Spray color negro	\$ 3.00	\$ 6.00
TOTAL			\$ 227.50

Tabla 3.8: Costo de Hardware para la Implementación

Descripción	Subtotal
Suministros	-
Hardware	\$ 227.50
Software	-
TOTAL	\$ 227.50

Tabla 3.9: Costo Total de Implementación

Costo general del proyecto

A continuación se presenta el costo final del proyecto, el total entre el desarrollo y la implementación del mismo:

Descripción	Subtotal
Desarrollo	\$ 4681.00
Implementación	\$ 227.50
TOTAL	\$ 4908.50

Tabla 3.10: Costo Total de Desarrollo e Implementación

Mediante el análisis de costos, se pueden observar en las tablas que el costo para el desarrollo del proyecto es de \$ 4,681.00 y para la Implementación es de \$ 227.50, lo que da un total de \$4,908.50. Se menciona además que el costo total del proyecto es asumido por el autor del proyecto.

3.3.3. Análisis Operativo

Después de haber realizado el análisis técnico y económico, a continuación se presenta el análisis operativo. En base a encuestas realizadas a los beneficiarios del proyecto (anexo 1), se puede medir el grado de aceptación y de qué manera contribuye la implementación del prototipo.

Rendimiento: Está basado en los beneficios que obtendrán los estudiantes y docentes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, en base al uso de innovación tecnológica.

Fiabilidad: Para el manejo del prototipo no se necesitan demasiados conocimientos en el área de robótica, al contrario, proporcionará una gran herramienta para poder

capacitarse en esta área y que será respaldada por un manual de usuario e información detallada en capítulos posteriores.

Productividad: El objetivo de este proyecto es aportar al conocimiento tecnológico en esta área de la robótica a los docentes y estudiantes de la carrera, para que en un futuro no muy lejano se empiecen a producir nuevas tecnologías robóticas a mayor nivel.

CAPÍTULO IV

DISEÑO

4. DISEÑO

En este capítulo se presenta el diseño del prototipo de brazo robot con inteligencia artificial, en base a las necesidades y requerimientos que este demanda, para cumplir de manera correcta con los objetivos y tareas asignadas al robot.

En el siguiente grafico (figura 4.1), se muestra mediante diagrama de bloques la arquitectura general del proyecto:

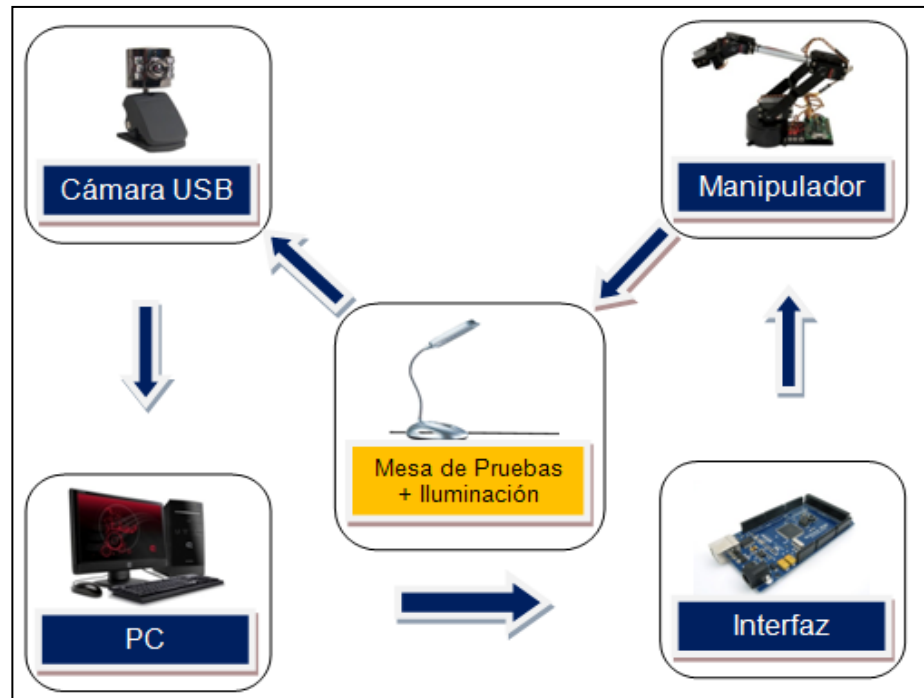


Figura 4.1: Diagrama de Bloques del Prototipo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

4.1. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

En este proyecto se va a desarrollar un brazo robótico con inteligencia artificial, mediante un sistema de visión artificial para el reconocimiento de objetos y el desarrollo de un brazo robot para su manipulación, programados mediante el software de desarrollo LabView.

Se desarrollan tareas de comparación, identificación y clasificación automática, donde un brazo robot permitirá reconocer y manipular objetos (cubos de colores rojo, azul y verde) que se encuentren en una mesa de trabajo, independiente de su posición y orientación. Para ello se requiere de un sistema de visión, ya que una vez reconocido y localizado el objeto le dará la señal de mando al manipulador robótico, para que lo recoja y lo coloque en una posición previamente

designada. Como se mencionó anteriormente, el prototipo se divide en dos partes, que son:

- El diseño del sistema de visión; y
- El diseño del manipulador.

Se decidió dividir el diseño del prototipo, debido a que se usan técnicas diferentes tanto para el desarrollo del sistema de visión como para el manipulador.

4.1.1. Diseño del Sistema de Visión

El objetivo del sistema de visión para el robot, es el de transformar la imagen del medio exterior proporcionada por la cámara, en una descripción de los elementos presentes en el entorno del robot. Dicha descripción deberá contener información necesaria, para que el robot efectúe los movimientos, que permitirán la ejecución de la tarea programada.

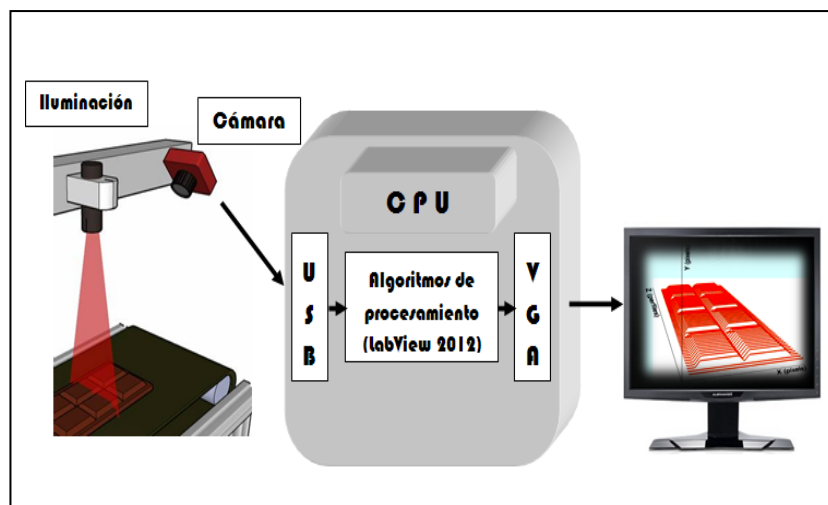


Figura 4.2: Diagrama del Diseño de Visión.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Como observamos en la figura 4.2, dentro del diseño de un buen sistema de visión intervienen varios elementos, los cuales están distribuidos de tal manera que garantice la captura y posterior análisis de la imagen. Estos elementos son:

- Técnicas de iluminación.
- Cámara.
- Algoritmos de procesamiento (CPU).

Técnicas de Iluminación

Al igual que los humanos, que poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su entorno. La luz es muy importante porque es un elemento esencial para la capacidad de comprender el entorno, ya que la mayor parte de la información que se recibe a través de los sentidos se la obtiene a través de la vista.

El propósito de la iluminación utilizada en las aplicaciones de visión artificial, es controlar la forma en que la cámara ve al objeto, ya que las cámaras capturan la luz reflejada en ellos.

La luz se refleja de forma distinta en diferentes materiales, por lo tanto, hay que establecer los métodos de iluminación en base a las características de este proyecto. Se pretende reducir al mínimo la presencia de sombras y lograr una iluminación constante. A continuación se detallarán algunos métodos de iluminación:

Iluminación frontal: Consiste en colocar dos lámparas en ambos lados de la cámara, esta técnica es útil en superficies con poco reflejo de luz.

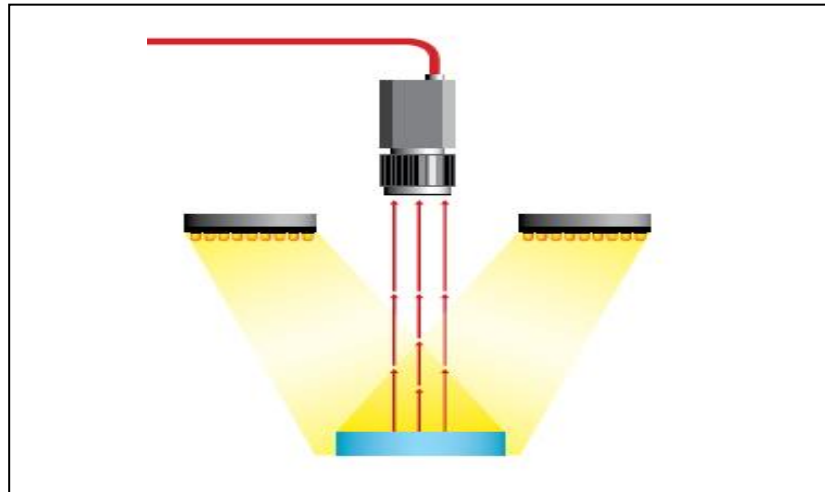


Figura 4.3: Iluminación Frontal.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

Iluminación lateral: Esta técnica se utiliza para resaltar ciertos detalles en las piezas, que sólo son visibles orientando la luz de forma lateral a la posición de la cámara¹⁴ y evita el reflejo directo de luminosidad innecesaria.

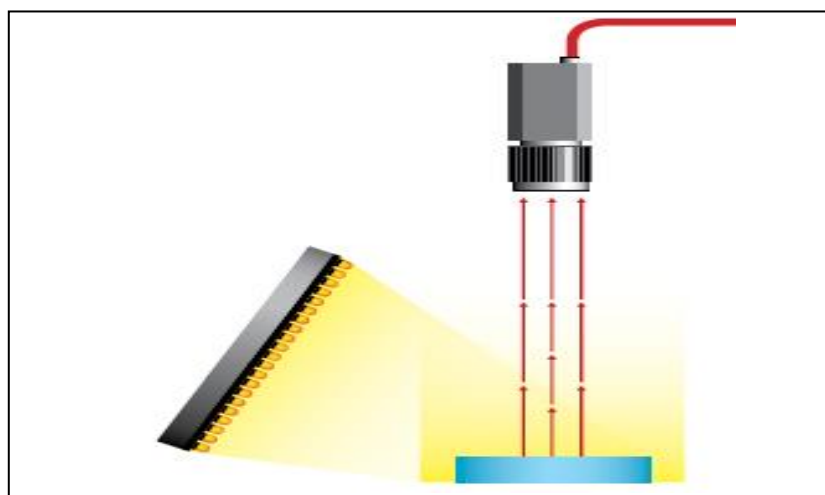


Figura 4.4: Iluminación Lateral.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

¹⁴ <http://www.infaimon.com/es/iluminacion-lateral>

Iluminación por campo oscuro: Esta técnica se utiliza para resaltar los defectos superficiales, grietas, surcos, etc. o para detectar, identificar y leer caracteres, códigos de matriz o barras grabadas en una superficie.¹⁵

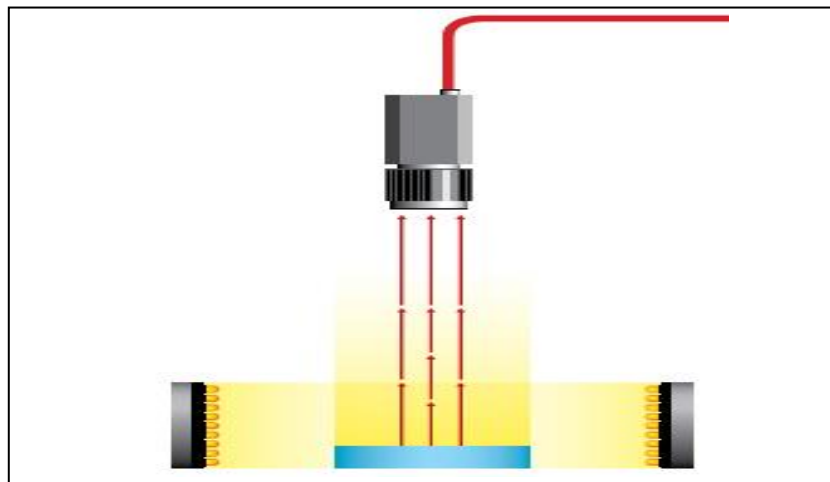


Figura 4.5: Iluminación por Campo Oscuro.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

Iluminación por contraste: Esta técnica se utiliza situando el objeto entre la iluminación y la cámara. De esta forma se puede reconocer la silueta del objeto por contraste y realizar mediciones muy precisas.¹⁶

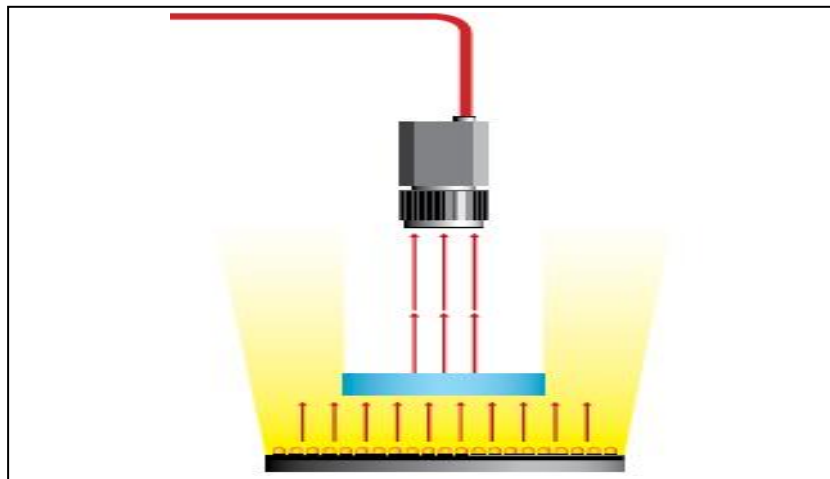


Figura 4.6: Iluminación por Contraste.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

¹⁵ <http://www.infaimon.com/es/iluminacion-por-campo-oscuro-dark-field>

¹⁶ <http://www.infaimon.com/es/iluminacion-por-contraste-backlight>

Iluminación coaxial: Esta técnica se usa para iluminar objetos reflectantes. La luz se emite de forma lateral sobre un espejo semitransparente que desvía los haces de luz en la misma dirección que el eje de la cámara.¹⁷

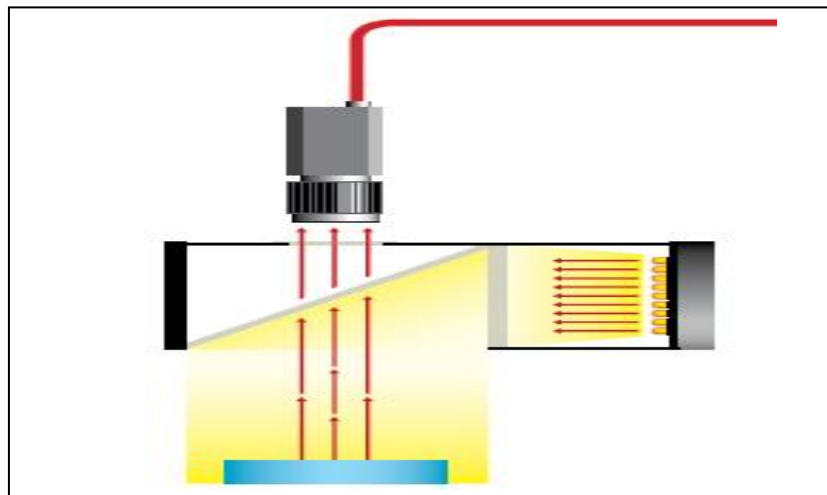


Figura 4.7: Iluminación Coaxial.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

Iluminación difusa tipo domo: A esta iluminación se le denomina también “Iluminación de Día Nublado”, ya que no produce ningún tipo de sombra. Puede utilizarse para iluminar las superficies especulares más complejas.¹⁸

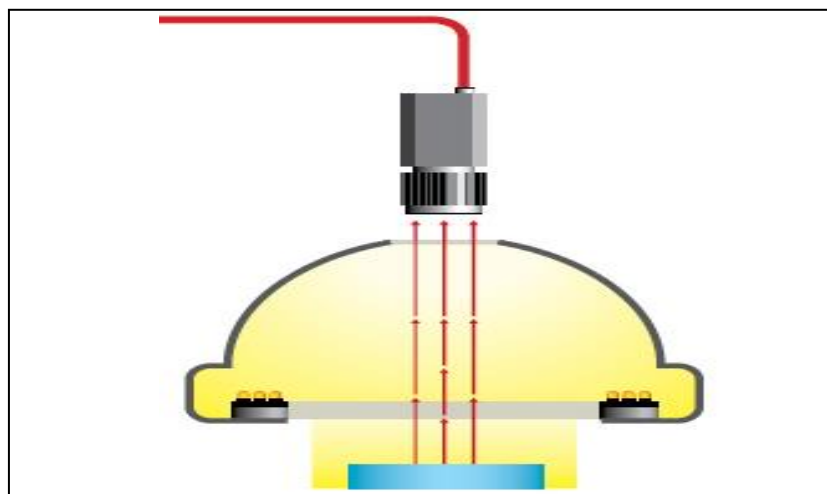


Figura 4.8: Iluminación Difusa Tipo Domo.
Fuente: Infaimon.com (Enciclopedia de la visión)

¹⁷ <http://www.infaimon.com/es/iluminacion-sobre-el-mismo-eje-o-iluminacion-coaxial>

¹⁸ <http://www.infaimon.com/es/iluminacion-difusa-tipo-domo>

En base a las necesidades del proyecto, se consideró como mejor opción el método de iluminación lateral, se utilizará una sola luminaria colocada a un lado de la cámara. Este método ayudará a resaltar la presencia de los objetos colocados en el área de práctica.

Para complementar el sistema de iluminación, es necesario usar como fuente, un foco de luz fría o blanca (fluorescente) no mayor de 25 vatios, debido a que la superficie utilizada refleja en exceso la luz de la luminaria y es captada con mayor intensidad por la cámara, lo que produce un efecto de círculo luminoso que afectaría a la visión del robot.

Cámara

Para este proyecto es importante conocer un poco más acerca de las cámaras. En este caso se utilizará una cámara web VGA de la marca GENIUS con puerto USB, considerada óptima para el desarrollo del prototipo.

Funcionamiento: Cuando la cámara capta una imagen en el medio, la luz de la imagen pasa por una lente, esta se refleja en un filtro RGB (Red-Green-Blue), el cual descompone la luz captada en tres colores básicos: rojo, verde y azul.

Esta división de rayos se concentra en un chip sensible a la luz denominada CCD ("Charged Coupled Device"), el cuál asigna valores binarios a cada píxel y envía los datos

digitales para su codificación en video y posterior almacenamiento o envío a través de Internet.

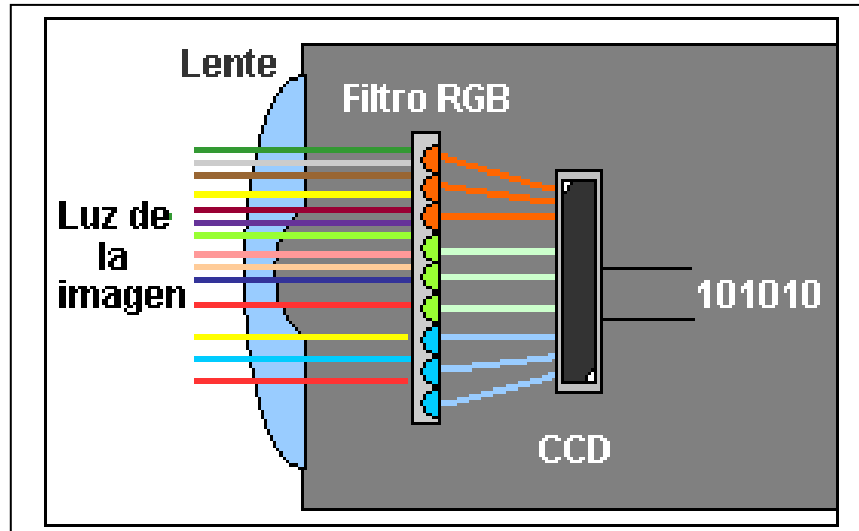


Figura 4.9: Función de una Cámara.
Fuente: Informaticamoderna.com

Partes: Internamente cuenta con los circuitos adecuados para el sensor de imágenes y la transmisión hacia la computadora. Externamente cuentan con las siguientes partes:

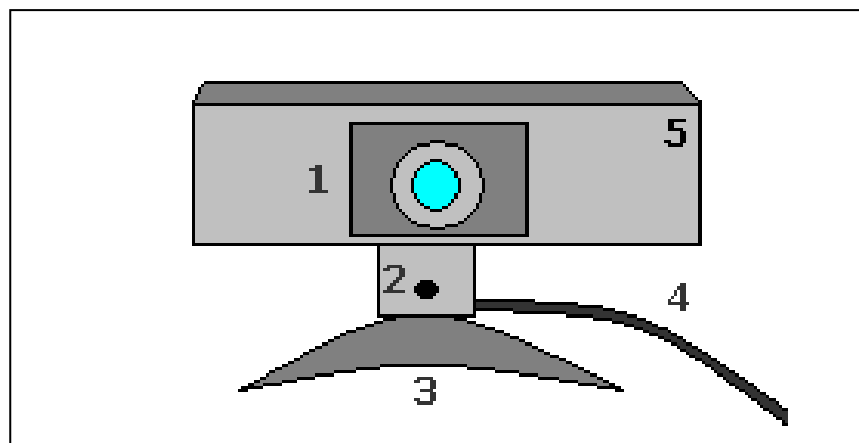


Figura 4.10: Partes de la Cámara.
Fuente: Informaticamoderna.com

1.- Visor digital: se encarga de captar las imágenes a transmitir y grabar vía Internet.

2.- Grabador de audio (opcional): capta el sonido a transmitir vía Internet.

3.- Base giratoria: permite colocar la cámara en la posición que el usuario decida.

4.- Cable de datos: transmite los datos de la cámara hacia la computadora.

5.- Cubierta: protege los circuitos internos y le da estética a la cámara Web.

Píxeles: Se refieren a la cantidad máxima de píxeles que es capaz de capturar para generar la imagen. Un píxel es cada uno de los puntos que conforman la imagen y a medida de que tenga mayor cantidad de ellos, se tendrá un mayor detalle de la imagen. Se pueden abreviar como Kpx y Mpx.

Ejemplo: cámara Web, marca Genius, modelo Eye 110, 640X480, USB.

Esto es: $(640) \times (480 \text{ píxeles}) = 307,200$ píxeles de resolución ó 300 Kilopíxeles.








Esto es importante para la localización de objetos en nuestro programa, ya que podemos saber el valor de cada pixel en un plano de dos dimensiones, para luego dar seguimiento a un objeto en movimiento.

Se presentan estos parámetros ya que son parte principal del funcionamiento del sistema de visión, ya que se va a

extraer información de la imagen como el color del objeto (RGB) y valores de posición (x,y).

Algoritmos de Procesamiento.

La base de la programación en un sistema de visión artificial es la interpretación y el análisis de los píxeles de la imagen. Para ello se utiliza la herramienta NI visión Development de LabView, que contiene muchas librerías para realizar análisis y procesamiento de imágenes. A continuación, se presentan los principales VI's utilizados para la programación del sistema de visión artificial.

	Image Display: la función de este control es mostrar sus imágenes directamente en el panel frontal de LabVIEW.
	IMAQ Create: crea un espacio en la memoria temporal (RAM) para que se almacene una imagen mientras se realizan cálculos sobre ella.
	Open: Abre la cámara.
	Close: Cierra la cámara.
	IMAQ Dispose: es usado al final de la aplicación, elimina el almacenamiento en el espacio de la memoria temporal.
	IMAQ ReadFile: para abrir y leer los datos de un archivo almacenado en la computadora en la referencia de la imagen.
	IMAQ Match Color Pattern 2: es un algoritmo para búsqueda de imágenes de prueba.









	IMAQ Learn Pattern: Es el patrón de referencia para captar el algoritmo de coincidencia de patrones.
	IMAQ Setup Match Color Pattern: Establecer las tolerancias y parámetros para especificar cómo el algoritmo opera en tiempo de ejecución.
	RGB to Color VI: Convierte un valor de rojo, verde, y azul de 0 a 255 con el color RGB correspondiente.
	INIT: Indica la inicialización de la tarjeta Arduino, se especifica el puerto y el modelo que se utilizara.
	Numero de servos: Indica el número de servomotores a utilizar.
	Configurar servos: Configura el pin del servo al puerto conectado, además le asigna un nombre a cada servo.
	Escritura del servo: controla el valor de los ángulos que se le asignan al servomotor.
	Lectura del servo: Permite obtener el valor de los ángulos asignados al servomotor para poder visualizar de forma gráfica.

Figura 4.11: Instrumentos Virtuales de NI Vision Depeloment.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

A continuación se presentan varios diagramas de flujo, donde se visualizan los procesos para la selección y almacenamiento de patrones; reconocimiento de objetos; y procesamiento de imagen correspondientes al sistema de visión.

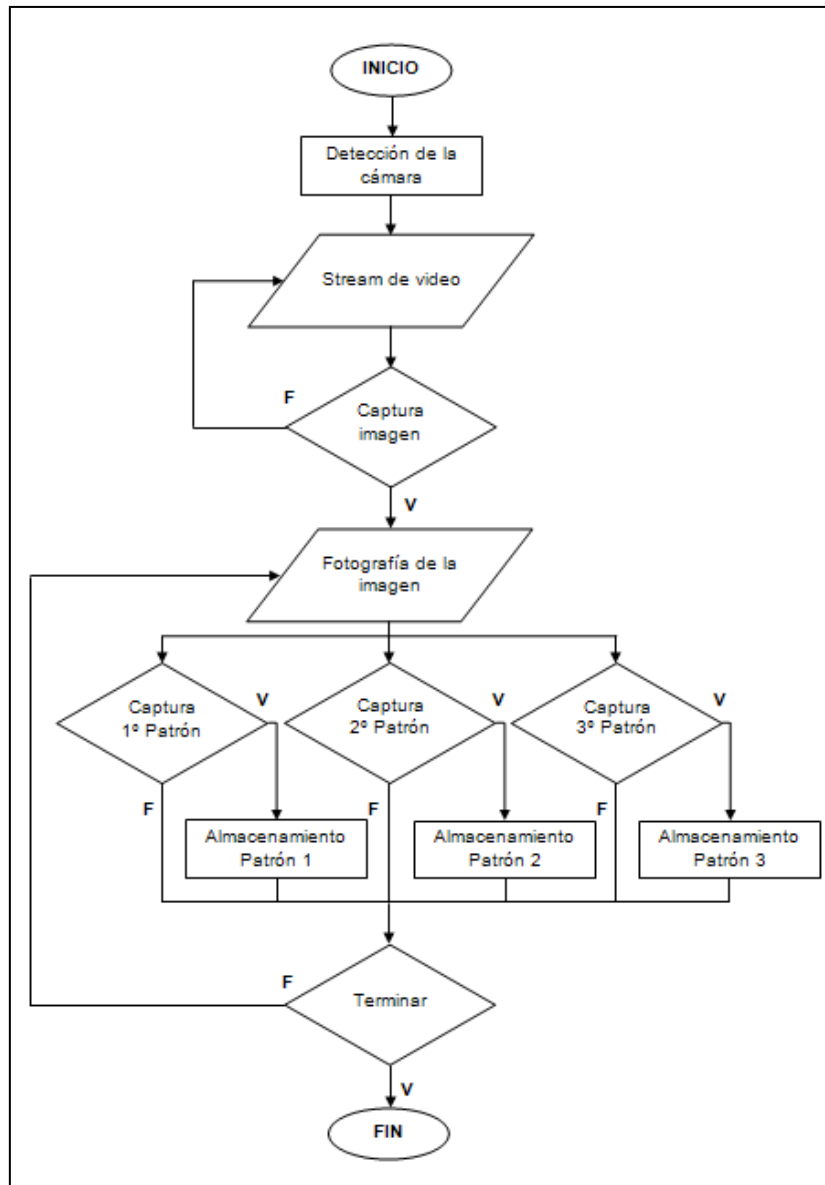


Figura 4.12: Diagrama para el Almacenamiento de Patrones.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En el diagrama de flujo (figura 4.12), se muestra el proceso para la selección y almacenamiento de patrones. Se inicializa detectando la cámara conectada a uno de los puertos de la computadora, se inicia la generación de un stream de video, donde se adquiere continuamente las imágenes del medio exterior. En la condición capturar

imagen, se detiene la generación del stream, obteniendo una fotografía, la última imagen captada.

Una vez adquirida la imagen se procede a la selección de patrones. Se selecciona en la fotografía, la imagen del patrón a guardar (solo se pueden almacenar tres patrones de la imagen). Para culminar con la selección de patrones, se presiona el botón terminar, para finalizar el proceso de selección y almacenamiento de patrones.

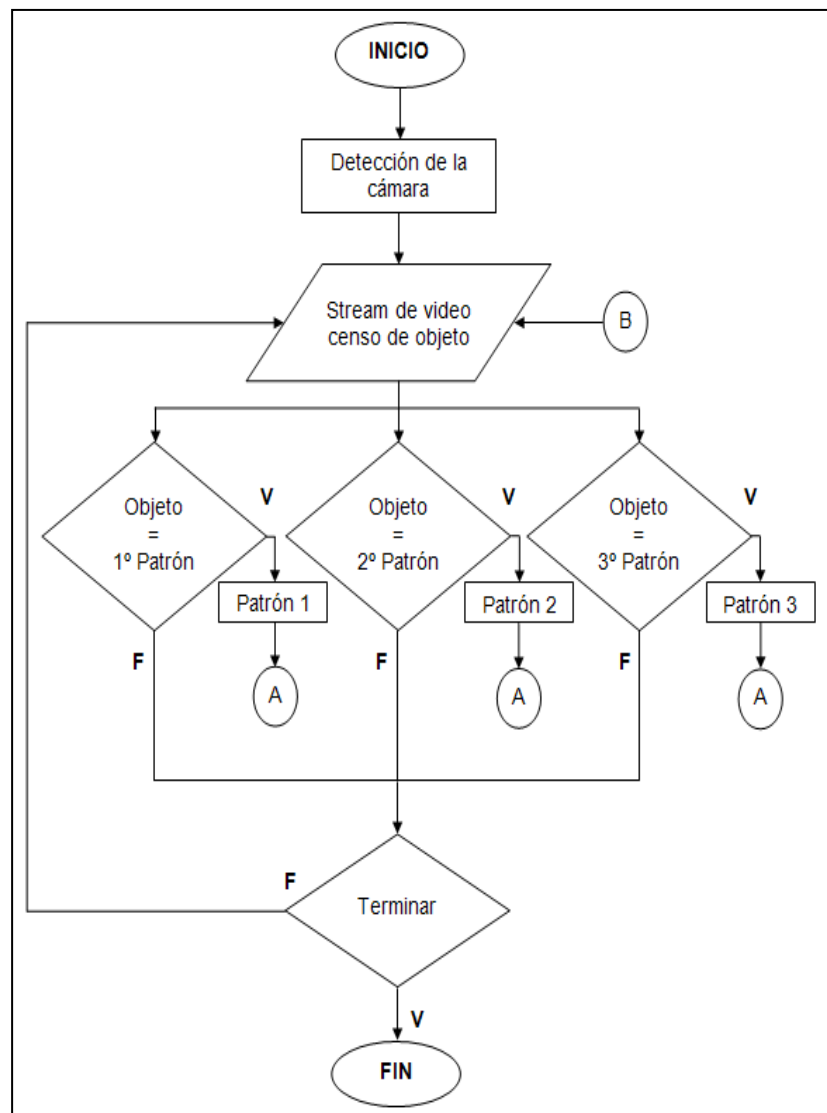


Figura 4.13: Diagrama para el Reconocimiento de Objetos.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En este proceso (figura 4.13), se inicializa la detección de la cámara y la generación del stream de video como en el proceso anterior, pero con la diferencia de que ahora se mantiene el stream de video, logrando un censado continuo de la escena del medio exterior. Cuando se coloca un objeto dentro del área de cobertura de la cámara, el algoritmo realiza una comparación entre la imagen del objeto censado y la imagen del patrón almacenado, con esto se logra reconocer el objeto que se está mostrando frente a la cámara. Si las imágenes coinciden se realizará el proceso expuesto a continuación:

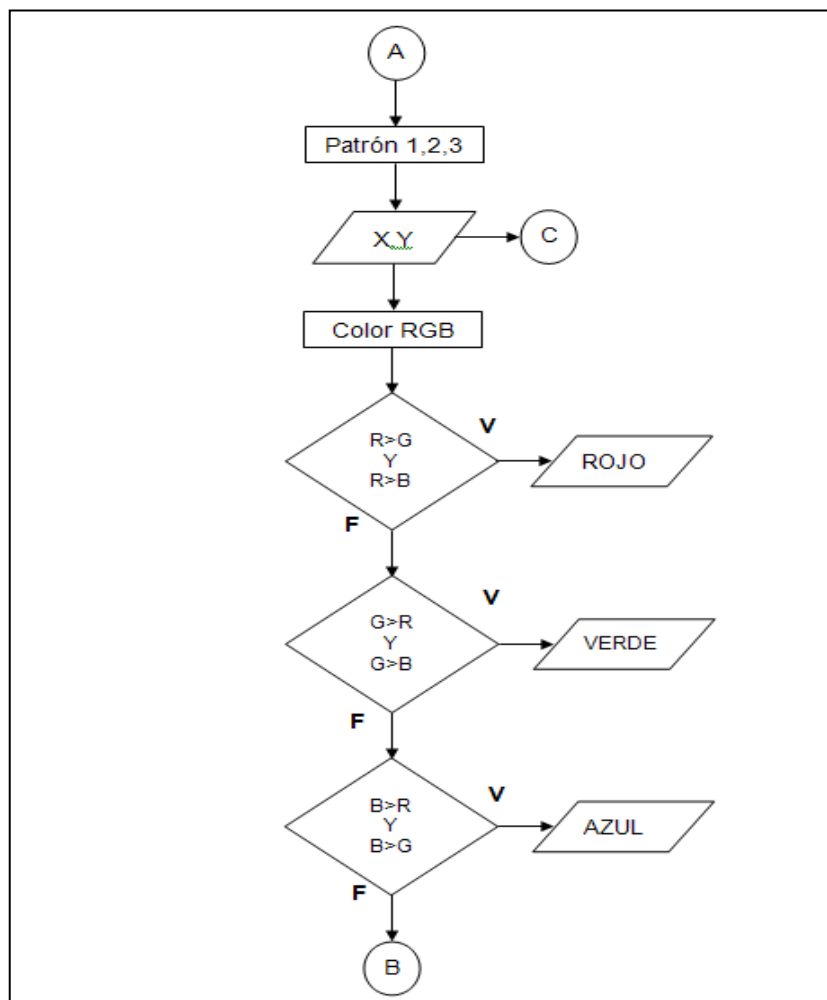


Figura 4.14: Diagrama del Procesamiento de Imagen.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Este proceso (figura 4.14) es parte complementaria del proceso anterior, cuando se reconoció un objeto. Ahora se realiza el seguimiento del objeto colocado en un punto fijo o en movimiento, obteniendo como resultado el valor de las coordenadas en valores de x, y.

Al pasar por el filtro RGB, se realiza la descomposición de colores del objeto dado en valores numéricos (rojo, verde, azul) y se ejecuta una comparación entre estos valores para poder definir qué color tiene cada objeto.

El fin del sistema de visión artificial es lograr dotar al robot la capacidad de reconocer e identificar ciertas características de un objeto.

4.1.2. Diseño del Manipulador

El brazo robótico tiene como objetivo manipular los objetos que son captados por el sistema de visión artificial, complementando a la cinemática de movimiento de este prototipo.

Para el diseño del manipulador o brazo robot se consideran los siguientes parámetros:

Diseño del Brazo

El diseño del brazo robot se basa en el de tipo antropomorfo, que se asemeja mucho al brazo humano, ya que intenta reproducir los mismos rangos de movimientos.

El brazo consta de cinco grados de libertad como se aprecia en el siguiente grafico:

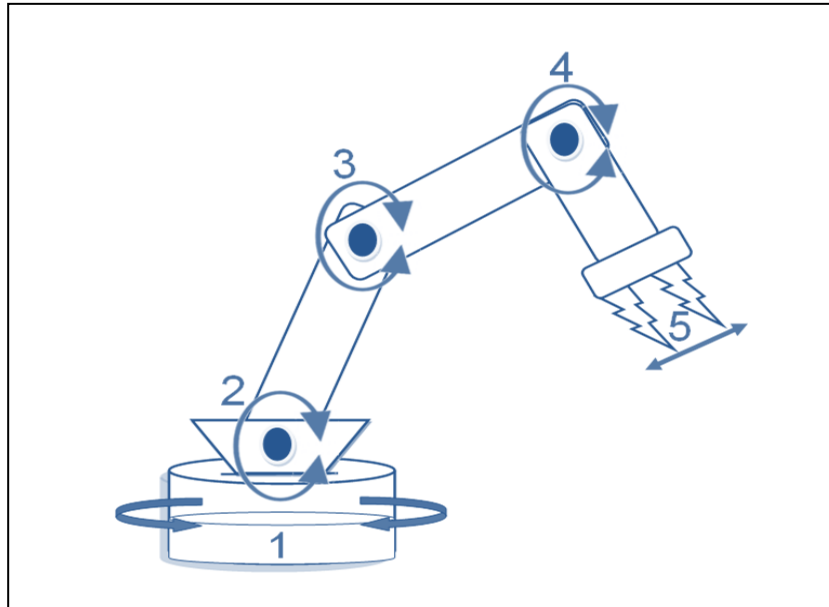


Figura 4.15: Diseño Estructural del Brazo Robot.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 4.15, se aprecia el diseño del brazo robot que se implementará en el prototipo. A continuación se detalla cada una de las dimensiones utilizadas para cada segmento del brazo (tabla 4.1).

GDL	Segmento	Descripción	Dimensión
1 Cintura	Cintura	Base	R=6cm
2 Hombro	Piso al Hombro	Altura hombro	L=10cm
3 Codo	Hombro a Codo	Brazo	L=20cm
4 Muñeca	Codo a Muñeca	Antebrazo	L=15.5cm
5 Pinzas	Muñeca a Pinzas	Muñeca	L=17cm

Tabla 4.1: Dimensiones del Brazo Robot

El brazo robot deberá ser implementado de manera fija sobre una mesa de trabajo, para evitar que este se caiga

por consecuencia del peso y/o los continuos movimientos realizados durante las prácticas.

Para la posterior implementación del brazo robot sobre la mesa de trabajo, se debe definir una ubicación estratégica donde posará.

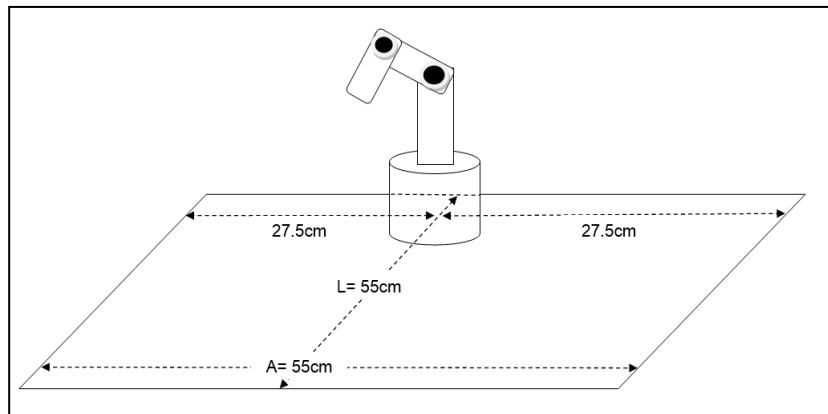


Figura 4.16: Diseño Posicional del Brazo Robot.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 4.16, se puede observar que el brazo robot está colocado sobre un tablero donde será la mesa de trabajo. El tablero posee dimensiones de 55 cm de largo y 55 cm de ancho, por lo tanto, se trabajará sobre una superficie cuadrada de 0.303 m² de área, donde se realizarán las diferentes pruebas. El brazo robótico estará situado en la parte media del ancho del tablero como indica la figura 4.16, para poder movilizar el brazo por toda el área de la mesa de trabajo.

Diseño de la Pinza

Para esta parte del robot se desarrollaron dos modelos diferentes que fueron implementados y puestos a prueba para su respectiva evaluación.

Diseño 1: El modelo de esta pinza (figura 4.17), se basa en la abertura horizontal de sus dedos, logrando mayor cobertura en el plano horizontal pero poco en el vertical.

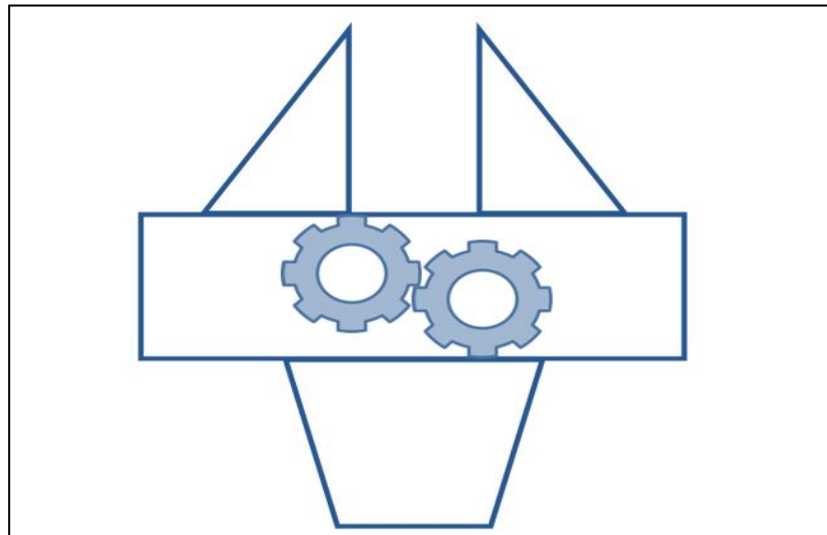


Figura 4.17: Primer Diseño Estructural de la Pinza Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Diseño 2: Para este modelo (figura 4.18), las pinzas están conformadas por un dedo fijo y uno móvil. Este diseño ofrece mayor cobertura para el agarre de los objetos y es más fácil su fabricación en relación al primer modelo.

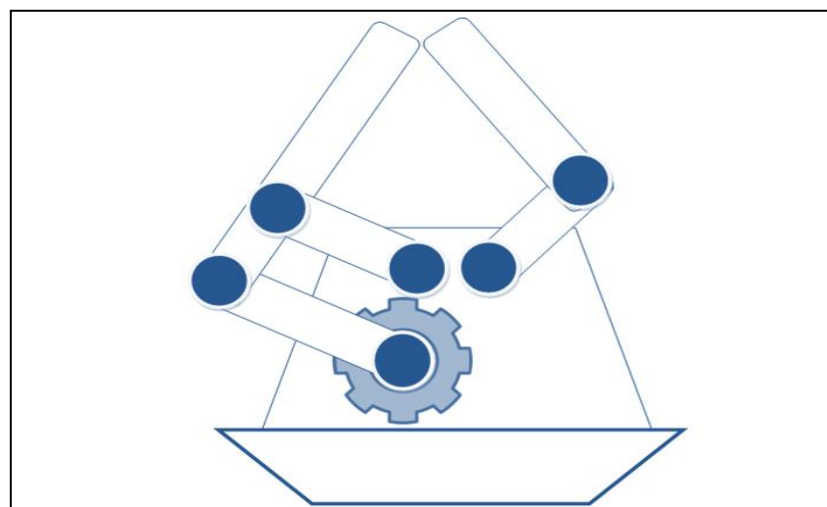


Figura 4.18: Segundo Diseño Estructural de la Pinza Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Estructura Mecánica

Para la estructura del brazo robot, la base y los miembros deben ser construidos con un material ligero y rígido que se pueda cortar y moldear fácilmente. Es por ello que se decidió utilizar materiales como el aluminio.

El brazo consta de 5 grados de libertad:

- Un servomotor para la base giratoria "cintura"
- Un servomotor para el giro del "hombro"
- Un servomotor para el giro del "codo"
- Un servomotor para el giro de la "muñeca".
- Un servomotor para el movimiento de la "pinza" de manipulación.

Para cada grado de libertad se utiliza un servomotor, por lo tanto, es importante definir el tipo de servo que debe colocarse en cada articulación del brazo robot, para tener un buen desempeño.

Las características de los servomotores aplicados al brazo robot están distribuidos de la siguiente forma:

ARTICULACIÓN	SERVOMOTOR	TORQUE
- Cintura	Hitec hs-311 (180°)	3.7 Kg / cm
- Hombro	Tower Pro995 (180°)	15 Kg / cm
- Codo	Tower Pro995 (180°)	15 Kg / cm
- Muñeca	Hitec hs-311 (180°)	3.7 Kg / cm
- Pinza	Hitec hs-311 (180°)	3.7 Kg / cm

Tabla 4.2: Características de los Servomotores.

Como se puede apreciar en la tabla 4.2, las partes con mayor demanda de peso son en el hombro y en el codo, por lo que se hizo necesario adquirir servos con mayor capacidad de torque.

Electrónica:

Es importante el uso de dispositivos y elementos electrónicos, ya que se requiere que el brazo robot sea controlado mediante una aplicación desarrollada en la PC. Para ello se utiliza la tarjeta Arduino UNO que realiza la función de interfaz de comunicación entre el ordenador y los cinco servomotores que articulan el brazo.

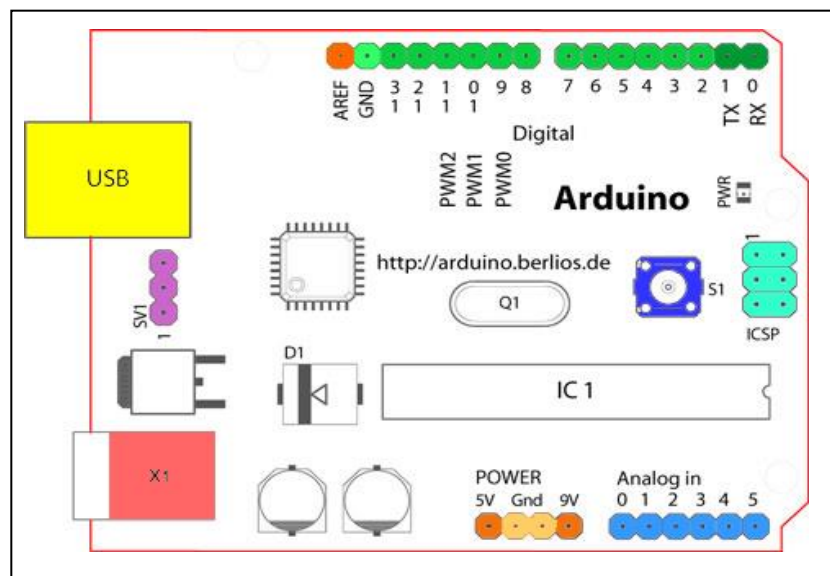


Figura 4.19: Arquitectura del Arduino UNO.
Fuente: menosmedia.org

Como se observa en la figura 4.19, se tiene un esquema gráfico de la tarjeta Arduino UNO, el cual se alimenta mediante un puerto USB (cuadro amarillo) que conecta a la computadora, y que además recibe órdenes de la aplicación desarrollada en LabView.

Se hace necesario el diseño de una tarjeta adicional, que servirá para la distribución de energía hacia los servomotores y las diferentes conexiones con la tarjeta Arduino.

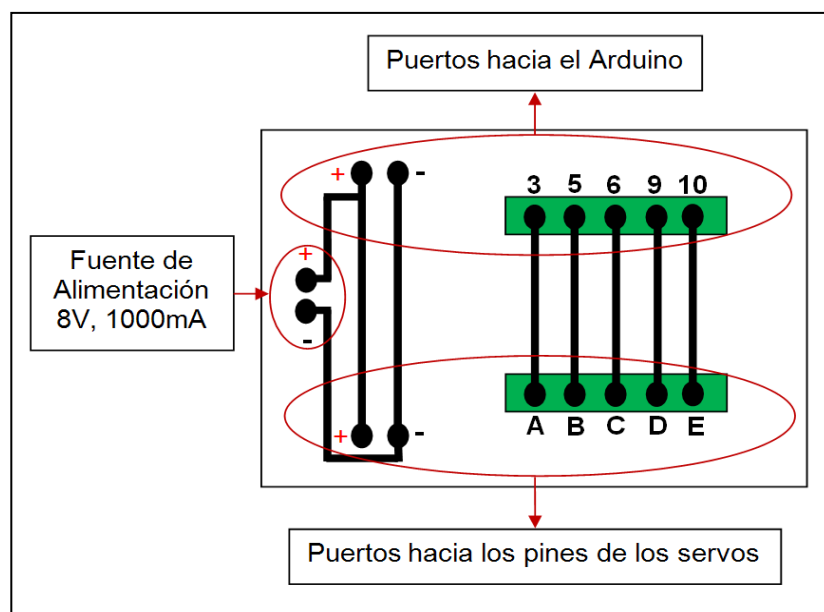


Figura 4.20: Diseño de la Placa de Alimentación.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 4.20 se muestra el diseño de la tarjeta de alimentación, que servirá para realizar las conexiones de la tarjeta Arduino hacia los servomotores, alimentados con una fuente de 8V. En la parte superior se observan los puertos para la conexión hacia los pines de salida de la tarjeta Arduino, y en la parte inferior están los puertos que van conectados hacia los pines de entrada de cada servomotor.

El objetivo de esta tarjeta, es lograr simplificar las conexiones que van desde la tarjeta Arduino hacia los servomotores, alimentados con una fuente de voltaje, logrando mejorar la estética en el proyecto final.

Modelo Matemático

Es importante determinar el desplazamiento que tendrá el brazo robot en el espacio para poderlo controlar de manera precisa.

Para el movimiento del brazo robótico, la posición queda descrita por un conjunto de parámetros de configuración, determinando los ángulos de sus articulaciones y las posiciones de las mismas en el espacio. Para poder cumplir esto se debe realizar un cálculo matemático.

Se tiene entonces, para la tarea de recolección de objetos se necesita realizar un cálculo de cinemática. Existen dos tipos de cinemática para controlar un brazo robótico como son, la cinemática inversa y la cinemática directa, pero en base a las consideraciones aplicadas en la tarea de recolección se planteó que es un cálculo de cinemática inversa, ya que se espera obtener el valor de los ángulos en las articulaciones del manipulador en base a los datos de X e Y que fueron proporcionados por el sistema de visión.

Para resolver los problemas de cinemática de brazo robot, se tienen diferentes métodos como son:

- Método geométrico.
- Método de matriz de transformación homogénea.
- Métodos iterativos.
- Método de desacoplamiento cinemático.

Para la resolución de cinemática inversa, se empleará el método geométrico, debido a las características empleadas en este robot. Los otros métodos son muy limitados, complejos y utilizan mucho más recursos informáticos para su programación.

Para empezar con el cálculo cinemático que tiene el brazo robot, se realiza primeramente el análisis en dos dimensiones tomando los tres grados de libertad que serían la parte del hombro, codo y muñeca, dando la apariencia de un robot de tipo SCARA.

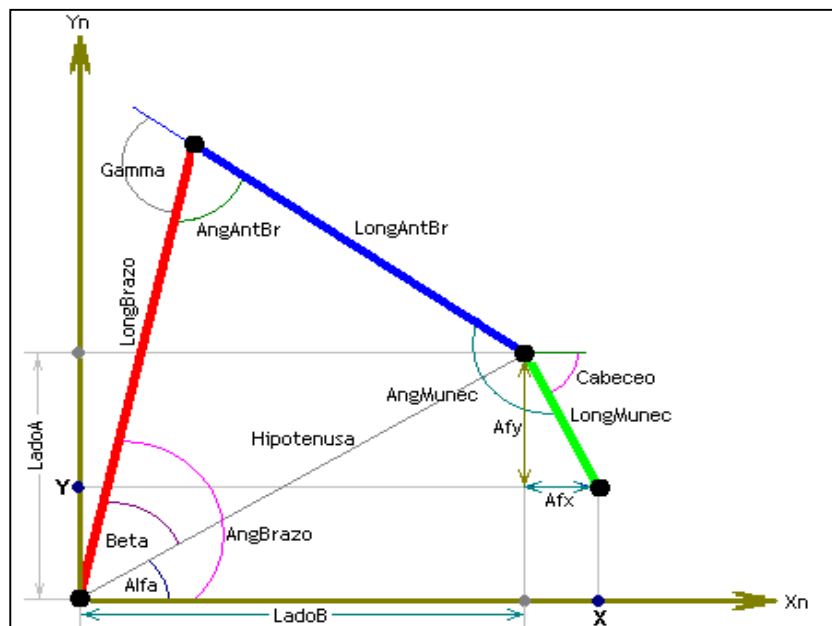


Figura 4.21: Análisis 2D, de Cinemática Inversa.
Fuente: Proyectos Robóticos, (sites.google.com)

Entonces se necesita calcular los ángulos del hombro codo y muñeca que están representados como AngBrazo, AngAntBr y AngMunec respectivamente. Teniendo como variables la longitud del brazo, antebrazo, muñeca y un ángulo de cabeceo.

En la figura 4.21, el triángulo formado por LongBrazo, LongAntBr e Hipotenusa suele ser del tipo irregular, sobre todo si los dos catetos (LongBrazo y LongAntBr) no son iguales. Para resolver los ángulos de este tipo de triángulo hay que aplicar el Teorema del Coseno, y para lo demás se realizan simples operaciones trigonométricas que se detallan a continuación:

$$Afx = \text{Cos}(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec}$$

$$\text{LadoB} = X - Afx$$

$$Afy = \text{Sin}(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec}$$

$$\text{LadoA} = Y - Afy$$

$$\text{Hipotenusa} = \text{sqrt}((\text{LadoA}^2) + (\text{LadoB}^2))$$

$$\text{Alfa} = \text{Atan2}(\text{LadoA}, \text{LadoB})$$

$$\text{Beta} = \text{Acos}\left(\frac{(\text{LongBrazo}^2) - (\text{LongAntBr}^2) + (\text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{Hipotenusa}}\right)$$

$$\text{AngBrazo} = \text{Alfa} + \text{Beta}$$

Gamma

$$= \text{Acos}\left(\frac{(\text{LongBrazo}^2) + (\text{LongAntBr}^2) - (\text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{LongAntBr}}\right)$$

$$\text{AngAntBr} = -(180 - \text{Gamma})$$

$$\text{AngMunec} = \text{Cabeceo} - \text{AngBrazo} - \text{AngAntBr}$$

Se observan los cálculos realizados para la resolución de la cinemática inversa pero solo para dos dimensiones.

Cabe recalcar, que el ángulo de cabeceo es un ángulo que se le da al brazo para que esa posición se mantenga

constante desde el punto de vista del observador, aunque muevas el brazo a otra posición.

Ahora, se necesita que el brazo trabaje en tres dimensiones, para ello se necesita hacer unos ajustes para que el brazo entre en la nueva dimensión.

Como se observa en la siguiente figura 4.22, el eje X se mantendrá en la misma posición sobre el plano, el eje Y pasará a convertirse en la profundidad y el eje Z pasa a ser la altura.

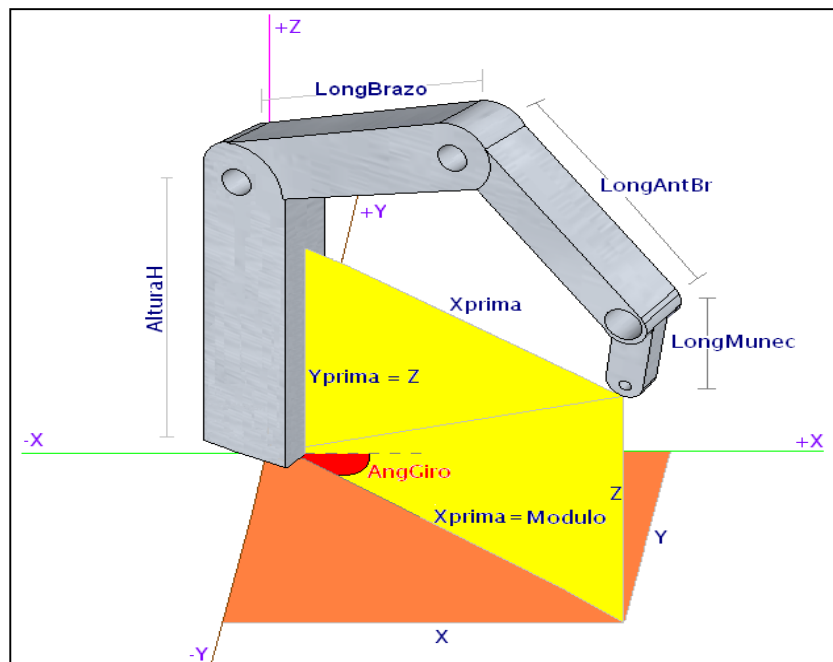


Figura 4.22: Análisis 3D de Cinemática Inversa.
Fuente: Proyectos Robóticos, (sites.google.com)

Lo primero, es hallar el ángulo de giro (cintura) que tendrá el brazo. Dado por la siguiente fórmula:

$$\text{AngGiro} = \text{Atan2}(Y, X)$$

Ahora se realiza una equivalencia, donde se tendrá que calcular un eje X ficticio y otro eje Y ficticio que se llamarán Xprima e Yprima. Xprima e Yprima en realidad son los ejes X e Y, visto en dos dimensiones.

Para calcular estos valores, se empieza con el cálculo del módulo formado por los catetos X e Y.

$$\text{Módulo} = \text{Sqr}((X^2) + (Y^2))$$

Después se realiza una reconversión de variables, las cuales harán de puente para usar la resolución hecha anteriormente en dos dimensiones.

$$Xprima = \text{Módulo}$$

$$Yprima = Z$$

Ahora se pueden calcular los demás ángulos de la misma forma que se hizo anteriormente, se tiene Xprima e Yprima que se ha deducido del espacio 3D, y se añade la variable AlturaH que es la distancia entre la base (suelo) y el hombro del brazo.

Las fórmulas calculadas y utilizadas en la cinemática inversa del brazo son las siguientes:

$$Rad = \frac{\pi}{180}$$

$$Grad = \frac{180}{\pi}$$

$$thetai = (atan2(y, x))$$

$$\text{Módulo} = \text{Sqr}((X^2) + (Y^2))$$

$$X\text{prima} = \text{Módulo}$$

$$Y\text{prima} = Z$$

$$Afx = (\cos(\text{Rad} * \text{Cabeceo})) * (\text{LongMunec} + \text{LongDedos})$$

$$\text{LadoB} = X\text{prima} - Afx$$

$$Afy = (\sin(\text{Rad} * \text{Cabeceo})) * (\text{LongMunec} + \text{LongDedos})$$

$$\text{LadoA} = Y\text{prima} - Afy - \text{AlturaH}$$

$$\text{Hipotenusa} = ((\text{LadoA}^2) + (\text{LadoB}^2))^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Alfa} = \text{atan2}(\text{LadoA}, \text{LadoB})$$

Beta

$$= \text{acos}\left(\frac{(\text{LongBrazo}^2) - (\text{LongAntBr}^2) + (\text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{Hipotenusa}}\right)$$

Gamma

$$= \text{acos}\left(\frac{(\text{LongBrazo}^2) + (\text{LongAntBr}^2) - (\text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{LongAntBr}}\right)$$

$$\text{AngBrazo} = (\text{Alfa} + \text{Beta}) * \text{Grad}$$

$$\text{AngAntBr} = \left(-((180 * \text{Rad}) - \text{Gamma})\right) * \text{Grad}$$

$$\text{AngMun} = \text{Cabeceo} - \text{AngBrazo} - \text{AngAntBr}$$

Algoritmos de procesamiento

En el siguiente diagrama de flujo, se visualizan el algoritmo del brazo robot.

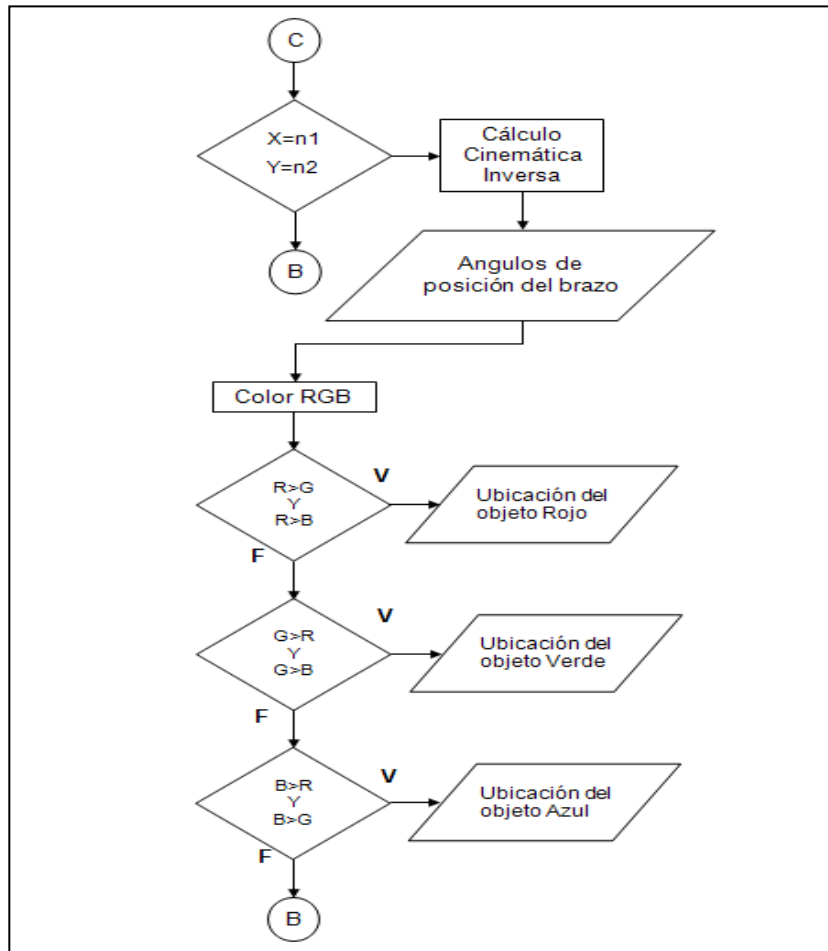


Figura 4.23: Diagrama del Brazo Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Como se visualiza en el diagrama (figura 4.23), se adquieren los datos recibidos por el sistema de visión expuestos anteriormente. Estos datos son los valores de X e Y que indican la posición en la que se encuentra el objeto.

Cuando se han adquirido estos datos, se realiza el cálculo cinemático inverso aplicando las fórmulas antes descritas, como resultado se obtiene el movimiento del brazo, haciendo que este se ubique en la posición en la que se sitúa el objeto para lo recogerlo.

Al pasar al siguiente proceso, el objeto recogido va a ser depositado en un lugar marcado con el color del mismo objeto, para esto se realiza una comparación de colores RGB como fue hecha anteriormente para el reconocimiento de color en el sistema de visión.

Al final, trabajan en conjunto el sistema de visión con el manipulador para realizar la tarea de reconocimiento y manipulación de los objetos.

4.2. DISEÑO DE INTERFAZ (GRÁFICA)

Gracias al software LabView, se cuenta con herramientas muy prácticas para la elaboración de aplicaciones en áreas de la ingeniería eléctrica o electrónica, proporciona un entorno amigable entre el usuario y el software.

La aplicación desarrollada para el proyecto de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, está conformada por cinco ventanas, que se presentan a continuación:

- Pantalla Principal.
- Selección de patrones.
- Patrones guardados.
- Manipulación de objetos.
- Cinemática inversa.

Pantalla Principal: Esta es la primera pantalla que se visualiza en la aplicación, presenta un diseño accesible al usuario y contiene datos como: el nombre de la institución, carrera, tema, nombre del autor y tema de proyecto desarrollado. Está

conformado por un menú con cuatro botones que permitirán el acceso a las demás ventanas de la aplicación desarrollada, estas son:

- Selección de patrón.
- Patrones guardados
- Manipulación de objetos.
- Cinemática inversa.



Figura 4.24: Menú Principal de la Aplicación.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Selección de Patrones: En esta pantalla se realiza la selección y almacenamiento de patrones. El lado izquierdo está conformado por tres secciones, en la primera sección se encuentra un botón para el encendido de la cámara y otro para la captura de la imagen; en la segunda sección se encuentran tres botones para realizar el almacenamiento de patrones, y en la tercera sección se encuentra un pequeño cuadro para visualizar la imagen de patrón del objeto guardado. En el

recuadro grande del lado derecho se visualiza la imagen captada por la cámara web.



Figura 4.25: Ventana de Selección de Patrones.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Patrones Guardados: Esta pantalla permite visualizar los patrones que están almacenados en la memoria, indica el color que tiene cada uno con su respectivo valor en escala RGB.



Figura 4.26: Ventana de Patrones Guardados.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Manipulación de objetos: Esta pantalla muestra el reconocimiento del objeto censado, y otros datos importantes.

En la parte superior izquierda, se visualizan dos botones que realizan el encendido y apagado del proceso de manipulación. En la parte media del lado izquierdo, se muestran los valores en X e Y de la posición que se encuentran los objetos censados.

En la parte inferior izquierda se muestran los ángulos del cálculo cinemático inverso, depende de la ubicación en la que se encuentre el objeto para que el brazo genere el valor de los ángulos de cada articulación. Se presenta un pequeño cuadro donde se simula la posición que tomara el brazo robot.

En la parte derecha de la pantalla, se encuentra un cuadro en el que se puede observar lo que visualiza el robot. Por último, en la parte inferior derecha, se muestra un cuadro indicando el color del objeto censado.

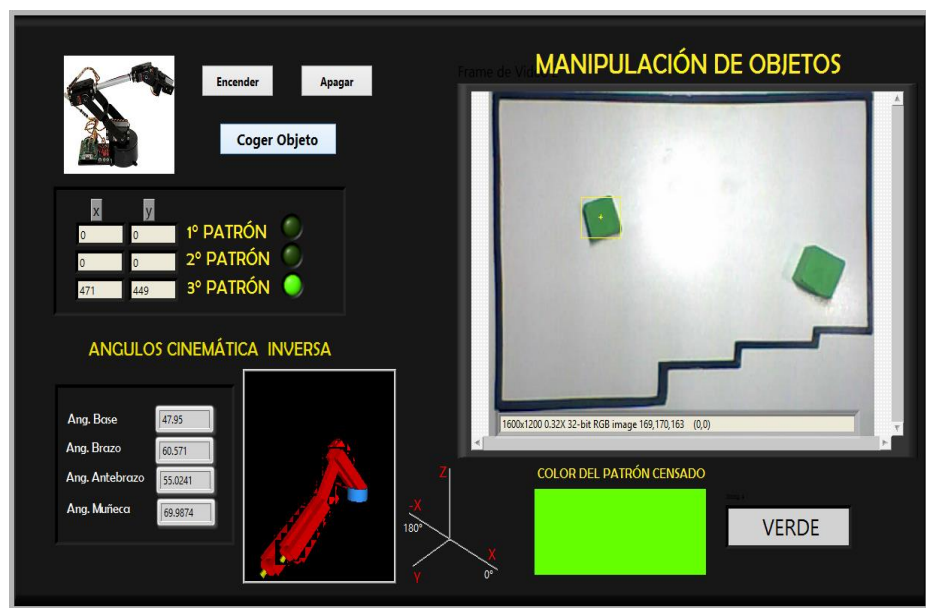


Figura 4.27: Ventana de Manipulación de Objetos.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Cinemática Inversa: Esta es una práctica complementaria muy útil para comprender de mejor manera el funcionamiento de la cinemática inversa aplicada en este robot.

Se tiene una simulación de los movimientos que opta el brazo robot a partir de los valores de X, Y, Z y ángulo de cabeceo. En la parte inferior derecha se visualiza de forma gráfica los ángulos que adquiere el robot mediante indicadores angulares y en la parte izquierda una simulación de los mismos aplicadas al brazo.

Lo mejor de esta práctica es que se puede visualizar el movimiento que realiza el brazo robot en forma física y simulada.

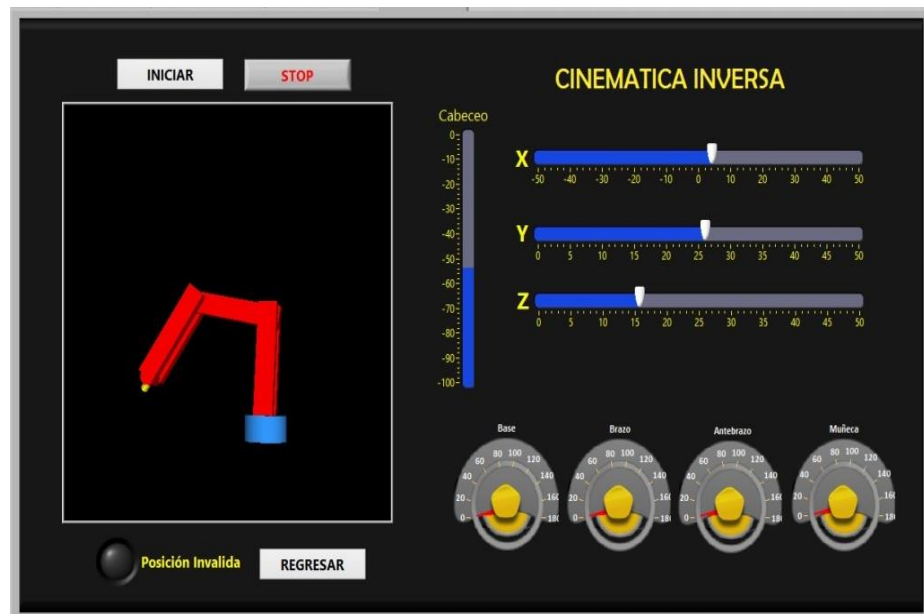


Figura 4.28: Ventana de Cinemática Inversa.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

5. IMPLEMENTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS

En este capítulo se presenta el proceso de implementación del brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, en base a consideraciones del diseño realizado en el capítulo anterior.

Se realizan pruebas y ensayos experimentales de funcionamiento para acreditar su correcto desempeño en la práctica. Además se realizará la demostración y validación de la hipótesis.

5.1. CONSTRUCCIÓN

En esta sección se detallará el proceso de construcción de cada una de las partes que conforman el prototipo de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial.

5.1.1. Placa Arduino

Para el desarrollo de este proyecto se contó inicialmente con un Arduino mega 2560, pero conforme se fue desarrollando se reemplazó por un Arduino uno, debido a que se desaprovecha en mayor parte los recursos que ofrece el Arduino mega.

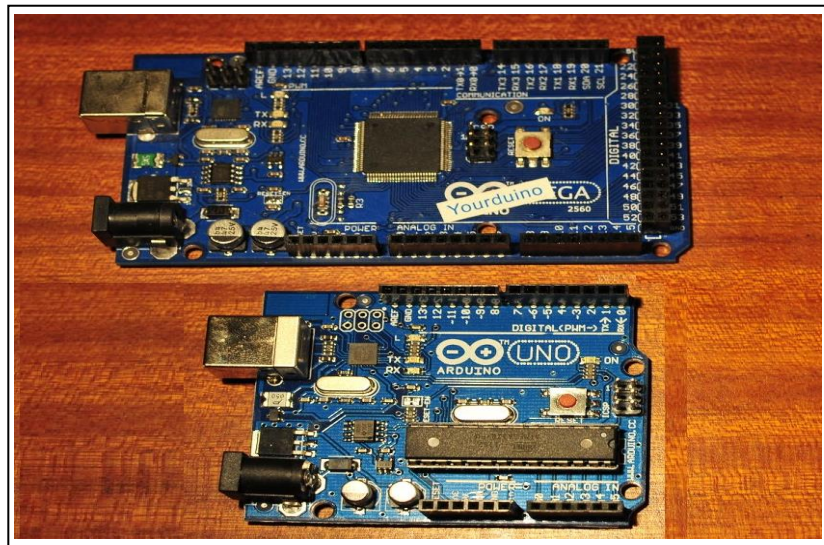


Figura 5.1: Arduino Mega y Arduino UNO.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

El Arduino uno no posee demasiados puertos como el Arduino mega (figura 5.1), pero tiene los necesarios para conectar los cinco servomotores que conforman el brazo robot, por lo que se decidió que esta tarjeta es la indicada para realizar la tarea de interfaz de comunicación aplicadas en este proyecto.

5.1.2. Placa de Alimentación

En base al diseño realizado de la tarjeta de alimentación de energía (figura 4.19), se implementó dicha placa, el cual ayuda a organizar los cables de comunicación con el Arduino y proporciona la conexión de alimentación hacia los servomotores.

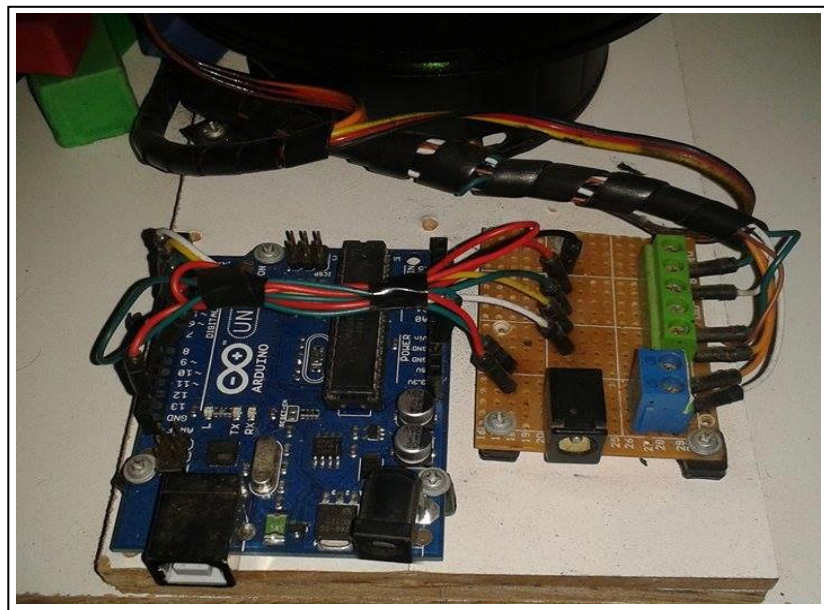


Figura 5.2: Conexiones de la Placa de Alimentación.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.2, se visualizan las conexiones realizadas que van desde la tarjeta Arduino uno hacia la placa de alimentación y luego hacia los servomotores que conforman las articulaciones del brazo robot.

5.1.3. Construcción del brazo robot

El robot fue construido en base al diseño realizado en el capítulo cuarto, y se basa en el modelo del brazo robot AL5D S300128.

Primeramente, se realizó la construcción de la base del brazo robot, se utilizó materiales como cd's y latas de aluminio procurando que estos sean lo más liviano posible para lograr una mejor desempeño. Esta parte del brazo le da la movilidad en su propio eje que va desde 0° hasta 180°.



Figura 5.3: Base del Brazo Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.3, se muestran los materiales utilizados para la construcción del eje. En la parte superior se observa el resultado final, que es la base donde reposará el brazo robot.

Para la construcción de los otros segmentos del robot, como el brazo, antebrazo y muñeca (figura 5.4), se continuó utilizando materiales livianos y moldeables, para formar la estructura de cada parte que lo conforman. Las articulaciones conformadas por servomotores están ubicados estratégicamente con respecto al torque que demanda cada uno.



Figura 5.4: Construcción del Brazo Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Para la parte de las tenazas se consideró los dos modelos diseñados en el capítulo anterior, en la figura 5.5, se muestra el primer diseño aplicado a las pinzas del brazo. Lamentablemente este modelo se descartó por motivos de funcionamiento, ya que no tuvo la movilidad adecuada para realizar la tarea de recolección de objetos.



Figura 5.5: Primera Pinza del Brazo Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Se muestra la construcción del segundo modelo de pinzas (figura 5.6). Este modelo presentó mayor adaptación ante la necesidad de recolección de objetos, quedando definido para su implementación en el brazo robot.



Figura 5.6: Segunda Pinza del Brazo Robot.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Al final se implementaron todas las partes del brazo sobre una base de madera, donde se realizarán las diferentes prácticas del prototipo.

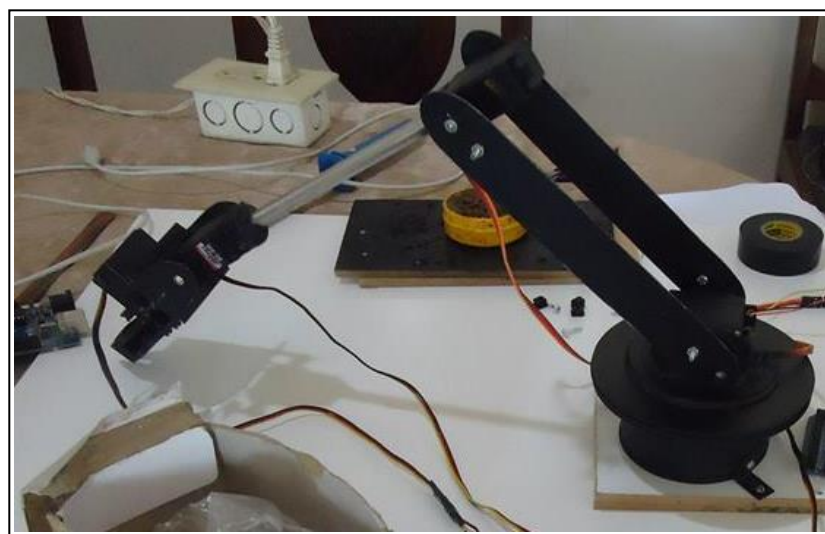


Figura 5.7: Brazo Robot Implementado.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

5.1.4. Implementación del sistema de visión

Para el sistema de visión del robot se instaló una cámara web sobre un pedestal de hierro asegurado en la mesa de trabajo (figura 5.8). Adicionalmente se implementó la técnica de iluminación definida en el capítulo cuarto.



Figura 5.8: Cámara e Iluminación.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Para este proyecto la cámara debe mantenerse en una posición fija para no afectar la visión y posicionamiento del brazo robot (figura 5.9).



Figura 5.9: Cámara e Iluminación (vista aérea).
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Finalmente, se presenta el prototipo de brazo robot con inteligencia artificial terminado (figura 5.10), donde se aprecian cada una de las partes construidas y con un buen acabado estético.

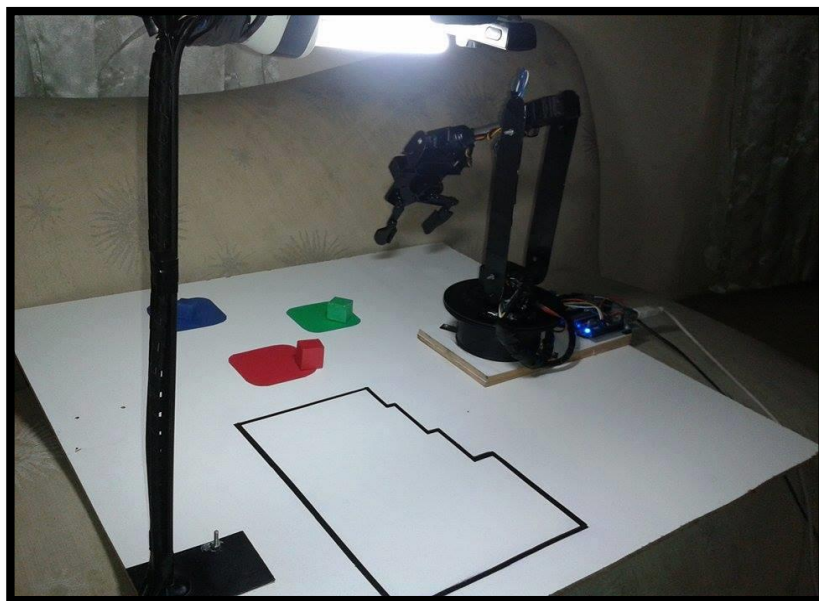


Figura 5.10: Prototipo de Brazo Robot Controlado Mediante I.A.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Adicionalmente, se aprecian unos cuadros de colores rojo, verde y azul colocados en el tablero de prácticas, los cuales indican el lugar donde el brazo robot debe colocar los cubos en dependencia de su color. También se marcó con borde negro el área de cobertura, que capta la cámara que será el lugar donde se ubiquen los objetos o cubos de colores para realizar la práctica.

5.2. PRUEBAS.

Para garantizar el funcionamiento del prototipo de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos, se realizaron diferentes pruebas a fin

de detectar errores y sacar conclusiones sobre el proyecto. Las pruebas se realizaron en base a la aplicación desarrollada en el software de programación LabView.

5.2.1. Experimento 1

Selección y almacenamiento de patrones.

Objetivo.

Seleccionar y almacenar el patrón de imagen de los objetos colocados en la mesa de trabajo.

Criterios de éxito.

Se considera que la prueba es exitosa, si se almacenan e identifica el color de los patrones de los cubos de color rojo, verde y azul, independientemente del orden de selección y almacenamiento.

Experimento.

La prueba consiste en colocar los tres cubos de colores rojo, verde y azul en la mesa de trabajo, para realizar la selección y almacenamiento de cada uno, mediante la aplicación desarrollada en LabView.

En la siguiente imagen (figura 5.11), se observan los tres cubos colocados en la mesa de trabajo dentro del área de cobertura de la cámara delimitada por líneas negras, debajo de la cámara web para que sean visualizados por el robot.

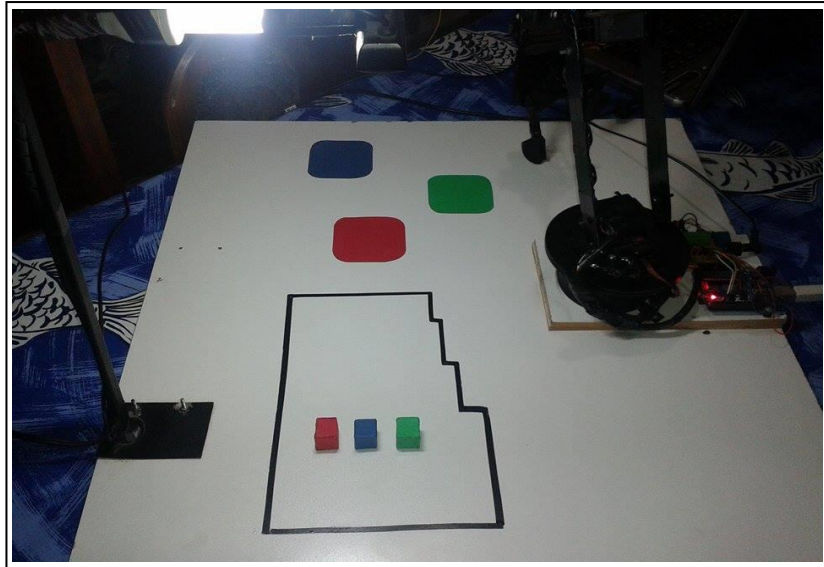


Figura 5.11: Presentación de Cubos de Colores RGB.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.12, se puede apreciar en la aplicación, la imagen que es captada mediante la visión del robot.



Figura 5.12: Ventana para la Selección de Patrones.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En las siguientes imágenes se observa la selección de patrones para los tres cubos de colores, que se almacenarán en la memoria de la computadora.



Figura 5.13: Selección del Patrón Color Rojo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.



Figura 5.14: Selección del Patrón Color Azul.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.



Figura 5.15: Selección del Patrón Color Verde.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.16, se muestra la ventana de “Patrones Guardados” en los que se puede observar la imagen de los patrones que actualmente tiene almacenados, indicando además, el color de cada objeto y el valor numérico en proporción de color RGB.



Figura 5.16: Ventana de Patrones Guardados en Memoria.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizó la selección y almacenamiento del patrón de la imagen de los cubos. Se consideró el orden de selección en relación al número de combinaciones entre los tres colores, para garantizar su funcionamiento.

Nº Exper.	Orden de Selección	Porcentaje del Patrón Almacenado	Resultado
1	Rojo, Verde, Azul	100 %	Exitoso
2	Rojo, Azul, Verde	100 %	Exitoso
3	Verde, Rojo, Azul	100 %	Exitoso
4	Verde, Azul, Rojo	100 %	Exitoso
5	Azul, Rojo, Verde	100 %	Exitoso

6	Azul, Verde, Rojo	100 %	Exitoso
% de Confiabilidad		100%	

Tabla 5.1: Resultados del Experimento 1.

En la tabla 5.1 se aprecian los resultados del experimento 1, se realizaron seis pruebas de selección y almacenamiento, teniendo como resultado el 100% en el porcentaje de confiabilidad del experimento. Uno de los factores importantes del éxito en las pruebas es el método de iluminación utilizado, ya que se resalta el color del objeto haciendo que el robot resalte sus características sin mayor dificultad.

5.2.2. Experimento 2

Manipulación del cubo Azul.

Objetivo.

Reconocer el cubo de color azul y manipularlo mediante el brazo robot.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El robot reconoce el cubo indicando su color, ángulos de cinemática inversa, y coordenadas de posición independientemente del lugar que se lo ubique.
- El brazo robot recoge y ubica el cubo en el lugar correcto en relación a su color.

Experimento.

El experimento consiste en colocar el cubo en cualquier parte dentro del área de cobertura de la cámara, indicada por líneas negras. Luego, la aplicación realiza el reconocimiento del cubo y el brazo robot lo recoge para realizar las tareas programadas.

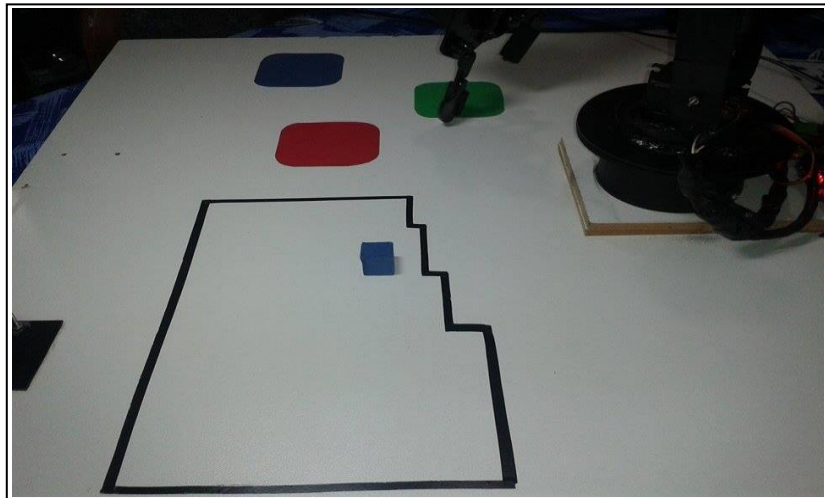


Figura 5.17: Ubicación del Cubo Azul.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.17, se visualiza el cubo colocado dentro del área de cobertura de visión de la cámara delimitado por líneas negras.

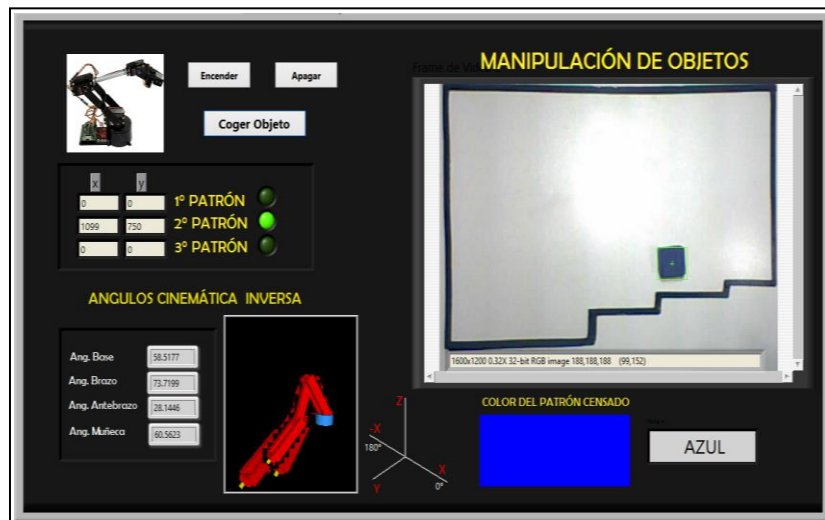


Figura 5.18: Reconocimiento del Cubo Azul.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.18, se observa la ventana de “Manipulación de Objetos”, donde se aprecia el reconocimiento del cubo azul indicando los datos de color, posición y ángulos de cinemática inversa.

En la siguientes imágenes (figura 5.19, figura 5.20) se observa al brazo robot realizando la acción de recolección y colocación del cubo azul en el lugar indicado.

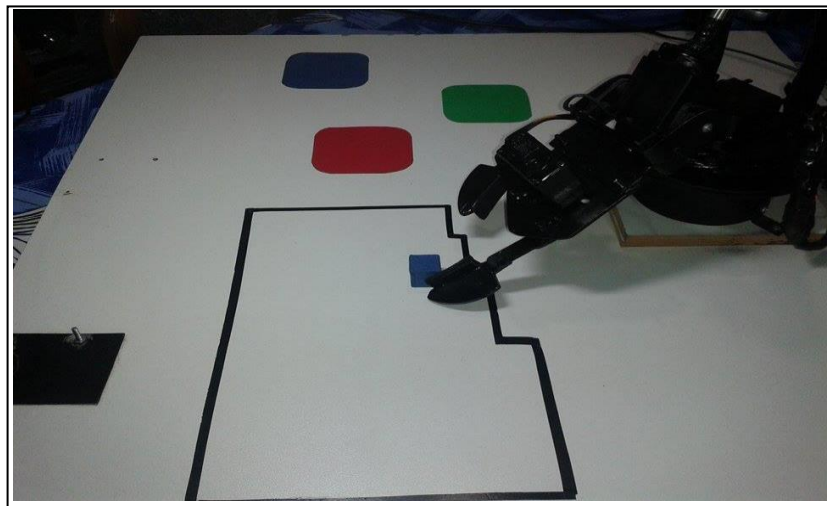


Figura 5.19: Captura del Cubo Azul.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

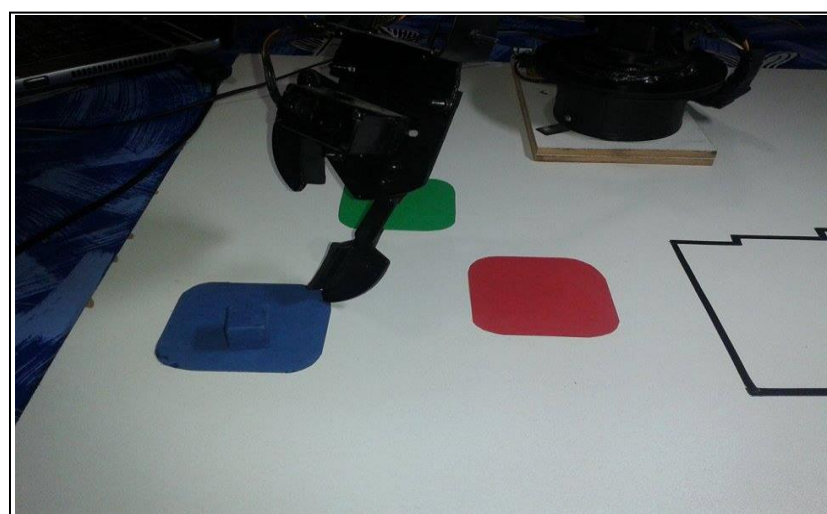


Figura 5.20: Clasificación del Cubo Azul.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizó el reconocimiento y manipulación del cubo azul, obteniendo los siguientes resultados.

Nº Pruebas	Porcentaje reconocimiento	Porcentaje manipulación	Resultado
1	100 %	100 %	Exitoso
2	100 %	100 %	Exitoso
3	100 %	100 %	Exitoso
4	100 %	100 %	Exitoso
5	100 %	0 %	Fallido
6	100 %	100 %	Exitoso
7	100 %	100 %	Exitoso
8	100 %	100 %	Exitoso
9	0 %	0 %	Exitoso
10	100 %	100 %	Exitoso
% de Confiabilidad	90%	80%	

Tabla 5.2: Resultados del Experimento 2.

Los resultados de las pruebas realizadas con el cubo azul (tabla 5.2), revelan que el nivel de confiabilidad para el reconocimiento del cubo es del 90% y para la manipulación con el brazo robot es del 80%, debido a que el azul es un color oscuro y existen sectores donde hay menos incidencia de luz, afectando a la visión del robot. Se declara que la prueba es exitosa.

5.2.3. Experimento 3

Manipulación del cubo Verde.

Objetivo.

Reconocer el cubo de color verde y manipularlo mediante el brazo robot.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El robot reconoce el cubo indicando su color, ángulos de cinemática inversa, y coordenadas de posición independientemente de donde se lo ubique.
- El brazo robot recoge y ubica el cubo en el lugar correcto en relación a su color.

Experimento.

El experimento consiste en colocar el cubo en cualquier parte dentro del área de cobertura de la cámara, indicada por líneas negras. Luego la aplicación realiza el reconocimiento del cubo y el brazo robot lo recoge para realizar las tareas programadas.

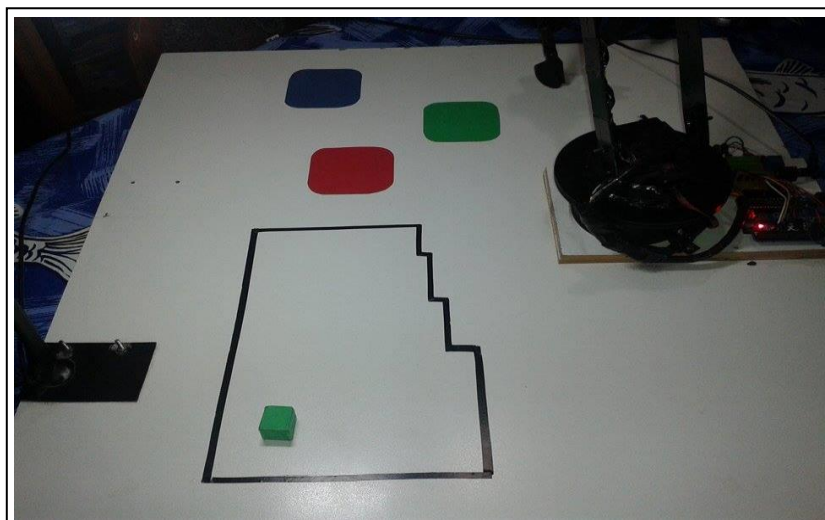


Figura 5.21: Ubicación del Cubo Verde.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.21, se visualiza el cubo colocado dentro del área de cobertura de visión de la cámara delimitado por líneas negras, para realizar la respectiva prueba de identificación y manipulación con el brazo robot.



Figura 5.22: Reconocimiento del Cubo Verde.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.22, se observa la ventana de “Manipulación de Objetos”, donde se aprecia el reconocimiento del cubo verde indicando los datos de color, posición y ángulos de cinemática inversa.

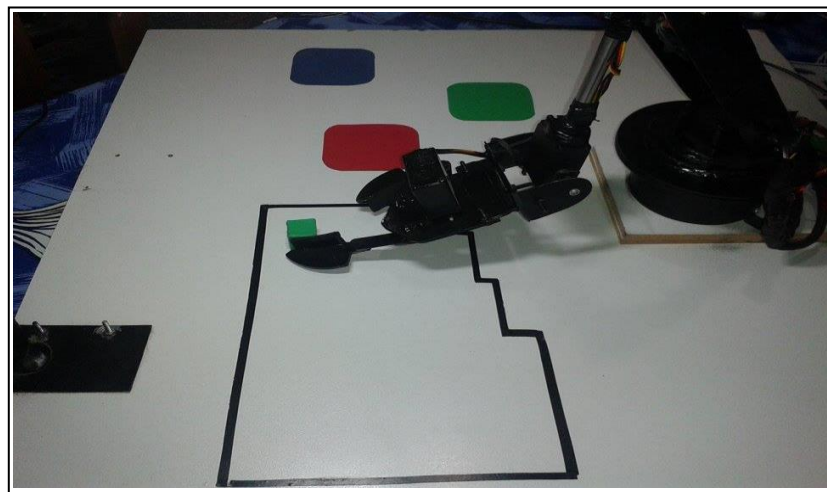


Figura 5.23: Captura del Cubo Verde.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

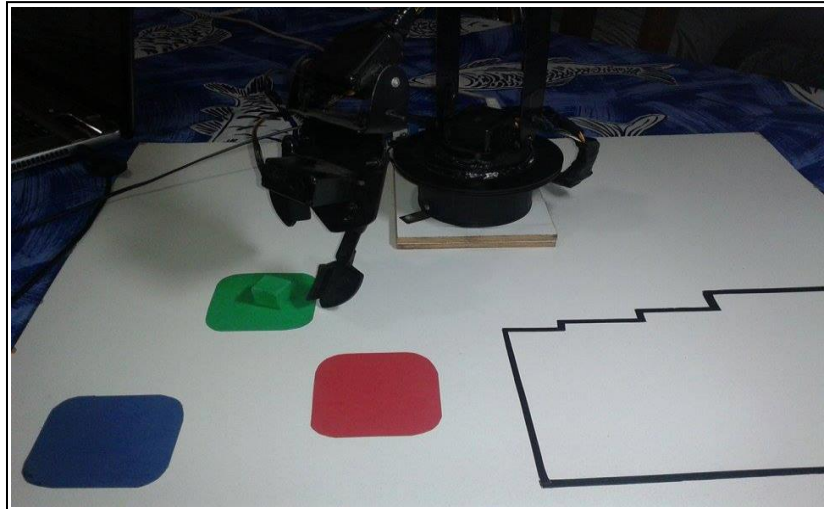


Figura 5.24: Clasificación del Cubo Verde.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En las imágenes (figura 5.23, figura 5.24) se observa al brazo robot realizando la acción de recolección y colocación del cubo verde en el lugar indicado.

Resultados.

Se realizó el reconocimiento y manipulación del cubo verde, obteniendo los siguientes resultados.

Nº Pruebas	Porcentaje reconocimiento	Porcentaje manipulación	Resultado
1	100 %	100 %	Exitoso
2	0 %	0 %	Fallido
3	100 %	100 %	Exitoso
4	100 %	100 %	Exitoso
5	100 %	100 %	Exitoso
6	100 %	100 %	Exitoso
7	100 %	100 %	Exitoso
8	100 %	100 %	Exitoso

9	100 %	100 %	Exitoso
10	100 %	100 %	Exitoso
% de Confiabilidad	90%	80%	

Tabla 5.3: Resultados del Experimento 3.

Los resultados de las pruebas realizadas con el cubo verde (tabla 5.3), revelan que el nivel de confiabilidad para el reconocimiento del cubo es del 90%, gracias a que el color verde es un color claro, facilita el reconocimiento en cualquier lugar donde se lo ubique. El nivel de confiabilidad para la manipulación con el brazo robot es del 80%, por lo tanto se declara que la prueba es exitosa.

5.2.4. Experimento 4

Manipulación del cubo Rojo.

Objetivo.

Reconocer el cubo de color rojo y manipularlo mediante el brazo robot.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El robot reconoce el cubo indicando su color, ángulos de cinemática inversa, y coordenadas de posición independientemente de donde se lo ubique.
- El brazo robot recoge y ubica el cubo en el lugar correcto en relación a su color.

Experimento.

El experimento consiste en colocar el cubo en cualquier parte dentro del área de cobertura de la cámara, indicada por líneas negras. Luego la aplicación realiza el reconocimiento del cubo y el brazo robot lo recoge para realizar las tareas programadas.

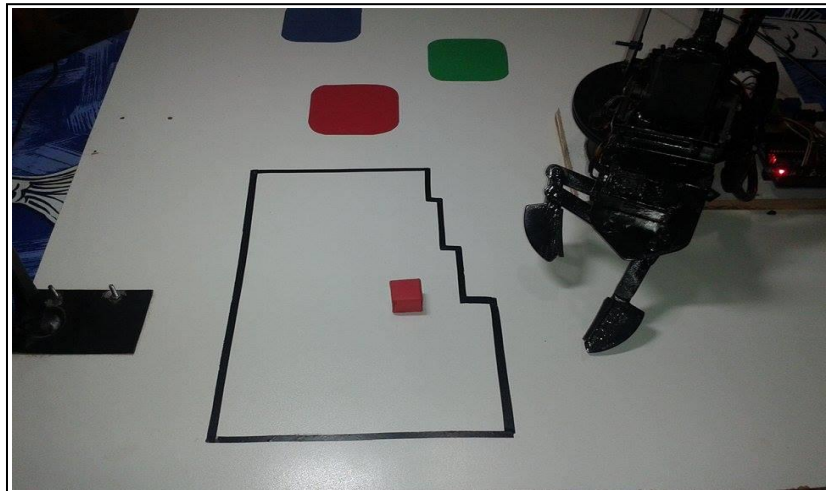


Figura 5.25: Ubicación del Cubo Rojo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.25, se visualiza el cubo colocado dentro del área de cobertura de visión de la cámara delimitado por líneas negras.



Figura 5.26: Reconocimiento del Cubo Rojo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.26, se observa la ventana de “Manipulación de Objetos”, donde se aprecia el reconocimiento del cubo rojo indicando los datos de color, posición y ángulos de cinemática inversa.

En la siguientes imágenes (figura 5.27, figura 5.28) se observa al brazo robot realizando la acción de recolección y colocación del cubo rojo en el lugar indicado.

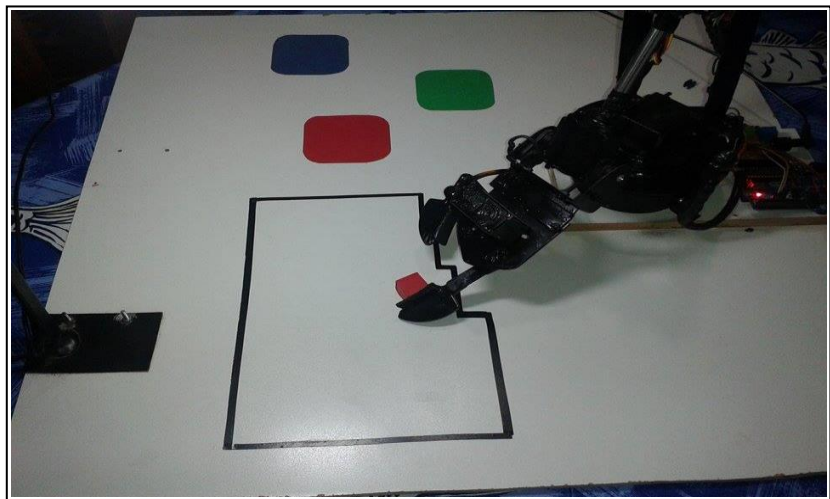


Figura 5.27: Captura del Cubo Rojo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

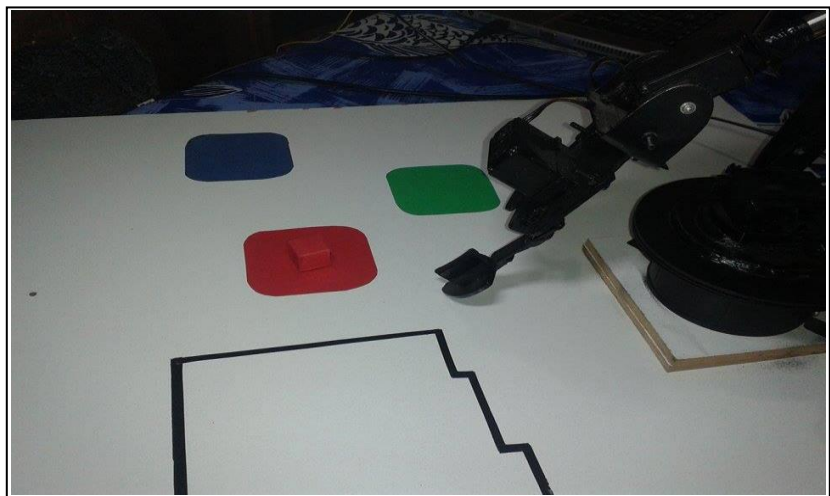


Figura 5.28: Clasificación del Cubo Rojo.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizó el reconocimiento y manipulación del cubo rojo, obteniendo los siguientes resultados.

Nº Pruebas	Porcentaje reconocimiento	Porcentaje manipulación	Resultado
1	100 %	100 %	Exitoso
2	100 %	100 %	Exitoso
3	100 %	100 %	Exitoso
4	100 %	100 %	Exitoso
5	100 %	100 %	Exitoso
6	100 %	100 %	Exitoso
7	100 %	100 %	Exitoso
8	100 %	100 %	Exitoso
9	100 %	0 %	Fallido
10	100 %	100 %	Exitoso
% de Confiabilidad	100%	90%	

Tabla 5.4: Resultados del Experimento 4.

Los resultados de las pruebas realizadas empleando el cubo rojo (tabla 5.4), revelan que el nivel de confiabilidad para el reconocimiento del cubo es del 100% y para la manipulación con el brazo robot es del 90%, gracias a que el color rojo es un tono vivo, que facilitó su identificación. Por lo tanto se declara que la prueba es exitosa.

5.2.5. Experimento 5

Manipulación de dos cubos del mismo color.

Objetivo.

Conocer el comportamiento del brazo robot al momento de colocar dos cubos del mismo color (verde), en la mesa de trabajo.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El robot realiza el reconocimiento y manipulación de los cubos colocados en la mesa de trabajo.

Experimento.

El experimento consiste en colocar dos cubos del mismo color, en este caso dos cubos de color verde para conocer el comportamiento del brazo robot ante este escenario.

En la figura 5.29, se visualizan los dos cubos verdes colocados dentro del área de cobertura de visión de la cámara delimitado por líneas negras.

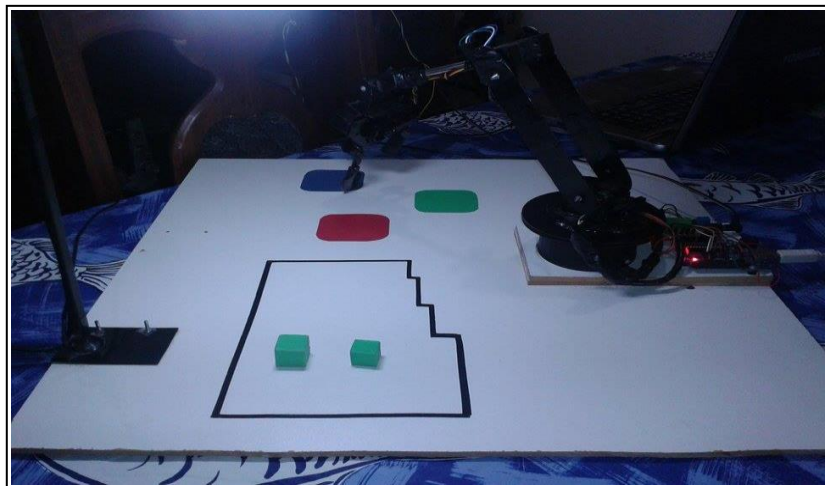


Figura 5.29: Ubicación de los Dos Cubos Verdes.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.30, se observa la ventana de “Manipulación de Objetos”, donde se aprecia que el sistema de visión

censa los dos cubos pero de manera individual, alternada, y aleatoria, indicando sus características al momento de reconocerlo.

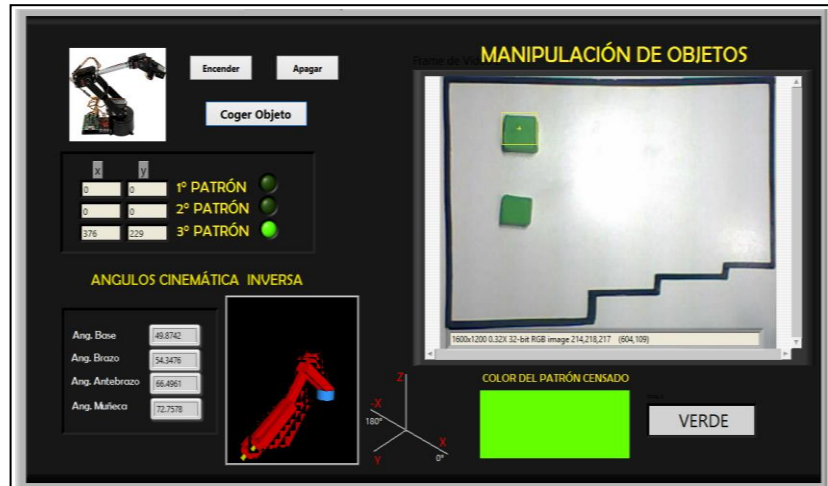


Figura 5.30: Reconocimiento de los Cubos.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la siguiente imágenes (figura 5.31), se observa al brazo robot realizando la acción de recolección. El brazo solo recoge uno de los dos cubos.

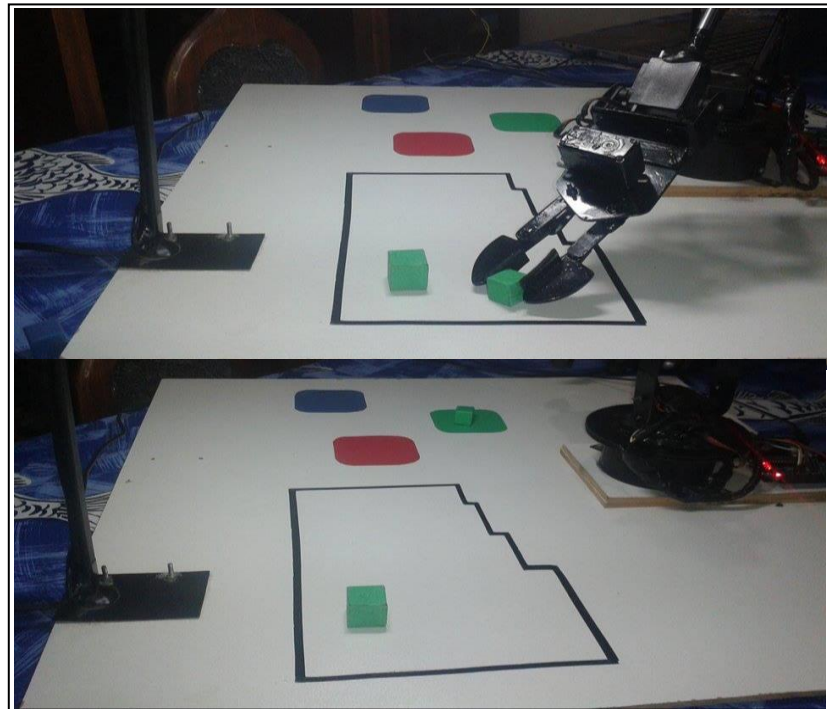


Figura 5.31: Captura de los Cubos.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizó la prueba de manipulación de dos cubos del mismo color (verde), obteniendo los siguientes resultados.

Nº Pruebas	1º Cubo verde	2º Cubo verde	Resultado
1	0 %	100 %	Exitoso
2	100 %	0 %	Exitoso
3	100 %	0 %	Exitoso
4	100 %	0 %	Exitoso
5	0 %	100 %	Exitoso
6	0 %	100 %	Exitoso
7	100 %	0 %	Exitoso
8	100 %	0 %	Exitoso
9	0 %	100 %	Exitoso
10	100 %	0 %	Exitoso
% de Confiabilidad	60%	40%	

Tabla 5.5: Resultados del Experimento 5.

En la tabla 5.5, se observa que el brazo recogió más veces el primer cubo con un porcentaje del 60%, mientras que para el segundo cubo se obtuvo un porcentaje del 40%. Por lo que se concluye que el brazo robot no tiene preferencias para un solo cubo sino que realiza una selección aleatoria.

Los resultados son los mismos si se utilizan pares de cubos de otro color (rojo o azul), ya que el sistema de identificación y manipulación es el mismo.

5.2.6. Experimento 6

Reconocimiento y manipulación de diferentes objetos.

Objetivo.

Conocer el comportamiento del brazo robot al utilizar varios objetos de diferentes formas.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El robot realiza el reconocimiento y manipulación de los objetos colocados en la mesa de trabajo.

Experimento.

El experimento consiste en colocar tres objetos diferentes en la mesa de trabajo, hacer que el robot aprenda el patrón y después los reconozca para manipularlos. En este caso se utiliza un pendrive, una tapa esférica y un adaptador de enchufe.

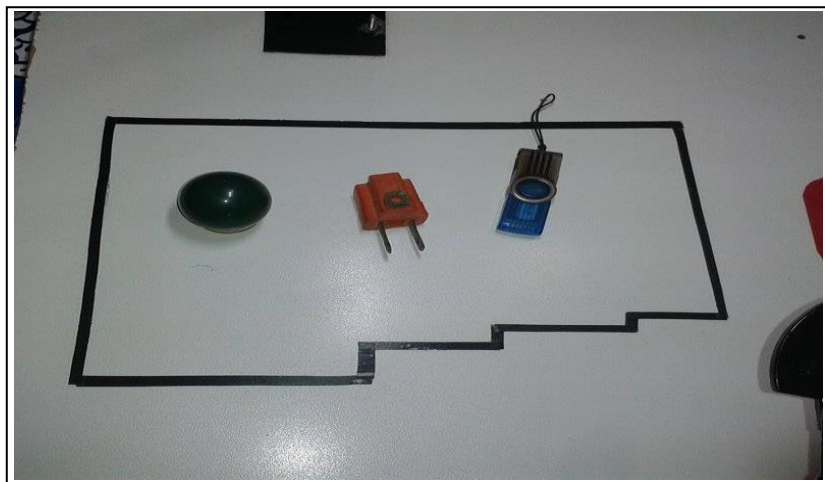


Figura 5.32: Ubicación de los Objetos.

Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.32, se visualizan los objetos utilizados en esta práctica.

En la figura 5.33, se observa la ventana de “Patrones Guardados” donde se visualiza el patrón de los objetos guardados en la computadora, se aprecia además el reconocimiento de color de cada uno de ellos.



Figura 5.33: Ventana de Patrones Guardado en Memoria.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En las siguientes imágenes se observa el reconocimiento de los diferentes objetos (tapa, pendrive, enchufe) a través de la aplicación.

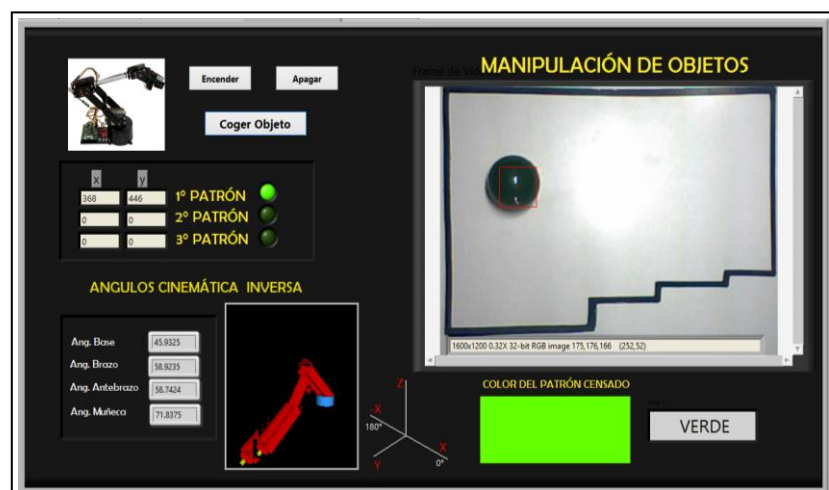


Figura 5.34: Reconocimiento de la Tapa Esférica.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

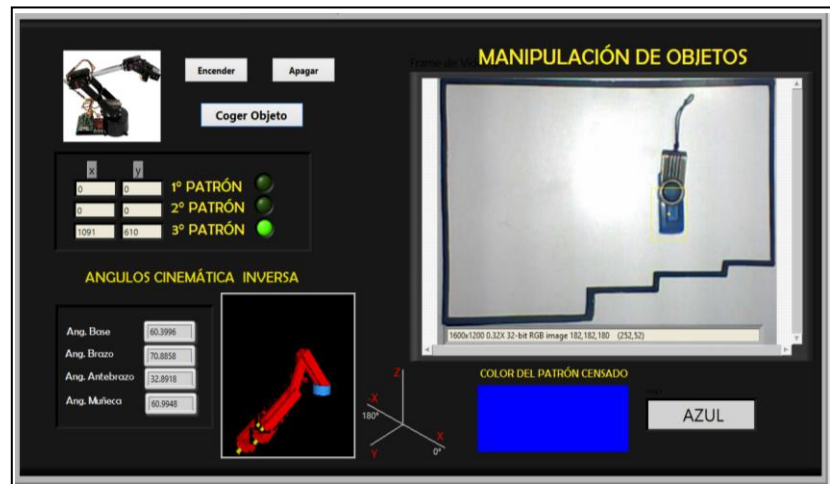


Figura 5.35: Reconocimiento del Pendrive.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

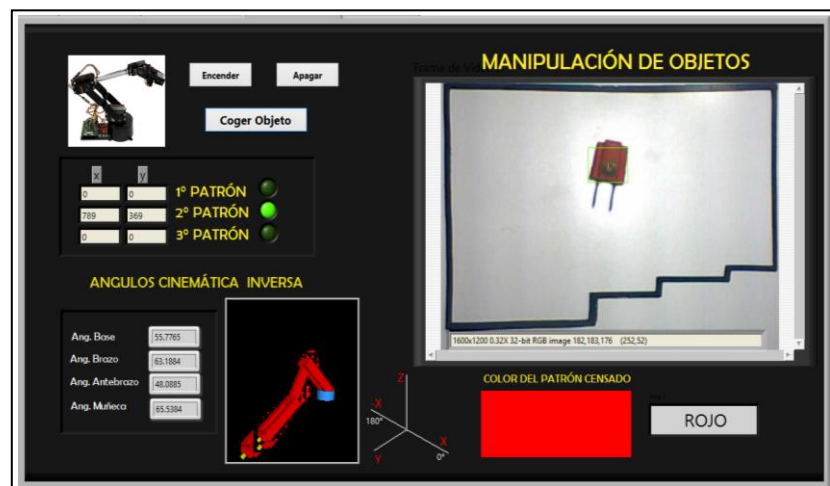


Figura 5.36: Reconocimiento del Adaptador de Enchufe.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En las siguientes imágenes se observa la manipulación de los objetos mediante el brazo robótico. Se visualiza la pinza del brazo realizando la acción de recolección, en la figura 5.37 se observa la recolección de la tapa esférica color verde, en la figura 5.38 se visualiza la recolección del pendrive color azul, y en la figura 5.39 se visualiza la recolección del adaptador de enchufe de color rojo.

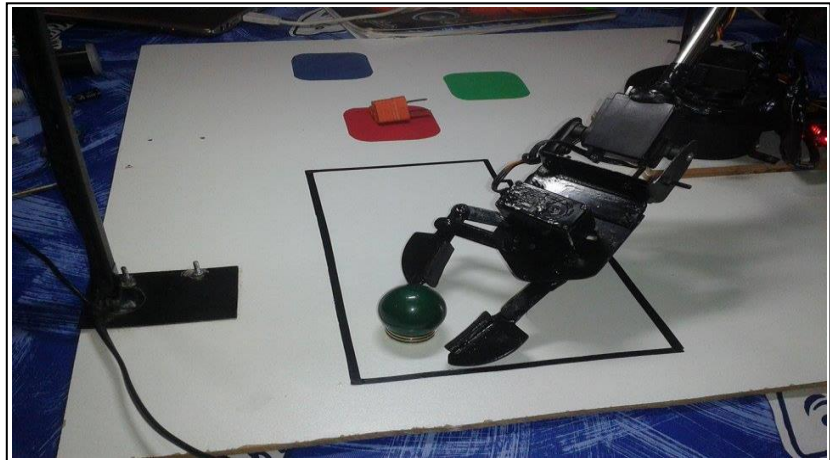


Figura 5.37: Captura de la Tapa Esférica.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

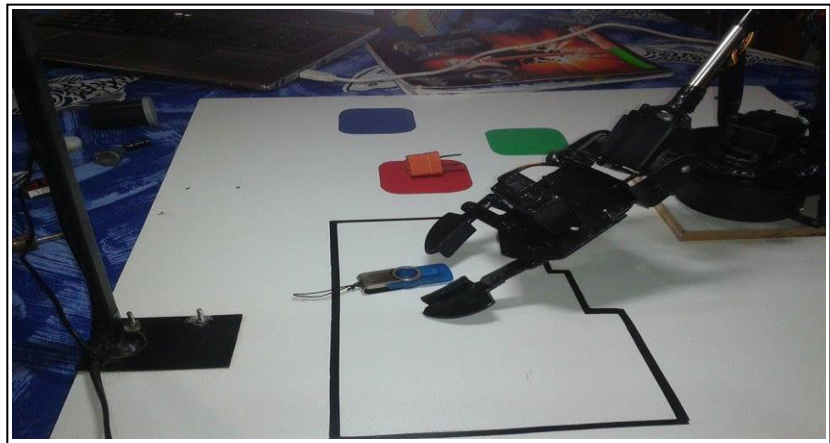


Figura 5.38: Captura del Pendrive.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

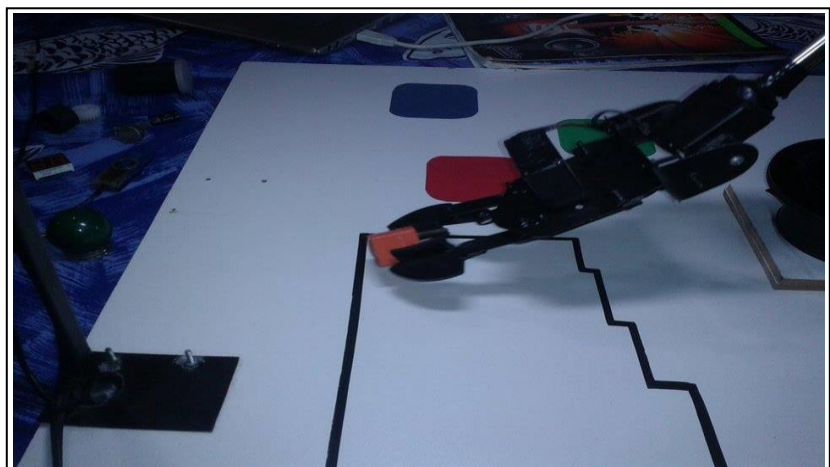


Figura 5.39: Captura del Adaptador de Enchufe.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizó la prueba de reconocimiento y manipulación de los tres objetos, obteniendo los siguientes resultados.

Pruebas	Porcentaje reconocimiento	Porcentaje manipulación	Resultado
Pendrive	90 %	20 %	Fallido
Tapa	90 %	0 %	Fallido
Enchufe	90 %	90 %	Exitoso
% de Confiabilidad	90%	36%	

Tabla 5.6: Resultados del Experimento 6.

Los resultados de las pruebas realizadas (tabla 5.6), revelan que el nivel de confiabilidad para el reconocimiento de los objetos es del 90% y para la manipulación con el brazo robot es del 36%, por lo que se concluye que la forma de los objetos influye en el agarre de las pinzas del brazo robot.

5.2.7. Experimento 7

Pruebas de Cinemática Inversa.

Objetivo.

Realizar prácticas de cinemática inversa con la aplicación desarrollada y el brazo robot.

Criterios de éxito.

Se considera que el experimento es exitoso si:

- El brazo robot adopta la posición de los ángulos calculados en la cinemática inversa.

Experimento.

El experimento consiste en realizar pruebas con el brazo robot para entender el funcionamiento de la cinemática inversa en un plano de tres dimensiones.

Se visualiza la ventana de “Cinemática Inversa” donde se controla la posición del punto final del brazo. En las siguientes imágenes, se aprecian las prácticas realizadas de cinemática inversa, se tiene el brazo simulado y el brazo físico (figura 5.40).

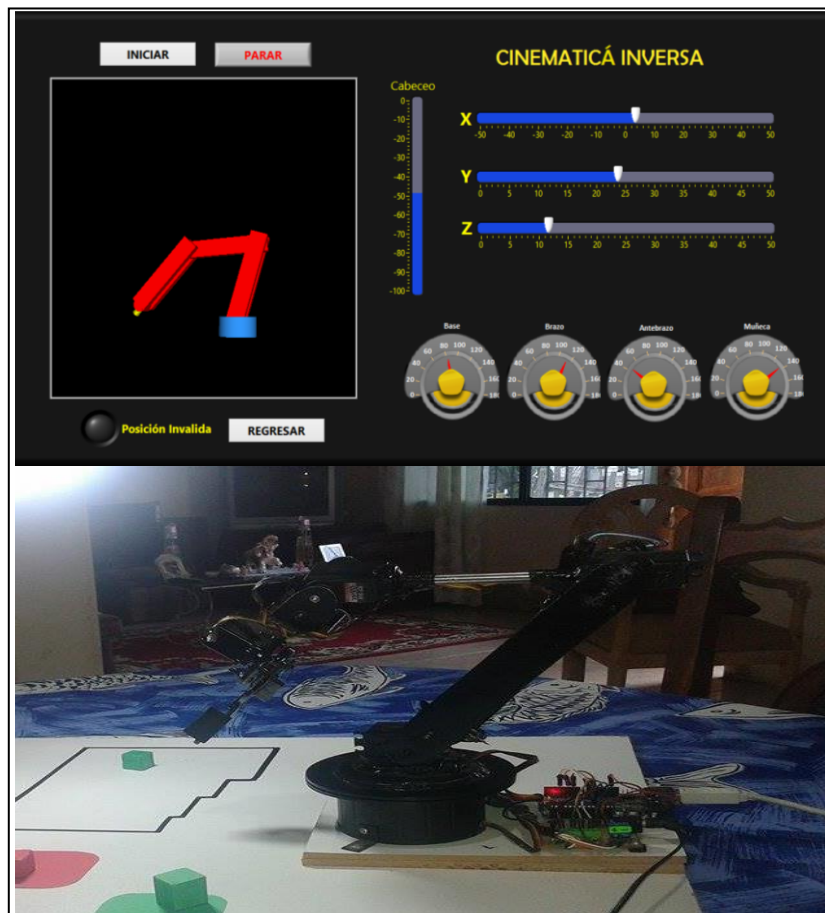


Figura 5.40: Posición del brazo Físico y Simulado.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

En la figura 5.41, se observa que el brazo robot adopta una posición alargada, en la parte inferior de la simulación existe un LED color rojo que indica que el brazo no puede seguir extendiéndose, por lo tanto, se considera que es una posición inválida.

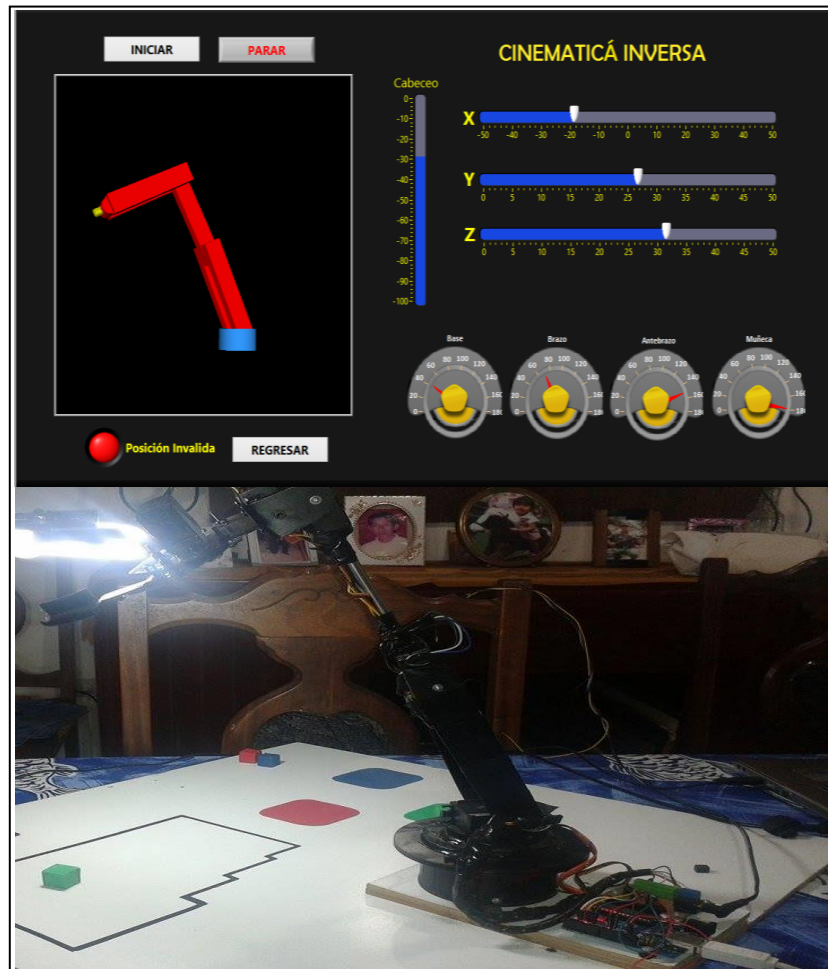


Figura 5.41: Posición del brazo Físico y Simulado.
Fuente: Nelson David de la Rosa M.

Resultados.

Se realizaron pruebas para determinar el nivel de operación del brazo robot en base a los cálculos de cinemática inversa realizados en este proyecto.

Nº Pruebas	brazo Simulado	Nivel operacional del brazo físico	Resultado
1	100 %	100 %	Exitoso
2	100 %	80 %	Exitoso
3	100 %	90 %	Exitoso
4	100 %	100 %	Exitoso
5	100 %	90 %	Exitoso
6	100 %	90 %	Exitoso
7	100 %	90 %	Exitoso
8	100 %	80 %	Exitoso
9	100 %	100 %	Exitoso
10	100 %	100 %	Exitoso
% de Confiabilidad	100%	92%	

Tabla 5.7: Resultados del Experimento 7.

En la práctica, el brazo físico adopta la misma posición que el brazo de la simulación. En la tabla 5.7 se observa que el nivel de confiabilidad para el brazo simulado es del 100% y el nivel de operación del brazo físico es del 92% debido a que influyen factores como el peso del brazo robot y la fuerza de los servomotores que dificultan su movilidad. Al final se concluye que la prueba es exitosa.

5.3. DOCUMENTACIÓN

En base a los requerimientos que exige la aplicación, se describe el manual de usuario para facilitar el manejo del brazo robot controlado mediante inteligencia artificial al usuario final. Este documento (Ver Anexo 3) permitirá inicializar y manejar sin

ningún problema la aplicación del prototipo, indicando los parámetros de funcionamiento, tanto para software como para hardware.

5.4. DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS.

Se realizaron las pruebas respectivas de funcionamiento del prototipo de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, logrando un porcentaje de confiabilidad del 96.66% en el reconocimiento y un 83.33% en la manipulación de los objetos utilizados en la práctica. Además, un 92% en el nivel operacional del movimiento cinemático inverso del brazo robot.

En base a la tabulación de cada una de las preguntas de las encuestas realizadas a los docentes y estudiantes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, se comprobó la hipótesis propuesta en este proyecto (ver anexo 1).

La mayoría de las personas encuestadas están totalmente de acuerdo sobre el beneficio tecnológico de implementar un brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, por lo tanto se hará uso del prototipo de brazo robótico para realizar prácticas y estudiar la tecnología aplicada en su desarrollo; con las pruebas realizadas se comprobó que el prototipo actúa efectivamente con las tareas de funcionamiento programadas, lo que convierte a este prototipo en un proyecto tecnológico altamente confiable.

CONCLUSIONES

En este documento se presenta el desarrollo de un brazo robot controlado mediante inteligencia artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos, basándose en la clasificación de los mismos en base al color del patrón. Por lo tanto se puede concluir:

- Los algoritmos para el procesamiento de imagen y las técnicas de iluminación utilizados en este proyecto, permitieron tener una adecuada descripción e identificación de características de los objetos en tiempo real. Obteniendo un 100% de confiabilidad en las pruebas de almacenamiento del patrón; y para la identificación de los colores azul, rojo y verde respectivamente se obtuvo un 90%, 100%, 90% de confiabilidad
- El nivel de confiabilidad para la manipulación de los cubos mediante el brazo robótico fue del 80% para el cubo azul, 90% para el cubo rojo, y 80% para el cubo verde, por lo que se concluye que el manipulador es eficiente y preciso al momento de agarrar y clasificar los cubos.
- Se comprueba mediante las pruebas realizadas en el experimento 6, que el prototipo robot no está capacitado para agarrar objetos planos o esféricos, con un resultado del 20% en la recolección de un pendrive, un 0% en la recolección de un tapa esférica y un satisfactorio 90% en la recolección de un adaptador de enchufe.
- El método geométrico aplicado en la resolución de la cinemática inversa del brazo robot, permitió el posicionamiento exacto del mismo en un plano físico de tres dimensiones. Obteniendo un porcentaje de operacional del 92%, en las pruebas de cinemática inversa.

- Es importante resaltar que los resultados obtenidos en esta primera versión del brazo son susceptibles a mejoras, el conocimiento generado es importante y servirá para futuras versiones del brazo robot o el desarrollo de múltiples aplicaciones empleando inteligencia artificial.

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones y pruebas realizadas con el brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, se puede recomendar:

- El brazo robot debe ser utilizado exclusivamente con fines didácticos y en condiciones totalmente seguras.
- El limitado presupuesto no permitió la adquisición de un manipulador robótico de mayor potencia y precisión.
- Si se desea modificar la estructura del robot, se recomienda utilizar materiales livianos o emplear servomotores de mayor capacidad de torque, para movilizar libremente el peso del robot.
- Al momento de adquirir un servomotor en el mercado hay que tener presente, que a mayor capacidad de torque mayor es su costo.
- Si se desea que el robot realice una nueva clasificación de colores adicionales a los desarrollados (rojo, azul, verde), se debe conocer y programar los valores numéricos que componen la tonalidad del nuevo color.
- Fue necesario la construcción de cubos de colores para mejorar el agarre al momento de manipular los objetos durante las prácticas.
- La adquisición de una cámara con mayor resolución, permitirá mejorar en gran manera el sistema de visión del robot.
- Se recomienda comprar las licencias y complementos actualizados del software labView.

BIBLIOGRAFÍA

Severino Fernández Galán (2011). Introducción a la inteligencia artificial, <http://www.ia.uned.es/~seve/docencia/intro-ia/index.html>

Cegarra Sánchez Jorge (2007), Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica. Madrid: Díaz de Santos.

Gómez Marcelo M (2006), Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. (1a. Edición.) Argentina: Brujas.

National Instruments (2014), NI Vision, IMAQ Visionf or LabView User Manual, National Instruments, Edición 2005.

National Instruments (2014), LabView visión, fundamentos del procesamiento digital de imágenes, Ediciones Atom 2013.

Gordillo Lenín & Yánez Jorge, (2009). Aplicación de visión con Labview para la detección de frascos con turbiedades, (Tesis para optar el Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones), Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Electroaglo (blog de ingeniería en electrónica de la Corporación Universitaria del Meta), Clasificador de colores con LabView. <http://electroaglo.blogspot.com/p/clasificador-de-colores-con-labview.html>.

Molina José & Jiménez Manuel. (2010). Programación Gráfica para Ingenieros. (1° edición). Barcelona, España. Marcombo S.A.

INFAIMON. (2014). Enciclopedia de la visión. <http://www.infaimon.com/es/tecnicas-de-iluminacion>.

ANEXO 1

ENCUESTAS



Universidad Estatal Península de Santa Elena
Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones



“Brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos, controlado mediante inteligencia artificial, como complemento de tecnología robótica en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena año 2014.” Previo a la obtención del título de ingeniero en **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**.

ENCUESTAS ESTUDIANTES DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

1. ¿Cree usted que la falta de tecnología robótica dentro del laboratorio de electrónica, hace que se demuestre solo concepto teórico y no práctico?

SI

NO

2. ¿Los docentes que imparten la materia de robótica hacen uso del laboratorio?

SI

NO

3. ¿Si se dictaran cursos de robótica aplicada dentro de la universidad, asistiría?

SI

NO

4. ¿Cree usted que se debe desarrollar tecnología robótica dentro de la carrera?

SI

NO

5. ¿Los dispositivos y equipos electromecánicos utilizados dentro del laboratorio de electrónica, son pertinentes para generar nuevos conocimientos?

SI

NO

6. ¿Qué tanto conoce sobre el software LabView y las herramientas de inteligencia artificial?

Mucho

Poco

Nada

7. ¿Cree que es beneficioso para la carrera que se construya un brazo robot controlado con inteligencia artificial para realizar prácticas?

SI

NO

8. ¿Conoce usted acerca de los cálculos matemáticos usados para la resolución del problema cinemático aplicados a un brazo robot?

SI

NO

9. ¿Se capacitaría usted en la utilización del software de un brazo robot para entender el funcionamiento cinemático?

SI

NO

10. ¿Qué cree que deba fortalecer la carrera de electrónica y telecomunicaciones?

a) Docentes.

b) Tecnología.

c) Infraestructura.

d) Otros: _____

ENCUESTAS



Universidad Estatal Península de Santa Elena
Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones
Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones



“Brazo robot, para el reconocimiento y manipulación de objetos, controlado mediante inteligencia artificial, como complemento de tecnología robótica en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena año 2014.” Previo a la obtención del título de ingeniero en **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**.

ENCUESTAS DOCENTES DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

1. ¿Con qué frecuencia lleva a los estudiantes al laboratorio para realizar prácticas de robótica?

Una vez al día

Varias veces al día

Todos los días de la semana

Una vez a la semana

2. ¿Le interesaría conocer aplicaciones de robótica orientada a otras disciplinas?

SI

NO

3. ¿Cree usted que se debe profundizar el conocimiento de la robótica dentro de la carrera?

SI

NO

4. ¿Los equipos tecnológicos actuales, le prestan las facilidades para impartir correctamente sus clases?

SI

NO

5. ¿Qué opina acerca de la Inteligencia Artificial?

.....
.....

6. ¿Qué tanto utiliza el software LabView y las herramientas de inteligencia artificial?

Mucho

Poco

Nada

7. ¿Qué tanto conoce sobre las fórmulas de cinemática aplicadas al movimiento de un brazo robot?

Mucho

Poco

Nada

8. ¿Se capacitaría en la utilización del software de un brazo robot para entender el funcionamiento cinemático?

SI

NO

9. ¿Cree usted que un proyecto de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, permitirá incrementar los conocimientos tecnológicos en los estudiantes?

SI

NO

10. ¿Qué opina acerca del estudio de un brazo robot controlado mediante inteligencia artificial para el desarrollo de futuras aplicaciones robóticas?

.....
.....

TABULACIÓN

Las encuestas fueron realizadas a 29 estudiantes y un docente, inmersos en el área de robótica de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, dando los siguientes resultados:

ENCUESTA ESTUDIANTES DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

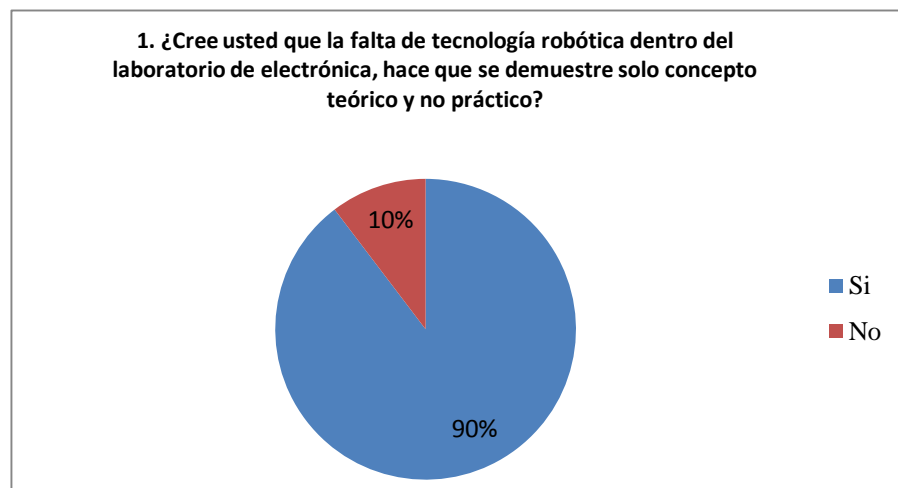


Figura n°1= Pregunta No 1, Estudiantes

Los resultados de la presente pregunta indican que el 90% de los estudiantes encuestados consideran que la falta de tecnología robótica hace que se demuestre solo concepto teórico y no lo práctico, mientras que el 10% consideran lo contrario. Esto refleja la falta de implementos tecnológicos dentro de la carrera, indispensable para poner en práctica los conocimientos adquiridos.

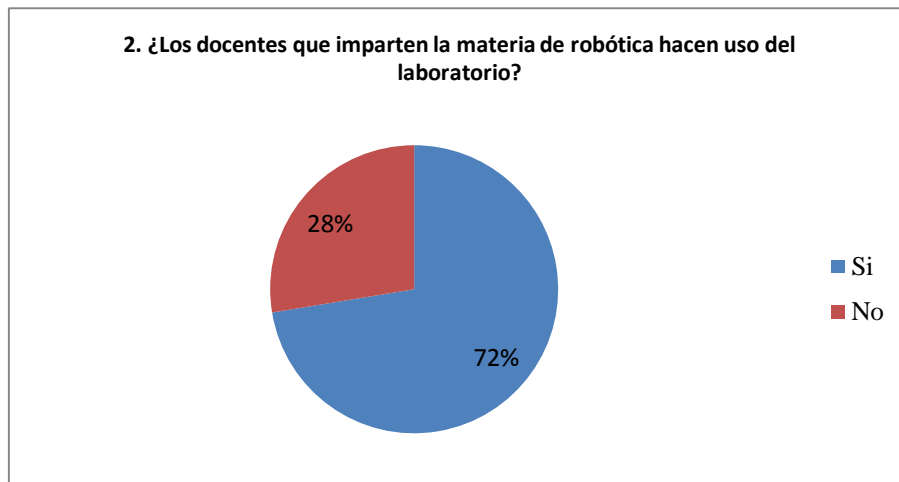


Figura n°2= Pregunta No 2, Estudiantes

Los resultados de esta pregunta demuestran que el 72% de los estudiantes, alegan que los docentes que imparten la materia de robótica hacen uso del laboratorio, mientras que el 28% opina lo contrario. Por lo que se concluye que el laboratorio es un lugar indispensable para impartir las clases de robótica y por ende debe contar con las herramientas tecnológicas acorde a los conocimientos adquiridos.

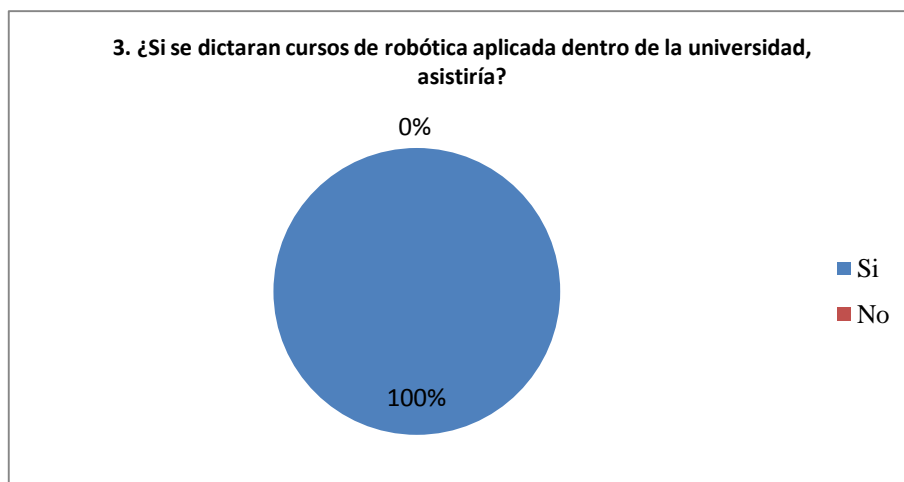


Figura n°3= Pregunta No 3, Estudiantes

Los resultados de esta pregunta demuestran que el 100% de los estudiantes, si asistirían a cursos de robótica aplicada en caso de haberlas. Por lo que se concluye que los estudiantes se interesan en la adquisición de nuevos conocimientos dentro de esta área.

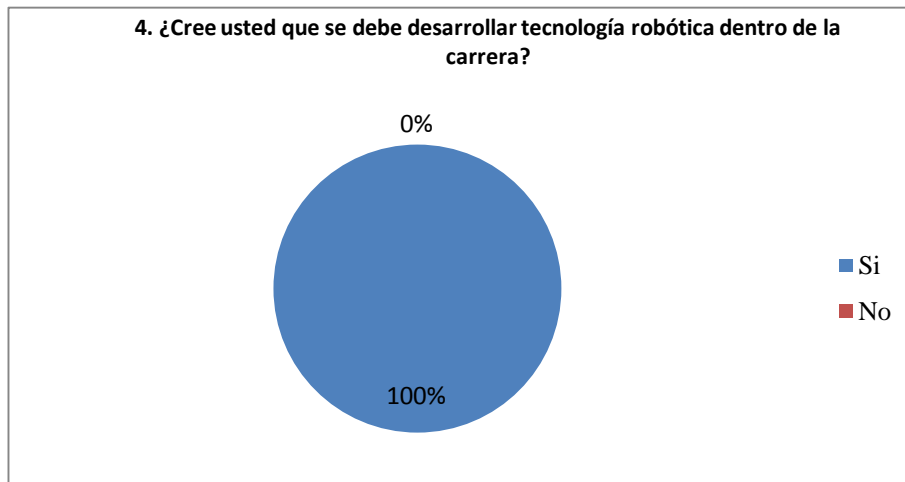


Figura n°4= Pregunta No 4, Estudiantes

En esta pregunta se mide la importancia que tiene el desarrollo de tecnología robótica dentro de la carrera, obteniendo que el 100% de los estudiantes están de acuerdo, por lo tanto se deben proporcionar nuevos conocimientos para desarrollar otros orientados a soluciones prácticas.

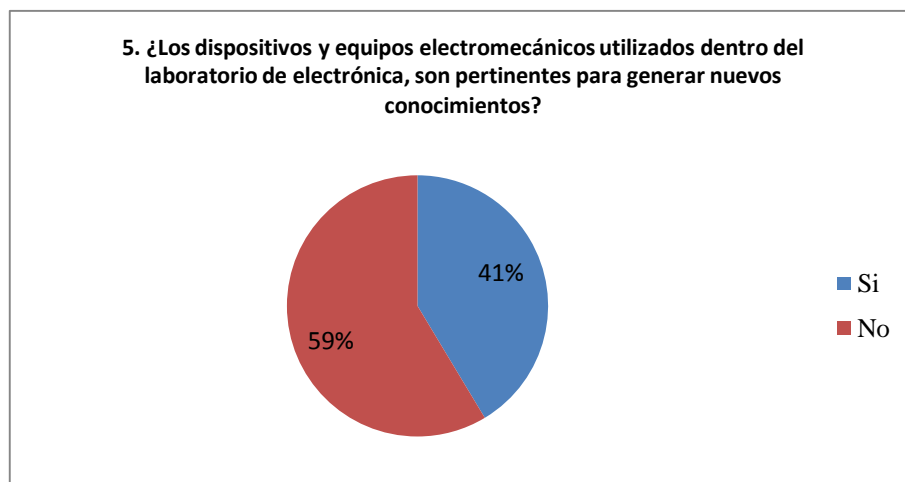


Figura n°5= Pregunta No 5, Estudiantes

Los resultados en esta pregunta reflejan que el 59% de los estudiantes están de acuerdo y el 41% están en desacuerdo. Por lo que se concluye que los equipos que actualmente se utilizan en el laboratorio son parcialmente eficientes pero no los necesarios para generar mayores conocimientos.

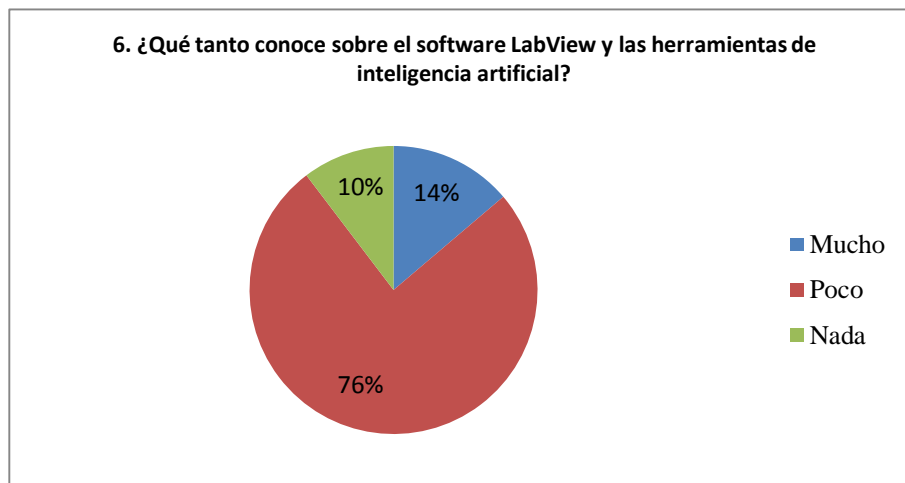


Figura n°6= Pregunta No 6, Estudiantes

Los resultados demuestran que el 14% de los estudiantes conocen mucho acerca del software LabView y las herramientas de I.A., el 76% conoce poco, y el 10% no conoce nada. Entonces, se considera importante el uso del software LabView en aplicaciones de I.A.

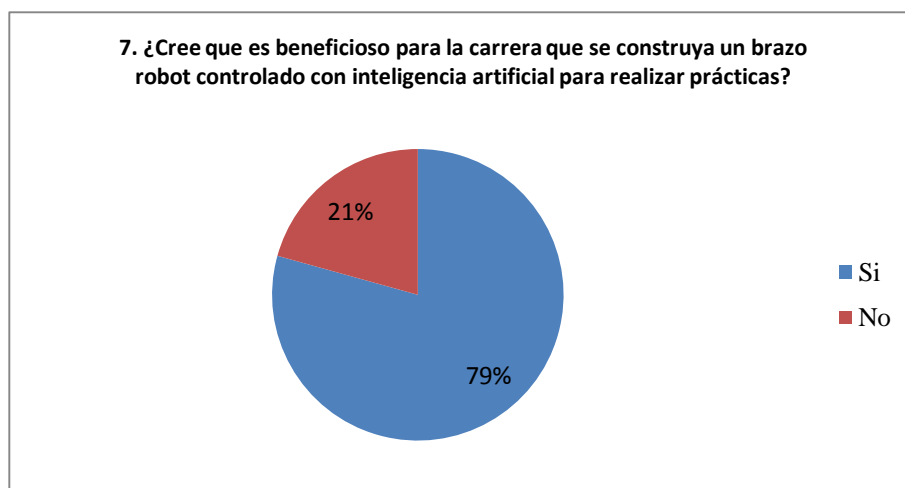


Figura n°7= Pregunta No 7, Estudiantes

El 79% de los estudiantes encuestados opinan que si es beneficioso el uso de un brazo robot controlado con I.A. para realizar prácticas, mientras que el 21 % dicen que no. Por lo tanto, se demuestra que la construcción del prototipo de brazo robot será un gran aporte para la innovación tecnológica dentro de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

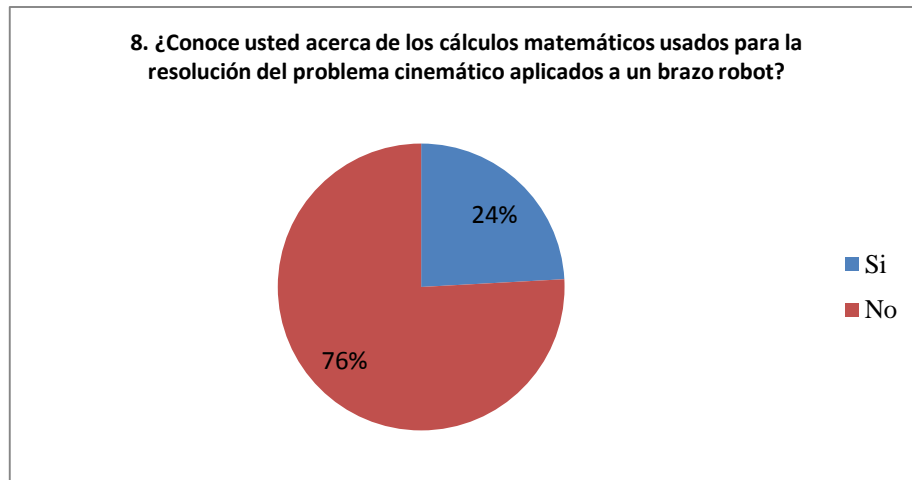


Figura n°8= Pregunta No 8, Estudiantes

Los resultados de esta pregunta demuestran que el 76% de los estudiantes no conocen los cálculos aplicados al movimiento cinemático de un brazo robot, mientras que el 24% dijo que si conoce. Entonces se evidencia la falta de este conocimiento en la mayoría de los estudiantes.

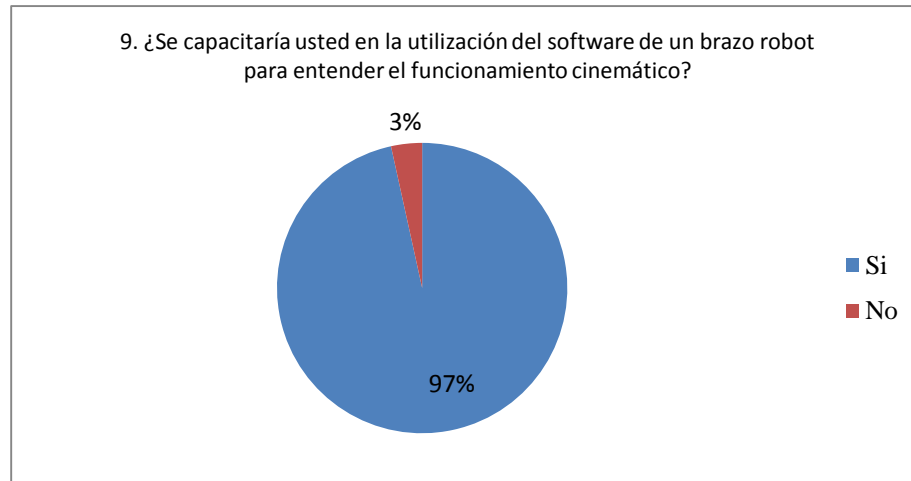


Figura n°9= Pregunta No 9, Estudiantes

Los resultados demuestran que el 97% de los estudiantes están dispuestos a capacitarse en la utilización del software de un brazo robot para entender el funcionamiento cinemático, mientras que el 3% no lo haría. Por lo tanto, se hace necesario implementar un software de brazo robot para realizar estudios de cinemática y capacitar a los estudiantes en el uso del mismo.

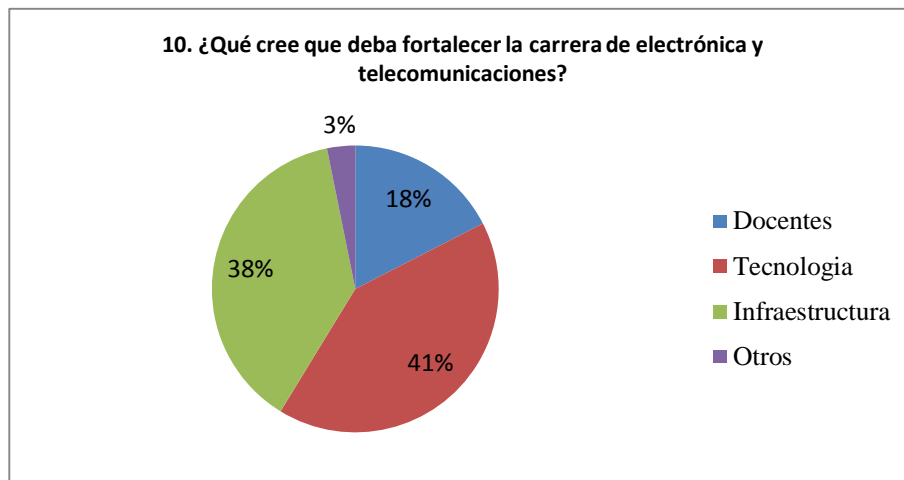


Figura n°10= Pregunta No 10, Estudiantes

Esta es una pregunta de selección múltiple, por lo que se obtuvo los siguientes resultados: El 18% de estudiantes dijeron que se debe fortalecer a los docentes en la carrera; el 41% dijo que se debe fortalecer la tecnología; el 38% dijo que se debe fortalecer en infraestructura; y el 3% sugirió que existan más capacitaciones y se adquieran nuevos equipos. Por lo tanto, se comprueba la falta de tecnología e infraestructura en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

ENCUESTA DOCENTES DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

La encuesta fue dirigida a un solo docente dentro de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, debido a que es el único inmerso en el área de robótica. Las respuestas proporcionadas por parte del docente, se reflejarán unitariamente en los siguientes resultados:

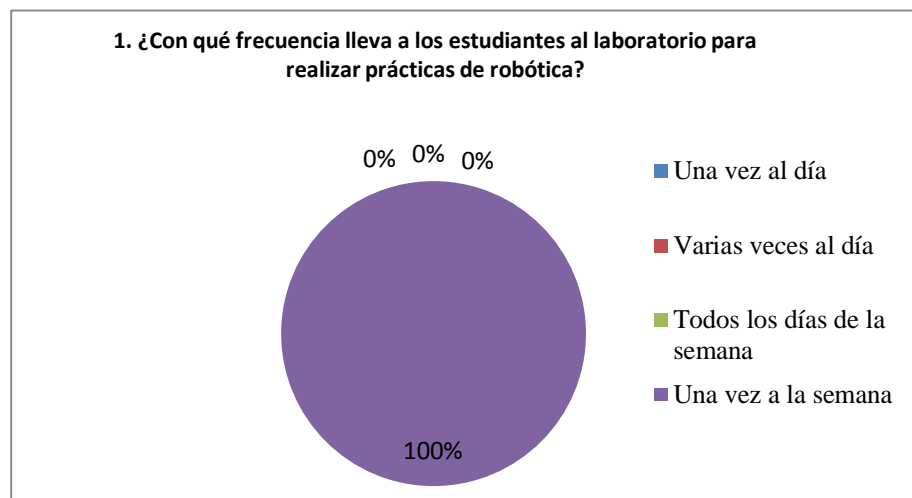


Figura n°11= Pregunta No 1, Docentes

El resultado en esta pregunta fue del 100% en la opción de, una vez a la semana. Por lo que se concluye que el docente lleva al estudiante una vez a la semana al laboratorio para realizar prácticas de robótica. Por lo tanto, las instalaciones deben prestar las facilidades que necesitan el docente y el estudiante para poder desarrollar los conocimientos adquiridos durante la jornada de estudio.

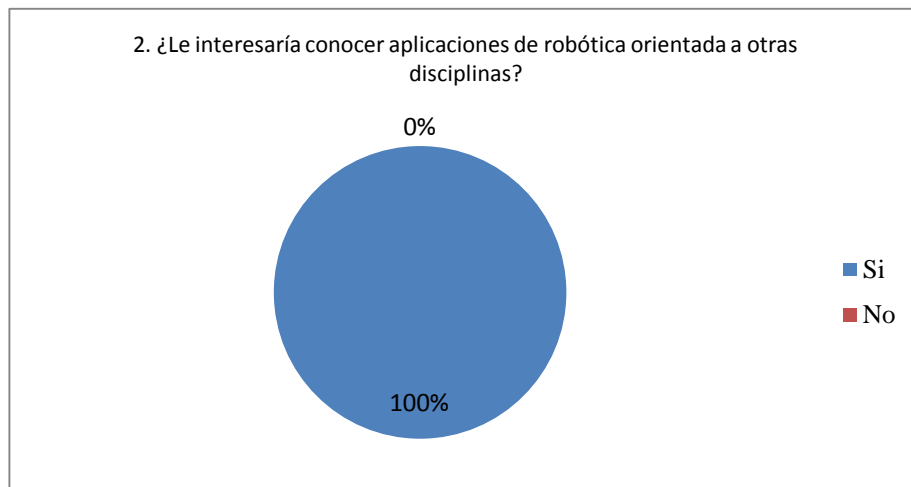


Figura n°12= Pregunta No 2, Docentes

La respuesta por parte de los docentes fue que sí les interesaría conocer aplicaciones robóticas orientada a otras disciplinas, con un resultado del 100%. Por lo tanto, es evidente que el prototipo de brazo robot controlado mediante I.A. es una buena opción para que el docente conozca, estudie y desarrolle aplicaciones robóticas orientadas a otras disciplinas.



Figura n°13= Pregunta No 3, Docentes

La respuesta por parte de los docentes fue un sí, con un porcentaje del 100%, entonces se deduce que los docentes son conscientes que la falta de conocimientos en el área de robótica no son los suficientes para generar nuevas aplicaciones.

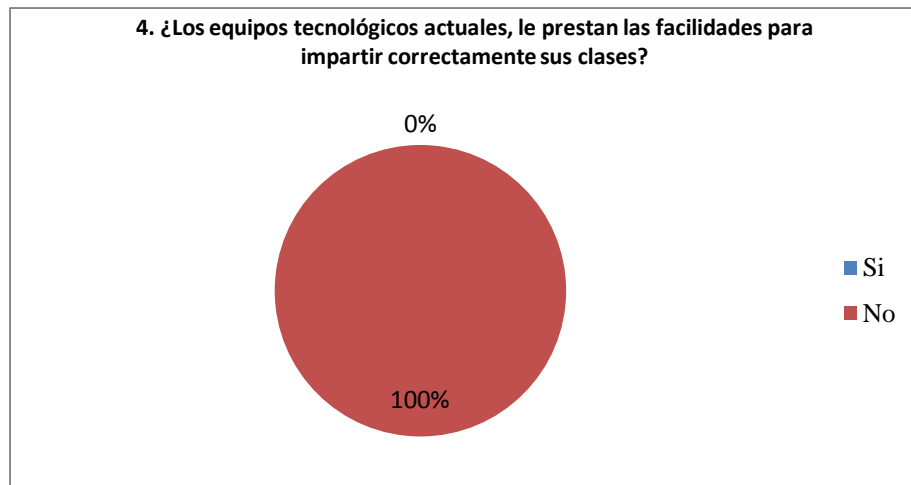


Figura n°14= Pregunta No 4, Docentes

El resultado en esta pregunta fue del 100% para la opción no, Por lo tanto se comprueba que los equipos que actualmente se utilizan, no cumplen las exigencias que los docentes requieren para capacitar a los estudiantes.

¿Qué opina acerca de la Inteligencia Artificial?

Esta fue una pregunta abierta, correspondiente a la quinta pregunta de la encuesta, ideada para conocer los criterios y conocimientos por parte de los docentes. Se obtuvo la siguiente respuesta:

“Es un tema fascinante relacionado a la robótica, que pretende alcanzar aprendizaje, reconocimiento y capacidad de inteligencia en un robot. Realizar un diseño de control inteligente con dispositivos electrónicos suele ser una tarea complicada y por eso este campo aún sigue en proceso de investigación.”

La respuesta proporcionada por el docente demuestra que la inteligencia artificial es un área muy alucinante que aún está en auge y que en un futuro proporcionará herramientas útiles para la vida del hombre.

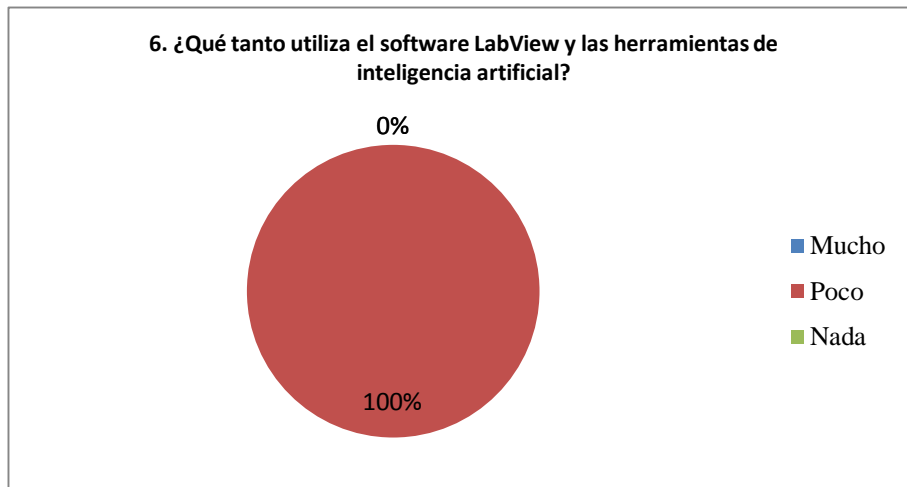


Figura n°15= Pregunta No 6, Docentes

El resultado en esta pregunta fue del 100% para la opción “poco”, Por lo que se deduce que los docentes no utilizan en su gran mayoría, el software LabView y las herramientas de inteligencia artificial. Entonces, se hace indispensable la utilización de este software, porque es una herramienta que tiene un gran potencial para el desarrollo de aplicaciones robóticas.

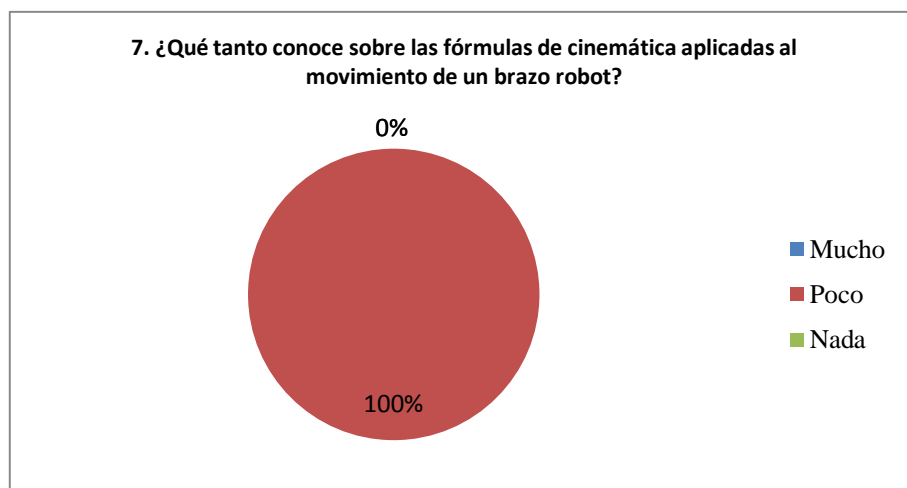


Figura n°16= Pregunta No 7, Docentes

El resultado en esta pregunta fue del 100% para la opción “poco”. Por lo que se comprueba que los docentes conocen parcialmente las fórmulas de cinemática aplicada al movimiento de un brazo robot. Por lo tanto, se

hace necesario la implementación del prototipo para realizar prácticas y estudiar el comportamiento cinemático del brazo robot.

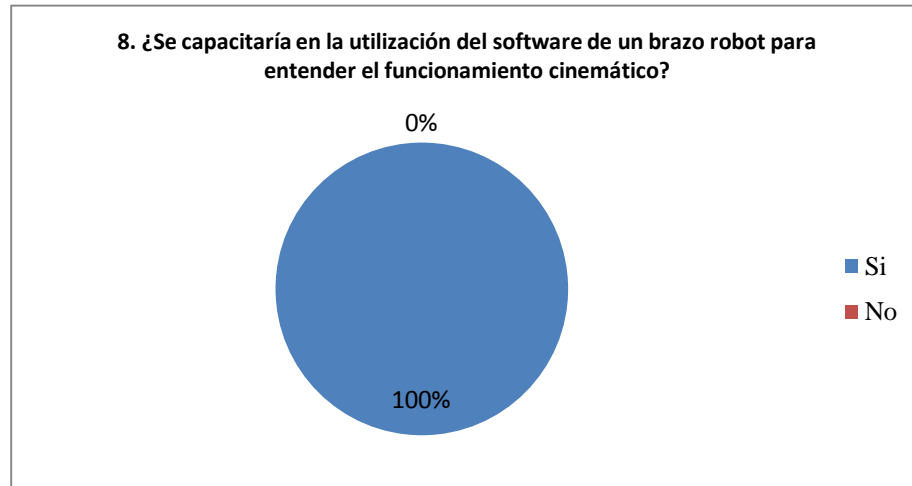


Figura n°17= Pregunta No 8, Docentes

El resultado en esta pregunta fue del 100% para la opción “Si”. Por lo tanto se debería capacitar o adquirir herramientas que aporten al conocimiento en esta área de la robótica.

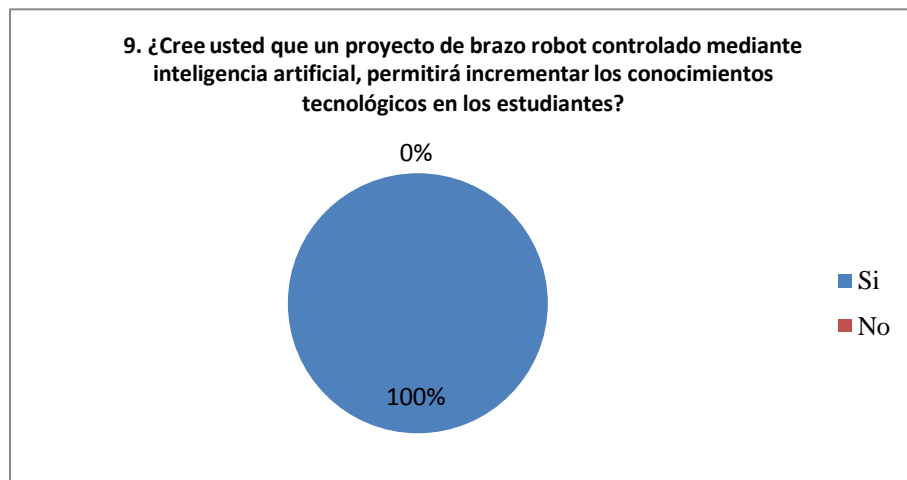


Figura n°18= Pregunta No 9, Docentes

Los docentes están de acuerdo que es beneficioso para los estudiantes que se implemente un brazo robot controlado mediante inteligencia

artificial para incrementar los conocimientos tecnológicos en los estudiantes, por lo tanto la construcción del prototipo será un gran aporte para cumplir dicho fin.

¿Qué opina acerca del estudio de un brazo robot controlado mediante inteligencia artificial para el desarrollo de futuras aplicaciones robóticas?

Esta fue una pregunta abierta, correspondiente a la décima pregunta de la encuesta, ideada para conocer los criterios y conocimientos por parte de los docentes. Se obtuvo la siguiente respuesta:

“El estudio de control por inteligencia artificial en robot, no es un tema sencillo, de hecho cada vez aparecen nuevas investigaciones relacionados al control, como lógica difusa y control predictivo relacionado al tema de redes neuronales o inteligencia artificial, la cual pretende que un robot aprenda por sí solo. Las aplicaciones están siendo utilizadas en áreas médicas, industrial, etc. y esto es de mucho beneficio para el aprendizaje en la escuela de Electrónica y Telecomunicaciones.”

La respuesta proporcionada por el docente demuestra que un prototipo de brazo robot controlado mediante inteligencia artificial, será un gran aporte tecnológico que abrirá puertas para el desarrollo de futuras aplicaciones dentro de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

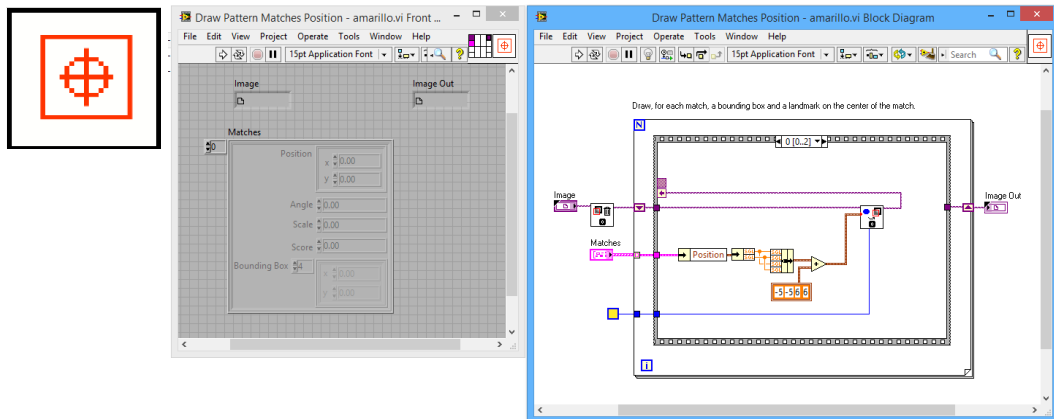
ANEXO 2

SUBVI'S LABVIEW 2012

A continuación se presentaran algunos SubVIs desarrollados y utilizados en la programación de la aplicación del prototipo de brazo robot.

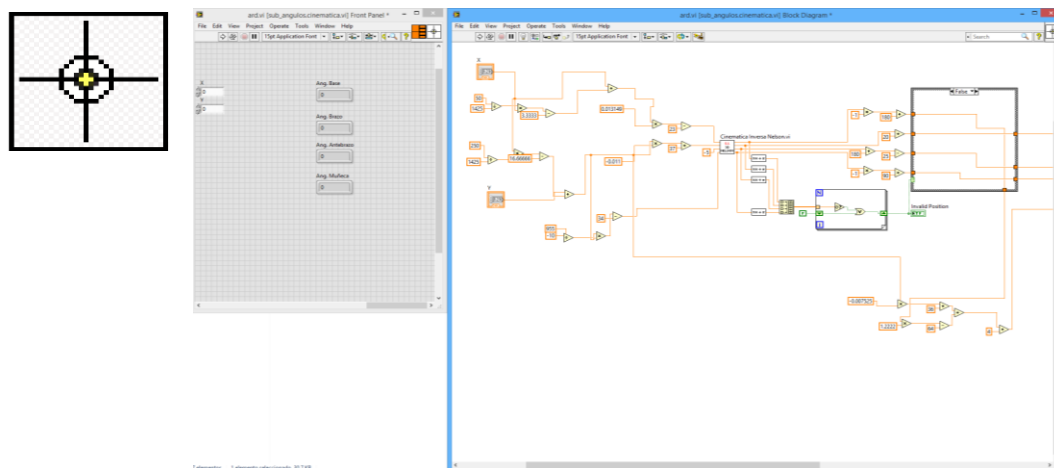
Overlay.

La función de este subvi es generar un cuadro indicativo que se activará cuando cense un objeto identificado por el robot y que se moverá conforme se mueva el objeto.



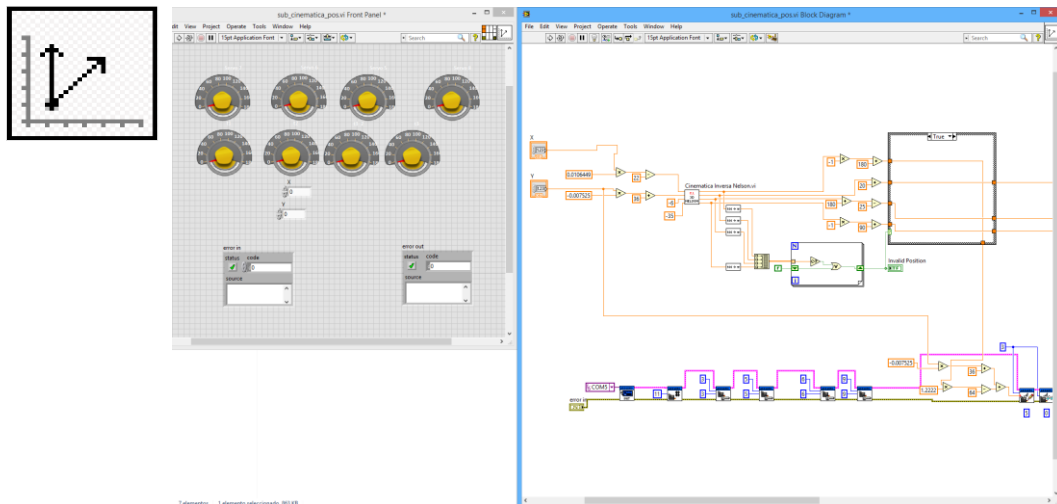
Ángulos de Cinemática.

Este subvi permitirá generar los ángulos calculados por la cinemática inversa del brazo robot en base a las coordenadas de x e y.



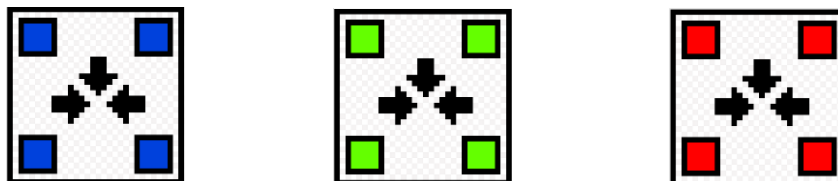
Cinemática Posición.

Este subvi permitirá generar los ángulos calculados por la cinemática inversa del brazo robot en base a las coordenadas de x e y. Los ángulos son visualizados en la aplicación y enviados al brazo físico para movilizarlo.



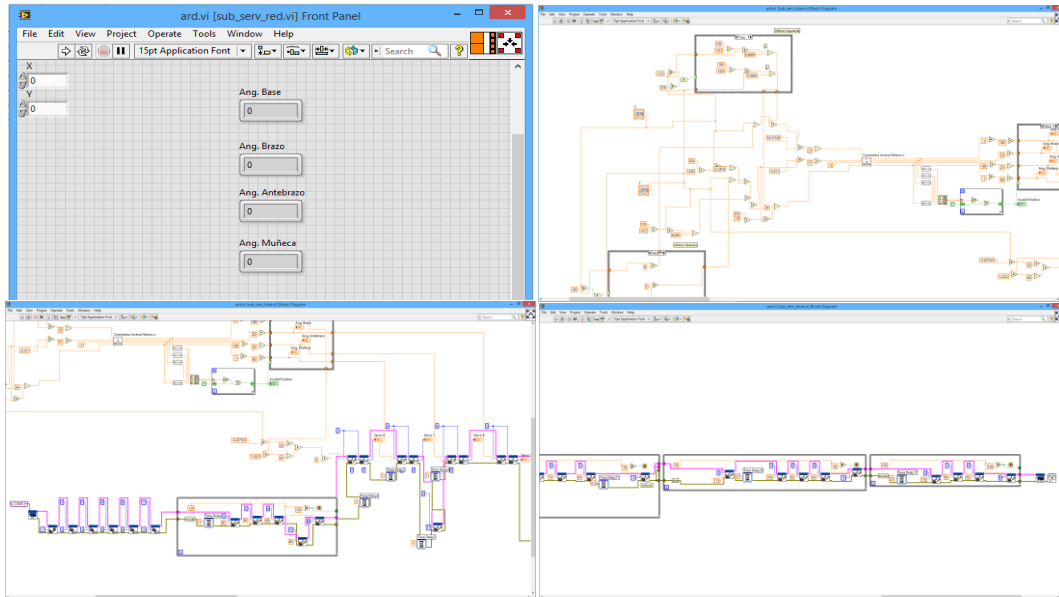
Sub servo Blue, sub servo Green, sub servo Red

Estas subvis desarrolladas permiten que el brazo robot calcule la posición en la que se encuentra el objeto colocado en el área de trabajo, para luego recogerla y depositarla un área referente a su color.



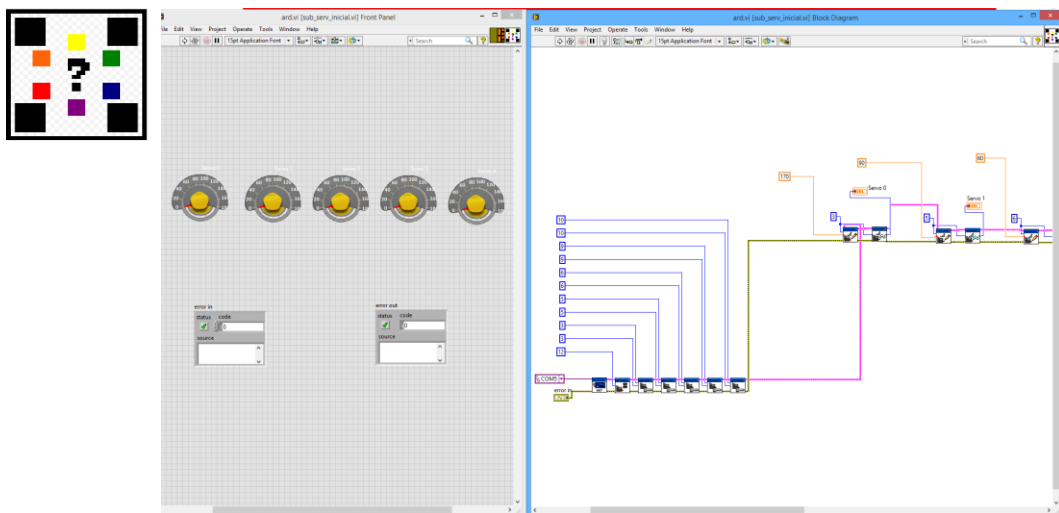
En las imágenes se visualizan los logos que representan cada uno de los subvis desarrollados.

A continuación se presenta un fragmento de la programación desarrollada para el funcionamiento de los subvis mostrados.



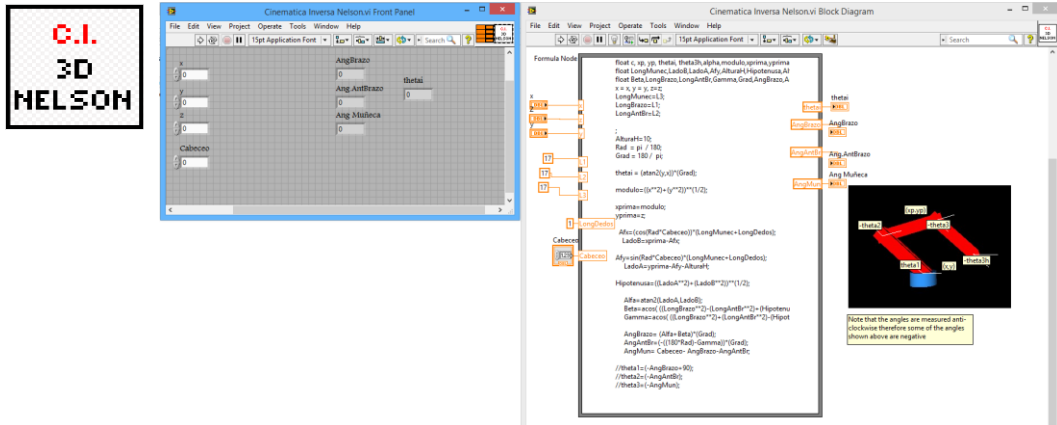
Sub servo inicial.

A continuación se presenta el siguiente subvi. Permite que el brazo robot adopte una posición fija antes o después de realizar cualquier maniobra.



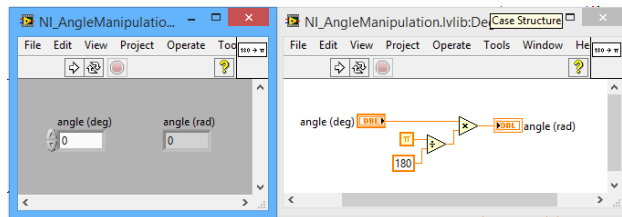
Cinemática Inversa.

Aquí es donde se almacenan las fórmulas aplicadas para la resolución en tres dimensiones del problema cinemático inverso del brazo robot.



Angle Manipulation.

Esta pequeño subvi, ayuda a realizar una conversión de unidades de grados a radianes.



ANEXO 3

MANUAL DE USUARIO

En este manual de usuario presenta de manera sencilla cada uno de los elementos requeridos para la inicialización y manejo de la aplicación del prototipo robot desarrollado en LabView.

Requisitos de la Aplicación.

1.- Primeramente, para poder ejecutar la aplicación del brazo robot, se necesitan de varios complementos que deben estar instalados junto con el software LabView. Los cuales son:

NI Vision Development.

NI Labview Robotics.

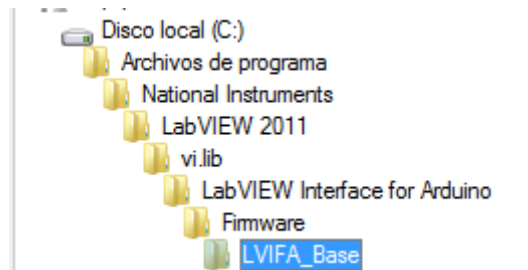
NI LabView Interface for Arduino.

2.- Conecte la placa Arduino al puerto USB de la computadora, si es la primera vez necesitara instalar los drivers de la tarjeta utilizada, en este caso Arduino uno (los drivers los puede descargar del internet). Una vez instalado, al conectar la tarjeta Arduino aparecerá un globo con un mensaje de conexión exitosa.

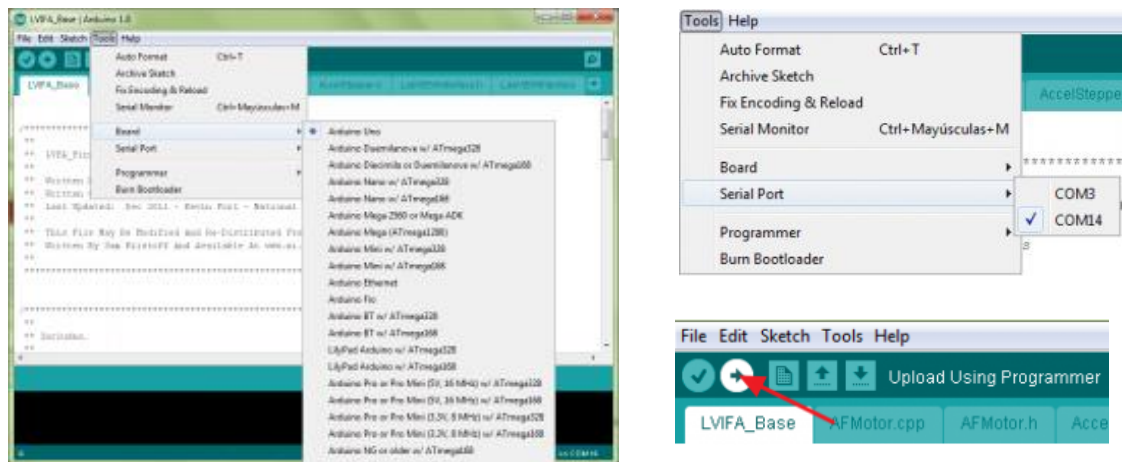


3.- Hora de programar el Arduino, para ello necesita un sketch llamado LIFA_Base, que es necesario para poder comunicar la tarjeta Arduino con

el software LabView. Este archivo se encuentra en la carpeta descargada con los complementos de Labview “NI LabVIEW Interface for Arduino”.



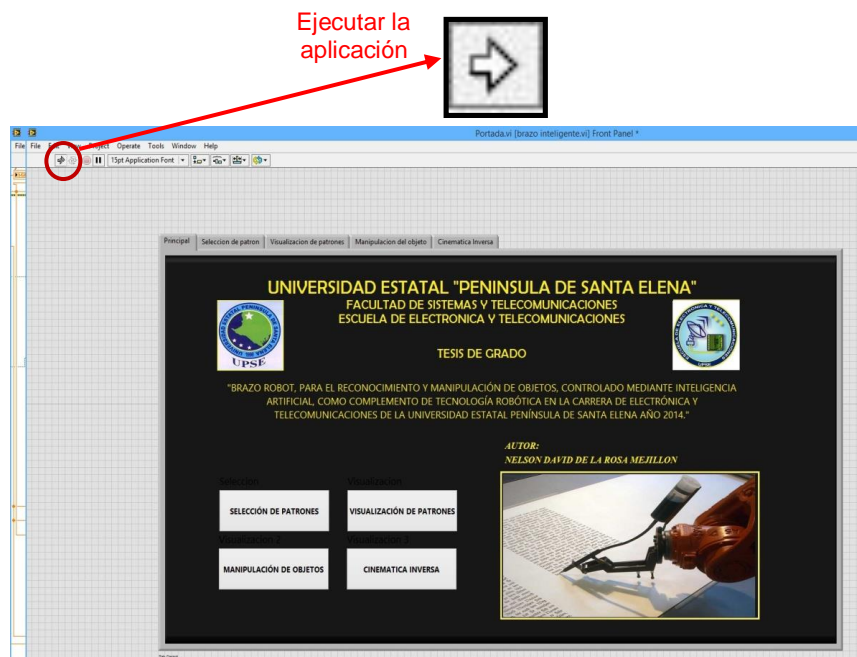
En el directorio LVIFA_Base, se encuentra el archivo LVIFA_Base.pde que es el sketch que debe abrir. Se abrirán además todas las librerías. En el software de Arduino se selecciona el tipo de placa y el número de puerto utilizado para poder enviar el programa hacia la tarjeta Arduino uno.



Eso es todo. Con esto ya tiene lista la placa Arduino para comunicarse con LabView y no es necesario enviar el programa cada vez que se conecte la tarjeta a la computadora.

Aplicación del Prototipo

4.- Abra la aplicación desarrollada en LabView. Se presentará la ventana principal de la aplicación donde se visualizará un menú con cuatro opciones, las cuales se detallarán más adelante. Ejecute la aplicación dando clic en el botón de compilación como indica la siguiente imagen.

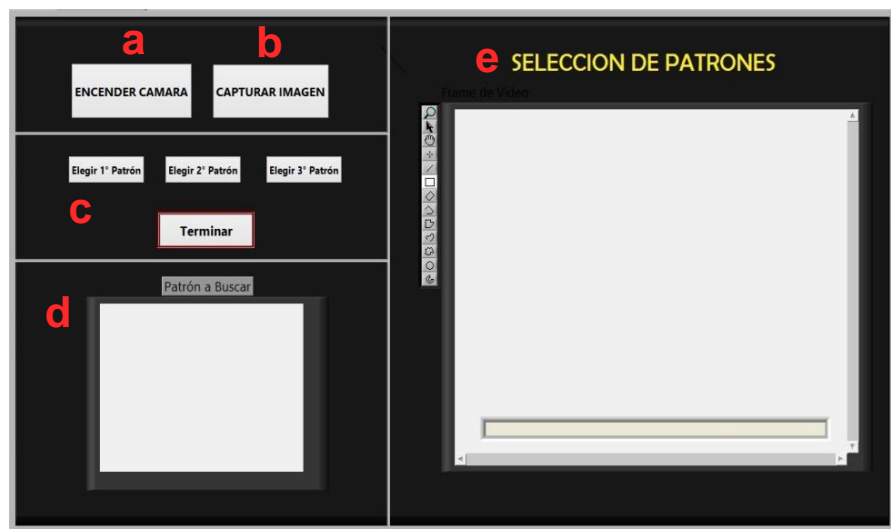


5.- Si seleccionó el botón **“SELECCIÓN DE PATRONES”** aparecerá otra ventana en la cual podrá realizar la selección de patrones o reemplazar las ya existentes.

A continuación se detallará de mejor manera la función de cada botón presente en esta parte de la aplicación.

- a) **ENCENDER CÁMARA:** Este botón permite encender la cámara web conectada al computador, dando paso al censado continuo de la imagen “stream de video”, captando el medio exterior.

- b) **CAPTURAR IMAGEN:** Al presionar este botón se tomara una foto, similar a la captura de imagen que realiza una cámara fotográfica.
- c) **ELEGIR PATRONES:** En esta sección tiene la posibilidad de seleccionar la imagen del patrón del objeto y almacenarlo en la memoria de la computadora. Cuenta con tres botones para el almacenamiento, por lo tanto almacenará hasta tres patrones. Una vez finalizada la selección puede presionar el botón terminar para regresar al menú principal o realizar una nueva selección.
- d) **PATRÓN A BUSCAR:** En este pequeño cuadro podrá visualizar la imagen del patrón seleccionado y almacenado.
- e) En este cuadro de mayor dimensión puede visualizar la imagen que capta la cámara una vez encendida, además le da la oportunidad de seleccionar mediante un cuadro indicativo, la imagen de patrón a almacenar.



6.- Si seleccionó el botón **“PATRONES GUARDADOS”** aparecerá una ventana en la cual podrá visualizar los patrones almacenados en la memoria de la computadora.

A continuación se detallará de mejor manera la función de cada sección que conforma la presente ventana.

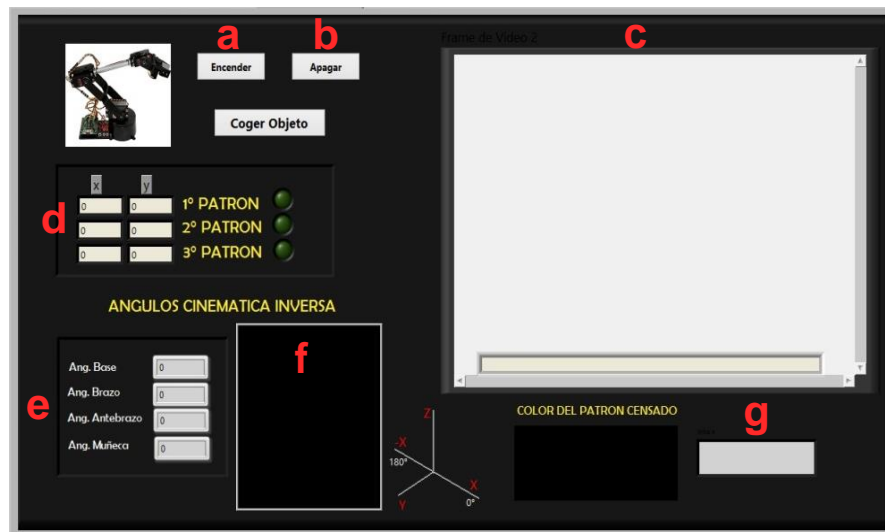
- a) En este cuadro podrá visualizar la imagen del patrón que se encuentra almacenado actualmente en la memoria de la computadora.
- b) Este segmento muestra la composición de color de la imagen de patrón, en base a la intensidad de colores primarios RGB representados en valores numéricos.
- c) Esta sección le muestra el color que tiene la imagen de patrón reconocida por la aplicación.
- d) Este botón le permitirá regresar al menú principal cuando lo desee.



7.- Si seleccionó el botón **“MANIPULACIÓN DE OBJETOS”** aparecerá una ventana en la que el robot podrá realizar la tarea de reconocimiento y manipulación de los objetos mediante visión artificial.

A continuación se detallará de mejor manera la función de cada botón presente en esta parte de la aplicación.

- a) ENCENDER: Este botón le permitirá encender la aplicación para realizar la identificación y manipulación de objetos.
- b) APAGAR: Este botón le permite apagar la aplicación de la manipulación de objetos y le da la opción de regresar al menú principal o continuar con la práctica.
- c) En este cuadro puede observar lo que el robot observa a través de su cámara. Cuando le presentan un objeto reconocido, lo marcará y seguirá mediante un cuadrado de colores.
- d) Esta sección le permite visualizar las coordenadas del objeto censado en el espacio, dados en dos dimensiones (x,y). Además cuenta con un indicador led que se enciende cada vez que identifica un objeto.
- e) Esta sección corresponde a los datos proporcionados por el cálculo cinemático inverso aplicados a este brazo robot.
- f) Este cuadro representa una pequeña simulación de la posición que adopta el brazo en dependencia de la colocación del objeto. Toma los ángulos proporcionados por el cálculo de la cinemática inversa del robot.
- g) En esta sección se muestra el reconocimiento de color para cada objeto censado.



8.- Si seleccionó el botón **“CINEMÁTICA INVERSA”** aparecerá una ventana en la que podrá realizar una práctica de cinemática inversa con el brazo robot para comprender mejor su funcionamiento.

A continuación se detallará de mejor manera la función de cada sección en esta parte de la aplicación.

- a) ENCENDER: Este botón le permite encender la aplicación para la práctica de cinemática inversa.
- b) APAGAR: Este botón le permite apagar la aplicación de la práctica de cinemática inversa y le da la opción de regresar al menú principal o seguir con la práctica.
- c) Este cuadro le permite visualizar en forma de simulación gráfica los movimientos efectuados por el brazo robot.

- d) En esta sección se visualiza un led. Cuando se enciende indica que la posición adoptada por el brazo esta fuera de los límites de posicionamiento y que puede dañar el brazo robot físico si es que está conectado.
- e) En esta sección se ubican los controles para manipular el brazo robot de forma manual, existen cuatro controles x,y,z que sirven para posicionar el brazo robot en el espacio dado en tres dimensiones. El control de cabeceo es un ángulo de inclinación que se le da al brazo en la parte de la muñeca.
- f) En esta sección se visualiza el movimiento de los ángulos que adopta el brazo robot

