



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
COMUNICACIONES

**TEMA:**

---

“SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE  
VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL.”

---

Proyecto de Trabajo de Graduación.

Modalidad: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Robótica.

**AUTOR:** Eduardo Luis Guanín Tenelema.

**TUTOR:** Ing. Juan Pablo Pallo N ,Mg.

Ambato - Ecuador

Diciembre , 2015

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema: “SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”, del señor: Eduardo Luis Guanín Tenelema, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad técnica de Ambato

Ambato, Diciembre de 2015

EL TUTOR

---

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Diciembre de 2015

Eduardo Luis Guanín Tenelema.

---

CC: 180465414-1

## APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes PhD. Víctor Andaluz, Ing.Mg. Santiago Collantes, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”, presentado por el señor Eduardo Luis Guanín Tenelema de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales Lozada, Mg

---

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

PhD. Víctor Andaluz

Ing.Mg. Santiago Collantes

---

DOCENTE CALIFICADOR

---

DOCENTE CALIFICADOR

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mis padres quienes me dieron la vida, me brindaron amor, educación y su apoyo incondicional.*

*A mi padre Oswaldo por brindarme los recursos necesarios y por estar a mi lado apoyándome y aconsejándome en todo momento.*

*A mi madre Marlene, por cuidarme y hacer de mí una mejor persona con sus consejos, cariño y amor.*

*A mis hermanos Edison Y José por apoyarme en todo momento y brindarme su amor fraternal en las buenas y en las malas.*

*A mis compañeros y amigos con quienes compartimos momentos importantes, por brindarme su amistad y apoyarme siempre.*

*Eduardo Luis Guanín T.*

## AGRADECIMIENTO

*Gracias a mi familia por creer en mí, ayudándome a vencer todas las dificultades encontradas, haciendo de mí una mejor persona con sus consejos y sabiduría, por estar siempre a mi lado brindándome su amor y su apoyo moral y económico.*

*Un agradecimiento especial a mi tutor Ing. Juan Pablo Pallo por ayudarme hacer posible esta tesis, por guiarme y forjarme como un profesional en esta etapa universitaria.*

*A mis compañeros con quienes compartimos esta trayectoria de aprendizaje y hacer una buena amistad.*

*Gracias a todas esas personas que me ayudaron a cumplir con este objetivo con éxito.*

*Eduardo Luis Guanín T.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA</b>	<b>iii</b>
<b>APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>vi</b>
<b>Introducción</b>	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO 1 El problema</b>	<b>1</b>
1.1 Tema de Investigación. . . . .	1
1.2 Planteamiento del problema. . . . .	1
1.3 Delimitación . . . . .	2
1.3.1 Delimitación de Contenido: . . . . .	2
1.3.2 Delimitación Espacial: . . . . .	2
1.3.3 Delimitación Temporal: . . . . .	2
1.4 Justificación. . . . .	2
1.5 Objetivos . . . . .	3
1.5.1 General . . . . .	3
1.5.2 Específicos . . . . .	3
<b>CAPÍTULO 2 Marco Teórico</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes Investigativos. . . . .	4
2.2 Fundamentación teórica. . . . .	6
2.2.1 Robótica. . . . .	6
2.2.2 Robótica Industrial. . . . .	6
2.2.3 Proceso de producción industrial. . . . .	6
2.2.4 Clasificación de los robots. . . . .	7
2.2.4.1 Robots móviles o de servicio. . . . .	7

2.2.4.2	Robots Industriales. . . . .	8
2.2.4.3	Clasificación de robots industriales según la Federación Internacional de Robótica (IFR). . . . .	8
2.2.5	Características de los Robots Industriales. . . . .	10
2.2.6	Ventajas y Desventajas de los robots secuenciales. . . . .	13
2.2.7	Tipos de configuraciones para brazos robóticos. . . . .	13
2.2.8	Volumen de trabajo de un robot. . . . .	16
2.2.9	Grados de libertad de los robots. . . . .	17
2.2.10	Arquitectura general de un sistema robótico. . . . .	18
2.2.11	Estructura mecánica de un robot. . . . .	19
2.2.11.1	Articulaciones. . . . .	19
2.2.11.2	Transmisores. . . . .	20
2.2.11.3	Reductores. . . . .	20
2.2.11.4	Accionamiento Directo (Direct Drive DD). . . . .	20
2.2.11.5	Actuadores. . . . .	21
2.2.11.6	Elementos Terminales. . . . .	22
2.2.12	Cinemática del robot. . . . .	23
2.2.12.1	Problema Cinemático Directo. . . . .	24
2.2.12.2	Algoritmo de Denavit- Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo. . . . .	24
2.2.12.3	Problema Cinemática Inversa. . . . .	30
2.2.13	Aplicaciones de los robots industriales. . . . .	30
2.2.14	Inteligencia artificial. . . . .	31
2.2.15	Visión artificial . . . . .	31
2.2.16	Procesamiento Digital de Señales (DSP's). . . . .	32
2.2.17	Procesamiento Digital de Imágenes. . . . .	34
2.2.18	Tipos de Imágenes. . . . .	37
2.2.19	Voz Humana. . . . .	42
2.2.20	Reconocedores de voz. . . . .	43
2.2.20.1	Clasificación de los Reconocedores de Voz. . . . .	47
2.2.21	Aplicaciones del reconocimiento del Habla. . . . .	49
2.2.22	Sistemas de control. . . . .	50
2.3	Propuesta de Solución. . . . .	51

**CAPÍTULO 3 Metodología 52**

3.1	Modalidad de la investigación. . . . .	52
3.1.1	Modalidad . . . . .	52
3.1.2	Nivel de Conocimiento . . . . .	52



3.2	Población y muestra. . . . .	52
3.3	Recolección de información. . . . .	52
3.4	Procesamiento y análisis de datos. . . . .	53
3.5	Desarrollo del proyecto. . . . .	53
<b>CAPÍTULO 4 Desarrollo de la Propuesta.</b>		<b>54</b>
4.1	Objetivos. . . . .	54
4.1.1	General. . . . .	54
4.1.2	Específicos. . . . .	54
4.2	Introducción. . . . .	54
4.3	Etapas para el desarrollo de la propuesta. . . . .	55
4.4	Análisis del los requerimientos del Sistema. . . . .	56
4.4.1	Brazo robótico para la implementación del prototipo. . . . .	56
4.5	Estudio y Selección de los componentes del Sistema Electrónico, Hardware y Software. . . . .	59
4.5.1	Hardware. . . . .	59
4.5.2	Software requerido para el Sistema. . . . .	71
4.6	Diseño e Implementación del sistema con la interfaz de usuario. . . . .	76
4.6.1	Procesamiento Digital de Imágenes. . . . .	76
4.6.2	Reconocimiento de Voz. . . . .	85
4.6.2.1	Diseño del circuito electrónico . . . . .	87
4.6.2.2	Establecimiento de comandos de Voz . . . . .	89
4.6.3	Implementación del Prototipo. . . . .	93
4.6.3.1	Programación. . . . .	102
4.6.3.2	Diseño del esquema Electrónico. . . . .	104
4.6.3.3	Sistema de Alimentación. . . . .	108
4.6.3.4	Hardware Implementado. . . . .	113
4.6.4	Construcción de las interfaz gráfica Hombre/ Robot en LabView. . . . .	115
4.6.5	Monitoreo del Sistema mediante la aplicación “Data Dashboard” para LabVIEW. . . . .	118
4.7	Pruebas de Funcionamiento. . . . .	121
4.8	Análisis de costos final. . . . .	123
<b>CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones.</b>		<b>126</b>
5.1	Conclusiones. . . . .	126
5.2	Recomendaciones. . . . .	126

**Bibliografia** 128

**ANEXOS** 133

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Robot actuando con equipos auxiliares en Procesos Industriales. . .	7
2	Estructuras Básicas de Manipuladores. . . . .	14
3	Configuración SCARA y Robot SCARA. . . . .	16
4	Volumen de trabajo de robot a) Cartesiano, b) Cilíndrico, c) Esférico.	17
5	Articulaciones y Movimientos de un Robot . . . . .	17
6	Arquitectura básica de un Sistema Robótico . . . . .	18
7	Tipos de Articulaciones . . . . .	19
8	Partes de un Robot Industrial . . . . .	22
9	Dispositivos de agarre y sujeción para Manipuladores Industriales.	23
10	Diagrama de relación entre cinemática Directa e Inversa . . . . .	24
11	Parámetros de Denavit- Hartenberg para una articulación rotatoria .	26
12	Algoritmo DH1 y DH2, robot esférico . . . . .	27
13	Algoritmo DH3, DH4, DH5, DH6, Robot esférico . . . . .	28
14	Algoritmo DH7, DH8, robot esférico . . . . .	29
15	Ejemplo de una Señal en tiempo Continuo . . . . .	33
16	Ejemplo de una Señal en tiempo Discreto . . . . .	33
17	Diagrama de un Sistema de Procesamiento Digital de Señales . . .	34
18	Configuración básica de un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes: adquisición, procesamiento. almacenamiento, visualiza- ción y comunicación con otros procesadores . . . . .	35
19	Representación de los Diferentes modelos de color, a) Imagen Real, b) Rojo, c) Verde y d) Azul.. . . . .	38
20	Modelo YIQ . . . . .	39
21	Tipos de Imágenes Digitales: a) RGB, b)Escala de Grises, c) Binario.	39
22	Ejemplo de Imagen Binarias . . . . .	40
23	Inspección de Objetos . . . . .	40
24	Medición del radio de un objeto con visión artificial. . . . .	41
25	Robot con Visión Artificial. . . . .	41
26	Identificación de fechas y caracteres mediante visión artificial . . .	42
27	Esquema en el reconocimiento de voz . . . . .	45

29	Espectro de la FFT en escala logarítmica . . . . .	46
28	Espectro obtenido de la FFT de un segmento de una vocal con una ventana de Hamming . . . . .	46
30	Espectro de potencia en dB transportado a la escala Mel . . . . .	47
31	Diagrama de bloques de un Reconocedor de Voz. . . . .	48
32	Esquema del Reconocedor. . . . .	49
33	Diagrama de un Sistemas de Control. . . . .	51
34	Diagrama de Bloques. . . . .	55
35	Brazo Robótico Antropomórfico 6 DOF Robot Arm Clamp garra y eslabones giratorios. . . . .	58
36	Circuito Arduino MEGA. . . . .	61
37	Circuito Arduino UNO. . . . .	62
38	Servomotor MG996R con engranajes metálicos. . . . .	63
39	Puente H, L293D; Conexión para un motor con giro a ambos lados; y con motores con giro en sentido único al lado derecho [1]. . . . .	64
40	Láser utilizado en el proyecto. . . . .	65
41	Diseño de la Banda Transportadora . . . . .	66
42	Cámara web Omega. . . . .	68
43	Posición de la Cámara web. . . . .	68
44	Módulo EasyVR Shield 3. . . . .	71
45	Entorno de Programación LabView. . . . .	72
46	Entorno de programación de Arduino. . . . .	73
47	Placa diseñada en EAGLE. . . . .	74
48	Software Proteus. . . . .	75
49	Software Matlab 2014. . . . .	75
50	Diagrama de bloques para la conexión del Sistema Electrónico. . . . .	76
51	Ajuste de tamaño de la imagen JPG; a) Imagen Real, b) Imagen Normalizada. . . . .	77
52	Transformación a escala de Gris; a) Color Original; b) Escala de Gris. . . . .	78
53	a) Imagen Original; b) Imagen en escala de grises; b) Histograma de la imagen. . . . .	78
54	Ecualización de las imágenes. . . . .	79
55	Filtro Lineal a) Imagen escala de grises con ruido; b) Imagen Filtrada. . . . .	80
56	Filtrado de Imágenes, a) Imagen en escala de Grises con ruido; b) Imagen filtrada con Filtro de Mediana. . . . .	81

57	Detección de Contornos; a) Imagen en escala de grises, b) Contorno de la imagen JPEG . . . . .	82
58	Menú de instrumentos virtuales de Vision and Motion . . . . .	82
59	Adquisición, procesamiento e interpretación de imágenes. . . . .	84
60	Secuencia para el reconocimiento de voz. . . . .	85
61	Muestreo de un comando de voz. . . . .	86
62	FFT de un comando de voz. . . . .	87
63	Diagrama de conexión EasyVR Shield 3 con Arduino UNO. . . . .	88
64	Conexión Electrónica, EasyVR-Arduino . . . . .	88
65	Ventana principal de la aplicación EasyVR Comander. . . . .	89
66	Edición de comandos Grupo 1, usados para el control del prototipo.	90
67	Tiempo de Dictado de la palabra. . . . .	91
68	Ejemplo de reconocimiento de un comando dicho. . . . .	92
69	Banda Transportadora. . . . .	93
70	Conexión del servomotor en la banda transportadora con el puente H L293D. . . . .	94
71	Elementos presentes en un momento de torsión o fuerza . . . . .	94
72	Conexión del servomotor MG996R . . . . .	95
73	Modelo del momento de torsión para el manipulador. . . . .	96
74	Ángulos en el plano X, Y para el movimiento del Robot. . . . .	97
75	Ángulos en el plano X-Z, para la función R,G,B del Robot . . . . .	98
76	Gráfica del movimiento de la base con respecto al tiempo. . . . .	100
77	Programación en LabVIEW, para el movimiento del Brazo Robótico.	101
78	Diagrama de Flujo para la implementación del Sistema de Control.	102
79	Diagrama de Flujo para el Reconocimiento de Voz . . . . .	103
80	Esquema Electrónico del sistema completo. . . . .	105
81	Conexión electrónica del panel de control. . . . .	106
82	Placas realizadas, a) Control mediante Pulsadores , b) Control de servomotores . . . . .	107
83	Placa terminada con los Componentes Electrónicos acoplados. . .	108
84	Partes de una fuente de Voltaje. . . . .	109
85	Tipos de encapsulamiento del rectificador tipo puente. . . . .	111
86	Diseño de la fuente reguladora en PROTEUS. . . . .	112
87	Fuente regulable de 24 VDC. . . . .	113
88	Hardware Implementado. . . . .	114
89	Representación Gráfica de un subVIs . . . . .	115
90	Pantalla Principal de Sistema Electrónico. . . . .	116

91	Código de la Pantalla Principal del Sistema de control implementado.	116
92	Software para la selección del modo de trabajo del Sistema. . . . .	117
93	Pantalla para el Control: a) Control por Voz, b) Control Manual .	117
94	Ejemplo de selección, con el color Rojo. . . . .	118
95	Control por Modo Manual. . . . .	118
96	Añadir variables compartidas al proyecto. . . . .	119
97	Variables Compartidas. . . . .	119
98	Configuración de la red para monitorear el sistema. . . . .	120
99	Monitoreo mediante la Tablet BLU.. . . .	120
100	Monitoreo de la variable compartida "Proceso Manual", a) ROJO, b) VERDE, c) AZUL . . . . .	121
101	Prueba para la clasificación de objetos. . . . .	121
102	Objeto Diferente. . . . .	122
103	Procesamiento de un objeto diferente. . . . .	122

## ÍNDICE DE TABLAS

1	Modos de operación de un Robot Secuencial. . . . .	8
2	Clasificación de los Robots. . . . .	10
3	Características de los robots según su Evolución. . . . .	12
4	Ventajas y Desventajas de los Robots. . . . .	13
5	Parámetros de Denavit-Hartenberg para el del robot esférico . . .	30
6	Filtros en el Dominio de la Frecuencia . . . . .	36
7	Filtros Lineales. . . . .	37
8	Clasificación de los Reconocedores de Voz.. . . . .	48
9	Aplicaciones del reconocimiento de voz. . . . .	50
10	Requerimientos del Brazo Robótico. . . . .	56
11	Características de los brazos Robóticos. . . . .	57
12	Plataformas de Hardware Libre. . . . .	59
13	Descripción de los Módulos Arduino. . . . .	61
14	Selección del servomotor. . . . .	62
15	Características del servomotor MG996R. . . . .	63
16	Características del sensor Láser. . . . .	65
17	Tipos y Descripción de Bandas Transportadoras. . . . .	66
18	Diferencias entre el sensor CCD y CMOS. . . . .	67
19	Sistemas de Iluminación. . . . .	69
20	Tipos de Módulos para el Reconocimiento de Voz . . . . .	70
21	Comandos de voz utilizados en el módulo Easonense. . . . .	92
22	Parámetros de Funcionamiento del servomotor. . . . .	97
23	Ángulos de los servomotores para el primer y segundo movimiento del robot. . . . .	99
24	Consumo se energía de los servomotores. . . . .	109
25	Características Principales del Prototipo. . . . .	114
26	Resultado de las pruebas aplicadas al sistema de voz. . . . .	123
27	Costos de Implementación. . . . .	124
28	Comparación respecto a otros sistemas de control. . . . .	125

## RESUMEN.

En el presente proyecto se indica el desarrollo de un prototipo, un sistema robótico orientado a la detección y clasificación de objetos de colores primarios RGB de acuerdo a una orden dictada por el usuario. Para la implementación se utilizó Arduino es decir, hardware libre para reducir costos y realizar el control del sistema de manera eficiente.

Sin duda, el sector en donde se utiliza la robótica es la industrial, cada vez se ven sistemas automáticos más avanzados, por tal motivo el presente proyecto está dirigido a éste sector, a través de toda la ingeniería que interviene en el diseño y la construcción del prototipo de control electrónico mediante comandos de voz para un robot con arquitectura antropomórfica, con características avanzadas como el sistema de visión artificial y el reconocimiento de voz, el cual a través de una cámara permite la identificación de objetos en el plano de trabajo para posteriormente ser clasificadas, la etapa de reconocimiento de voz permite controlar el robot a través de comandos preestablecidos, dichos por la persona encargada del sistema. Estas capacidades proporcionadas dan al robot la característica de ser muy útil en procesos de identificación y clasificación de objetos en la producción en una industria.

El software contiene una interfaz amigable y fácil de usar, diseñado por ventanas controlando cada secuencia del robot. A demás, un sistema de desplazamiento y detección de objetos, en el proyecto se aborda distintas temáticas relacionadas con sistemas de visión artificial y reconocimiento de voz que convergen para el desarrollo de un sistema inteligente.

**Palabras clave:** Brazo Robótico, comandos de voz, procesamiento de imágenes, software LabView, Arduino, detectar, clasificar y ordenamiento.



## ABSTRACT

In this project the development of a prototype, a project aimed at the detection and classification of objects of primary RGB colors according to an order issued by the robotic system user directed. Arduino that is free to reduce costs and make the system control hardware efficiently used for implementation.

Undoubtedly, the sector in which robotics is used is industrial, more advanced automatic systems are, for this reason that this project is aimed at this sector, through all the engineering involved in the design and construction of the prototype electronic control using voice commands to a robot with anthropomorphic architecture, with advanced features such as machine vision system and speech recognition, which through a camera allows identification of objects in the work plane to subsequently be classified, stage voice recognition lets you control the robot through preset commands, said the person in charge of the system. These capabilities give the robot provided the characteristic of being very useful in the process of identification and classification of objects in production in an industry.

The software has a friendly interface and easy to use, designed for windows controlling each robot sequence. In others, a movement system and object detection in various project topics related to computer vision and speech recognition converge to develop an intelligent system is addressed.

**Keywords:** Robotic Arm , voice commands, image processing, software LabView, Arduino, detect, classify and order.

## Glosario de términos y acrónimos

- **AC:** Corriente alterna.
- **BRILLO:** Indica si una área está más o menos iluminada.
- **CAD(Computer Aided Desing):** Diseño Asistido por Computadora
- **CCD:** Charge Coupled Devic- Dispositivo de Cargas Acopladas.
- **CMOS:** Complementary Metal Oxide Semiconductor- Semiconductor de Óxido de Metal Complementario
- **COLOR:** El color se forma mediante la combinación de los tres colores básicos rojo, verde y azul(inglés RGB), la combinación de éstos tres elementos pueden producir casi cualquier color del espectro visible que son más de 16 millones de colores.
- **CROMA:**Indica la coloración de una área respecto al brillo de un blanco de referencia.
- **DC:** Corriente Continua.
- **DOF:** Degrees of Freedom- Grados de Libertad.
- **DSP's:** Procesamiento Digital de Señales.
- **EAGLE:** (Easily Aplicable Graphical Layout Editor): es una potente aplicación para diseñar circuitos impresos y realizar esquemas electrónicos
- **IFR:** Federación Internacional de Robots.
- **IMAGEN:**La imagen es una pintura, una fotografía o cualquier otra forma de representación de un objeto o escena, cuya proyección de mundo de tres dimensiones es convertida en dos dimensiones.
- **IMAGEN DIGITAL:** La imagen digital es una matriz bidimensional de números reales o complejos representados por un número finito de bits
- **ISO:** Organización Internacional de Estándares.
- **LUMINOSIDAD:** Es el brillo de una zona respecto a otra zona blanca en la imagen.
- **PDI:** Procesamiento Digital de Imágenes.

- **PIC:** Programable Interrupt Controller.
- **PIXEL:** La menor unidad de color que forma parte de una imagen digital.
- **RAM:** Random Access Memory.
- **RIA:** Robotics Institute Of America.
- **ROM:** Read Only Memory.
- **SCARA:** Selective appliance arm robot for Asembly.
- **SRAM:** Static Random Access Memory.
- **TONO:** Indica si su área parece similar al rojo, amarillo, verde o azul, o alguna proporción de ellos.
- **UART:** (Universal Asynchronous Reciver-Transmitter)- Transmisor- Receptor Asíncrono Universal.
- **USB:** Universal Serial Bus.

## INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se implementa un prototipo de un sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial, se abordan los procesos de diseño, programación, construcción y control de un brazo robótico de seis grados de libertad con visión artificial y reconocimiento de comandos de voz, orientado a la detección, clasificación y traslado de objetos definidos dentro de un espacio de trabajo, al realizar la implementación del prototipo se utilizó las tarjetas de Arduino que esta diseñado con entradas y salidas analógicas y digitales, entradas y salidas PWM, para controlar los servomotores del brazo robótico.

En el primer capítulo se describe el problema de investigación, explicando las causas y consecuencias que lo originan, y por último los objetivos de la investigación .

El segundo capítulo presenta los antecedentes y se realiza una introducción a todo el marco teórico necesario para el desarrollo del proyecto. Se trata de una forma general los conceptos relacionados con la robótica y la teoría referida a las herramientas y etapas de la visión artificial y el reconocimiento de comandos de voz.

El tercer capítulo analiza las modalidades de investigación que sirven como guía para el proyecto y describe de manera general las etapas para el desarrollo del mismo.

El cuarto capítulo detalla paso a paso las etapas para la construcción del prototipo , además se describe las pruebas de funcionamiento del sistema completo.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, que se han podido extraer durante todo el desarrollo del sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial.

# CAPÍTULO 1

## El problema

### 1.1. Tema de Investigación.

“SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”.

### 1.2. Planteamiento del problema.

Hoy en día con el incremento de la demanda de producción de bienes y la necesidad de mejorar la calidad de vida, las industrias, empresas, hospitales e instituciones educativas han introducido máquinas automatizadas, llamados robots, tanto para realizar trabajos repetitivos y precisos como para ayuda a las personas, obteniendo de esta manera beneficios socio-económicos para las empresas.

En las estadísticas registradas por la Federación Internacional de Robots (IFR) consta que a nivel mundial hay un gran incremento en la creación y venta de robots para las grandes y pequeñas industrias, la mayoría son ensambladores de vehículos, soldadores, tratamientos térmicos, es decir, en donde el trabajo es muy peligroso, de alto riesgo en donde se manipulan elementos inflamables, corrosivos o cortantes y los accidentes laborales como quemaduras, cortes en alguna parte de las extremidades o en casos extremos la amputación o pérdidas de vidas humanas están presentes y se trabaja a doble jornada las 24 horas del día durante los 7 días de la semana[2].

En la actualidad el país cuenta con diferentes empresas aplicadas a la medicina, o a la fabricación de objetos , que tienen en sus líneas de producción robots, siendo un elemento indispensable en una gran parte de los procesos debido a la elevada exigencia en cuanto a la calidad de los resultados, en la provincia de Tungurahua existen industrias que elaboran objetos o piezas mecánicas, un conjunto de piezas diferentes llegan aleatoriamente a las bandas transportadoras para ser separadas en subconjuntos y enviadas a los diferentes puntos de distribución, el trabajo de identificar y ordenar los objetos de acuerdo a sus dimensiones, forma o color resulta muy tedioso y repetitivo para los humanos.

A nivel de la ciudad de Ambato también existen empresas, industrias y almacenes que han mejorado este tipo de tareas repetitivas al introducir robots en sus instalaciones, pero no por completo ya sea por falta de capital o por desconocimiento acerca de esta área de la tecnología, estas empresas tienen que enfrentar el hecho de que los robots que existen en los procesos de automatización industrial del país son importados, especialmente desde Japón, Corea y los Estados Unidos, y son muy caros.

### **1.3. Delimitación**

#### **1.3.1. Delimitación de Contenido:**

- Área académica: Física y Electrónica.
- Línea de investigación: Sistemas Electrónicos.
- Sublínea de investigación: Robótica.

#### **1.3.2. Delimitación Espacial:**

El presente proyecto se llevará a cabo en la Universidad Técnica de Ambato, en el salón del club de robótica de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

#### **1.3.3. Delimitación Temporal:**

El proyecto se realizó en los seis meses a partir de su aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial..

### **1.4. Justificación.**

El motivo de la realización de un sistema de control electrónico comandado por voz para un robot secuencial, es para tener una mayor eficiencia en la clasificación de objetos, es decir, en el proceso de detectar y ordenar piezas iguales y la eficiencia en la formación de pedidos en los almacenes de distribución hacia los puntos de venta, automatizando el proceso generando ganancias para estas líneas de producción, en las industrias existen muchas equivocaciones humanas en esta parte del proceso por el motivo de trabajar con ligereza al elegir y ordenar los objetos.

Es necesario mencionar la importancia de los sistemas robóticos secuenciales en muchas empresas que trabajan en ambientes contaminados o salas asépticas, en la cual el individuo no podría clasificar, ordenar, ni transportar el producto por el grado de peligro que conlleva trabajar en estos lugares, demostrando que la adaptación del prototipo es óptimo en determinados procesos, ya que el control del robot se lo realizará desde un lugar seguro a través de comandos de voz dichos por el operario.

Con el avance tecnológico los robots cada vez son más exactos y confiables debido a que tienen mayor control al interactuar con el hombre y su entorno, permitiendo solucionar este tipo de problemas que son tediosos, aburridos y repetitivos, sobre todo con una mayor seguridad, clasificando objetos eficientemente generando ganancias para el ámbito industrial, además permitirá investigar y aplicar los conocimientos adquiridos, fundamentado para trabajos de investigación posteriores ya que los resultados obtenidos tendrán gran utilidad práctica para los estudiantes de la facultad.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. General**

Implementar el prototipo de un Sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial.

### **1.5.2. Específicos**

- Definir los tipos de articulaciones para los movimientos de robot secuencial.
- Determinar el sistema de reconocimiento de voz aplicable al robot.
- Elaborar el circuito electrónico para la detección y el ordenamiento de objetos

## CAPÍTULO 2

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes Investigativos.

Después de revisar la biblioteca de la facultad y consultar los archivos de tesis de las diferentes Universidades y Escuelas Politécnicas si existen investigaciones acerca de sistemas robóticos que sirven como soporte para esta nueva investigación. Y son los siguientes:

##### Universidad Técnica de Ambato

“Diseño y construcción de un Brazo Robótico Industrial Comandado mediante un Sistema de Control Inalámbrico”.

Elaborado por la Srta: Verónica Alexandra Guilcaso Molina en enero de 2011, la cual indica el siguiente resumen[2]:

- “El brazo robótico implementado permitirá que sus movimientos realizados sean en forma inalámbrica, dando como resultado una mayor flexibilidad en momento de su manipulación por la ausencia de cables logrando que el operario maniobre sus movimientos sin necesidad de una completa cercanía al robot”.

##### Escuela Politécnica Nacional

“Aplicación de las Redes Neuronales al Reconocimiento de Objetos en Robots Manipuladores”.

Trabajo de investigación previo a la obtención del grado de master (MSc) del Sr: William Leopoldo Monar Monar en octubre del 2014, el cual indica la siguiente introducción de las redes neuronales en la robótica [3]:

- “La robótica es una tecnología multidisciplinaria de vanguardia que hace uso de los recursos de ciencia como. Mecánica, matemáticas, electrónica, informática, energía, visión e inteligencia artificial, lógica, algoritmos genéticos y redes neuronales; para que una máquina se llame robot debe poseer un grado de inteligencia, esto se debe a principalmente a los algoritmos computacionales unidos con un sistema de control, una de



las maneras de proporcionar inteligencia a una maquina es usando redes neuronales, en este trabajo se ha optado por el control de movimientos de brazos manipuladores”.

### **Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**

“Control Electrónico por Comandos de Voz para un Robot Zoomórfico tipo Mascota Interactiva”

Proyecto de grado del Sr. Ángel Vinicio Llanguin, y la Srta.Fátima Jackeline Llanos, Riobamba 2010, en la cual llegan a las siguientes conclusiones [4]:

- El diseño y construcción del robot Molly, comprobó satisfactoriamente que mediante técnicas de procesamiento de la voz se puede controlar un robot, debido a que este al escuchar una orden realiza los movimientos preestablecidos por el administrador.
- Se seleccionó el módulo de reconocimiento de voz, VRbot, de la empresa Microsystems Engineering, el cual demostró ser un potente y asequible módulo para el reconocimiento de voz. Las características y la interfaz gráfica que posee permitió realizar las órdenes del robot de una manera fácil y eficiente debido a que puede reconocer voces grabadas previamente en la memoria interna del módulo.

### **Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.**

“Diseño del Sistema de control basado en Software libre para un brazo robótico de seis grados de libertad con funcionalidad de Mecanizado y paletizado ”

Proyecto de grado del Sr. Edison Velasco, y el Sr.Javier Mamarandi, Latacunga 2014, en el cual indica el siguiente resumen [5] :

- “Se basa en un diseño y desarrollo para un brazo robótico que utiliza servomotores Dynamixel; El software empleado para dicho sistema es Paython que es un lenguaje de programación libre, brinda al proyecto de fiabilidad y factibilidad, resolviendo el problema de financiamiento que presentan varios sistemas robóticos ya que los software que vienen con ellos presentan grandes inversiones. “

## **2.2. Fundamentación teórica.**

### **2.2.1. Robótica.**

La robótica es una de las ciencias que se encarga del estudio de robots. Se ocupa del diseño, construcción y aplicaciones de los robots, mediante la combinación de diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control permiten la creación de máquinas únicas que hoy en día forman parte importante dentro del sector industrial[6].

### **2.2.2. Robótica Industrial.**

La robótica Industrial se encarga del uso, diseño y aplicaciones de robots manipuladores, en donde existe actividades mecánicas y repetibles, pueden usados en la automatización de producción industrial, el trabajo puede ser monótono que causa cansancio y agotamiento a los operarios, introduciendo posibles errores poniendo en peligro la integridad del trabajador a la vez que reduce la productividad, por eso dichos puestos pueden ser ocupados por robots aumentando la calidad, precisión y rapidez, superando a los de la mano humana[7].

Existen varias definiciones acerca de la robótica industrial, entre las principales tenemos las siguientes:

- DEFINICIÓN DEL ROBOTICS INSTITUTE OF AMÉRICA (RIA). Lo define como un manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de un programa de movimientos que realiza una tarea de manufactura específica
- DEFINICIÓN DE LA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTÁNDARES (ISO). Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular piezas, herramientas, o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas. Por tanto, es un dispositivo mecánico que utiliza elementos eléctricos y electrónicos para su control, capaz de realizar tareas industriales previamente programadas por el hombre en un lenguaje computacional[8].

### **2.2.3. Proceso de producción industrial.**

El proceso de producción producción industrial precisa de ciertos elementos como la materia prima, la mano de obra calificada y la utilización de una tecnología

que hoy en día es indispensable como son los robots.

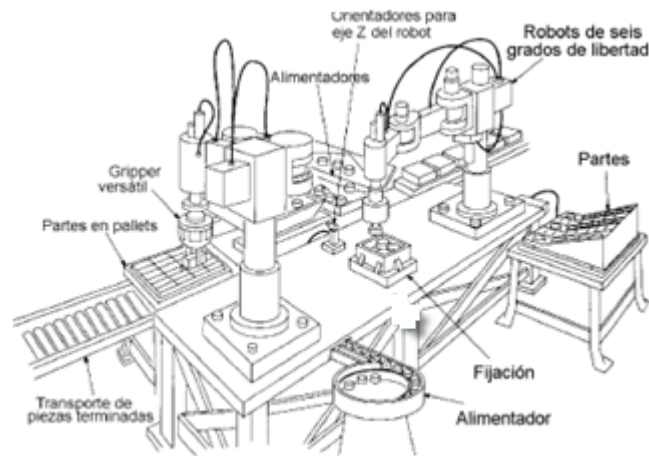


Figura 1: Robot actuando con equipos auxiliares en Procesos Industriales.

Fuente: V. Guilcaso, "Diseño y construcción de un brazo robótico comandado mediante un sistema de control inalámbrico" [[2]]

Como se observa en Figura1 : en un proceso industrial los robots no se usan aisladamente sino con variados equipos que deben ser seleccionados de modo de maximizar la eficiencia del proceso.

El resultado de las diferentes etapas de producción será el producto terminado. La mayoría de los procesos de producción industrial precisarán de dispositivos de maniobra flexibles, para realizar la actividad necesaria para la producción y se dará en un entorno que con la ciencia de la robótica se podrá modificar y mejorar la actividad industrial[2].

#### 2.2.4. Clasificación de los robots.

Durante el siglo XX, y gracias al considerable avance tecnológico, han ido progresivamente apareciendo diversos tipos de robots, primero en entornos industriales y en los últimos tiempos incluso en el mismo hogar.

Existen muchas clases de robots, pudiendo ser diferenciados de acuerdo a su arquitectura interna, tamaño, materiales con los que están hechos, los actuadores que utiliza como por ejemplo motores y transmisores, su sistema de locomoción u ordenadores que tenga a bordo[9].

##### 2.2.4.1. Robots móviles o de servicio.

Los robots de servicio son dispositivos electromecánicos móviles o estacionarios, dotados de uno o varios brazos mecánicos, controlados por un ordenador y que realizan tareas de servicio, no industriales.

Dentro de esta categoría están los robots especiales utilizados como ayuda a minusválidos, los robots de laboratorio, los robots didácticos, los robots que se utilizan en operaciones de alto riesgo, los robots de exploración submarina, entre otros.

#### 2.2.4.2. Robots Industriales.

Un robot industrial es un manipulador programable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variados, programados para la ejecución de distintas tareas[10].

#### 2.2.4.3. Clasificación de robots industriales según la Federación Internacional de Robótica (IFR).

La IFR clasifica a los robots de la siguiente manera:

- *Robots manipuladores o secuenciales.*

Son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos, de los siguientes modos como se describe en la Tabla 1:

Tabla 1: Modos de operación de un Robot Secuencial.

Modo Manual	Cuando el operario controla directamente la tarea del manipulador
Modo de secuencia Fija	Cuando se repite de forma invariable el proceso preparado previamente
Modo de secuencia variable	Se pueden alterar algunas de las características de los ciclos de trabajo

Fuente: El Investigador

Existen muchas operaciones básicas que pueden ser realizadas óptimamente mediante manipuladores, por lo que se debe considerar seriamente el empleo de estos dispositivos, cuando las funciones de trabajo sean sencillas y repetitivas.

- *Robot de Trayectoria Contable.*

Son manipuladores que se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar.

En este tipo de robots, el operario en la fase de enseñanza, se vale de una pistola de programación con diversos pulsadores o teclas, o bien, de joystics, o bien utiliza un maniquí, o a veces, desplaza directamente la mano del robot.

Los robots de aprendizaje son los más conocidos, hoy día, en los ambientes industriales y el tipo de programación que incorporan, recibe el nombre de "gestual"

- *Robot Adaptativo.*

Son sistemas de alta tecnología con mayor capacidad sensorial y de interfaz. El nivel de inteligencia de esta tecnología es mayor, permitiendo su programación en forma adaptativa.

Esto le permite al robot localizar, asir, mover o soltar objetos distribuidos al azar. Durante este procedimiento, el controlador puede corregir la posición, velocidad y fuerza.

De esta manera después de cierto tiempo el robot estaría capacitado para reconocer su ambiente y desenvolverse con soltura en él, interactuando con otras máquinas controladas por computador.

- *Robot Tele-manipulado.*

Organización Internacional de Normalización (ISO) “Un robot que puede ser controlado remotamente por un operador humano, extendiendo las capacidades sensoriales y motoras de este a localizaciones remotas”.

Además de la clasificación que realiza la IFR, existen otras formas de clasificación de los robots como por ejemplo la AFRI (Asociación Francesa de Robótica Industrial), en la Tabla 2 se visualiza las diferentes clases de robots.

Tabla 2: Clasificación de los Robots.

Según la AFRI	<p>TIPO A: Manipulador con control manual o telemando.</p> <p>TIPO B: Manipulador automático con ciclos pre ajustados; control por PLC.</p> <p>TIPO CD: Robot Programable con trayectoria continua o punto a punto, carece de conocimiento sobre su entorno.</p> <p>TIPO D: Robot capaz de adquirir datos de su entorno</p>
Según su generación	<p>1 Generación: Repite la tarea programada secuencialmente.</p> <p>2 Generación: Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. puede localizar, clasificar etc.</p> <p>3 Generación: Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural, posee capacidad para la planificación automática de tareas.</p>
De acuerdo a sus funciones	<p>Clase 1: Coger y dejar.</p> <p>Clase 2: Seguir trayectoria</p> <p>Clase 3: Montaje de detalles</p>
De acuerdo a su aprendizaje	<p>Robots manuales: sus movimientos son controlados por el hombre.</p> <p>Robots autónomos de secuencia fija: Permite gobernar el movimiento de sus elementos de forma autónoma pero no es posible alterar sus operaciones.</p> <p>Robots de secuencia variable: Permite gobernar el movimiento de sus elementos de forma autónoma, también es posible alterar sus operaciones.</p> <p>Robots programables: Pueden ser programados mediante lenguajes específicos o mediante aprendizaje, un operador enseña inicialmente, el sistema las memoriza y se limita a repetirla indefinidamente.</p> <p>Robots Inteligentes: Son sistemas mecánicos multifuncionales controlados por computador, capaces de relacionarse con su entorno y reaccionar ante sus modificaciones.</p>
De acuerdo al control de su trayectoria	<p>Control de trayectoria punto a punto: El robot es programado para realizar una pausa en cada punto para planear el siguiente paso.</p> <p>Control de trayectoria continua: Tiene un movimiento más suave a lo largo de la trayectoria.</p>
De acuerdo a su sistemas de Coordenadas	<p>Robots de coordenadas cartesianas.</p> <p>Robot de coordenadas cilíndricas.</p> <p>Robot de coordenadas esféricas.</p> <p>Robot de brazo articulado.</p> <p>Robot SCARA.</p>
Robots Móviles	<p>Robots acuáticos.</p> <p>Robots Terrestres</p> <p>Robots voladores.</p>

Fuente: El Investigador.

### 2.2.5. Características de los Robots Industriales.

Sus principales características son: precisión, capacidad de repetición de una tarea, capacidad de carga, capacidad de control manual, capacidad de control

automático, velocidad de operación, interface con la computadora, seguro y de fácil mantenimiento[11].

- La precisión de un brazo manipulador dependerá de las tareas que se vaya a realizar.
- La capacidad de repetición de una tarea es justamente una de las razones por las cuales el hombre ha decidido crear robots, reemplazar al hombre en la ejecución de las tareas repetitivas y fastidiosas.
- La capacidad de carga dependerá evidentemente del peso y de las direcciones de los objetos a ser movidos.
- La capacidad de control manual se requiere del brazo manipulador, puesto que este, tiene que aprender algunas posiciones nuevas, en función de las distintas tareas que tiene que realizar.
- La capacidad de control automático, es usada dado que el robot tiene la capacidad de memoria.
- La velocidad de operación, debe ser al menos equiparable a la velocidad con la que un ser humano realiza la misma operación o tarea.
- La interface con la computadora, es importante para la sincronización de las tareas y movimientos tanto del robot como de la computadora que está encargada de controlar y monitorear los movimientos del robot.
- La seguridad y el mantenimiento sencillo, son dos características que contemplan la mayoría de robots industriales, los robots están provistos de sistemas de seguridad, que les permiten accionar frente a imprevistos o accidentes. También el mantenimiento fácil, debe ser una de sus principales cualidades.

Características de los robots manipuladores según su evolución:

En la Tabla 3 se indican algunas características de los robots clasificados según su evolución.

Tabla 3: Características de los robots según su Evolución.

Primera Generación	
Robot manipulador	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Solo realizan movimientos programados.</li> <li>■ Sistemas de controles sencillos, multifuncionales y flexibles.</li> <li>■ Aceptan modificaciones en el programa sin cambiar su estructura.</li> <li>■ No recogen información del entorno.</li> </ul>
Segunda generación	
Robot con aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mismas características que las de la primera generación</li> <li>■ Repiten una secuencia de movimientos que ha sido ejecutada previamente por un operador humano utilizando un dispositivo mecánico</li> <li>■ Memorizan esas secuencias.</li> </ul>
Tercera Generación	
Robot con control sensorizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mismas características de la segunda generación.</li> <li>■ Posibilidad de una comunicación con el entorno que los rodea.</li> <li>■ El controlador es un ordenador que ejecuta las órdenes del programa.</li> </ul>
Cuarta generación	
Robot Inteligente	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mismas características de la tercera generación</li> <li>■ Robots dotados de inteligencia artificial.</li> <li>■ Disponen de sensores que dan información sobre el estado del proceso.</li> <li>■ El control del proceso se produce en tiempo real</li> </ul>

Fuente: El Investigador, [12].



### 2.2.6. Ventajas y Desventajas de los robots secuenciales.

El robot presenta un cierto número de ventajas y desventajas sobre el ser humano que se puede resumir en los siguientes aspectos como se muestra en la Tabla 4 :

Tabla 4: Ventajas y Desventajas de los Robots.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Ignora el cansancio. No hay que pagarle.</li><li>■ Asegura la calidad de la producción, mayor productividad.</li><li>■ No necesita condiciones de trabajo particulares como aire acondicionado, luz, agua, etc.</li><li>■ Gran variedad de herramientas como pistolas de pintura, sierra, soldadores, destornilladores, etc.</li><li>■ Capacidad de carga hasta una tonelada en modelos grandes.</li><li>■ Pueden memorizar hasta más de 2000 movimientos.</li><li>■ La memoria es absoluta, no se altera con el tiempo, a no ser que se borren con una orden.</li><li>■ Tiempo de reacción aproximadamente 1/100 segundos.</li><li>■ Motivación no necesaria.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ En general, fijos en un lugar determinado, a excepción de los robots móviles.</li><li>■ En general un solo brazo.</li><li>■ Inteligencia limitada, puede aprender y superar situaciones no previstas, pero su capacidad de juicio es reducida.</li><li>■ Decodifican la información más lentamente que un ser humano.</li><li>■ Adaptado a un abanico de condiciones de trabajo más limitado que el ser humano, por ejemplo, los sensores ópticos funcionan dentro de unos límites precisos y de intensidad de luz.</li><li>■ Necesidad de mantenimiento y de revisiones periódicas</li></ul>

Fuente: R. Iñigo, E. Vidal.” Robots industriales manipuladores”, Univ. Politéc. De Catalunya, 2002.

### 2.2.7. Tipos de configuraciones para brazos robóticos.

En ocasiones se habla de la configuración de un robot, cuando se habla de la forma física que se le ha dado al brazo del robot. En la Figura 2 se muestra cuatro configuraciones básicas de un brazo del manipulador:

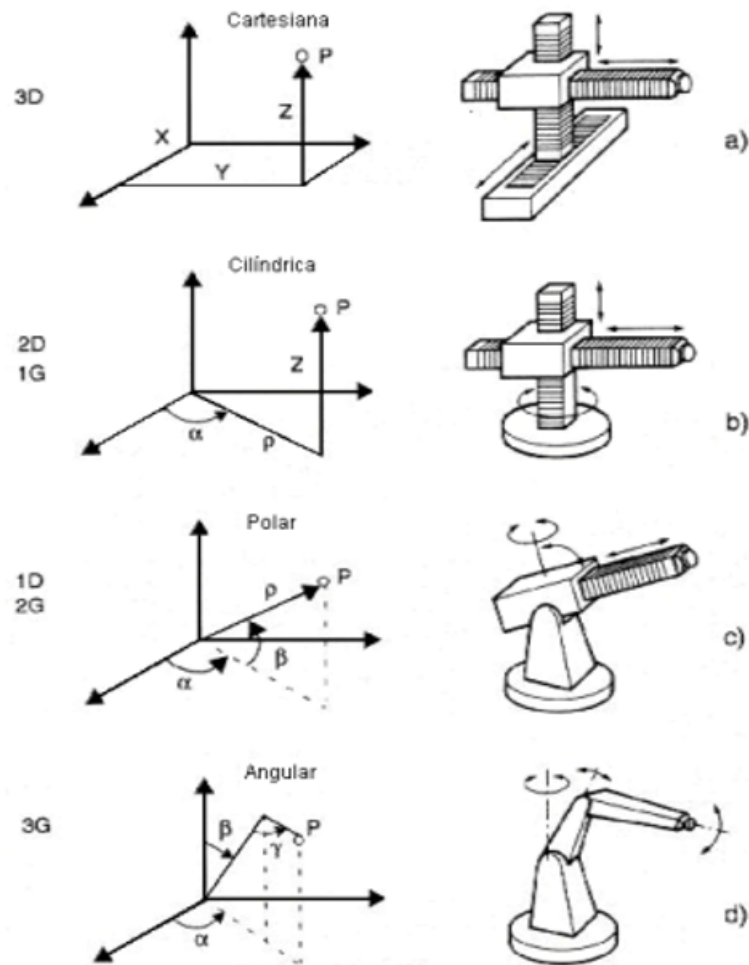


Figura 2: Estructuras Básicas de Manipuladores.

Fuente: D.A.Ramírez, "Intergración de la estación robótica industrial Yamaha yk550h-qrch al sistema de manufactura flexible de la empresa Nissan time México" (2005) [13].

Estas estructuras tienen propiedades en cuanto a espacio de trabajo y accesibilidad a posiciones determinadas, que se las detalla a continuación:

- **Configuración Cartesiana.**

La configuración cartesiana da lugar a robots de alta precisión, velocidad y capacidad de carga constante en todo su alcance, amplia zona de trabajo y simplificación del sistema de control. Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión y en los casos en que la zona de trabajo sea básicamente un plano.

Como se observa en la Figura 2 a), la configuración cartesiana tiene tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los que corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z, presentando así un volumen de

trabajo regular en forma cúbica, hacia arriba, abajo, izquierda, derecha, adelante y atrás.

#### ■ **Configuración Cilíndrica**

Su eje rotacional hace que este robot presente unas mejores maniobrabilidad y velocidad que el robot cartesiano. Su aplicación principal se encuentra en instalaciones sin obstáculos, en las que las máquinas se distribuyan radialmente y el acceso al punto deseado se realice horizontalmente.

La configuración cilíndrica puede realizar dos movimientos lineales en los ejes r y Z y un movimiento rotacional localizado en  $\theta$ , visualizados en la Figura 2 b) , presentando así un volumen de trabajo parecido a un cilindro, normalmente este tipo de robot no tiene una rotación de 360 grados.

#### ■ **Configuración Polar.**

La configuración polar tiene varias articulaciones, cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal como se muestra en la Figura 2 c). Éste robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción. Su accesibilidad es mejor que la de los robots cartesiano y cilíndrico, así como también su capacidad de carga.

Este tipo de robots presenta ciertos inconvenientes, como la dificultad de controlar un simple movimiento de traslación o la pérdida de precisión producida al trabajar con cargas pesadas y con el brazo muy extendido.

Los robots con la configuración polar presentan un volumen de trabajo irregular, tiene un movimiento lineal en r, un movimiento rotacional en  $\theta$  , y un movimiento rotacional en este caso es  $\beta$ .

#### ■ **Configuración Angular,de brazo articulado o Antropomórfica.**

Los robots con configuración angular presentan una gran maniobrabilidad y accesibilidad a zonas con obstáculos, ocupan poco espacio en relación a su alcance, son robots muy rápidos, que permiten trayectorias muy complejas. Estas características son las que hacen que la mayor parte de los robots industriales presenten esta configuración de sus tres ejes principales.

La configuración angular presenta una articulación con movimiento rotacional en  $\theta$  y dos movimientos angulares en  $\alpha$  y  $\beta$ , como se visualiza en la Figura 2 d).

#### ■ **Configuración SCARA ( Selective appliance arm robot for Asembly).**

Este tipo de configuración puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos movimientos rotacionales, también puede hacer un movimiento lineal, son ideales para aplicaciones de montaje superficial. Como se observa en la Figura 3 los motores actúan directamente sobre las articulaciones[14].

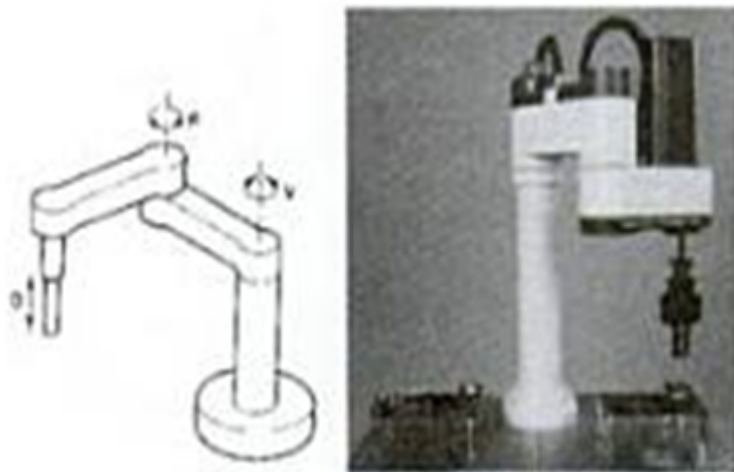


Figura 3: Configuración SCARA y Robot SCARA.

Fuente: A. García, F. Castillo , "El computador en la automatización de la producción", Universidad de Castilla, La Mancha (2007). [14]

#### **2.2.8. Volumen de trabajo de un robot.**

El volumen del trabajo se refiere al espacio en el cual puede desplazarse el extremo final del robot, para ilustrar lo que es un volumen de trabajo regular y un volumen de trabajo irregular se puede tomar como ejemplo varios robots, así en la Figura 4 se puede apreciar, que el robot cartesiano y el robot cilíndrico presentan volúmenes de trabajo regulares, el robot cartesiano representa un cubo mientras que el robot cilíndrico presenta un volumen de trabajo parecido a un cilindro, por otra parte los robots esféricos, los angulares y los SCARA tienen un volumen de trabajo irregular.

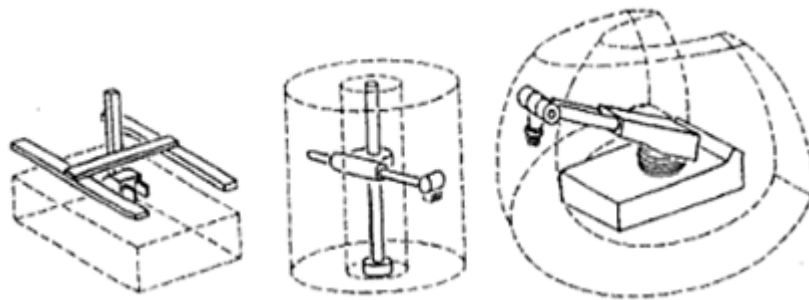


Figura 4: Volumen de trabajo de robot a) Cartesiano, b) Cilíndrico, c) Esférico.  
 Fuente: A. García, F. Castillo , "El computador en la automatización de la producción", Universidad de Castilla, La Mancha (2007) [14].

### 2.2.9. Grados de libertad de los robots.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar una articulación con respecto a la anterior se llama grados de libertad (GDL). El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los GDL de las articulaciones que los componen [15] . El diseño de un manipulador robótico se inspira en el brazo humano, es decir antropomórfico, por eso que a las uniones o articulaciones del manipulador se las denomina como:

Unión de cuerpo (Base- Cuerpo) .

Unión hombro (Cuerpo- Brazo) .

Unión codo (Brazo- Antebrazo).

Unión muñeca (Antebrazo- Aprensor).

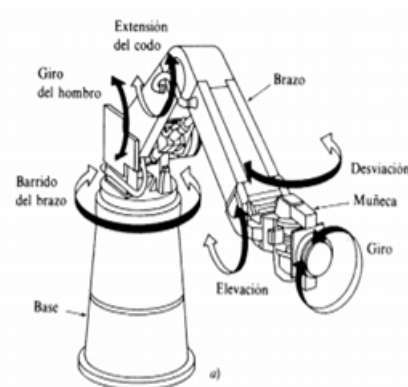


Figura 5: Articulaciones y Movimientos de un Robot .  
 Fuente: D. Cruz; V.Martínez , "Diseño y construcción de un prototipo de lista de almacenamiento y recuperación automática de productos" (2008) [15].

### 2.2.10. Arquitectura general de un sistema robótico.

Un sistema robótico estándar industrial, poseen sin distinción de un modelo de manipulador los mismos elementos constituyentes. Estos se consideran necesarios para en correcto desarrollo o aplicación con los robots, a pesar que pudiera existir subsistemas adicionales que completan el accionar del sistema en general. Considerando ciertas compañías que construyen robots , existen ciertas variaciones de la arquitectura en general, además de las aplicaciones específicas para los que algunos robot han sido diseñados, por ejemplo aunque los elementos que se muestran a continuación son indispensables complementos de la arquitectura en general, si consideramos los tipos de programación, el software o programa utilizado para la programación de secuencias puede ser representado de varias formas con la única restricción que implica utilizarlo para programar las sentencias del robot en cuestión.

En la Figura 6 se visualizan los elementos básicos de un sistema robótico.



Figura 6: Arquitectura básica de un Sistema Robótico .

Fuente: R. Escandón, "Interfaz de control para un brazo robot articulado basado en software de desarrollo integral" (2013) [16].

- Robot
- Cables.
- Unidad de Control.
- Unidad de Programación.

1. El robot, el modelo o tipo de robot es independiente del sistema, las características tales como velocidad, alcance y carga nominal, es decir variables propias de la estructura mecánica como tal.

2. Los cables de unión son los encargados de la transmisión de señales normalmente eléctricas desde el robot hacia el controlador y viceversa.
3. La unidad de control contiene los circuitos eléctricos y electrónicos de control, potencia, seguridad y comunicaciones, dependiendo del robot que se desea controlar este parámetro varia en tamaño y en ciertas especificaciones técnicas.
4. La unidad de programación normalmente esta ligado a la versión, y características de software y conectividad de la unidad de control, debido a que la unidad de programación es la interfaz de interacción directa con el usuario, es el espacio donde se realiza la programación y manejo del robot[16].

## 2.2.11. Estructura mecánica de un robot.

### 2.2.11.1. Articulaciones.

Los robots están constituidos a partir de una serie de eslabones rígidos conectados por juntas o articulaciones. El tipo correcto de articulación define como puede moverse un eslabón en relación al otro.

Las articulaciones pueden ser de dos tipos:

- Articulación prismática: permite realizar solo traslaciones lineales, de avance o retroceso.
- Articulación giratoria: permite realizar solo un movimiento de giro.

En la Figura 7 se indica cual es el grado de libertad de cada articulación, de acuerdo al tipo de articulación.



Figura 7: Tipos de Articulaciones .

Fuente:A. Renteria, M. Rivas, “Robótica Industrial: Fundamentos y Aplicaciones” (Pág: 17).

### 2.2.11.2. Transmisores.

Los transmisores como su nombre lo indica permite transmitir el movimiento desde los actuadores a las articulaciones, junto a los transmisores están muchas veces los reductores encargados de adaptar el torque y la velocidad de salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de cada una de las articulaciones del robot.

### 2.2.11.3. Reductores.

La utilización de reductores en la robótica es importante, sobre todo en los robots industriales, ya que se busca tanto precisión como velocidad de posicionamiento. Muchos son utilizados para aumentar el torque, pero con una disminución evidente de la velocidad, buscando además cumplir con un bajo peso, reduciendo tamaño y bajo rozamiento. Existe una limitación en cuanto al torque de salida nominal permisible ( $T_2$ ) que depende del torque de entrada ( $T_1$ ) y de la relación de transmisión a través de la relación.

$$T_2 = T_1 * \eta \frac{W_1}{W_2} \quad (2.1)$$

Dónde:

$T_1$ : Torque de entrada

$T_2$ : Torque de salida  $\eta$ : Rendimiento

$W_1$ : Velocidad angular de entrada

$W_2$ : Velocidad angular de salida.

Debido a que muchas veces los robots trabajan en ciclos cortos que implican continuos arranques y paradas, es muy importante que los reductores sean capaces de soportar picos elevados de torques.

### 2.2.11.4. Accionamiento Directo (Direct Drive DD).

Existen robots que poseen lo que se llama accionamiento directo, en el que va a mover, sin la utilización de un reductor intermedio. Las aplicaciones que entran dentro de este grupo, son aquellas donde se necesita combinar precisión con alta velocidad.

Entre las principales ventajas de la utilización de accionamientos directos se tiene las siguientes:

- Posicionamiento rápido y preciso.



- Mejor controlabilidad del sistema.
- Y sobre todo, la simplificación del sistema mecánico.

Mientras que los problemas comunes que se presentan son los siguientes:

- Motor a emplear con un torque elevado y con bajas revoluciones, manteniendo la máxima rigidez posible.
- En algunos casos representa mayores costos, en lo que se refiere al tipo de motor que se debe usar.
- El peso que representan los motores con la de los eslabones, afectan menormente al funcionamiento de la cinemática del robot, especialmente en aquellos cuya arquitectura también es afectada por la gravedad y el peso de sus elementos, lo que no sucede con el robot tipo SCARA.

#### **2.2.11.5. Actuadores.**

Como se observa en la Figura 8 , los actuadores son los encargados de generar el movimiento y de estos depende el funcionamiento de un robot. Antiguamente esa común la utilización de la hidráulica para el movimiento de los robots industriales, actualmente, con las ventajas que representa el uso de la electricidad, casi todos los robots utilizan energía eléctrica como fuente de energía.

Actuadores eléctricos: las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos:

- Motores de corriente continua (DC).
- Motores de corriente alterna (AC).
- Motores paso a paso.
- Servomotores.

Los servomotores son un tipo especial de motores DC, que se caracterizan por su capacidad para colocarse de forma casi inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación (0 a 180 grados).

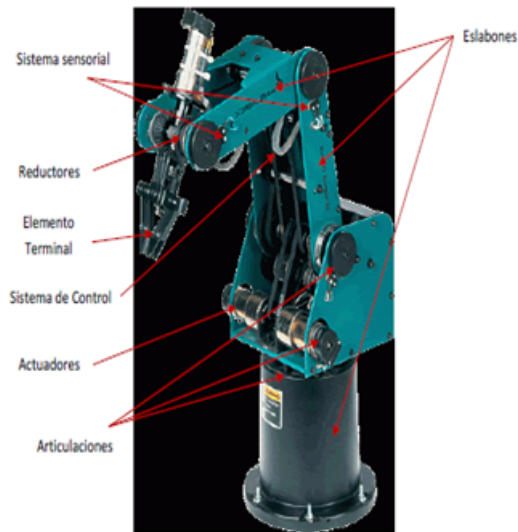


Figura 8: Partes de un Robot Industrial .

Fuente:D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando Matlab" (2010) [17].

#### 2.2.11.6. Elementos Terminales.

Es la mano que le proporciona al robot varias posibilidades más de movimiento, pueden ser herramientas de producción como garras o pinzas.

De acuerdo a la aplicación específica de un robot industrial se dispone de manos o herramientas las cuales sirven para: recoger piezas, pintar, soldar, cortar, etc. La flexibilidad en el trabajo se incrementa con la variedad de elementos finales que se pueden acoplar en la muñeca del robot, en la Figura 9 se presenta varios esquemas de mecanismos típicos empleados como efector final.

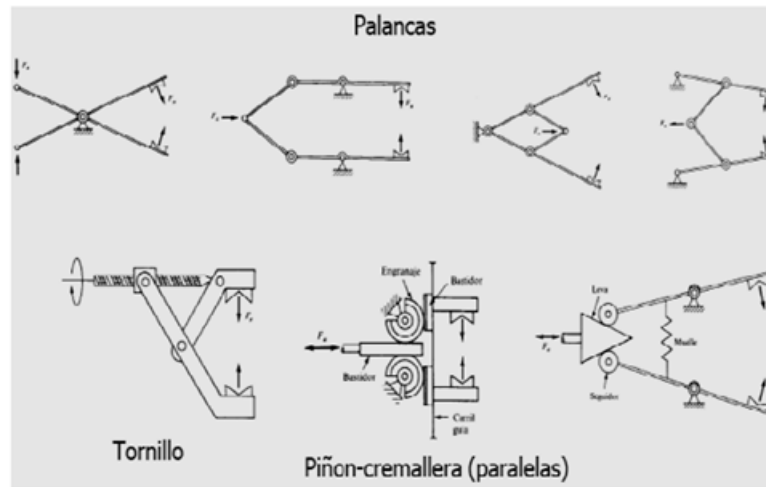


Figura 9: Dispositivos de agarre y sujeción para Manipuladores Industriales.  
 Fuente: A. Aguinaga, “Automatización en la industria, robótica”, Escuela Politécnica Nacional, MMDP, Quito, 2005, diapositiva 29.

### 2.2.12. Cinemática del robot.

La cinemática de un robot es la encargada de estudiar los movimientos con respecto a un sistema de referencia sin considerar las fuerzas que intervienen en él, es decir es la descripción analítica del movimiento espacial del robot, y en particular de 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 a resolver en la cinemática del robot; son el problema cinemático directo o cinemática directa, y consiste en determinar la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas tomado de referencia conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot; el segundo, denominado el problema cinemático inverso o cinemática inversa, resuelve la configuración angular que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas [17].

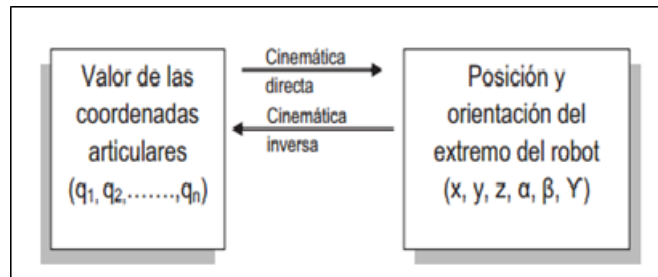


Figura 10: Diagrama de relación entre cinemática Directa e Inversa .  
 Fuente: L. Paredes, M. Chávez, "Diseño y Construcción de un sistema robótico dispensador de medios de cultivo para microorganismos" (2013) [18].

### 2.2.12.1. Problema Cinemático Directo.

Mediante la resolución de la cinemática directa se puede determinar la posición y orientación que adopta el extremo del robot cuando cada una de las variables que fijan la posición u orientación de sus articulaciones toman valores determinados, este problema se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación  $T$  que relacione la posición y orientación del extremo del robot con respecto a un sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Este sistema será función de las coordenadas articulares [18].

### 2.2.12.2. Algoritmo de Denavit- Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo.

MATRIZ DE DENAVIT- HARTENBERG [19].

La matriz homogénea que lleva el nombre de sus autores (Denavit-Hartenberg, o también conocido por sus siglas D-H), reduce el problema cinemático al encontrar una matriz de transformación  $4 \times 4$  que relaciona la localización espacial del extremo del manipulador con respecto a la referencia que usualmente son las coordenadas de la base del robot. Ésta es la matriz resultante de la multiplicación, ya normalizada, de cuatro matrices de la siguiente manera:

1. Matriz de traslación a lo largo de  $z$  y de distancia  $d$ .
2. Matriz de rotación alrededor de  $z$  y un ángulo  $\theta$ .
3. Matriz de traslación a lo largo de  $x$  y un valor de  $a$ .
4. Matriz de rotación a lo largo de  $x$  y un ángulo  $\alpha$ .

Por lo tanto la matriz de Denavit-Hartenberg vienen dada por la siguiente expresión:

$$D - H = Tzd * Rz\theta * Txa * Rza \quad (2.2)$$

Esta ecuación expresada ya en términos matriciales nos dará un resultado como el siguiente:

$$D-H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$D - H = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & aC\theta_i \\ S\theta_i & S\theta_i C\alpha_i & SC\theta S\alpha_i & aS\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

■ PARÁMETROS DE D-H [19].

De la matriz anterior es posible determinar que existen únicamente cuatro parámetros que definirá la matriz D-H y que estos dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de la naturaleza de las articulaciones que le unen con su predecesor y su respectivo sucesor, por lo cual es necesario definirlos con claridad.

- $a$ : Es la distancia entre los ejes  $i$  e  $i + 1$  de las articulaciones a lo largo de la normal común. Este parámetro define la longitud del eslabón.
- $\alpha$ : Es el ángulo que existiría entre los ejes  $i$  e  $i + 1$  de las articulaciones si estos se contraen en los puntos de corte de la línea común. Este parámetro en cierto modo mide la forma del eslabón a través del ángulo que sobre el mismo se encuentra girado, por lo que se le conoce como ángulo de torsión del eslabón.
- $d$ : Es la distancia entre las intersecciones de las normales comunes al eje de la articulación  $i$ , medida a lo largo de dicho eje. Esta medida expresa en cierto modo la distancia entre los dos eslabones, marcados por el tamaño y forma de las articulaciones, por lo que se denomina longitud angular.
- $\theta$ : Es el ángulo que existiría entre las intersecciones de las normales comunes al eje de la articulación  $i$  si se cortasen en el mismo punto del eje de la

articulación, de alguna forma expresa el ángulo que forma dos eslabones, marcado nuevamente por la forma de la articulación, por lo que se denomina ángulo articular.

Los cuatro parámetros y sus definiciones quedarán mejor explicados en la Figura 11.

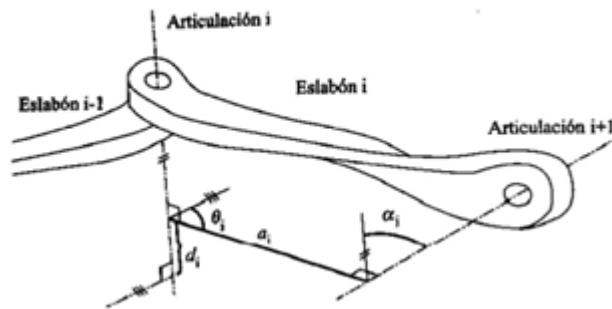


Figura 11: Parámetros de Denavit- Hartenberg para una articulación rotatoria .  
 Fuente: D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando matlab" (2010) [17].

La resolución del problema cinemático del manipulador mediante este método utiliza el álgebra vectorial y matricial para describir la ubicación de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencias fijo. En este caso se trata de una cadena cinemática en donde los eslabones están unidos entre si por articulaciones.

Se acostumbra localizar a la referencia fija en la base del robot y a los diferentes eslabones con respecto a éste sistema de referencia.

Para la resolución por éste método, todo se reduce a encontrar una matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre dos eslabones consecutivos del robot manipulador.

A estas matrices se las conoce con la notación de  ${}^{i-1}A_i$  . de donde  $i$  representa la posición y orientación del sistema de referencia solidario al eslabón  $i$  con respecto al sistema de referencia del eslabón predecesor  $i - 1$ , así de esta manera, cuando se encuentra con una matriz  ${}^0A_1$  quiere decir que describe la posición y orientación del sistema de referencia solidario a la base.

Es importante recalcar que en este caso, debido a las características físicas del diseño del manipulador, existirán matrices de transformación por cada grado de libertad que posea el robot.

Una vez considerados todos los grados de libertad de un robot, la matriz de transformación viene a denominarse  ${}^0A_n$  y se la conoce con la letra  $T$ . Así para el robot para éste estudio que tiene 6 grados de libertad, la matriz  $T$  será expresada de la siguiente manera.

$$T = {}^0A_n = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 \quad (2.5)$$

- DENAVIT- HARTEMBERG[17],[20].

Algoritmo de Denavit- Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo del robot esférico.

- DH1: Numerar los eslabones comenzando con 1 al primer eslabón móvil de la cadena y acabando con  $n$  al último eslabón móvil. Se numerara como eslabón 0 a la parte fija del robot en este caso a tierra y 5 al efector final como se indica en la Figura.
- DH2: Numerar cada articulación comenzando por 1 a la correspondiente al primer grado de libertad, para este caso el formado entre la tierra y el elemento 1, y acabando en  $n$  a la formada entre el elemento 4 y el efector final. A la articulación rotatoria con  $q$  y a la articulación prismática con  $d$  para mayor explicación observar la Figura .

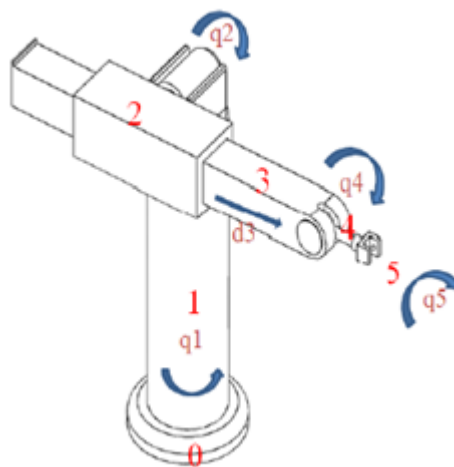


Figura 12: Algoritmo DH1 y DH2, robot esférico .

Fuente: D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando Matlab" (2010) [17].

- DH3: Localiza el eje de cada articulación. Eje de rotación o eje de desplazamiento.
- DH4: Para  $i$  de 0 a  $n - 1$  situar el eje  $Z_i$  sobre el eje de la articulación  $i + 1$ .
- DH5: Situar el origen del sistema de la base  $S_0$  en cualquier punto del eje  $Z_0$ . Los ejes  $X_0$  e  $Y_0$  se situaran de modo que formen un sistema dextrógiro con  $Z_0$ .
- DH6: Para  $i$  de 1 a  $n - 1$ , situar el origen del sistema  $\{S_i\}$  (solidario al eslabón  $i$ ), en la intersección del eje  $Z_i$ , con la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Si ambos ejes se cortasen,  $\{S_i\}$  se situara en el punto de corte, si son paralelos se situarían en la articulación  $x + 1$ .

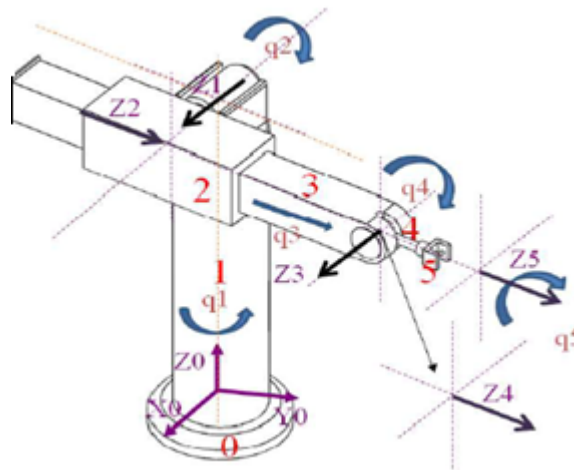


Figura 13: Algoritmo DH3, DH4, DH5, DH6, Robot esférico .  
Fuente: D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando matlab" (2010) [17].

- DH7: Situar  $X_i$  en la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ .
- DH8: Situar  $Y_i$  de modo que forme un sistema dextrógiro con  $X_i$  y  $Z_i$ .
- DH9: Situar al sistema  $S_n$  en extremo del robot de modo que  $Z_n$  coincida con la dirección de  $Z_{i-1}$  y  $X_n$  sean normal a  $Z_{n-1}$  y  $Z_n$ .
- DH10: Obtener  $\theta_i$  como el ángulo que hay que girar en torno a  $Z_{i-1}$  para que  $X_{i-1}$  y  $X_i$  queden paralelos.



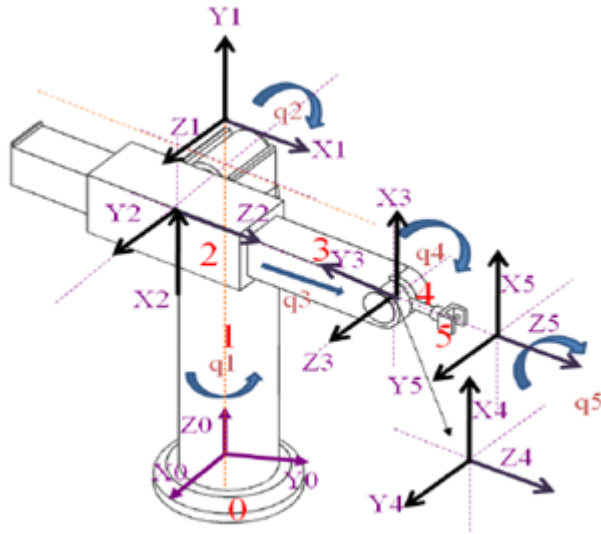


Figura 14: Algoritmo DH7, DH8, robot esférico .

Fuente: D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando matlab" (2010) [17].

- DH11: Obtener  $d_i$  como la distancia, medida a lo largo de  $Z_{i-1}$ , que habría que desplazar  $S_{n-1}$  para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  queden alineados.
- DH12: Obtener  $a_i$  como la distancia medida a lo largo de  $X_i$ , que ahora coincidirían con  $X_{i-1}$ , que habría de desplazar el nuevo  $S_{n-1}$  para que su origen coincidiese con  $S_{n-1}$ .
- DH13: Obtener  $\alpha_i$  como el ángulo que habría de girar en torno a  $X_i$ , para que el nuevo  $S_{n-1}$  coincidiese totalmente con  $S_i$ .
- DH14: Obtener las matrices de transformaciones  ${}^{i-1}A_i$  definidas.
- DH15: Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot  $T$ .

$$T = {}^0A_n = {}^0A_1{}^1A_2{}^2A_3{}^3A_4{}^4A_5{}^5A_6.$$

- DH16: La matriz  $T$  define la orientación de rotación y posición de traslación del extremo referido a la base, en función de las  $n$  coordenadas articulares.

Una vez obtenido los parámetros D-H, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato, ya que vienen dadas por las matrices  ${}^{i-1}A$ . Las relaciones entre varios eslabones consecutivos dos a dos vienen dadas por las matrices  $T$  que, como ya se comentó anteriormente, se obtienen como producto de un conjunto de matrices  ${}^{i-1}A$ .

Tabla 5: Parámetros de Denavit-Hartenberg para el del robot esférico .

Articulación	$\theta_i$	d1	ai	$\alpha_i$
1	$q_1 + \frac{\pi}{2}$	l1	0	$\frac{\pi}{2}$
2	$q_2 + \frac{\pi}{2}$	l2	0	$\frac{\pi}{2}$
3	0	d3	0	$-\frac{\pi}{2}$
4	q4	0	0	$\frac{\pi}{2}$
5	q5	l4+l5	0	0

Fuente: D. Moya, "Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando Matlab" (2010).[17]

La Tabla 5 muestra un resumen de los parámetros de Denavit- Hartenberg, las distancias de cada eslabón y los ejes de rotación y traslación de las articulaciones rotatorias y prismáticas respectivamente.

### 2.2.12.3. Problema Cinemática Inversa.

Para el desarrollo de la cinemática inversa se tiene que dada una posición y orientación para el extremo del último eslabón, se desea encontrar el valor de los ángulos de las articulaciones del manipulador que satisfagan su localización.

Este sistema se complica ya que existen varias formas para llegar hacia una posición u orientación, y estas posiciones se ven limitadas por el rango de limitaciones del elemento final y de la estructura de sus eslabones, es decir, las ecuaciones dependen de la configuración del robot.

A través de un método geométrico se permite obtener las expresiones que relacionen la posición espacial del extremo del manipulador en función de los giros de los actuadores.

Este sistema se utiliza cuando cuando el manipulador se encuentra en una posición conocida y se la quiere llevar a otra posición que también es conocida mediante sus coordenadas [17].

### 2.2.13. Aplicaciones de los robots industriales.

En la actualidad se ha generalizado el uso de robots manipuladores o secuenciales en muchas aplicaciones que requieren de movimientos repetitivos sencillos, pero la industria automovilística, que fue en un principio la pionera en el uso de robots, continua siendo la que más los usa, siendo tipos principales de aplicación los siguientes[15]:

- Soldadura: La herramienta usada en el extremo del brazo es una pinza de soldar, puede ser por puntos, por arco, por gas, por láser, otros.

- Pintura: La herramienta de trabajo es una pistola de pintar. El movimiento no es punto a punto, sino continuo.
- La carga y descarga de piezas (paletización): Podría ser la tarea más sencilla. Sin embargo en muchos casos resulta la más complicada debido a la dificultad de agarrar, clasificar y colocar piezas de forma compleja u ordenada.
- Corte: El corte de materiales mediante el robot es una aplicación reciente que cuenta con notable interés. La capacidad de reprogramación del robot y su integración en un sistema, hacen que aquél sea el elemento ideal para transportar la herramienta de corte sobre la pieza.
- Montaje: Las operaciones de montaje, por la gran precisión y habilidad que normalmente exigen.
- Aplicación de sellantes y adhesivos: Se utiliza robots para sellar cajas de productos alimenticios y otros productos.
- Control de calidad: La tendencia a conseguir una completa automatización de la producción abarca todas las etapas de ésta, inclusive el control de la calidad. El robot industrial puede participar en esta tarea usando su capacidad de posicionamiento y manipulación.
- Manipulación en tratamientos térmicos: Trabajos u operaciones de mantenimiento en zonas contaminadas y de manipulación de materiales peligrosos.
- Manipulación en salas blancas: Ciertos procesos de manipulación deben ser realizados en ambientes extremadamente limpios y controlados, en la industria farmacéutica

#### **2.2.14. Inteligencia artificial.**

La inteligencia artificial es una tecnología que ha sido desarrollada con la finalidad de tratar de imitar el pensamiento humano y actualmente se busca en ella la posibilidad de resolver problemas de ingeniería[21].

#### **2.2.15. Visión artificial**

La “Visión Artificial” es un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes

digitales. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados[22].  
Objetivos de la Visión Artificial.

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (por ejemplo, segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido

#### 2.2.16. Procesamiento Digital de Señales (DSP's).

Es una operación o transformación de una señal en un hardware digital según reglas bien definidas.

- **Señal.**

Es una cantidad o variable física que varía en función de una variable independiente, que por lo general es el tiempo, y que lleva cierta información, información que puede ser sobre el estado de un sistema o el comportamiento de un sistema.

Clasificación de Señales.

Las señales dependiendo de la naturaleza de la variable independiente (tiempo) se clasifican en dos grupos: señales continuas y señales discretas [23].

- En una señal de tiempo continuo  $x(t)$ , variable tiempo y por ello estas señales están definidas para cualquier par de instantes comprendido en este par como se observa en la Figura 15.
- En una señal de tiempo discreto  $x(k)$  solamente esta definida en ciertos instantes discretos de tiempo, de manera que entre cada instante y el siguiente no esta definida dicha señal, un ejemplo en la Figura 16.

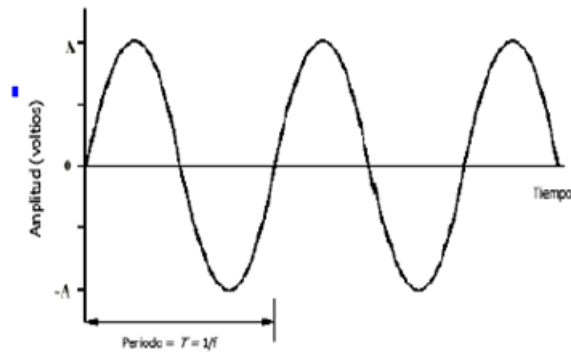


Figura 15: Ejemplo de una Señal en tiempo Continuo .  
 Fuente: M. Gallo, "Segmentación digital de imágenes médicas para el mejoramiento del diagnóstico de anomalías en los centros radiológicos de la ciudad de Ambato " (2013) [23].

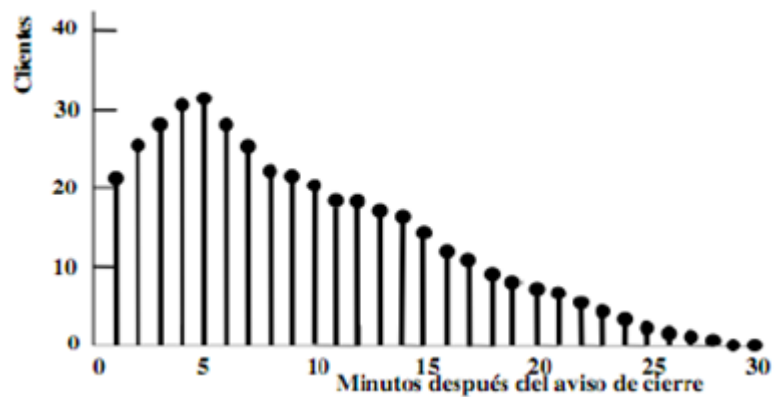


Figura 16: Ejemplo de una Señal en tiempo Discreto .  
 Fuente: M. Gallo, "Segmentación digital de imágenes médicas para el mejoramiento del diagnóstico de anomalías en los centros radiológicos de la ciudad de Ambato " (2013) [23].

Una Señal en tiempo discreto también se puede representar como una lista o secuencia de valores  $\{x(1), x(2), x(3), \dots\}$  en este tipo de señal se utiliza  $n$  para denotar la variable independiente.

El diagrama a bloques típico de un sistema de procesamiento digital de señales se muestra en la Figura 17.

El filtro analógico a la entrada es un requisito para garantizar el ancho de banda de la señal de entrada para eliminar las réplicas. el conversor analógico digital (ADC)

convierte la señal analógica en su equivalente digital. El DSP es un procesador digital de señales, una computadora o su equivalente.

Después de ser procesada la señal digitalmente, puede ser convertida nuevamente en su forma analógica con el conversor digital analógico (DAC). Finalmente, el filtro de salida elimina los componentes de altas frecuencias inherentes al proceso [24].

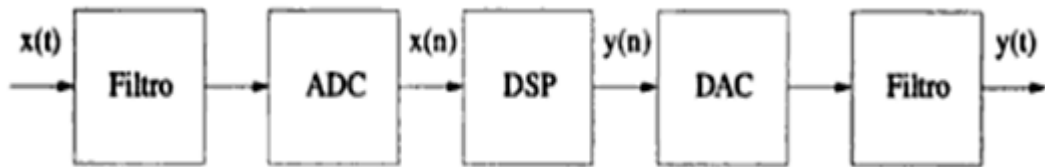


Figura 17: Diagrama de un Sistema de Procesamiento Digital de Señales .

Fuente: R. Ulloa, "FILTROS: APROXIMACIÓN Y SÍNTESIS", Primera edición, Universidad Iberoamericana México (2005) [24].

### 2.2.17. Procesamiento Digital de Imágenes.

Cuando se habla de procesamiento digital de imágenes se hace referencia al procesamiento de imágenes bidimensionales mediante un computador digital. el conjunto de elementos, software y hardware, que procesan la señal visual se denomina Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes. La “imagen real ” pasa por una serie de transformaciones que van desde la adquisición hasta la visualización, pasando por etapas como: almacenamiento. procesamiento, etc; en la Figura 18 se observa la configuración general de un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes [25].

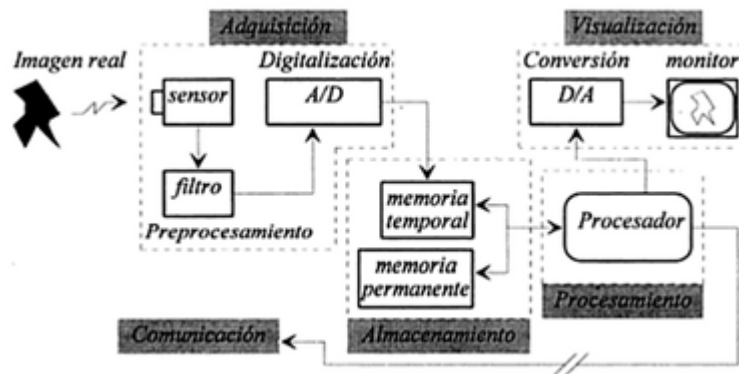


Figura 18: Configuración básica de un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes: adquisición, procesamiento, almacenamiento, visualización y comunicación con otros procesadores .

Fuente: G. Passariello, F. Moya, “IMÁGENES MÉDICAS”[25].

- *Adquisición de Imágenes.*

Se requieren esencialmente dos elementos de hardware para obtener una imagen digital: el primero es un dispositivo sensible a algún tipo de radiación electromagnética, el segundo es un dispositivo digitalizador, el cual convierte la señal eléctrica en cantidades binarias manipulables por el software.

- *Almacenamiento.*

Una vez digitalizada la imagen es guardada en un memoria temporal(memoria de alta velocidad) que sirve de soporte al procesamiento y como puente entre la digitalización y la memoria de almacenamiento permanente(memoria lenta). esta última sirve para guardar las imágenes originales y las resultantes del procesamiento, y debe poseer una gran capacidad de almacenamiento.

- *Procesamiento de la imagen.*

El procesamiento es la realización en software de algoritmos de extracción de la información contenida en las imágenes, el procesamiento puede ser realizado por computadores de uso general o por procesadores diseñados para ese tipo de calculo.

- *Visualización de la imagen.*

Dado que los monitores de video son los dispositivos principalmente utilizados en visualización, es necesario convertir la señal digital en una señal analógica compatible con estos dispositivos, de esto se encarga el convertidor Digital/analógico.

- *Comunicación con otros Procesadores.*

La comunicación digital implica la conexión de dos o más sistemas de procesamiento de imágenes, en el caso de procesamiento distribuido comunicación local, como en el caso de repartición de imágenes pertenecientes a un banco de datos comunicación a larga distancia.

- *Filtro.*

Se emplea en procesado de señales para eliminar partes no deseadas de las mismas, tales como ruido o solo permitir el paso de ciertos rangos de frecuencia.

a) Filtros en el Dominio Espacial:

Los filtros en el dominio espacial se aplican directamente sobre los píxeles de una imagen.

Toman información de cada uno de los píxeles próximos al píxel objetivo que está siendo analizado, para recolectar información importante y aplicar el filtro a dicho píxel, de ésta manera se consigue el mejoramiento de la imagen.

b) Filtros en el dominio de la frecuencia:

Los filtros en el dominio de la frecuencia se usan, principalmente para eliminar altas o bajas frecuencias de la imagen, lo que se traduce a suavizar la imagen, o bien realzar o detectar bordes. En la Tabla 6 se describe su clasificación.

Tabla 6: Filtros en el Dominio de la Frecuencia

Filtro pasa Alto	Permiten el paso de señales de alta frecuencia y eliminan las señales de baja frecuencia, se encuentran en los bordes de la imagen, por lo que es usado en la detección de bordes además que refuerza el contraste de la imagen.
Filtro pasa Bajos	Son filtros que se encargan de filtrar altas frecuencias que equivalen a cambios bruscos de intensidad, es decir elimina el ruido y permiten el paso de señales de baja frecuencia y eliminan las señales de alta frecuencia.
Filtro pasa Banda:	Permite el paso de un rango de frecuencias seleccionadas por el diseñador de circuito.

Fuente: Trabajo de Graduación UTA[26]

c) Filtros Lineales

Se usan para suavizar, transformar y remover el ruido en una imagen en escala de grises. Cambiando el valor de un píxel en base a un algoritmo que usa los valores de los píxeles próximos. En la Tabla 7 se describe los tipos de filtros lineales.



Tabla 7: Filtros Lineales.

Filtro pasa alto	Éste tipo de filtros pretende aislar los componentes de alta frecuencia de una imagen.
Filtro pasa bajos	Tiene por objeto suavizar los contrastes espaciales de una imagen, tiene por efecto dejar pasar o mantener intocable los componentes de baja frecuencia espacial de una imagen. Los componentes de alta frecuencia están virtualmente ausentes en la imagen de salida.
Filtro de mediana:	El filtro de mediana obtiene el nuevo valor del pixel sustituyéndolo por la mediana de los vecinos de la ventana. El problema de los filtros de mediana es que hacen perder la nitidez de la imagen original

Fuente: El Investigador.

### 2.2.18. Tipos de Imágenes.

#### a) *Espacio RGB.*

Las imágenes del modelo de color RGB consiste en tres planos de imagen independientes, uno por cada color primario.

Cuando llegan a un monitor RGB, estas tres imágenes se combinan en la pantalla fosforescente para producir una imagen de color compuesta.

La mayoría de las cámaras de color empleadas para la adquisición de imágenes digitales utilizan el formato RGB, lo que por sí solo hace de éste un modelo importante en el procesamiento de imágenes.

En los diferentes modelos de color, se los representa como combinaciones lineales de tres factores en el caso de la investigación son: rojo, verde y azul, como se visualiza en la Figura 19.

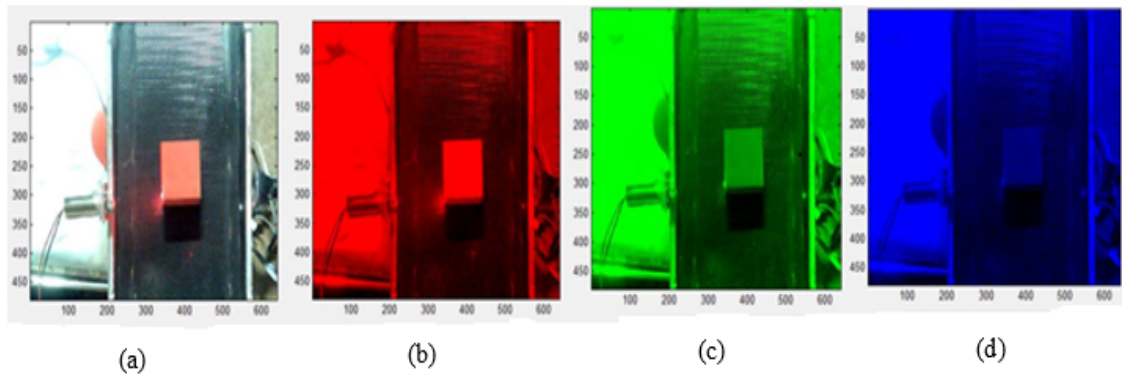


Figura 19: Representación de los Diferentes modelos de color, a) Imagen Real, b) Rojo, c) Verde y d) Azul..

Fuente: El Autor

*b) Espacio CMY.*

Cian, Magenta y Amarillo son los tres colores secundarios de la luz, o bien son los colores primarios de los pigmentos. Se denominan sustractivos ya que se utilizan como filtros para sustraer colores de la luz blanca.

En la Figura 19 ,el sistema coordinado es el mismo que el modelo RGB pero cambiando de lugar el blanco con el color negro.

*c) Espacio YIQ.*

El modelo YIQ se utiliza en las emisiones comerciales de televisión, básicamente es una recodificación del RGB, utilizada por su eficacia en la transmisión y para mantener la compatibilidad con los estándares de televisión en blanco y negro.

El modelo YIQ mostrado en la Figura 20 Fué diseñado para aprovechar la mayor sensibilidad del sistema visual humano a los cambios de la saturación, así los estándares YIQ emplean más bits para representar la Y y menos para representar la I o Q.

La ventaja principal del modelo YIQ en el procesamiento de imagen es que la luminancia (Y ) y la información del color (IoQ) están desacopladas, así la importancia, la componente de luminancia de una imagen puede procesarse sin afectar a su contenido cromático.

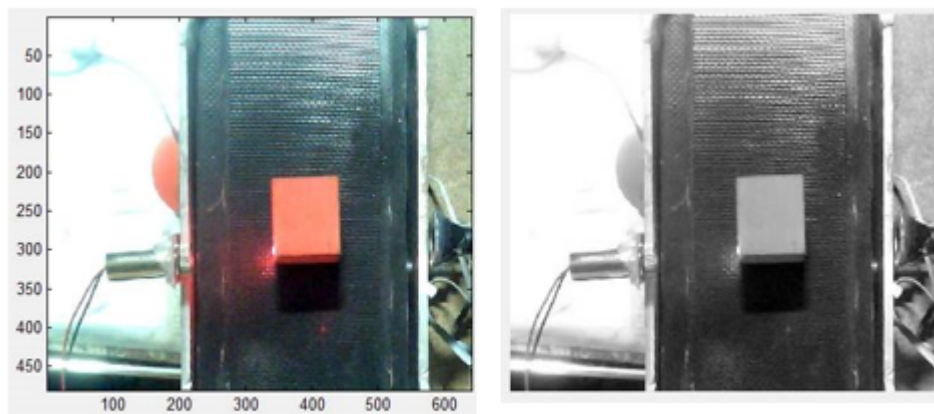


Figura 20: Modelo YIQ

Fuente: A. Naranjo, "Aplicación de DSP's para la transcripción de señas a texto" (2014) [26].

*d) Modo escala de Grises.*

Las imágenes en modo de escala de grises mostrada en la Figura 21 no tiene información de color, de forma que solo cuentan con un canal en negro. Éste único canal podrá tener una gama de 256 tonos de gris (0-255), de ahí el nombre de escala de grises. Actualmente es el modo usado para todas las imágenes en blanco y negro, tanto como para imprimir como para visualizar en pantalla.



(a)

(b)

Figura 21: Tipos de Imágenes Digitales: a) RGB, b)Escala de Grises, c) Binario.

Fuente: El Autor.

*e) Imágenes Binarias.*

En una imagen binaria, cada píxel asume un valor discreto: esencialmente dichos valores corresponden a 0 y a 1. Una imagen binaria se almacena en un arreglo de

píxeles 1s o 0s. En la Figura 22 se observa una imagen binaria.

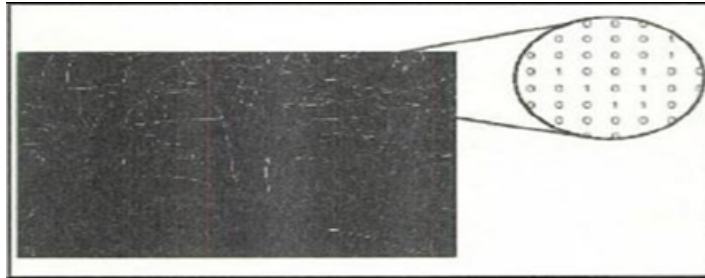


Figura 22: Ejemplo de Imagen Binarias .

Fuente: A. Naranjo, "Aplicación de DSP's para la transcripción de señas a texto" (2014) [26].

### Aplicaciones de la Visión Artificial en la Industria.

Hoy en día la visión artificial tiene un papel muy importante en el incremento de la calidad dentro de los procesos de automatización, crea un incremento de nivel de producción y un decremento en los costos fabricación lo que implica un mejoramiento continuo en los procesos de producción en donde son aplicados[27].

- *Inspección.*

Se utiliza la inspección mediante visión artificial en muchas aplicaciones: Presencia, ausencia de objetos o patrones en un determinado producto, detección de defectos o errores en un producto, conteo de productos etc. La inspección puede encontrarse en dos etapas, al final de la producción para determinar productos erróneos o durante el proceso de productos para regularlos.

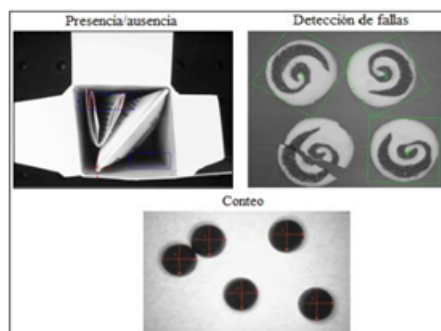


Figura 23: Inspección de Objetos

Fuente: D. Espinoza, "Diseño e implementación de un sistema de inspección de cajas de botellas utilizando cámara con visión artificial para arca Continental Guayaquil" (2014) [27].

- *Medición.*

Mediante al visión artificial se obtiene las magnitudes físicas de un objeto específico con una alta precisión, con lo que se puede clasificarlo, verificarlo con un patrón o para obtener datos estadísticos acerca de sus dimensiones sin la necesidad de haya contacto con el objeto, con la ventaja de que se analizan el cien por ciento de los elementos que se encuentran en la etapa de producción.

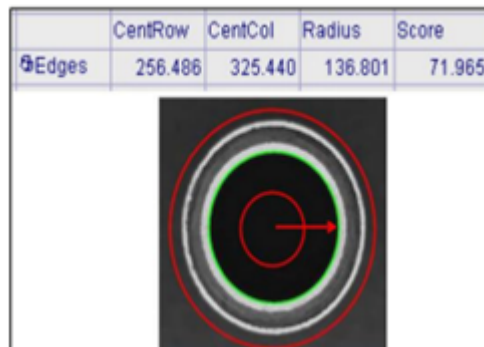


Figura 24: Medición del radio de un objeto con visión artificial.

Fuente: D. Espinoza, "Diseño e implementación de un sistema de inspección de cajas de botellas utilizando cámara con visión artificial para arca Continental Guayaquil" (2014).[27].

- *Guía.*

Mediante la visión artificial se puede determina la posición de un objeto detectando sus coordenadas en el espacio con respecto a un punto de referencia. Una vez recogida la información se puede manipular o desplazar el objeto a un lugar con ayuda de sistemas robóticos o maquinas dedicadas a determinadas aplicaciones.



Figura 25: Robot con Visión Artificial.

Fuente: D. Espinoza, "Diseño e implementación de un sistema de inspección de cajas de botellas utilizando cámara con visión artificial para arca Continental Guayaquil" (2014).[27].

- *Identificación.*

Mediante la visión artificial se puede reconocer diferentes caracteres, como códigos de barras, caracteres alfanuméricos o código 2-D lo que ayuda a clasificar, monitorear y controlar la producción.

La identificación por código de barras o numéricos son muy utilizadas en la industria alimenticia y farmacéutica, ya que es sumamente necesaria la identificación de códigos de fechas, códigos de lotes de producción, fechas de caducidad, etc como se observa en la Figura 26.

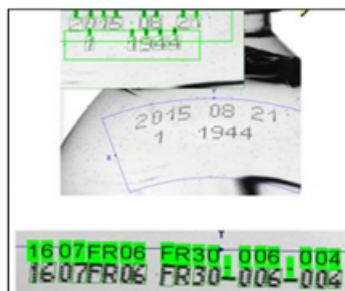


Figura 26: Identificación de fechas y caracteres mediante visión artificial .  
Fuente: D. Espinoza, "Diseño e implementación de un sistema de inspección de cajas de botellas utilizando cámara con visión artificial para arca Continental Guayaquil" (2014).[27].

### 2.2.19. Voz Humana.

Es el sonido más completo y perfecto de la naturaleza, superior a cualquier instrumento musical. “Nos permite funcionar dentro del grupo social al que pertenecemos, expresar prácticamente sin restricciones ideas, sentimientos, emociones y demás contenidos psíquicos, e inferir en la actividad de los otros”.

Tres características que todo sonido emite: la intensidad, el tono y el timbre, están relacionadas con diferentes propiedades de las ondas sonoras [28].

1. La intensidad: se define como la energía que atraviesa por segundo una superficie unidad dispuesta a la dirección de propagación equivale a una potencia por unidad de superficie y se expresa en  $W/m^2$ . Para expresar intensidades sonoras se emplea una escala cuyas divisiones son potencias de diez y cuya unidad de medida es el decibelio (dB).
2. El tono es la cualidad del sonido relacionada con el oído, el cual asigna un lugar al sonido en la escala musical, permitiendo por lo tanto, distinguir entre los sonidos graves y a los agudos. La magnitud física que está relacionada al tono es la frecuencia.

3. El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir sonidos procedentes de diferentes instrumentos, aun cuando posean igual tono e intensidad. Es una cualidad para reconocer a una persona por su voz porque caracteriza a cada individuo.
  - Reconocimiento de la voz humana.

El reconocimiento de voz es una técnica mediante la cual se interpreta el significado de nuestras palabras, con la finalidad de tomar decisiones o ejecutar una orden. El Reconocimiento Automático de Voz es una parte de la inteligencia artificial que tiene como objetivo permitir la comunicación hablada entre seres humanos y computadoras electrónicas.

Un sistema de reconocimiento de voz es una herramienta computacional capaz de procesar la señal de voz emitida por el ser humano y reconocer la información contenida en ésta, convirtiendo en texto o emitiendo órdenes que actúan sobre un proceso. En su desarrollo intervienen diversas disciplinas, tales como: la fisiología, la acústica, el procesamiento de señales, etc.

### **2.2.20. Reconocedores de voz.**

Son dispositivos que tienen como objetivo convertir una secuencia de palabras emitidas por un usuario en una secuencia textual que sea lo más fiel posible a aquella. Para lograr esto deberá analizar la secuencia acústica en busca de las unidades de información que se desean obtener. Existen tecnologías que utilizan este medio como forma de acceso o de control. Pueden reconocer un número limitado de palabras con diferentes idiomas y adaptar cada palabra a una acción específica[29].

A lo largo de las cinco últimas décadas, el reconocimiento automático del habla mediante máquinas ha sido un objetivo que la investigación ha perseguido a través de enormes esfuerzos realizados en investigación tratando de crear dicha máquina. Sin embargo, a pesar de lo atractivo que resultaría diseñar una máquina capaz de reconocer la palabra hablada y comprender su significado sea cual sea el discurso hablado y en cualquier entorno posible, es muy difícil diseñar una máquina adaptada a todos ellos, por lo que hasta el momento podemos realizar una máquina de reconocimiento para entornos muy concretos[30].

- Modelos Ocultos de Márkov (HMM)

Es un modelo estadístico aplicado al reconocimiento del habla, en el que se asume que el sistema a modelar en un proceso de Márkov de parámetros desconocidos,

el objetivo es determinar los parámetros desconocidos de dicha cadena a partir de parámetros observables.

En [31], una cadena es un proceso en tiempo discreto en el que una variable aleatoria  $X_n$  va cambiando con el paso del tiempo, las cadenas de Márkov tienen la propiedad de que la probabilidad de que  $X_n=j$  sólo depende del estado inmediato anterior del sistema  $X_{n-1}$ . Cuando en una cadena dichas probabilidades no dependen del tiempo en que se considere,  $n$ ,

$$P(X_n = j \mid X_{n-1} = i)$$

Probabilidad de Transición.

En una cadena Homogénea finita con  $m$  posibles estados  $E_1, E_2, \dots, E_m$  se puede introducir la notación

$$P_{ij} = P(X_n = j \mid X_{n-1} = i)$$

Donde:

$p_{ij}$  = probabilidad de transición

Si  $p_{ij} > 0$  se dice que el estado de “i” puede comunicarse con el estado “j”

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$$

Todos estos valores se combinan formando una matriz de transición  $T$  de tamaño  $m \times m$ ;

$$T = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix}$$

Se observa un esquema representativo del tratamiento de reconocimiento de voz en la Figura 27, el proceso de reconocimiento recibe una palabra como entrada la cual es procesada con el objeto de caracterizarla, para ello el proceso recupera los modelos HMM existentes en el repositorio, y calcula cual es la probabilidad de que cada uno de los modelos haya generado esa palabra, teniendo como resultado el reconocimiento de la palabra dicha.



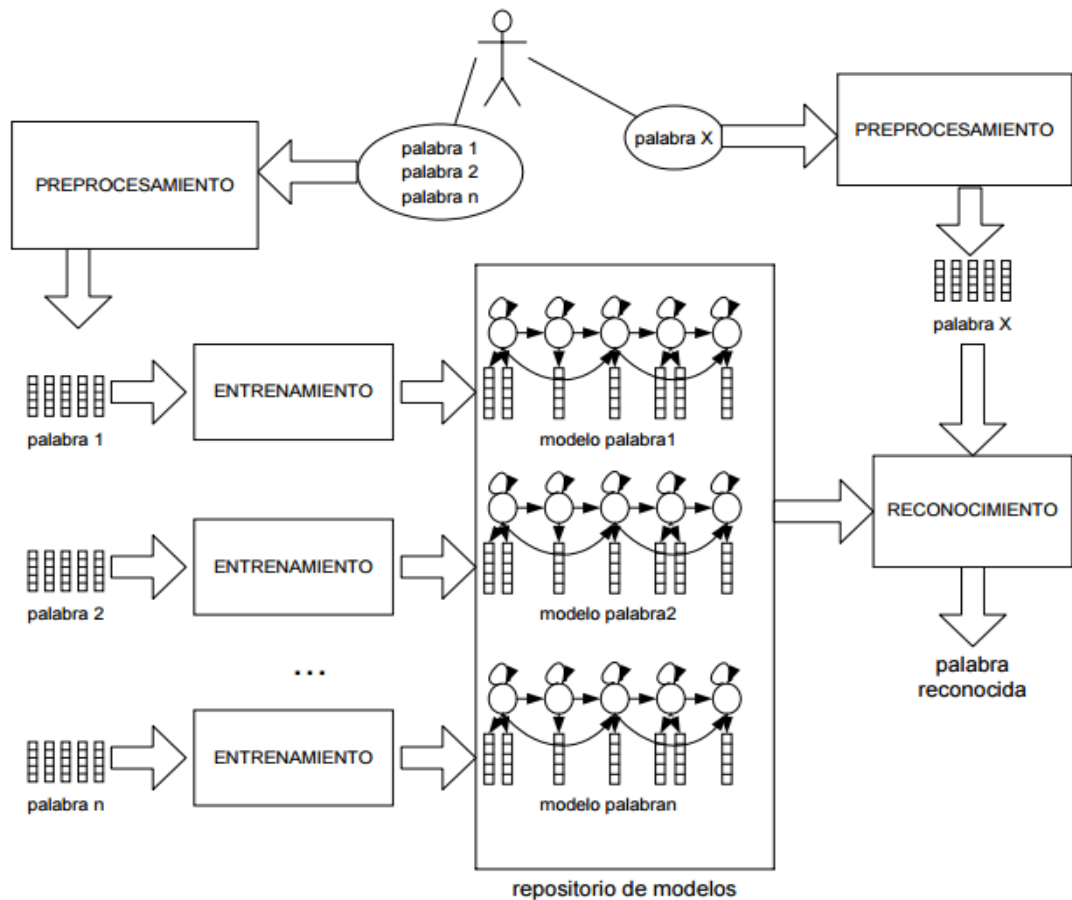


Figura 27: Esquema en el reconocimiento de voz  
 Fuente: Fuente: F.Martínez, G. Portale, H. Klein, O. Olmos , "Reconocimiento de voz, apuntes de cátedra para Introducción a la inteligencia Artificial" [32].

- Análisis Cepstral.

El modelo source-filter, descompone la señal de voz  $S$ , en excitación  $E$  y un filtro lineal caracterizado por su respuesta en frecuencia  $H(t)$

Se sabe que en el dominio temporal se puede expresar con una convolución:

$$S(t) = H(t) * E(t)$$

Siendo  $H$  la respuesta al impulso del filtro

En el dominio de la frecuencia:

$$S(f) = H(f).E(f); \text{siendo } S(f) = |S(f)| e^{j\varphi}$$

$H(d)$  es la envolvente del espectro

$E(d)$  los detalles que se aproximan a impulsos.

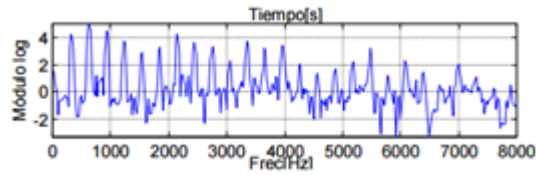


Figura 29: Espectro de la FFT en escala logarítmica .

Fuente:Fuente: F.Martínez, G. Portale, H. Klein, O. Olmos , "Reconocimiento de voz, apuntes de cátedra para Introducción a la inteligencia Artificial" [32].

En la figura se observa un ejemplo del espectro obtenido de la FFT de un segmento de una vocal tratado con una ventana de Hamming.

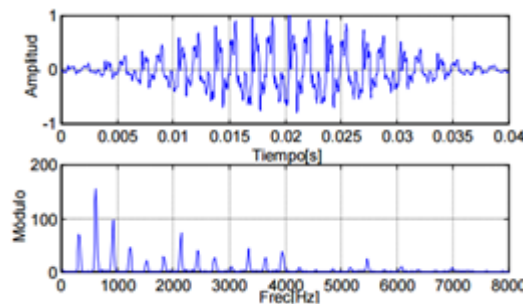


Figura 28: Espectro obtenido de la FFT de un segmento de una vocal con una ventana de Hamming .

Fuente:Fuente: F.Martínez, G. Portale, H. Klein, O. Olmos , "Reconocimiento de voz, apuntes de cátedra para Introducción a la inteligencia Artificial" [32].

La función de la ventana de Hamming es:

$$W_n = \left\{ \begin{array}{l} 0,54 - 0,46 \cdot \cos(2\pi n(N-1)); \text{ si } 0 \leq n \leq N-1 \\ 0; 0 > n > N \end{array} \right\}$$

Al aplicar logaritmos a ambos miembros, sin considerar su fase, que normalmente no es necesaria en el campo de las señales de voz, queda:

$$\log | S(f) | = \log | H(f) | + \log | E(f) |$$

En general el análisis Cepstral logra pasar de una convolución a una multiplicación por medio de la transformada de Fourier y luego a una suma con el uso del logaritmo, finalmente con una nueva transformada se logra el Cepstrum, la palabra está originada por la alteración de las letras que forman Spectrum ya que en realidad su dominio no es temporal ni frecuencial sino un nuevo dominio Cepstral. Se tiene así un método para separar la información del tracto vocal de la correspondiente a la excitación [32].

- Análisis en escalas no Lineales

Se considera la escala de frecuencia Mel que aproxima la sensibilidad del oído humano:

$$m = 2595 \cdot \log(1 + f/700) \text{ ó } f : \text{frecuencia en Hertz}$$

$$m = \frac{1000}{\ln(1+1000/700)} \cdot \ln(1 + f/700)$$

Usando una escala de este tipo, se trata de tener el mejor compromiso entre la resolución frecuencia tiempo, ya que usa un ancho de banda pequeño en baja frecuencia lo que permite resolver armónicos, y en alta frecuencia un ancho de banda más grande que permita buena resolución de ráfagas temporales. A continuación tenemos el espectro de potencia en dB transportado a la escala Mel [32]:

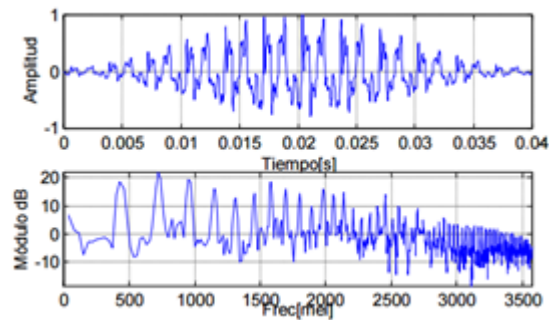


Figura 30: Espectro de potencia en dB transportado a la escala Mel .

Fuente: Fuente: F.Martínez, G. Portale, H. Klein, O. Olmos , "Reconocimiento de voz, apuntes de cátedra para Introducción a la inteligencia Artificial" [32].

### 2.2.20.1. Clasificación de los Reconocedores de Voz.

Los reconocedores de voz se pueden clasificar según diferentes criterios, los principales tipos de reconocedor se pueden resumir en los siguientes, descritos en la Tabla8.

Tabla 8: Clasificación de los Reconocedores de Voz..

Según el objetivo último del reconocimiento	<p>Reconocedores de habla: Lo más importante es conseguir la secuencia de palabras que se ha dicho.</p> <p>Reconocedores de locutor: Lo que interesa es averiguar la identidad de quien habla.</p> <p>Reconocedores de idioma: El objetivo es identificar el idioma en el que se está hablando.</p> <p>Reconocedores de emoción: El objetivo es determinar el estado emocional del locutor.</p>
Según el tamaño del vocabulario, las prestaciones y complejidad del sistema varían:	<p>Pequeños: Son capaces de reconocer los dígitos del 0 al 9, si, no. . .</p> <p>Medianos: Vocabularios cuyo máximo es 1000 palabras.</p> <p>Grandes: Vocabularios con más de 1000 palabras.</p> <p>Muy grandes: Vocabularios con más de 10000 palabras.</p>
Según el tipo de reconocimiento	<p>Habla aislada: Basados en órdenes simples y sin pausas.</p> <p>Habla continua: Permiten reconstruir un mensaje emitido por un locutor en condiciones normales incluyendo pausas, dudas.</p>

Fuente: N. Pérez Magariños, "Mejora de la interfaz vocal de control de un robot autónomo móvil. adaptación acústica y generación supervisada de mapas" (2008).[33].

En la Figura 31 ,se indica un modelo genérico de un sistema de reconocimiento de voz , explicando brevemente cada uno de sus componentes:

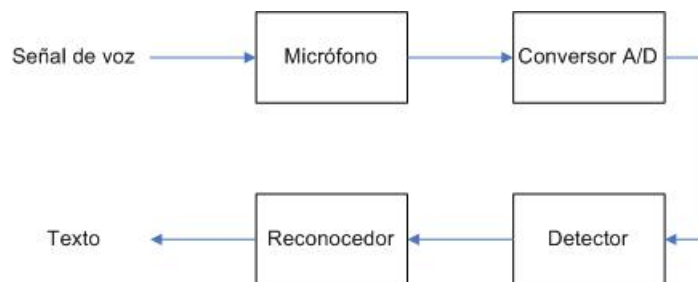


Figura 31: Diagrama de bloques de un Reconocedor de Voz.

Fuente: J. M. Lucas Cuesta , "Análisis e implementación de mejoras para un reconocedor de habla continua" (2006).

- **Micrófono:** Es el elemento transductor del sistema, encargado de recoger las vibraciones del aire producidas en el proceso de habla y convertirlas en una señal analógica.
- **Convertor analógico/digital:** Este elemento tiene una doble misión. Por una parte realiza un muestreo de la señal. Por otra parte, debe digitalizar la señal, asociando a cada valor analógico de la señal en el instante de muestreo un valor perteneciente a un dominio finito de símbolos.

- Detector: Extrae de la señal digital un conjunto de características (features) que serán empleados por el subsistema reconocedor.
- Reconocedor: Mediante los vectores de características obtenidos mediante el detector y empleando tanto los modelos acústicos como los modelos de lenguaje para generar la secuencia de palabras que más se asemeje a dichos vectores de características. El reconocedor también puede proporcionar la información necesaria para llevar a cabo una adaptación de los modelos anteriormente mencionados para mejorar los resultados obtenidos.

Un esquema más detallado del reconocedor puede verse en la Figura32.

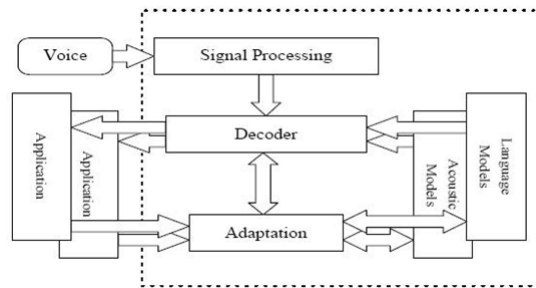


Figura 32: Esquema del Reconocedor.  
Fuente: Huang, Acero, Wuen Hon, (2001)[34].

### 2.2.21. Aplicaciones del reconocimiento del Habla.

Existen una variedad de aplicaciones relacionadas con el reconocimiento de voz, en la Tabla 9 se menciona algunas de ellas.

Tabla 9: Aplicaciones del reconocimiento de voz.

CAMPO	APLICACIÓN
Dictado	Incluye transcripciones médicas. Dictado legal y comercial
Comandos y Control	Automatización del Hogar, área conocida como Domótica. Robótica
Telefonía	Incorporación de voz humana al uso de móviles y sistemas de navegación
Medicina	Una persona sorda podría usar un sistema conectado a su teléfono para convertir el habla en texto Una persona discapacitada podría ayudarse mediante la implementación de un sistema que reconozca ordenes de voz para realizar una función en particular Administrar las citas del día
Aplicaciones embebidas	Fabricación de chips con software embebido como: Relojes, libros, diccionarios de voz. Ayudas a la navegación, aparatos electrodomésticos Teléfonos móviles, sistemas de control de avisos Contestadores y sistemas de correo electrónico por voz Traductores, alarmas, seguridad, evacuación. Ascensores. Incorporar diálogo en juegos.
Educación	Posibilidad que los estudiantes tengan acceso a servicios del centro de estudio. Consulta de información general, novedades, estudios, localización. Consulta de fechas de exámenes, solicitar certificados y titulación
Banca	Negocios en línea, transacciones. Noticias personalizadas. Información sobre productos bancarios, cotizaciones de bolsa
Seguros	Efectuar vía voz la denuncia de siniestros Servicios personalizados, ofertas, renovaciones, etc.
Seguridad	Realizar transacciones bancarias. Acceder a sistemas de control. Acceder a información y reservación de servicios. Acceder a información confidencial.

Fuente: El Investigador.

### 2.2.22. Sistemas de control.

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada, el aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, como se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada Figura 33 , un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla [35] .

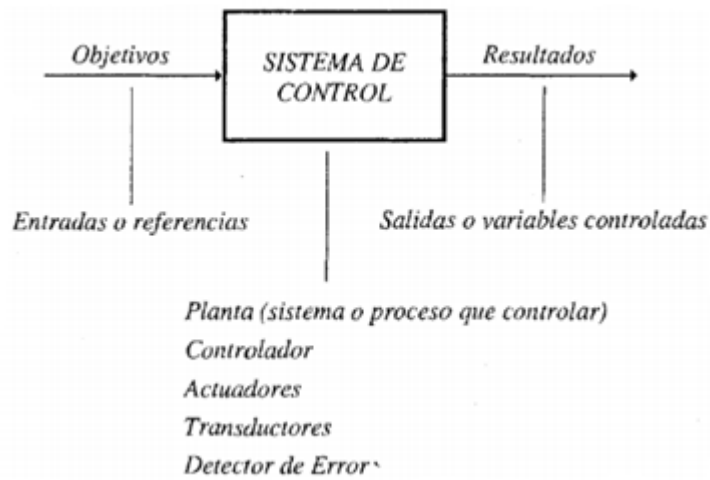


Figura 33: Diagrama de un Sistemas de Control.  
 Fuente: E. Cope ,Trabajo de investigación; Politécnica de Chimborazo[35].

### 2.3. Propuesta de Solución.

El sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial permitirá la detección y ordenamiento de objetos optimizando procesos, con la manipulación del sistema mediante la voz humana

## **CAPÍTULO 3**

### **Metodología**

#### **3.1. Modalidad de la investigación.**

##### **3.1.1. Modalidad**

El tipo de investigación que se desarrolló en el proyecto fue la investigación Aplicada, pues busca la aplicación y utilización de conocimientos adquiridos para la solución de problemas, dirigidas a conseguir mejoras de procesos o productos en el ámbito industrial o sector empresarial incrementando la productividad, también se realizó la Investigación Experimental porque se realizaron pruebas para el desarrollo del proyecto, consiguiendo cumplir todos los objetivos planteados, Así mismo, se desarrolló una investigación Bibliográfica-Documental para conocer más acerca del tema y realizar el marco teórico , se utilizaron fuentes como libros, revistas, publicaciones científicas, etc. De tal forma que se profundice en el tema y sustente la investigación.

##### **3.1.2. Nivel de Conocimiento**

La investigación fue de tipo exploratorio lo que permitio al investigador inspeccionar el entorno en donde se desarrolla el problema, además el nivel descriptivo ayudo a conocer y comprender el objeto de estudio.

#### **3.2. Población y muestra.**

Para el presente proyecto no se contó con población, puesto que se realizará una investigación Aplicada, la información requerida fué tomada de fuentes bibliográficas como libros, tesis, revistas, trabajos de investigación, papers etc.

#### **3.3. Recolección de información.**

Para el presente proyecto se recopilará información utilizando la técnica de la observación para todos los casos en los cuales se presenta el problema, además se recopilo información mediante la revisión de textos que resultaron de gran utilidad



a la hora de implementar el dispositivo, que contienen diferentes métodos para el control electrónico de un robot.

### **3.4. Procesamiento y análisis de datos.**

Para el procesamiento y análisis de datos se llevará a cabo los siguientes aspectos:

- Recolección de información mediante Internet, investigación, videotecas, librerías, artículos técnicos, tesis, libros.
- Análisis de la información recolectada para el planteamiento de objetivos estratégicos para la solución del problema que el proyecto presenta.
- Estudio de las propuestas de solución
- Determinación de la mejor alternativa
- Planteamiento de la propuesta de solución

### **3.5. Desarrollo del proyecto.**

El presente proyecto fue desarrollado de una manera organizada, se implemento el prototipo para el control de un robot mediante comandos de voz , en base a:

- Investigación de los diferentes tipos de robots y las partes que lo conforman.
- Análisis del movimiento de cada una de las articulaciones del robot para una mayor exactitud.
- Determinar el brazo robótico para la implementación del prototipo.
- Recolección de información de los diferentes sistemas de reconocimiento de las señales de voz.
- Análisis del mejor método para la eficiencia en el reconocimiento y transmisión de la voz.
- Estudio de los diferentes métodos para detectar objetos.
- Diseño del circuito para la detección y ordenamiento de objetos.
- Construcción de las interfaz Hombre/ Robot.
- Realización de pruebas del funcionamiento del sistema completo.
- Corrección de los errores encontrados en las pruebas de funcionamiento.

## CAPÍTULO 4

### Desarrollo de la Propuesta.

#### 4.1. Objetivos.

##### 4.1.1. General.

“Implementar el prototipo de un Sistema de Control Electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial”.

##### 4.1.2. Específicos.

- Definir los tipos de articulaciones para los movimientos de robot secuencial.
- Determinar el sistema de reconocimiento de voz aplicable al robot.
- Elaborar el circuito electrónico para la detección y el ordenamiento de objetos

#### 4.2. Introducción.

El presente proyecto está orientado al diseño y construcción de un sistema de control electrónico mediante voz para un robot secuencial, para tener una mayor interacción en procesos repetitivos facilitando el control mediante comandos de voz desde un lugar seguro evitando accidentes laborales; la construcción del sistema se basa en la unión de partes básicas e indispensables como sensores, controladores, actuadores, líneas de conexión e interfaces conectados entres sí, utilizando diversas tecnologías.

El estudio y selección del robot manipulador detalla sus características para ser acondicionado al sistema de control electrónico, se plantea el esquema del proyecto donde se indica las partes que la componen, así como: el diseño de los circuitos, los programas de control, configuración de las tarjetas utilizadas: Arduino UNO, Arduino MEGA e EasyVR Shield 3; construcción del prototipo y se describe la interface realizada con el monitoreo mediante la aplicación Data Dashboard para LabVIEW.

Por último se realizaron pruebas y resultados obtenidos del funcionamiento del sistema completo, en donde se encuentran acoplados todas las tarjetas como la de

adquisición de datos Arduino, la interfaz del robot con la aplicación desarrollada en LabView, la fuente de poder y el panel de control implementado.

### 4.3. Etapas para el desarrollo de la propuesta.

El sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial tiene el siguiente diagrama de bloques, que permite cumplir con los objetivos planteados; en la Figura 34 se muestra el proceso a seguir para la implementación del prototipo.

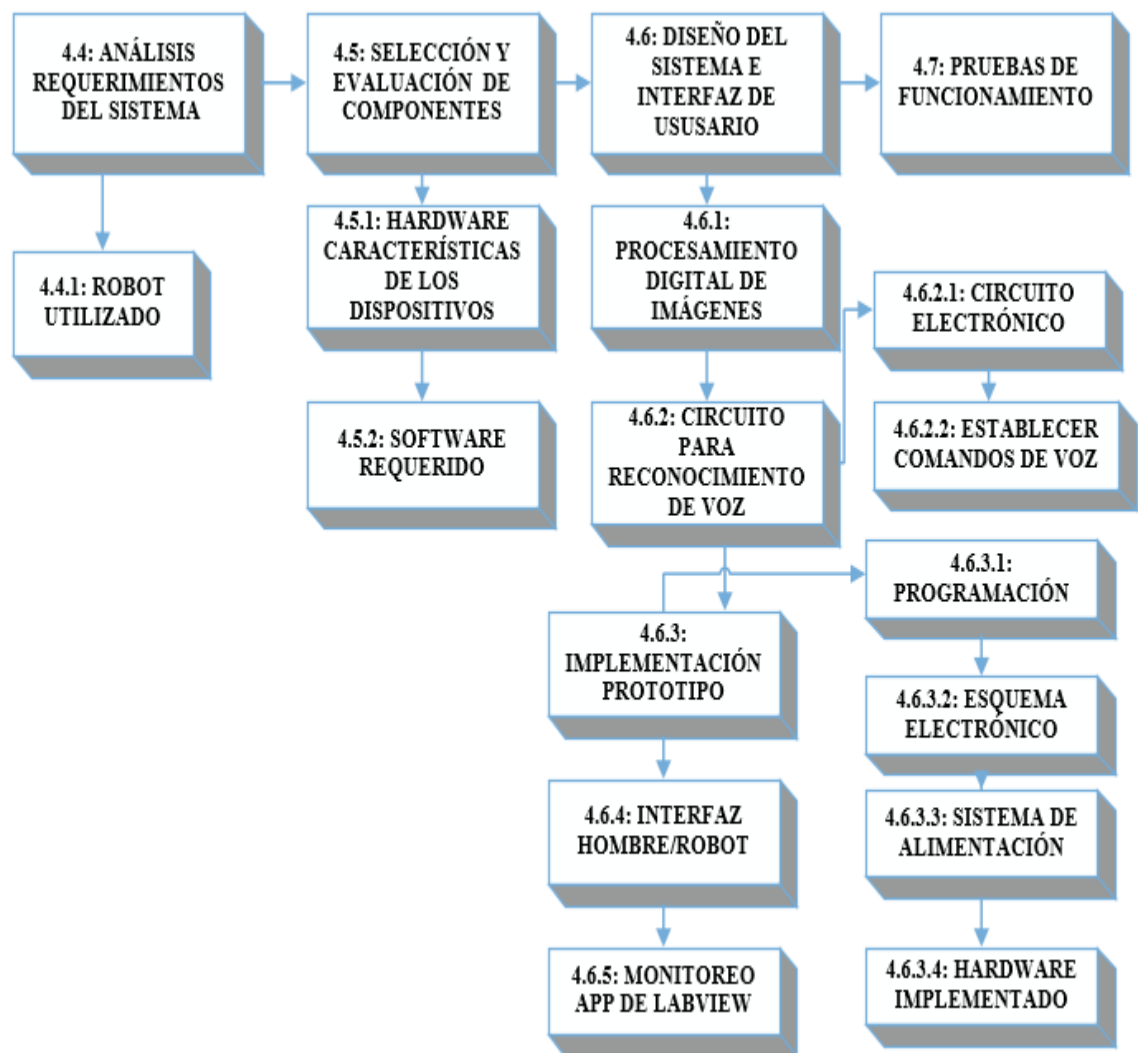


Figura 34: Diagrama de Bloques.  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.4. Análisis del los requerimientos del Sistema.

En la actualidad la calidad de los productos es el objetivo a alcanzar en las industrias, siendo la robótica uno de los medios para lograrlos, el sistema de control requiere de un brazo robótico, servomotores, tarjetas de control, tarjetas de reconocimiento de voz, pulsadores, fuentes de poder, una interface gráfica y la configuración de los elementos con los parámetros necesarios para el procesamiento de imágenes y el movimiento del robot.

Fundamentalmente el proyecto requiere de un brazo robótico que posicione y oriente su extremo final en el espacio, manipulando objetos de color RGB para clasificarlos y ordenarlos repetidamente desde un punto  $(x_1, y_1, z_1)$  hacia otro punto  $(x_2, y_2, z_2)$ , mediante órdenes dadas por el usuario, por lo que deben tener algunos requerimientos, en la Tabla 10 se indican los principales.

Tabla 10: Requerimientos del Brazo Robótico.

1	Programabilidad: La posibilidad de ejecutar múltiples tareas.
2	Eficiencia en el tiempo de ejecución.
3	Precisión.
4	Capacidad de evolución, incorporando nuevas tecnologías, equipos y componentes.
5	Cierto grado de autonomía, control Inteligente.
6	Adaptable a entornos diversos.
7	Antropomórfico con varios grados de libertad
7	Que posea un elemento de agarre (Pinza)

Fuente: Elaborado por el Autor

##### 4.4.1. Brazo robótico para la implementación del prototipo.

Para el desarrollo del sistema se requiere de un análisis y selección del robot, en este caso se realiza una comparación entre diferentes kits de brazos robóticos existentes en el mercado, como se observa en la Tabla 11, se analiza sus ventajas y características principales.

Tabla 11: Características de los brazos Robóticos.

KITS DE BRAZOS ROBÓTICOS	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
S300355 mini kit brazo robot con mando	5 grados de libertad 5 motores Carga máxima: 100g Contiene 4 pilas de 1.5v	Puede: agarrar, levantar, bajar, girar y soltar objetos	Mando cableado No programable Cargas livianas	Prácticas de robótica
Robot industrial Kuka Kr 6-2	6grados de libertad Carga máxima: de 6 a 10 kg. Reprogramable	Espacio de trabajo esférico y resulta ideal para aquellos que buscan un ahorro de espacio. Reprogramable	Alto costo. Propio software de programación	Manipulación, carga y descarga. Montaje y desmontaje. Aplicaciones Industriales.
Aleación de metal 6 DOF Robot Arm Clamp garra y eslabones giratorios	6 grados de libertad. Ángulo de rotación 180° Radio de giro: 355 mm. Altura: 42,8cm Servomotores MG996R Garra.	Bajo costo. Programable en Arduino (hardware libre) Rapidez Incluye controlador	Requiere una fuente externa Requiere instalaciones. No incluye sensores.	Flexible para proyectos de robótica. Prácticas de automatización.
Lego Mindstorms EVE3	Más de 15 tipos de robots Viene con varios tipos de sensores Robusto	Interfaz sencilla de programación	Altos costos. No se puede construir un robot manipulador.	Aplicado al campo educativo. Prácticas de robótica

Fuente: Elaborado por el Autor

- Brazo robótico seleccionado.

Se ha seleccionado al brazo robótico: Aleación de metal 6 DOF Robot Arm Clamp garra y articulaciones giratorios, las ventajas y características físicas que el robot posee a diferencia de los demás lo hace apto para el proyecto, académicamente y en base a los objetivos propuestos este kit robótico permite controlarlo mediante Hardware libre de código abierto, específicamente con Arduino cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, además se lo puede adicionar ciertos dispositivos especiales para que tenga un cierto grado de inteligencia, como por ejemplo; un transportador para la carga y descarga de piezas, una estación de inspección por computadora, sensores ópticos, etc, es decir: su uso es amplio y es el adecuado para el desarrollo del prototipo.

Para orientar y posicionar un objeto de cualquier forma en el espacio son necesarios seis parámetros, tres para definir la posición y tres para la orientación, el robot seleccionado tiene 6 grados de libertad, las articulaciones son de tipo

rotacional, posee una base fija para el soporte de todo el conjunto, capaz de moverse sobre su base  $180^\circ$  y tiene un efector final que sirve como instrumento de agarre (pinza) que puede abrirse 6 cm.

En la Figura 35 se muestra el robot con un esquema moderno de 6 grados de libertad, la mayoría de aplicaciones industriales como: soldadura, mecanizado o paletizado, requieren de este número que es óptimo para brindar flexibilidad y posicionamiento del elemento terminal.

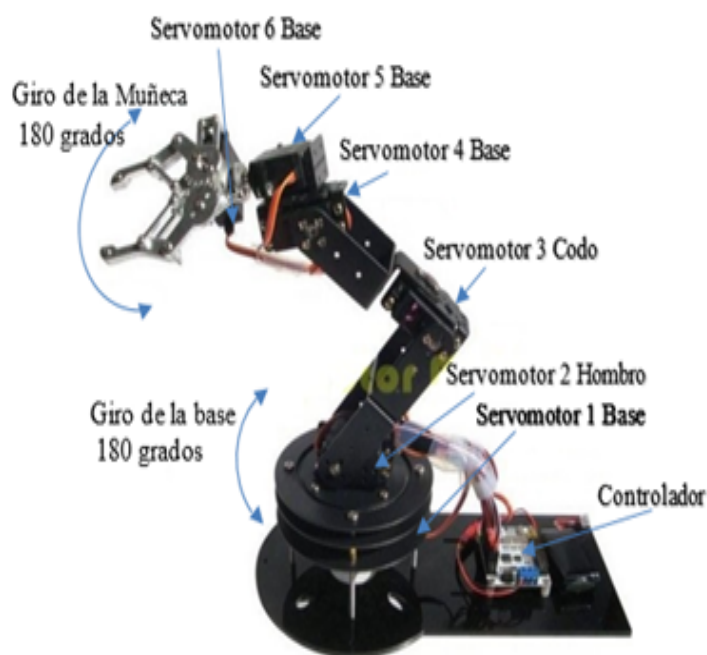


Figura 35: Brazo Robótico Antropomórfico 6 DOF Robot Arm Clamp garra y eslabones giratorios.

Fuente: El Investigador.

- Articulación Rotacional.

Las articulaciones son las que permiten el movimiento entre los sucesivos eslabones, las más utilizadas en robótica son de rotación, prismática, cilíndrica, planar y esférica.

El robot manipulador seleccionado es básicamente una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones interrelacionados mediante articulaciones con una configuración de 6 articulaciones rotacionales (R,R,R,R,R,R).

La articulación de rotación suministra un grado de libertad, consiste en una rotación alrededor del eje de la articulación, es la más empleada por lo que se ha elegido en la estructura del manipulador del presente trabajo de investigación.

## 4.5. Estudio y Selección de los componentes del Sistema Electrónico, Hardware y Software.

### 4.5.1. Hardware.

Existen muchos factores y variables a considerar para la elección del microcontrolador para el presente proyecto de investigación, además del costo unitario, la velocidad de proceso, el número o tipo de entradas y salidas, la familiaridad con las herramientas y arquitecturas, soporte de bibliotecas etc.

Cada microcontrolador consta de una constelación de hardware y herramientas de software que componen su estructura, en la Tabla 12 se ven algunas de las opciones disponibles en el mercado.

Tabla 12: Plataformas de Hardware Libre.

Características	Arduino	Raspberry Pi	Netduino	OSWarrior DK
<b>Micro-controlador</b>	ATmega xx8	BCM2835	At91SAM7X512 ATMEL	S08AC60 de freescale Semiconductor
<b>Voltaje de operación</b>	(3.3 - 5)V	(3.3-5)V	(7.5-12)V	5V
<b>Corriente de salida</b>	(40-130)mA	700mA	8mA	40mA
<b>E/S Digitales y Analógicas</b>	Si	No hay E/S analógicas	Si	Si
<b>Memoria Flash</b>	(2-32-512)KB	512KB	128KB	64KB
<b>SRAM</b>	(2-5.2-8-96)KB	1GB	60KB	2KB
<b>Velocidad de reloj</b>	(16 y 84)MHz	700MHz	48MHz	40MHz
<b>Tipo USB</b>	Estándar y Mini USB	Estándar, Ethernet	USB Estándar	USBDM
<b>Ventajas</b>	Bajo costo, Gran comunidad, Multiplataforma	Bajo costo, basada en gráficos Linux	Soporte completo de depuración, visual estudio IDE	confiables, alta calidad, Depuración de aplicaciones en tiempo real.
<b>Desventajas</b>	IDE por defecto primitivo, lenguaje pseudo-C, No consta en gráficos	No hay soporte por defecto duro en tiempo real, Linux gastos generales.	No soporte en tiempo real. Pequeña comunidad.	Pequeña comunidad.
<b>Costos</b>	Desde 8\$ a 100 \$	hasta 60\$	51\$	desde 25\$

Fuente: El Investigador.

- **Arduino.**

Existen en el mercado una serie de tarjetas con diferentes fabricantes y todas ellas vienen acompañadas de un entorno de desarrollo amigable no obstante la plataforma de Arduino ofrece muchas ventajas sobre otros sistemas, se tiene:

- Es libre y accesible
- Tiene una gran comunidad: muchas personas la utilizan
- Su entorno de programación es multiplataforma
- Las placas de Arduino son económicas
- Las placas de arduino son reutilizables y versátiles.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados, y cualquier persona interesada en crear entornos u objetos interactivos. Arduino toma información a través de sus entradas y salidas de toda una gama de sensores, motores, controladores, etc [36].

El uso del sistema Arduino facilita enormemente el control del manipulador robótico, debido a su gran variedad de funciones integradas, posee librerías que se actualizan continuamente, existe mucha información y el ahorro de espacio que éste módulo permite gracias a su cómoda presentación. Además, hoy en día está en auge en sistemas embebidos para la construcción de prototipos, al ser un Software libre, se lo puede usar libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin adquirir ninguna licencia, en la Tabla 13 se describe un análisis comparativo entre los principales módulos Arduino que existen.



Tabla 13: Descripción de los Módulos Arduino.

MODELO/ CARACTERÍSTICAS	Arduino UNO	Arduino Leonardo	Arduino DUE	Arduino Yún	Arduino Mega
Microcontrolador	<b>AT mega 328</b>	ATmega32U4	AT91SAM3X5E	ATmega32U4	<b>ATmega1280</b>
Voltaje de funcionamiento	<b>5V</b>	5V	3.3V	5V	<b>5V</b>
E/S Digitales	<b>14</b>	20	54	20	<b>54</b>
Entradas Analógicas	<b>6</b>	7	12	12	<b>16</b>
Corriente de salida	<b>40mA</b>	40mA	130mA	40mA	<b>40mA</b>
Memori flash	<b>32KB</b>	32KB	512 KB	32KB	<b>256KB</b>
SRAM	<b>2KB</b>	2KB	96 KB	2.3KB	<b>8KB</b>
EEPROM	<b>1KB</b>	1KB	0 KB	1KB	<b>4KB</b>
Velocidad de reloj	<b>16MHz</b>	16MHz	84MHz	16MHz	<b>16MHz</b>
Tipo USB.	<b>Normal USB</b>	Mini USB	Mini USB	Mini USB	<b>Normal USB</b>
COSTO	<b>\$ 33.00</b>	\$43.00	\$64.00	\$52.00 + IVA	<b>\$ 85.00</b>

Fuente: Elaborado por el Autor, Pág. oficial, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

- Módulo Arduino MEGA.

Se ha seleccionado el Arduino Mega, como se indica en la Figura 36 es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega1280. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida de los cuales 14 se puede utilizar como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs que son las puertas seriales, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, y un botón de reinicio. Dadas las características principales este módulo es apropiado para el desarrollo del proyecto. Se utilizó éste módulo por la capacidad de almacenamiento y velocidad de procesamiento, básicamente es el controlador del Brazo Robótico.



Figura 36: Circuito Arduino MEGA.

Fuente: Elaborado por el Autor

- Módulo Arduino UNO.

El módulo Arduino UNO fue también considerado para la construcción del prototipo ya que se desea evitar la sobrecargar el Arduino MEGA, El Módulo

EasyVR de reconocimiento de voz es acoplable con esta placa, es una de las razones por adicionar este dispositivo en el control del robot, en la Figura 37 se observa el módulo Arduino UNO:



Figura 37: Circuito Arduino UNO.  
Fuente: Elaborado por el Autor

■ **Servomotor Eléctrico.**

Son dispositivos electrónicos y mecánicos que están formados por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, es usado para el movimiento de palancas, pequeños ascensores, robots etc.

Para la elección del servomotor se ha realizado un análisis comparativo , ya que el prototipo requiere de servomotores de alto torque para mover cada articulación del robot con gran precisión

En la Tabla 14 se muestra los distintos servomotores para establecer el más adecuado al sistema desarrollado.

Tabla 14: Selección del servomotor.

Servomotor	GS-9025MG	MS-645	MG996R
Torque	2,5[Kg.cm]	9,6[Kg.cm]	12[Kg.cm]
Alimentación	4.8-6[V]	4.8-6[V]	4.8-6[V]
Tipo de engranaje	Plástico	Metal	Metal
Peso	13[g]	55,2[g]	55[g]
Velocidad	0.11 s/60 grados	0.20 s/60 grados	0.19 s/60 grados

Fuente: El Investigador.

Para el movimiento del brazo robótico y la banda transportadora es necesario un torque de por lo menos 12[Kgf.cm], que sea menos pesado y que dure largo periodo de tiempo con engranajes de metal, se puede utilizar cualquier servo código, hardware o biblioteca para controlar estos dispositivos, por dichas razones se ha elegido al servomotor MG996R.

En la figura 38 se muestra el servomotor MG996R, el cual se utilizó en el proyecto.



Figura 38: Servomotor MG996R con engranajes metálicos.

Fuente: Electrónicos Caldas, Disponible en:

[http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf)

En la Tabla 15 se indican otras especificaciones del servomotor MG996R.

Tabla 15: Características del servomotor MG996R.

<b>SERVOMOTOR MG996R</b>	
Temperatura de funcionamiento.	0 °C a 55 °C
Velocidad de funcionamiento	0,19s/60 grados ( 4.8V) 0,14s/60 grados (6V)
Torque detenido	9.4kgf*cm (4.8V), 12kgf*cm (6V)
Corriente	Ejecución de 500mA de corriente - 900mA a 6V
Tamaño	40mm x 19mm x 43mm
Banda muerta	5 microsegundos

Fuente: El Investigador

A continuación para el manejo de servomotores sin carga, se considera la especificación del mismo para calcular algunos parámetros que se usará en la construcción del prototipo:

- *Velocidad y aceleración angular:*

$w$  = velocidad angular

$\alpha$  =aceleración angular

En las especificaciones del servomotor se tiene que: la velocidad de operación es 0,19seg/60 grados.

Primero transformar los 60 grados a radianes

$$60\text{grados} * \frac{1\text{radian}}{57.29\text{grados}} = 1,047\text{radianes}$$

$$w = \frac{1,047}{0,19} = 5,51\text{rad/s}$$

$$w = 2\pi/t$$

$$t = 2\pi/w$$

$$t = 2(3.1416)/5,51$$

$$t = 1,14s$$

- Ahora calcular la aceleración angular y viene dada de la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{w}{t^2}$$

$$\alpha = \frac{5,51}{(1.14)^2}$$

$$\alpha = 4,24rad/s^2$$

- Ahora aplicar la fórmula de torque:

$$\tau = I\alpha$$

Donde el momento de inercia del eje transversal es multiplicado por la aceleración angular.

$$\tau = I\alpha$$

$$\tau = (0,6552kgcm^2)(4,24rad/s^2)$$

Al aplicar la fórmula el torque o par de fuerza que se necesita para mover el eje es de:

$$\tau = 2,77kg.cm$$

- **Puente H: L293D.**

Es un Circuito Integrado que sirve para manejar cargas de potencia media, en especial pequeños motores y cargas inductivas, con la capacidad de controlar corriente hasta 600mA en cada circuito y una tensión entre 4.5V a 36V[1].

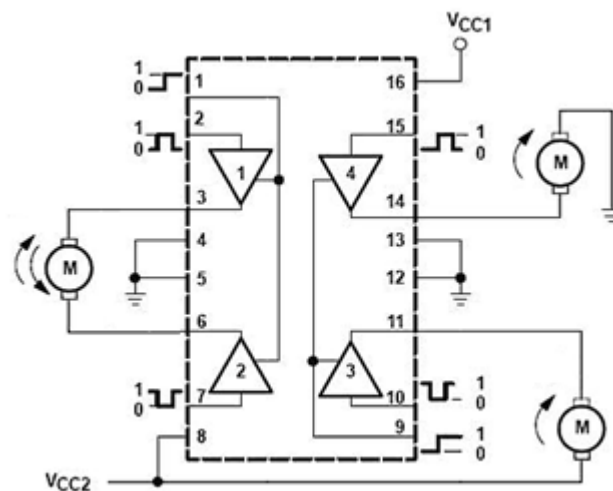


Figura 39: Puente H, L293D; Conexión para un motor con giro a ambos lados; y con motores con giro en sentido único al lado derecho [1].

- **Sensor Láser.**

Son sensores fotoeléctricos de propósito general, usados generalmente en aplicaciones industriales.

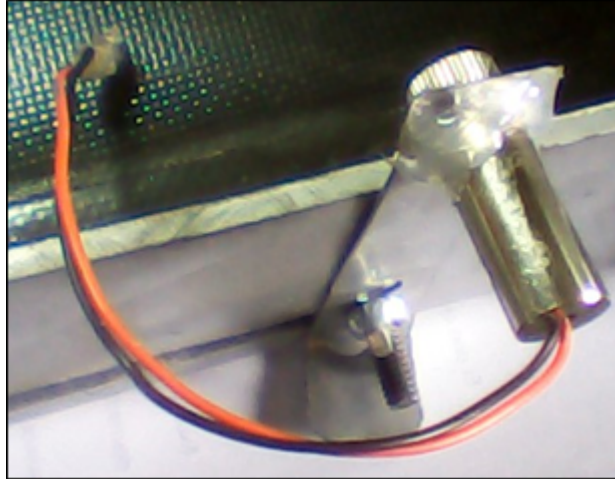


Figura 40: Láser utilizado en el proyecto.  
Fuente: El Investigador.

Tabla 16: Características del sensor Láser.

CARACTERÍSTICAS	
1	Punto luminoso regulable
2	Envoltorio de metal
3	Láser visible
4	Económico
5	Conector y cable de alimentación

Fuente: El Investigador.

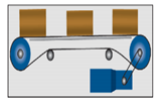


- **Análisis y selección de la Banda Transportadora**

Las bandas transportadoras son sistemas mecánicos que sirven para el transporte de diversos materiales.

Las cintas transportadoras se usan como componentes en la distribución y almacenaje en procesos automatizados, combinados con equipos informáticos de manejo de control, permitiendo una distribución minorista, mayorista y manufacturera más eficiente, permitiendo ahorrar mano de obra y transportar rápidamente grandes volúmenes de productos en los procesos, lo que ahorra costos a las empresas[37].

En la Tabla 17 se describe los tipos de bandas transportadoras, que posteriormente se seleccionará la adecuada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 17: Tipos y Descripción de Bandas Transportadoras.

TIPOS DE BANDA TRANSPORTADORA	DESCRIPCIÓN	VISUALIZACIÓN
<b>Transportador de Banda de Caucho.</b>	Las bandas transportadoras de goma Son las bandas de uso más común Para transporte de pequeños productos.	1 
Transportador de rodillos Metálicos	Utiliza rodillos metálicos para facilitar el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos, tales como cajas, tarimas, llantas, paquetes, etc.	2 
Transportador de Rodillos sin Fin	Son compactos, soportar altas temperaturas, son versátiles, varias zonas de carga y descarga. Desventajas: No grandes tamaños, materiales no frágiles y delicados, contaminación del material, distancia de hasta 50 m.	3 

Fuente: El Investigador.

Por ser un sistema fácil y el más común se ha elegido el Transportador de Banda de caucho, el cual es ideal para el transporte de objetos pequeños, que posteriormente serán manipulados por el robot secuencial.

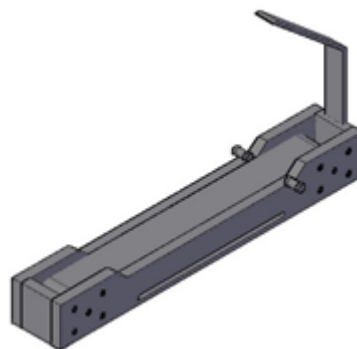


Figura 41: Diseño de la Banda Transportadora

Fuente: El Investigador.

#### ■ Cámara.

Es un dispositivo electrónico que captura y almacena fotografías.

Actualmente existen dos tecnologías para la fabricación de sensores destinados a las cámaras digitales: los CCD (Charge Coupled Device Dispositivo de Cargas Acopladas), que fueron los primeros en aparecer en el mercado y los recientes

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor- Semiconductor de Óxido de Metal Complementario).

Tanto los sensores CCD como los CMOS están fabricados con materiales semiconductores (Metal- Óxido) y están estructurados en forma de una matriz, con filas y columnas. Funcionan al acumular una carga eléctrica en cada celda de ésta matriz (pixel) en proporción a la intensidad de la luz que incide sobre ella localmente. A mayor intensidad luminosa, mayor carga acumulada[38].

Existen diferencias notables entre ambas tecnologías como se expresa en la Tabla18.

Tabla 18: Diferencias entre el sensor CCD y CMOS.

DIFERENCIAS	CCD	CMOS
Costo	Más costoso	Más económicos
Electrónica de control	Fuera del dispositivo de captura	Integrada en el dispositivo de captura
Sensibilidad	Inferior	Superior, integra elementos amplificadores en cada celda
Rango Dinámico.	Supera a los CMOS en un factor de dos	Bajo rango
Ruido	Menos ruido	Mayor ruido
Velocidad de obturación	Mayor velocidad	Menor Velocidad
Blooming	Si se da éste efecto	No se da éste efecto
Consumo Eléctrico	Mayor consumo	Menor consumo.

Fuente: D. Mendoza, W. Romero."Tesis de Grado ESPE-L" [38].

- *Cámara Web Omega 5MPX.*

Cámara Web ideal para PC, Laptops, compatible con todos los sistemas operativos con sistema ajustable de lente que le permite seleccionar la máxima calidad, toma fotos hasta con 8Mpx de calidad.



Figura 42: Cámara web Omega.  
Elaborado por: El Investigador.

Para la etapa de adquisición de imágenes, se utilizó una cámara web mostrada en la Figura 42 , que tiene las siguientes características.

- Fotos de alta definición
- Mayor rendimiento megapíxeles
- Clip para monitor universal Pan, Tilt y Zoom
- Efectos de vídeo
- Hasta 30 cuadros por segundo de vídeo en directo
- Micrófono incorporado
- Ajuste manual de 360 ° enfoque horizontal.

En el sistema de reconocimiento de imágenes se ha adecuado una cámara web con interfaz USB perpendicular con relación a la banda transportadora, en la Figura 43 se puede observar la posición de la cámara web.

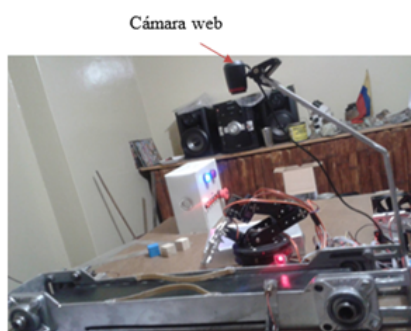


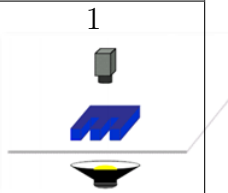
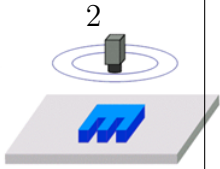
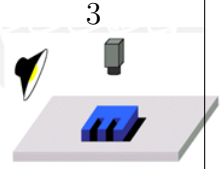
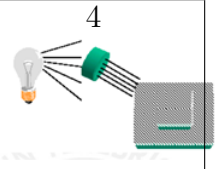
Figura 43: Posición de la Cámara web.  
Elaborado por: El Investigador.



■ **Iluminación Controlada.**

A más del sistema óptico, otra parte importante en el sistema de visión artificial es la iluminación, existen diferentes sistemas de iluminación en la Tabla 19 se expone una breve descripción de algunos de ellos.

Tabla 19: Sistemas de Iluminación.

Tipo de Iluminación	Descripción	Visualización
<b>Retroiluminación Difusa.</b>	<p>Consiste en dejar el objeto entre la cámara y la lámpara. Ésta técnica proporciona imágenes con un alto contraste entre la pieza y el fondo,</p> <p>Las aplicaciones pueden ser: medir el grado de porosidad de ciertas sustancias, en inspección dimensional para calcular el tamaño de una pieza.</p>	
<b>Iluminación Frontal.</b>	<p>Es la más usada, consiste en iluminar frontalmente la pieza. Presenta más problemas para obtener un buen contraste entre la pieza y el fondo debido a la aparición de brillos y sombras que alteran las propiedades de la pieza en estudio.</p>	
<b>Luz Direccional.</b>	<p>Se trata de una iluminación direccionada en algún sentido en el espacio para destacar una característica del objeto, La principal característica es la creación de sombras sobre el objeto lo que puede ayudar a aumentar el contraste de partes tridimensionales y obtener la consiguiente información 3D.</p>	
<b>Luz Estructurada.</b>	<p>Consiste en proyectar sobre la pieza unos patrones de luz conocidos modulados y observando la luz reflejada, que también viene modulada, obtener información sobre la estructura de la superficie del objeto, la cual puede ser reconstruida mediante triangulación.</p>	

Fuente: El Investigador




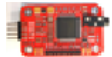
Es importante controlar la iluminación del sitio en el que se aplique el proyecto, ya que se puede alterar el tono de los colores debido a la intensidad de luz presente en el espacio de trabajo, para evitar confundir el color de los objetos, se puede utilizar la iluminación direccional para resaltar las características de interés del objeto, en este caso las características de color, logrando que la captura de la imagen sea correcta obteniendo un sistema óptimo.

■ **Selección del módulos para el reconocimiento de voz.**

Para facilitar la interacción social, se ha dotado al robot de un sistema que lo hace capaz de reconocer comandos de voz pregrabados y responder a éstos con sincronizados movimientos de acuerdo a la orden dada.

La voz emitida por el hombre, será procesada y reconocida para posteriormente emitir una orden que actuará sobre el proceso, obteniendo un mayor control en el mismo. En la tabla 20 se analiza algunos módulos de reconocimiento de voz, para la selección del módulo .

Tabla 20: Tipos de Módulos para el Reconocimiento de Voz

Características	EasyVR Shield3 	Módulo VR Stamp 	Módulo VRbot 	Voice Recognition v2 
Tensión de Funcionamiento	3.3V-5.5V	3.3V-3.6V	3.3V-5.5V	4.5V- 5.5V
Consumo en el Módulo normal de operación(Io)	12mA	26mA- 3V	12mA	<40mA
Consumo en el Módulo sleep de operación(Is)	<1mA	<1uA- 3V	<1mA	<1mA
Microcontrolador	Derechos reservados	RSC-4128 4Mbits de memoria flash	PIC16F88X	No especificado
Temperatura ambiente de trabajo.	0°C – 70°C	0°C – 70°C	0°C – 70°C	0°C – 70°C
Velocidad de reloj	20MHz	14MHz	20MHz	20MHz
Compatible	Arduino	Utiliza su misma tarjeta de programación	Arduino	Arduino y PIC
Software	Easy Comander rQuick T2SI™	Sensory Loader 4(SL4) QuickSynthesis™ 4. Quick T2SI™,	Easy Comander	AccesPort

Fuente: El Investigador

El Módulo EasyVR Shield 3 consiste en un módulo multipropósito diseñado para adaptarse de manera fácil y económica, a cualquier aplicación desarrollada en la plataforma Arduino y compatibles, con las siguientes características:

- 26 Voces y comandos pre-grabados de fábrica SI (Speaker Independent) en

seis idiomas diferentes: inglés, italiano, alemán, francés, español y japonés.

- Soporta hasta 32 comandos con su voz asociada creados por el usuario y definidos en cualquier idioma SD (Speaker Dependent).
- Incluye una aplicación de escritorio para Windows, para programar fácilmente los diferentes comandos y voces al módulo.(GUI Easonense).
- Es un módulo "esclavo" de comunicación a través de una interfaz serie asíncrona, conocido como interfaz UART
- La alimentación del módulo es de 3.5 a 5V.
- Una salida de audio (PWM) para la conexión con un altavoz de 8 Ohmios.
- Velocidad de transmisión: 9600 baudios(por defecto), 19200, 38700, 115200.
- Estructura de palabra: 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada.

Debido a que es un dispositivo mejorado que está actualmente en el mercado y tomando en cuenta el ahorro se utiliza el módulo de reconocimiento de voz EasyVR Shield 3, el módulo se comercializa totalmente ensamblado y comprobado Figura 44, e incluye un micrófono y cables de alimentación, además tiene una respuesta de frecuencia casi plena entre 100Hz a 20khz, lo que permite reconocer cualquier tipo de voz.

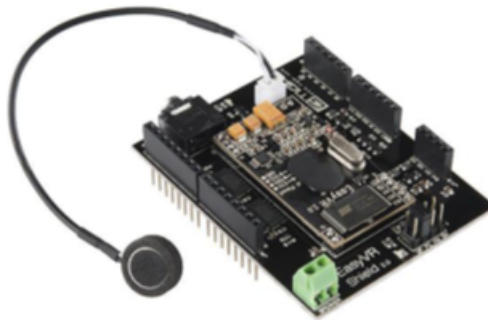


Figura 44: Módulo EasyVR Shield 3.  
Fuente: <http://arduino.cl/easyvr-shield-2-0/>.

#### 4.5.2. Software requerido para el Sistema.

Para el sistema de control electrónico se necesitan varios software de programación, siendo usados los siguientes:

- LABVIEW (LABORATORY VIRTUAL INSTRUMENT ENGINEERING WORKBENCH).

LabVIEW como un lenguaje de programación, es una potente herramienta de naturaleza gráfica, es ideal para pruebas, automatización de mediciones, control de instrumentos, adquisición de datos etc.

En la Figura 45 se indica el entorno de programación del software LabVIEW.

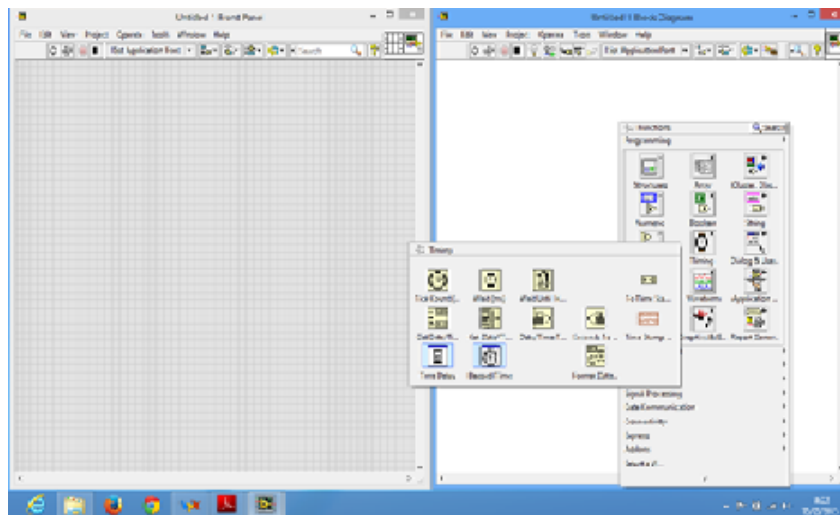


Figura 45: Entorno de Programación LabVIEW.  
Elaborado por: El Investigador.

- Principales características del software LabVIEW.
  1. Entorno de desarrollo gráfico: programación más intuitiva.
  2. Diseño de la interfaz gráfica, usando elementos pre diseñados.
  3. Gestión automática en la creación de hilos de ejecución.
  4. Herramientas convencionales para la depuración de los programas.
  5. Potente conjunto de librerías para adquisición de datos, control de instrumentos, análisis, presentación y almacenamiento de datos etc.
  6. Licencia para PC de Escritorio como un Objetivo Dedicado: 1255,00\$
- SOFTWARE ARDUINO.

El microcontrolador de la placa de arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino basado en Wiring, y el entorno de desarrollo Arduino basado en Processing. Este software es de código abierto lo que facilita la lectura y escritura de algoritmos en diferentes tipos de tarjetas, existen versiones para diferentes sistemas operativos[39].

Como se observa en la Figura 46 el entorno de Desarrollo Arduino está constituido por un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes, y una serie de menús. Permite la conexión USB por el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos [40].

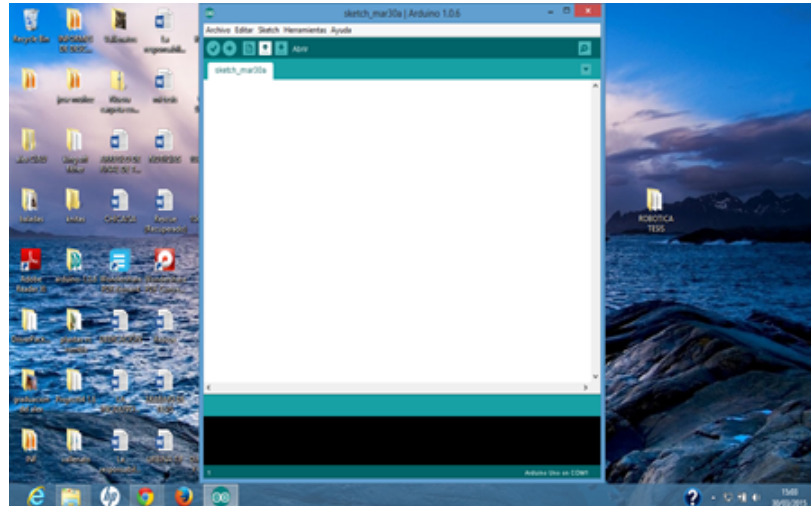


Figura 46: Entorno de programación de Arduino.  
Fuente: El investigador, Fotografía realizada

- SOFTWARE EAGLE(Easily Applicable Graphical Layout Editor), PARA EL DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS.

Un circuito impreso es una placa o plaqueta de material aislante, posee, en una o en ambas de sus caras láminas de cobre delgadas que conectan los pines de los diferentes componentes que conforman un circuito electrónico. El montaje de los componentes se realiza a través de orificios practicados en la placa o en el caso de la tecnología de montaje superficial, soldados directamente sobre las láminas conductoras.

En la actualidad, el diseño de circuitos impresos avanzó a la par de la informática, debido al grado de complejidad de los circuitos electrónicos, es necesario utilizar herramientas que brinden asistencia completa durante el proceso de diseño.

Para dichos fines surgen los programas de CAD(Computer Aided Design), Diseño Asistido por Computadora, que permite llevar a la pantalla el circuito esquemático y generar los archivos de soporte necesarios para finalizar con la creación del circuito impreso.

Eagle, es una potente aplicación para diseñar circuitos impresos y realizar esquemas electrónicos con autorouter, es decir, automatiza el dibujo de pistas

en la placa de circuitos impresos. Es un software muy popular debido a que su licencia es libre y a su gran disponibilidad de bibliotecas, en la Figura 47 se expone una de las placas hechas en EAGLE [41].

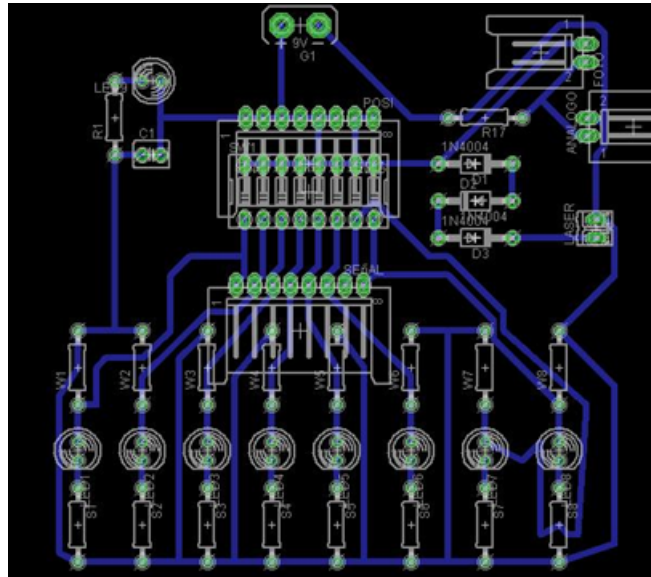


Figura 47: Placa diseñada en EAGLE.  
Elaborado por : El Investigador.

#### ■ PROTEUS.

Proteus es una aplicación que permite simular el funcionamiento de diseños electrónicos y así comprobar que los esquemas cumplan con las características de funcionalidad requerida.

ISIS: Permite simular esquemas electrónicos.

ARES: Ayuda a convertir las simulaciones a circuitos impresos

Posee una extensa gama de librerías con los modelos de componentes electrónicos tanto para la simulación como para el circuito impreso como se puede observar en la figura 48 .

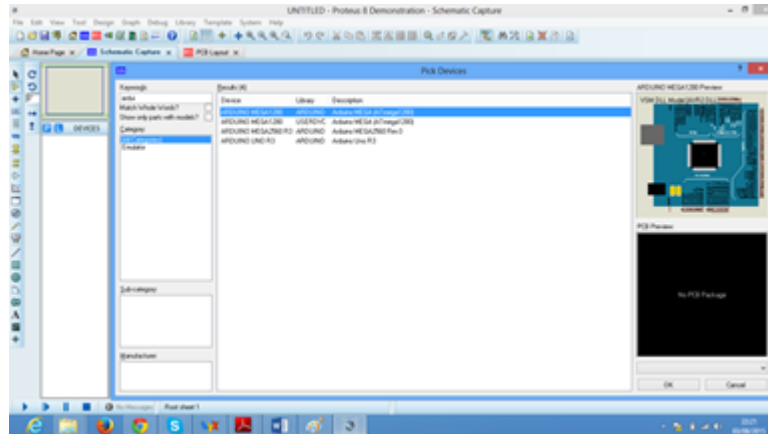


Figura 48: Software Proteus.  
Elaborado por : El Investigador.

- MATLAB.

Es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory ó Laboratorio de Matrices”, es un lenguaje de alto nivel y de ambiente interactivo, creado para realizar cálculos matemáticos con mayor velocidad que los programas comunes. Esta disponible para las plataformas de Unix, Windows y Aple, entre sus aplicaciones básicas se tiene: manipulación de matrices, representación de datos y funciones, creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas con otros lenguajes. Se utilizó Matlab para analizar el procesamiento digital de imágenes, usando las funciones que contiene el software.

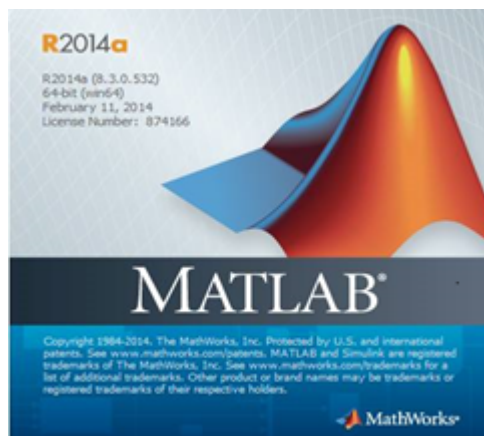


Figura 49: Software Matlab 2014.  
Elaborado por : El Investigador.

#### 4.6. Diseño e Implementación del sistema con la interfaz de usuario.

Una vez descritos los elementos utilizados para implementar el sistema de control, se procede a realizar el proceso de montaje del prototipo.

Para la implementación del Prototipo se ha seguido el siguiente diagrama de bloques que se indica en la Figura 50 .

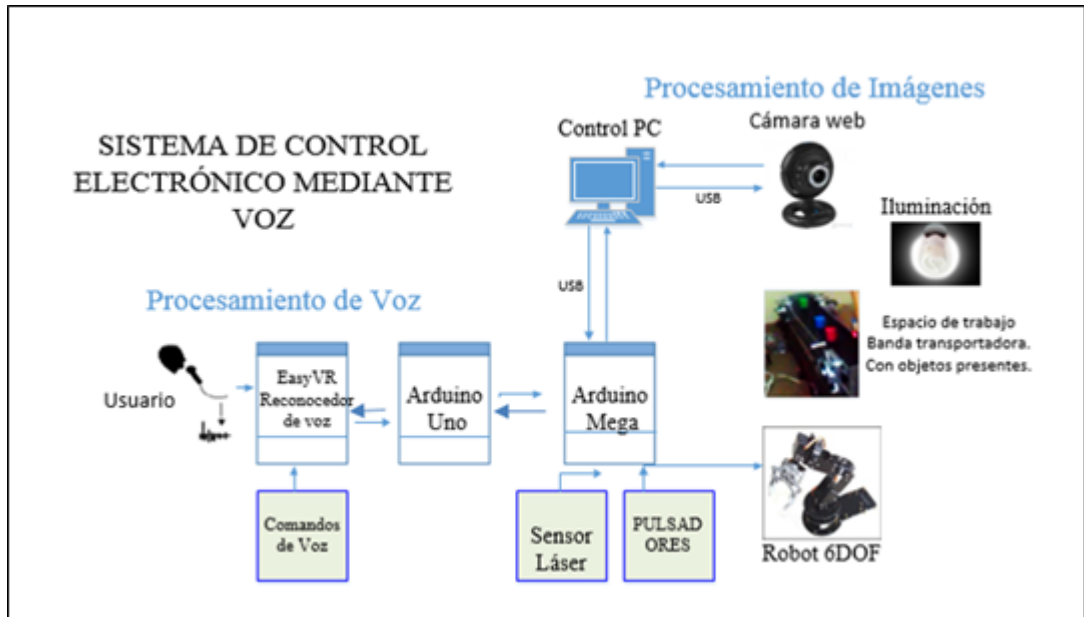


Figura 50: Diagrama de bloques para la conexión del Sistema Electrónico.  
Fuente: El Investigador

##### 4.6.1. Procesamiento Digital de Imágenes.

Existen diferentes formas para clasificar objetos, por tamaño, por forma, mediante el color, calidad, por peso etc.

La solución utilizada en este trabajo de investigación es mediante la identificación de color, una forma de clasificación mediante procesamiento de imágenes en la cual se utiliza las imágenes del modelo de color RGB.

El proceso de identificación de color sigue los siguientes pasos:

- Ajuste de tamaño de las Imágenes.
- Escala de Grises
- Ecuilización del Histograma.
- Filtros para eliminar el ruido.
- Detección de contornos.



### a) Ajuste de tamaño de las imágenes.

Las imágenes fueron normalizadas a 122 x111 píxeles, son valores elegidos arbitrariamente, este proceso se realiza debido a que las imágenes capturadas por la cámara web generalmente son muy amplias de todo el espacio de trabajo que originalmente tienen un tamaño de 640 x 480 píxeles, para el reconocimiento de color se debe enfocar en el objeto de color rojo , verde o azul que pasa por la banda transportadora, por lo que se debe definir un espacio de interés para procesar solo lo que esta de los límites normalizados, obteniendo una mejor tratamiento en tiempo real al trabajar con matrices de pequeño tamaño; como se observa en la Figura 51 se tiene la imagen real y la imagen JPG normalizada:

Para realizar este proceso se hizo uso de las funciones de Matlab `imcrop` e `imresize`.

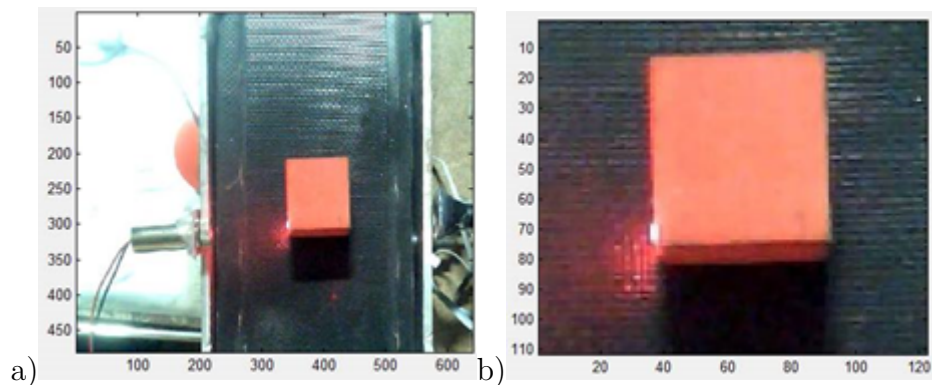


Figura 51: Ajuste de tamaño de la imagen JPG; a) Imagen Real, b)Imagen Normalizada.

Fuente: El Investigador.

### b) Conversión a escala de grises.

Para convertir una imagen de color a escala de grises se debe obtener los componentes RGB de cada píxel de la imagen y cambiar su valor por el correspondiente promedio de los tres componentes en ese píxel, en la Figura 52 se observa la conversión a escala de grises del color que está en proceso.

Para realizar la conversión a escala de grises de la imagen en Matlab se utilizó el comando `rgb2gray`.

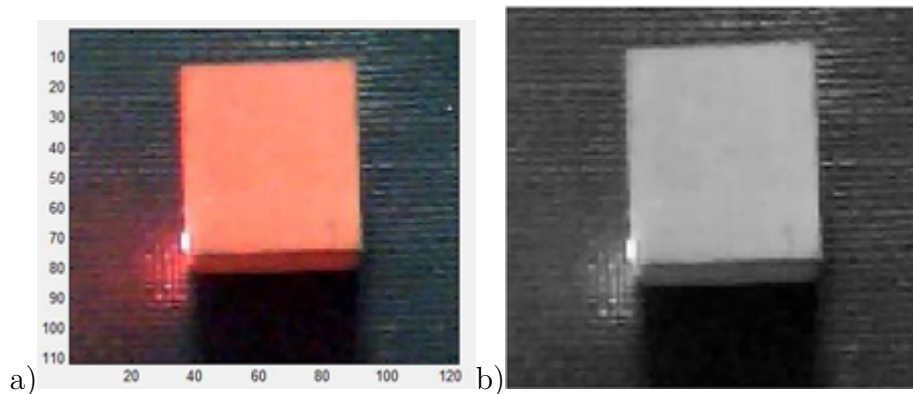


Figura 52: Transformación a escala de Gris; a) Color Original; b) Escala de Grises.  
Fuente: El Investigador.

**c) Ecualización del Histograma.**

El histograma de la imagen JPEG consiste en un gráfico donde se muestra todos los niveles de gris presentes en esa imagen  $r_k$  dentro del rango de 0 a 255 y la cantidad de píxeles con un determinado valor de gris  $n_k$ .

Para realizar el Histograma de la imagen JPG en Matlab se usó la función `imhist`, en la Figura 53 se observa una imagen en escala de grises y su correspondiente histograma.

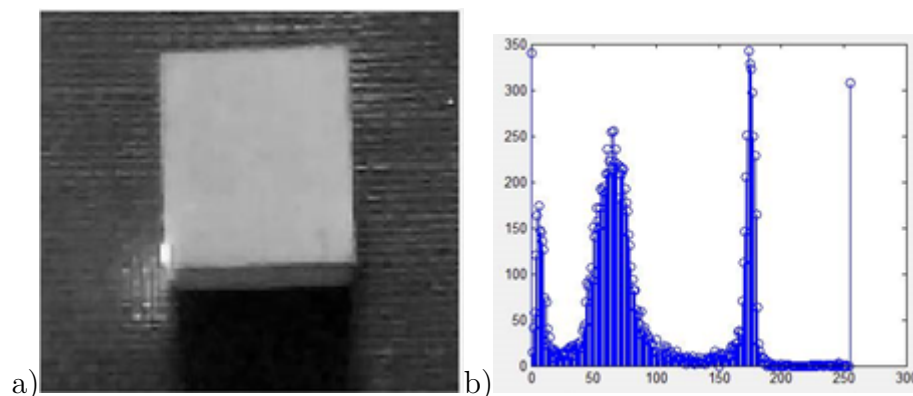


Figura 53: a) Imagen Original; b) Imagen en escala de grises; b) Histograma de la imagen.

Fuente: El Investigador.

El ecualizado de la imagen se realiza con el propósito de modificar su histograma de tal manera que la nueva imagen presente un histograma con una distribución uniforme, es decir, que exista el mismo número de píxeles para cada nivel de gris y se tiene una mayor resolución.

Para realizar el ecualizado de la imagen se utiliza la siguiente ecuación.

$$S_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{L - 1}{M * N} \sum_{j=0}^k n_j \quad (4.1)$$

Si:

$$p_r(r_j) = \frac{n_j}{M * N} \quad (4.2)$$

Donde:

$L$  =niveles de gris de la imagen

$M$  =ancho de la imagen en píxeles

$N$  =alto de la imagen en píxeles

$p_r$  =Densidad de Probabilidad

En la Figura 54 se observa una imagen en escala de grises con su ecualización.

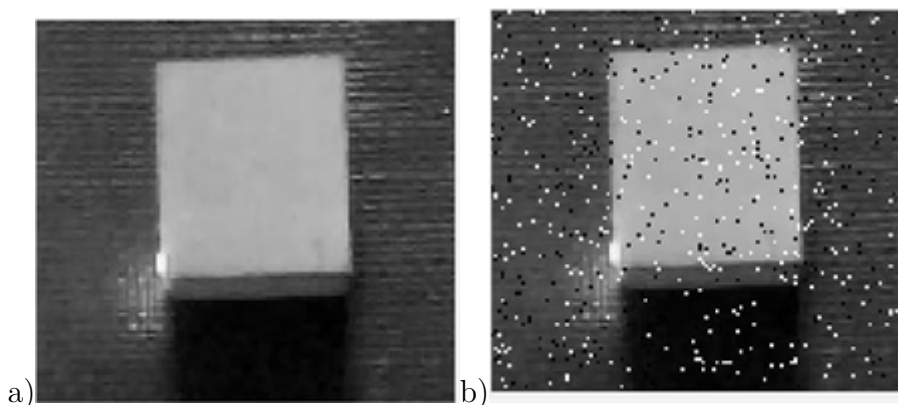


Figura 54: Ecualización de las imágenes.

Fuente: El Investigador.

Como se puede observar en el Histograma existen niveles de gris de 0 a 255, por lo tanto no se puede aplicar la ecualización en este caso.

#### d) Filtros para eliminar el ruido

- Filtro Lineal

Un Filtro es una operación que se aplica a una imagen píxel a píxel tal que para calcular el nuevo valor de cada píxel se usa no sólo dicho elemento sino también los cercanos. El filtro lineal sustituye el valor de cada píxel por una combinación lineal de los píxeles de un entorno rectangular centrado en él.

Se puede tomar como representación matemática de un filtro lineal, una matriz  $H$  con valores  $\mathbb{R}$ , de anchura y longitud impares. Para estas matrices se establece un sistema de coordenadas donde el elemento central es  $H(-i, -j)$  hasta  $H(i, j)$  [42]

El resultado de aplicar un filtro lineal  $H$  a una matriz  $X$  es una nueva imagen  $X'$  así:

$$X'(u, v) = \sum_{(i,j) \in RH} X(u+i, v+j)H(i, j); \forall (u, v) \in R_I \quad (4.3)$$

En la Figura 55 se puede observar el efecto de suavizado de la imagen con ruido.

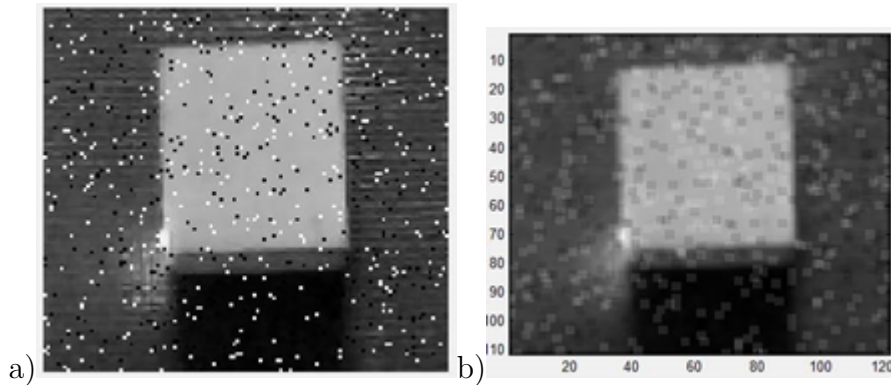


Figura 55: Filtro Lineal a) Imagen escala de grises con ruido; b) Imagen Filtrada.  
Elaborado por: El Investigador.

- Filtro de Mediana.

El filtro de mediana es un filtro no lineal, es excelente para atenuar el ruido presente en las imágenes, ya que el ruido se presenta mucho en las fotografías capturadas en ambientes con poca iluminación.

Este filtro selecciona el valor del píxel que se encuentra en el centro una vez que la matriz correspondiente a la imagen ha sido ordenada de mayor a menor valor, entonces se toma el valor en escala de grises del píxel central, el nivel de gris de cada píxel se reemplaza por la mediana de los niveles de gris en un entorno de este píxel.

Una de las desventajas que este tipo de filtro posee es que la imagen se torna un poco borrosa.

En la Figura 56 se puede visualizar el resultado de aplicar el filtro de mediana a una imagen con ruido, en Matlab este filtro se encuentra implementado con el comando `medfilt2`.

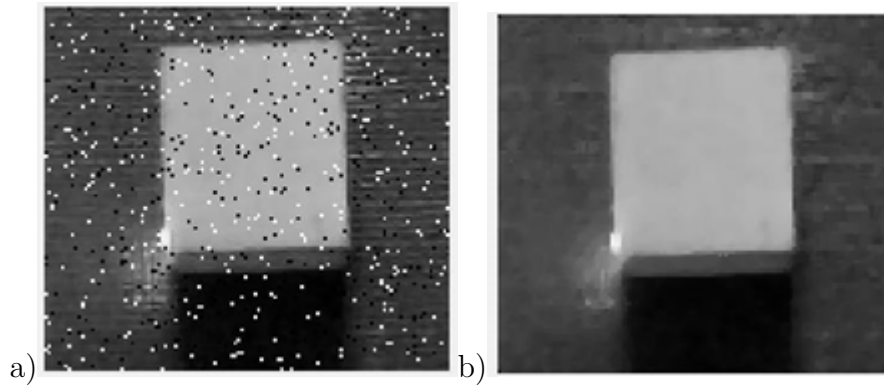


Figura 56: Filtrado de Imágenes, a) Imagen en escala de Grises con ruido; b) Imagen filtrada con Filtro de Mediana.

Fuente: El Investigador.

### e) Detección de Contornos.

La detección de contornos es un paso intermedio en el reconocimiento de patrones en imágenes digitales. En una imagen, los contornos corresponden a los límites de los objetos presentes en la imagen. Para hallar los contornos se buscan los lugares en la imagen en los que la intensidad del píxel cambia rápidamente, en el primer caso se buscarán grandes picos, y en el segundo cambios de signo, generalmente usando las siguientes funciones [43]:

1. Lugares donde la primera derivada (gradiente) de la intensidad es de magnitud mayor que la de un umbral predefinido. El operador gradiente  $G$  aplicado a una imagen  $f(x, y)$  está definido como:

$$\nabla f(x, y) = [G_x G_y] = \left[ \frac{df}{dx} \frac{df}{dy} \right]$$

2. Lugares donde la segunda derivada (laplaciano) de la intensidad tiene un cruce por cero.

$$\nabla^2 f(x, y) = \left[ \frac{d^2 f}{dx^2} \frac{d^2 f}{dy^2} \right]$$

En la Figura 57 se presenta la detección de contornos de la imagen transformada a escala de grises.

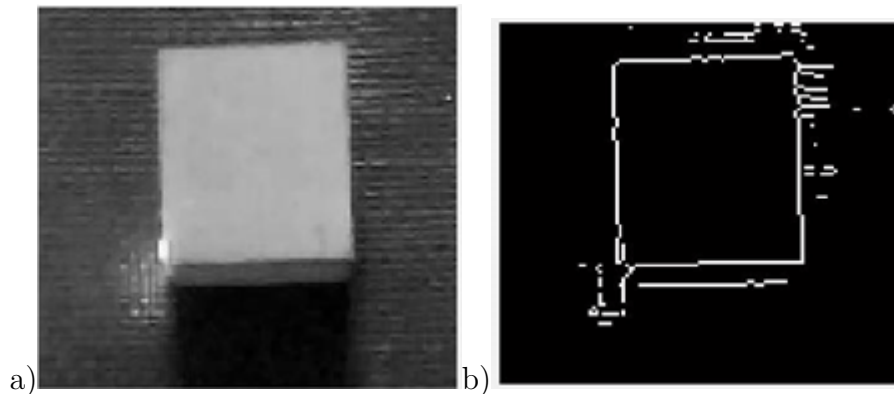


Figura 57: Detección de Contornos; a) Imagen en escala de grises, b) Contorno de la imagen JPEG

Elaborado por: El Investigador.

- Procesamiento de Imágenes en Labview.

LabVIEW posee funciones de procesamiento digital de imágenes lo que permite implementar las funcionalidades de una visión artificial, actualmente tiene un paquete que se llama NI-IMAQ, como se observa en la Figura 58 , que contiene las librerías que controlan la adquisición de imágenes y los instaladores que permiten utilizar dispositivos de adquisición de imágenes como cámaras.

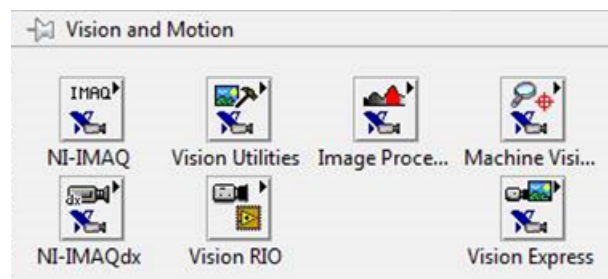


Figura 58: Menú de instrumentos virtuales de Vision and Motion

Elaborado por: El Investigador.

En la Figura 59 se representa la adquisición, el procesamiento y la interpretación de la imagen de color RGB utilizando los bloques virtuales de programación.

Etapas para el reconocimiento de una imagen de color rojo, verde o azul:

- Para empezar se debe abrir el puerto para que la cámara empiece a trabajar mediante el uso de [IMAQdx Open Camera.vi]
- Crear un espacio de memoria con la herramienta [ IMAQ Create]
- Se configura la cámara para que realice la captura en forma permanente, [IMAQdx Grab.vi]

- Una vez que se adquiere la imagen , se extrae las características de color mediante la herramienta [IMAQ ColorLearn], utilizando también la herramienta ROI para realizar el proceso únicamente en un espacio de interés puesto que la imagen es muy amplia.
- Luego se ingresa al bloque [Color Spectrum] para establecer la región del color a la que pertenece la imagen
- Se guarda la región de color en un [Index Array] para posteriormente comparar con un valor constante, con la herramienta [In Range and Coerce], se establece el color.
- Mediante un case de lazo cerrado se abre el puerto con el bloque [Init Interface], para que Arduino realice el movimiento del robot, dependiendo si es o no el color a clasificar
- Cerrando el puerto de comunicación mediante [Close.vi] para la interface de Arduino, por último, la herramienta [IMAQdx Close Camera.vi] cierra el puerto de comunicación con el computador.

#### CONTROL DEL BRAZO ROBOT.

LabVIEW también controla el movimiento del robot una vez que determina el color del objeto, utiliza un case de lazo cerrado para ejecutar el SUBVI es decir, el movimiento , se realiza la ejecución de una serie de operaciones de una manera determinada, las secuencias están dispuestas en ejecuciones de tiempo para mover los 6 servomotores del brazo robot, como se observa en la Figura 59 el primer case es para determinar el color y el segundo case determina si es el movimiento uno o dos, de acuerdo al color del objeto en ejecución.

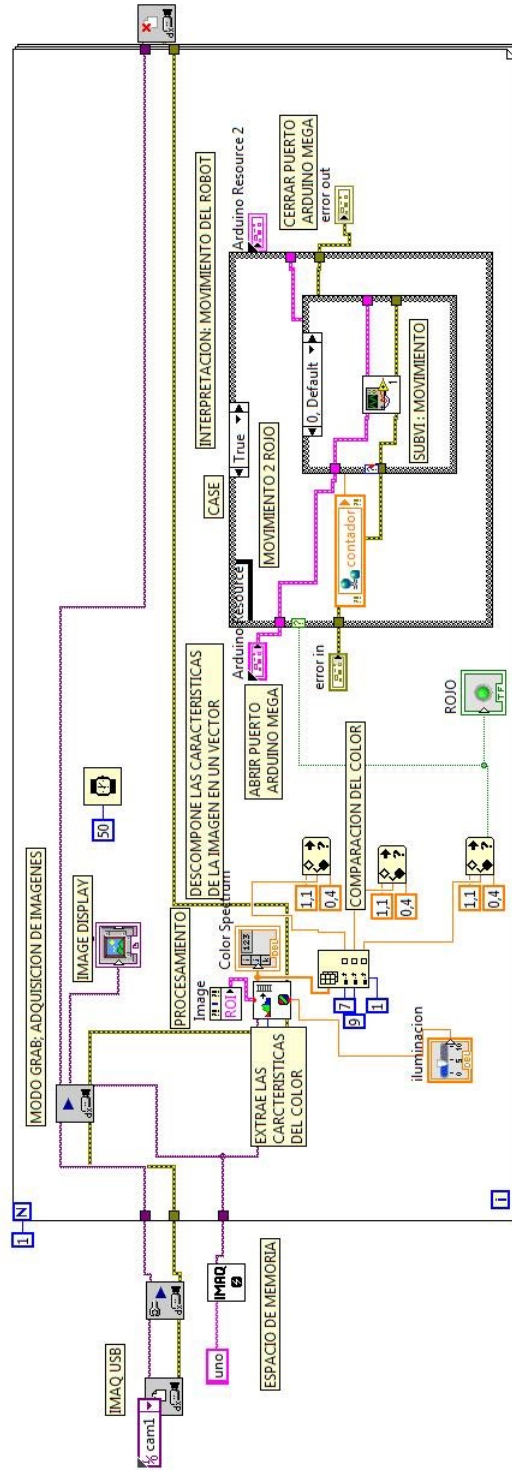


Figura 59: Adquisición, procesamiento e interpretación de imágenes.  
Elaborado por: El Investigador.



#### 4.6.2. Reconocimiento de Voz.

Es importante mencionar que los creadores del módulo Easonense Shiel3 reservan información sobre los elementos electrónicos que utiliza como memorias, Circuitos Integrados y otros elementos utilizados para la construcción del mismo, además se desconoce la técnica de procesamiento y reconocimiento de la señal de voz, en el estudio realizado se determina que la mayoría de módulos de reconocimiento de voz utilizan las técnicas de Modelos Ocultos de Márkov, por lo que resulta conveniente analizar el tratamiento de las señales de voz.

En la Figura 60 se observa el tratamiento de reconocimiento de voz, el proceso de reconocimiento recibe una palabra como entrada, la cual es muestreada a 8kHz, se guarda dicha información en vectores de voz con sus principales características para compararlas y al final se tiene como resultado el reconocimiento de la palabra dicha.

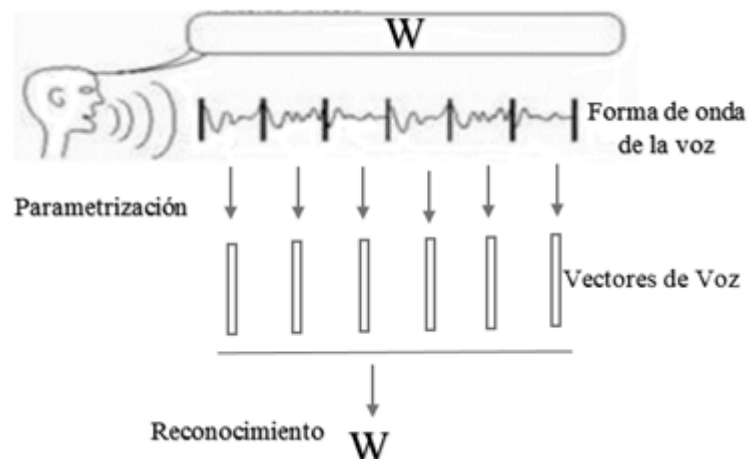


Figura 60: Secuencia para el reconocimiento de voz.

Fuente: El Investigador.

##### ■ Muestreo:

Teniendo en cuenta el teorema de muestreo de Nyquist y que el ancho de banda en el cual se encuentra la señal de voz humana se tiene que:

Señal de voz: 100 - 4000Hz

frecuencia de muestreo( $f_m$ )= 8000 muestras/s.

Periodo:  $T=1/f_m= 1/8000= 125\text{ms}$ .

En La figura 61 se puede observar el muestreo de un comando de voz con el tratamiento de un comando de voz en formato wav en Matlab.

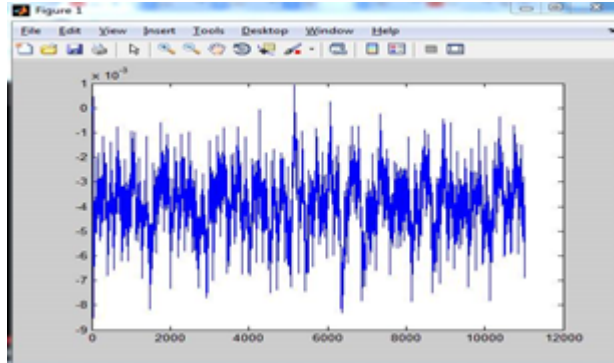


Figura 61: Muestreo de un comando de voz.  
Fuente: El Investigador.

- Ventaneo.

La señal de voz es dividida en intervalos de tiempo con el uso de la ventana de Hamming.

La función de la ventana de Hamming es:

$$W_n = \begin{cases} 0,54 - 0,46 \cdot \cos(2\pi n(N-1)); & \text{si } 0 \leq n \leq N-1 \\ 0; & 0 > n > N \end{cases}$$

La Transformada Rápida de Fourier(FFT) recorta la señal de voz a límites bien definidos de 500 a 1000Hz, donde se tiene la seguridad de la existencia de voz, es decir solo se procesa la palabra dicha.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot n} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{kn}; 0 \leq k \leq N$$

Donde:

$$W_N^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} = \cos\left(\frac{2\pi}{N}kn\right) - j \sin\left(\frac{2\pi}{N}kn\right)$$

En la figura 62 se observa el espectro obtenido de la FFT de un comando de voz, tratado con una ventana de Hamming.

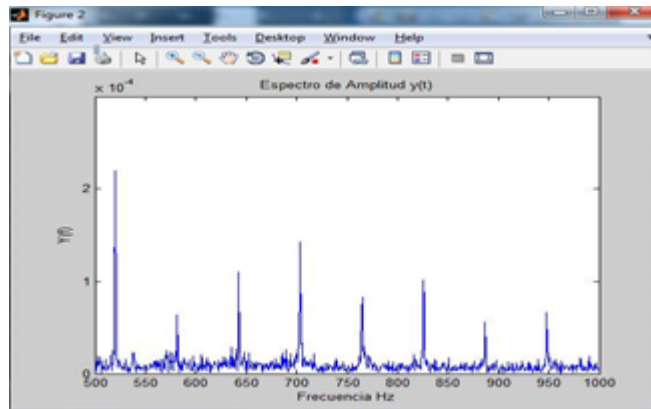


Figura 62: FFT de un comando de voz.  
Fuente: El Investigador.

#### 4.6.2.1. Diseño del circuito electrónico

En la Figura 63 se muestra el diseño del circuito electrónico para el reconocimiento de voz, los pines de transmisión y recepción del Arduino UNO se conectan con los pines de recepción y transmisión del módulo EasyVR alternadamente, el micrófono debe estar ubicado a su respectivo conector, también se observa que Arduino UNO tanto como EasyVR Shield 3 tienen su respectivo botón de RESET, para reponer o reiniciar el proceso. Las señales de salida del Arduino van dadas de acuerdo a cada comando de voz desde el pin número 6 al pin número 11 del Arduino UNO.

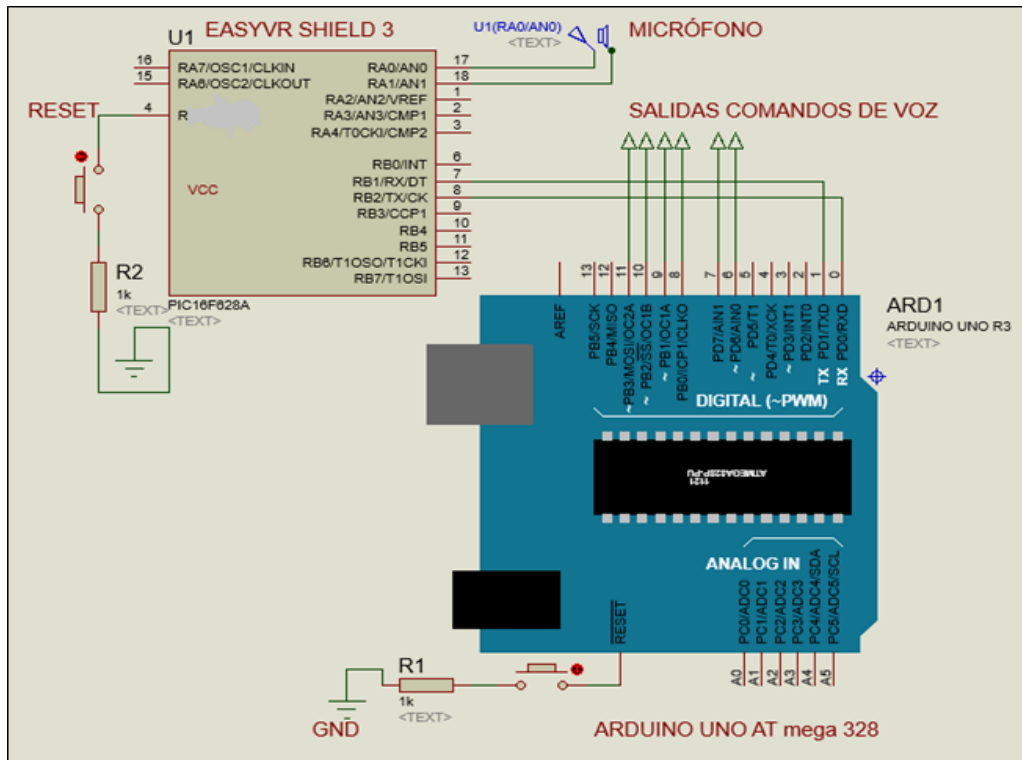


Figura 63: Diagrama de conexión EasyVR Shield 3 con Arduino UNO.  
Elaborado por: El Investigador.

La instalación del Módulo EasyVR Shield 3, es sencilla ya que se adapta al Arduino UNO, en la Figura 64 se indica el módulo EasyVR acoplado con la tarjeta de hardware libre Arduino UNO.

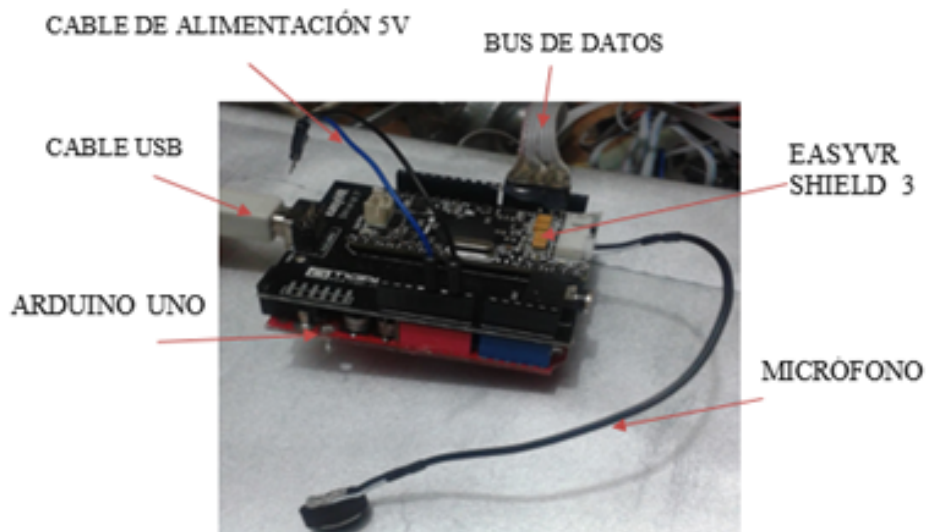


Figura 64: Conexión Electrónica, EasyVR-Arduino  
Fuente : El Investigador.

### Características:

- Alimentación requerida: 5V, 215mA.
- Alcance del sistema: 3 metros.
- Velocidad de comunicación: 9600 Baudios
- Tamaño reducido.
- Manejo y conexión sencillas.
- Adaptable a sistemas de control por voz.

#### 4.6.2.2. Establecimiento de comandos de Voz

Para realizar las grabaciones de voz en el módulo EasyVR se ejecuta el programa Easy Comander y se desplegará el siguiente entorno de programación.

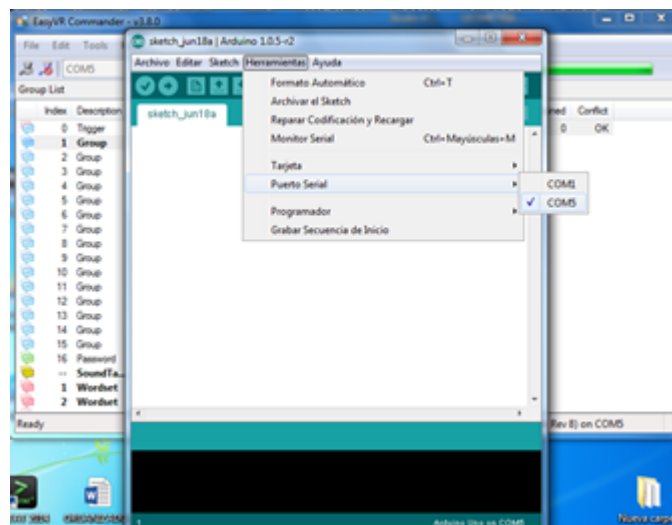


Figura 65: Ventana principal de la aplicación EasyVR Comander.  
Elaborado por: El Investigador.

Como se indica en la Figura 65, en la parte superior izquierda se observa un desplegable que permite seleccionar el puerto de comunicación COM disponible en el computador. Además de una serie de botones con diferentes tareas que se puede realizar en el módulo: añadir, editar, borrar comandos, enseñanza de las voces asociadas a los comandos, reconocimiento de esas voces etc. Para empezar a programar los comandos hay que tener presente lo siguiente:

1. Conectar el EasyVR con la Placa de Arduino UNO.

2. Si se desea audio, conectar un parlante de 8  $\Omega$  en sus respectivos pines de salida.
3. Conectar el micrófono en su respectivo conector.
4. Instalar las librerías Easy Comander y Arduino en la pc.
5. Conectar el arduino con el computador vía USB.

■ **Edición de Comandos.**

Una etiqueta o comando es una cadena ASCII que posteriormente asociará una voz de forma que, cuando sea conocida el sistema responda con el comando asociado, los pasos para crear o editar los comandos para el brazo robótico son los siguientes:

1. Se requiere que el jumper del módulo se encuentre en modo PC.
2. Seleccionar el grupo 1(Group 1)
3. Mediante el Botón “AddCommand” y/o “InsertCommand” se añaden los comandos deseados.
4. Mediante los botones “RemoveCommand” y “RenameCommand” para borrar o reeditar un comando respectivamente.
5. Para etiquetar solo admiten los comandos de la A a la Z.

Repetir el proceso hasta tener los comandos deseados como se indica en la Figura 66 , los comandos de control para la investigación presente.

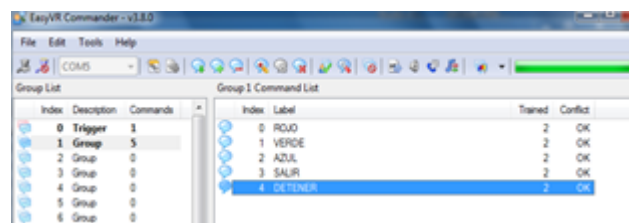


Figura 66: Edición de comandos Grupo 1, usados para el control del prototipo.  
Elaborado por: El Investigador.

■ **Modo enseñanza.**

Se refiere a grabar las voces que se usaran en el reconocimiento:

1. Seleccionar el grupo al que pertenece el comando al que se quiere asociar una voz.
2. Seleccionar el comando propiamente dicho.
3. Mediante el botón "Train command" se inicia el ciclo de enseñanza
4. Se dispone de un cierto tiempo para dictar la voz como se indica en la Figura 67.
5. Dicha voz hay que volver a dictarla para tener una mayor garantía.

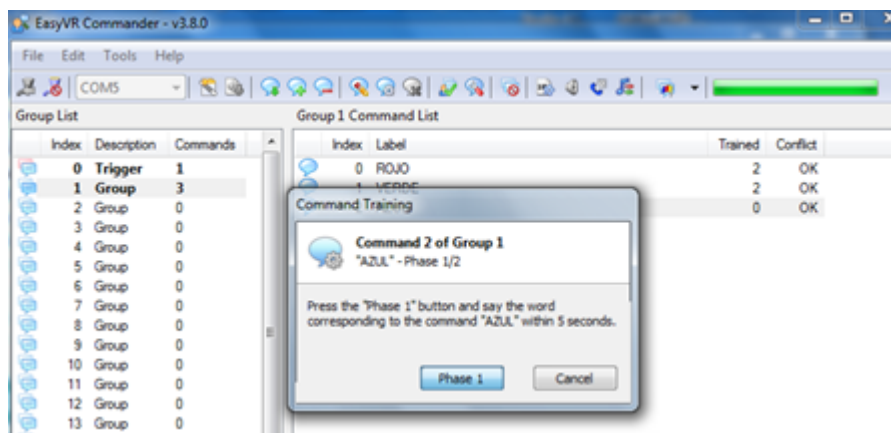


Figura 67: Tiempo de Dictado de la palabra.  
Elaborado por: El Investigador.

#### ■ El reconocimiento.

1. Una vez que ya se tienen las etiquetas con las voces SD definidas se sigue los siguientes pasos para el reconocimiento de las mismas:
2. Seleccionar el grupo1, en el cual se encuentran los comandos
3. Mediante el botón "TestGroup" iniciamos el reconocimiento.
4. Se dicta cualquier voz disponible en el grupo 1.
5. Si la voz es reconocida, el comando queda resaltado, repetir el proceso con diferentes voces, si se tarda un cierto tiempo en dictar la voz aparecerá un mensaje de expiración de tiempo,"Timeroutexpired".

En la Figura 68 se observa el reconocimiento de la palabra "DETENER".

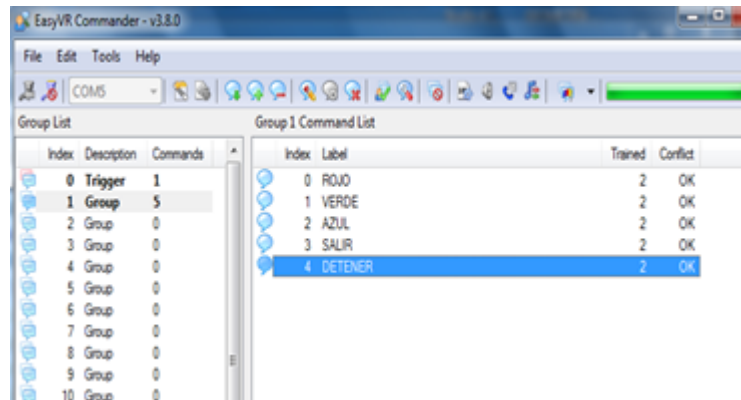


Figura 68: Ejemplo de reconocimiento de un comando dicho.  
Elaborado por: El Investigador.

- **Función de los comandos de voz usados para el “Control mediante voz”.**

La identificación de objetos esta hecho por el modelo de color RGB, en el cual reconoce solo los colores principales que son: rojo, verde y azul. En la Tabla 21 se indica los comandos definidos en el Easonense que realizan las siguientes funciones dentro de la programación en el software Arduino.

Tabla 21: Comandos de voz utilizados en el módulo Easonense.

Comando	Función.
Rojo	Permite al robot seleccionar y clasificar los objetos de color rojo presentes en el espacio de trabajo.
Verde	Permite al robot seleccionar y clasificar los objetos de color verde presentes en el espacio de trabajo
Azul	El Robot selecciona y clasifica los objetos de color azul presentes en el espacio de trabajo
Detener	Detiene el movimiento de la banda transportadora para cambiar de orden o simplemente detener la acción.
Salir	Sale de la pantalla de selección hacia la pantalla de modos de control. Control por voz o Control Manual.

Elaborador por : El Investigador.



### 4.6.3. Implementación del Prototipo.

- Cálculos
- Banda Transportadora.

Como se observa en la Figura 69 la banda transportadora la soportan dos rodillos los mismos que se encuentran sujetos por chumaceras, quienes son los encargados de mover la banda por fricción, el primero es accionado por el servomotor MG996R, mientras que el segundo rodillo gira libremente sin ningún tipo de accionamiento ya que su función es servir de retorno a la banda.

El sensor láser está dispuesto a 20 cm del vértice de la estructura lo cual permite que el objeto forme un ángulo de 90 grados con la cámara web, quedando 50cm libres para el transporte de los objetos.

La banda implementada tiene las siguientes medidas:

- Largo: 70cm
- Ancho: 11cm
- Alto: 40cm
- Medidas de la cinta transportadora: 60 x 40cm.

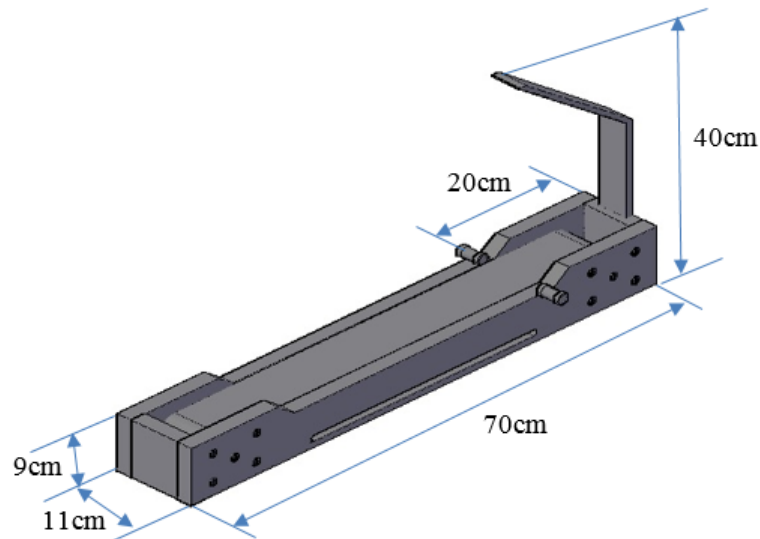


Figura 69: Banda Transportadora.  
Fuente: El Investigador.

El servomotor de la banda transportadora está truncado, lo que permite rotar los 360°, consiguiendo así el movimiento rotativo de la cinta transportadora.

En la figura 70 se indica la conexión eléctrica para accionar el servomotor de la banda transportadora.

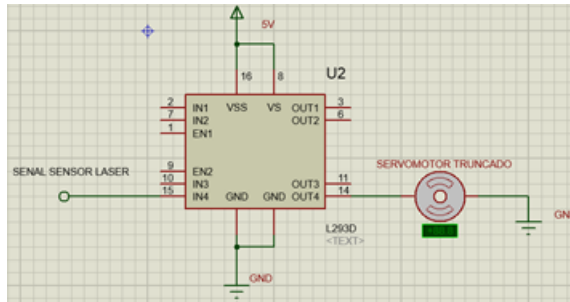


Figura 70: Conexión del servomotor en la banda transportadora con el puente H L293D.

Fuente: El Investigador.

- Cálculos de la fuerza aplicada:

Como ya se ha mencionado anteriormente, la banda transportadora la soportan dos rodillos los mismos que se encuentran sujetos por rodamientos, quienes son los encargados de mover la banda por fricción, el primero es accionado por el servomotor MG996R, mientras que el segundo rodillo gira libremente sin ningún tipo de accionamiento ya que su función es servir de retorno a la banda.

En la figura 71 se observa los elementos presentes en el momento de torsión o fuerza de la banda transportadora.

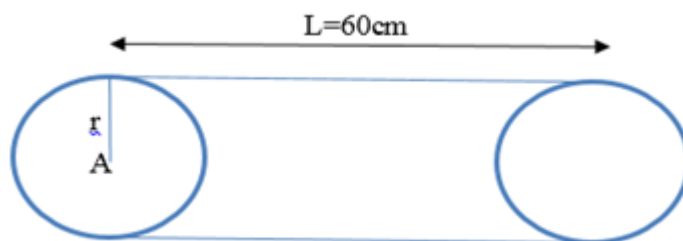


Figura 71: Elementos presentes en un momento de torsión o fuerza

Fuente: El Investigador.

La constante  $k$ , está relacionada con la resistencia del rodamiento que presenta el hule dependiendo de la carga que se aplique, en este caso es  $k=0.27$ , entonces la fuerza necesaria para poder mover los rodillos está dado por la siguiente ecuación:

$$\tau = k * F * r$$

Donde:

k- constante (0.27)

F- Fuera aplicada.

r- Radio de los rodillos (1cm).

$\tau$ - 9.7[KgF\*cm] a 5 [V]

La banda transportadora tiene dos rodillos entonces se tiene que:

$$\tau = 2kF * r$$

$$F = \frac{\tau}{2kr}$$

$$F = \frac{9.7[\text{KgF} * \text{cm}]}{2(0.27)(1\text{cm})}$$

$$F = 18.13\text{kgf}.$$

- Para el cálculo de la potencia:

Voltaje aplicado = 5V

Corriente = 520 [mA] a 5[V].

Entonces el cálculo de la potencia para el servomotor de la banda transportadora es de:

$$P = V * I$$

$$P = (5)(520) = 2.6W$$

- Brazo Robótico “6 DOF”

Los servomotores conectan directamente una señal de control PWM del Arduino MEGA, es decir anchos de pulso modular, con los que se puede mover con precisión el servomotor a cualquier punto de su radio de acción, y su alimentación a la fuente DC de 5 [V].

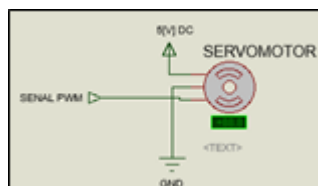


Figura 72: Conexión del servomotor MG996R

Elaborado por: El Investigador.

El brazo robótico consta de seis servomotores, uno en cada articulación, los cuales trabajan a 5[V] con una fuente independiente de la de las placas de control.

Para el cálculo de momento de torsión se realiza en cada articulación, en la Figura 73 se describe los parámetros como masa y distancia de cada parte del brazo robótico, para realizar los cálculos respectivos:

po- Peso del objeto(11.32g)

p1- Peso A-D (338g)

p2- Peso B-D (288g)

p3- Peso C-D(233g)

R1- Distancia máxima hasta la pinza que sujeta la carga (35cm)

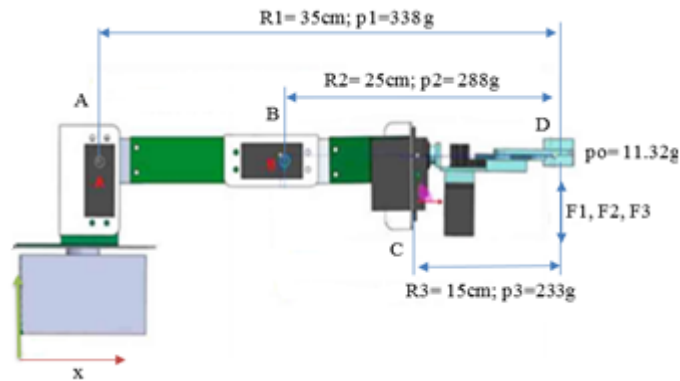


Figura 73: Modelo del momento de torsión para el manipulador.  
Elaborado por: El Investigador.

Cálculo del primer torque eje en A;

$$F1 = p_0 + p_1$$

$$\tau_1 = F1 * R1$$

$$\tau_1 = (0,34Kg) * (35cm)$$

$$\tau_1 = 11,9[Kg.cm]$$

Cálculo del segundo torque, eje en B;

$$F2 = p_0 + p_2$$

$$\tau_2 = F2 * R2$$

$$\tau_2 = (299,32g) * (25cm)$$

$$\tau_2 = 7,48[Kg.cm]$$

Cálculo del tercer torque, eje en CD;

$$F3 = p_0 + p_3$$

$$\tau_3 = F3 * R3$$

$$\tau_3 = (244,32g) * (15cm)$$

$$\tau_3 = 3,66[Kg.cm]$$

El torque necesario para mover todo del brazo robótico haciendo eje en el punto A es de 11,9kg.cm, el servomotor MG996R posee un torque semejante a dicho valor, lo que permite mover el brazo desde el ángulo 0, mientras que para mover el brazo robótico haciendo eje en el punto B es necesario 7,48kg.cm, el servomotor realiza este movimiento sin problema alguno, de la misma manera el torque necesario para rotar el brazo robot en el eje CD es de 3,66kg.cm, el servomotor trabaja normalmente.

En la Tabla 22 se indica los parámetros de funcionamiento al igual que el consumo de energía de cada servomotor.

Tabla 22: Parámetros de Funcionamiento del servomotor.

Variabes	Valor mínimo	Valor máximo	Valor de trabajo
Voltaje(V)	4.8[V]	6[V]	5[V]
Corriente(I)	500[mA]	900[mA]	520[mA]
Potencia(P)	2400[mW]	5400[mW]	2600[mW]

Elaborado por: El Investigador.

### ■ Diseño Funcional.

El sistema requiere que el brazo robótico traslade cubos de 11,32[g], desde un punto  $(x_1, y_1, z_1)$ , hacia otro punto  $(x_2, y_2, z_2)$ , con apilamiento de dos cubos por cada color seleccionado.

La figura 74 muestra los ángulos que el robot debe moverse con respecto al punto  $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$  en el plano "XY". Para la función ROJO el ángulo es de  $180^\circ$ , para VERDE es  $160^\circ$  y para azul es de  $140^\circ$ .

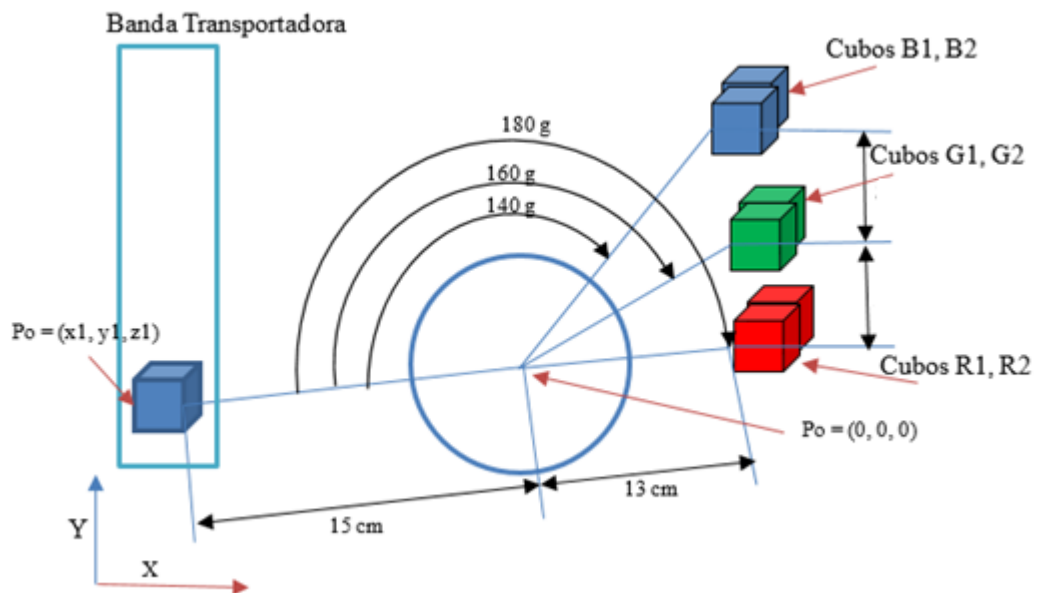


Figura 74: Ángulos en el plano X, Y para el movimiento del Robot.

Elaborado por: El Investigador.

La figura 75 muestra los ángulos que el robot debe moverse respecto al eje del punto  $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$  en el plano X-Z, para el movimiento uno está a  $5.1^\circ$ , para el movimiento dos está a  $10.2^\circ$ .

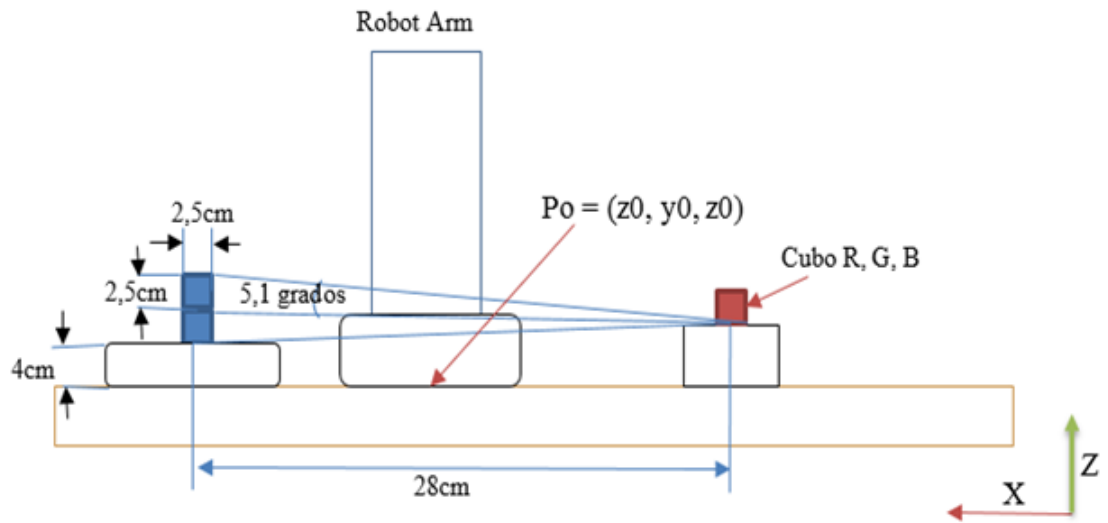


Figura 75: Ángulos en el plano X-Z, para la función R,G,B del Robot  
Elaborado por: El Investigador.

Se considera la cinemática directa, ya que brinda la facilidad de determinar la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas, tomando de referencia valores de articulaciones conocidos y así se pueden encontrar los ángulos que se deben girar logrando el posicionamiento deseado en proceso de clasificación de objetos, obteniendo de esta forma una ayuda para el control del manipulador robótico, la cinemática inversa brinda la facilidad de determinar los angulos necesarios, debido a que existen multiples trayectorias para llegar a un mismo punto.

La herramienta de LabVIEW [Servo Write Angle.vi] controla los servomotores con una rango de 0 a 180°, en la Tabla 23 se describe los valor de los ángulos, necesarios para el movimiento del brazo robótico.

Tabla 23: Ángulos de los servomotores para el primer y segundo movimiento del robot.

Servomotor	Primer Movimiento			Segundo Movimiento		
	Rojo	Verde	Azul	Rojo	Verde	Azul
1 Base	100°	100°	100°	100°	100°	100°
2 Hombro	100°	100°	100°	100°	100°	100°
4 Muñeca	100°	100°	100°	100°	100°	100°
3 Codo	30°	30°	30°	30°	30°	30°
6 Pinza	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5 Giro Garra	30°	30°	30°	30°	30°	30°
6 Garra	10°	10°	10°	10°	10°	10°
3 Codo	40°	40°	40°	40°	40°	40°
1 Base	180°	180°	180°	180°	180°	180°
2 Hombro	75°	75°	75°	75°	75°	75°
3 Codo	55°	55°	55°	55°	55°	55°
4 Muñeca	2°	2°	2°	2°	2°	2°
2 Hombro	55°	55°	55°	55°	55°	55°
5 Giro Garra	40°	40°	40°	40°	40°	40°
6 Pinza	76°	76°	76°	76°	76°	76°
2 Hombro	110°	110°	110°	110°	110°	110°
3 Codo	40°	40°	40°	40°	40°	40°
4 Muñeca	20°	20°	20°	20°	20°	20°
3 Codo	60°	60°	60°	60°	60°	60°
<b>1 Base</b>	0°	20°	40°	0°	20°	40°
5 Giro Garra	125°	125°	125°	125°	125°	125°
3 Codo	20°	20°	20°	20°	20°	20°
<b>2 Hombro</b>	85°	85°	85°	68°	68°	68°
4 Muñeca	15°	15°	15°	15°	15°	15°
6 Garra	40°	40°	40°	40°	40°	40°
3 Codo	40°	40°	40°	40°	40°	40°
2 Hombro	110°	110°	110°	110°	110°	110°
5 Giro Garra	120°	120°	120°	120°	120°	120°
3 Codo	40°	40°	40°	40°	40°	40°
4 Muñeca	30°	30°	30°	30°	30°	30°
1 Base	100°	100°	100°	100°	100°	100°

Fuente: El Investigador

Como se observa para el color rojo el primer servomotor gira a 0°, para verde a 20°, para azul a 40°, y para la apilación es decir el segundo movimiento se observa que el segundo servomotor toma el valor de 68 grados, para los tres modos, los demás servomotores siguen la misma secuencia.

Con los datos de la tabla anterior se realiza el gráfico del movimiento de del servomotor de la base con respecto al tiempo, como se identifica en la Figura 76 .

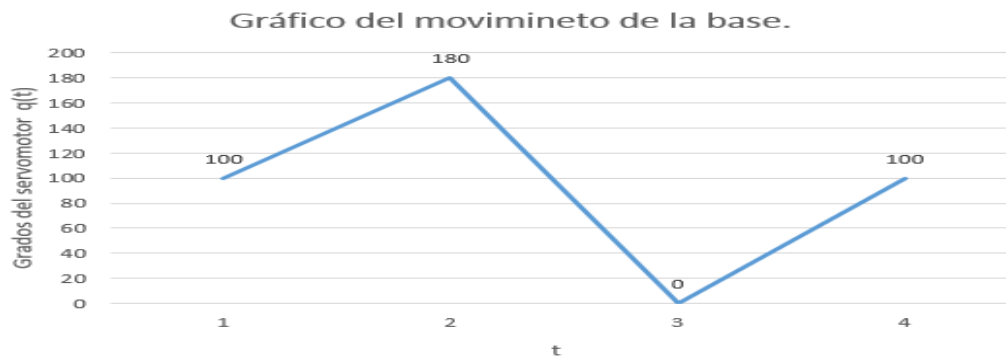


Figura 76: Gráfica del movimiento de la base con respecto al tiempo.  
Fuente: El Investigador.

En la Figura 77 se representa un esquema general es decir: la inicialización, el desarrollo y la finalización del programa para realizar los respectivos movimiento del Brazo Robotico, se observa las herramientas básicas de LabVIEW con las librerías de Arduino, lo cual se explica a continuación:

- Abrir el puerto de comunicación usando [Init.vi] Arduino.
- Con la herramienta [Set Number of Servos.vi] se crea un espacio de memoria en el Arduino para un cierto número de servomotores, en este caso son 6 servomotores.
- Se usa [Configure Servo.vi] para ingresar el número de pin para la salida digital que controla cada servomotor.
- Para controlar cada movimiento del robot se usa [Servo Write Angle.vi] en el cual se pone el número de servomotor con su respectivo ángulo de movimiento, cada servomotor realiza su función de acuerdo al tiempo establecido en milisegundos (Proceso ).
- Liberar el servomotor de su pin asignado [Detach Servo.vi].
- Y de la misma forma se cierra el puerto de comunicación de Arduino con la herramienta [Close.vi].



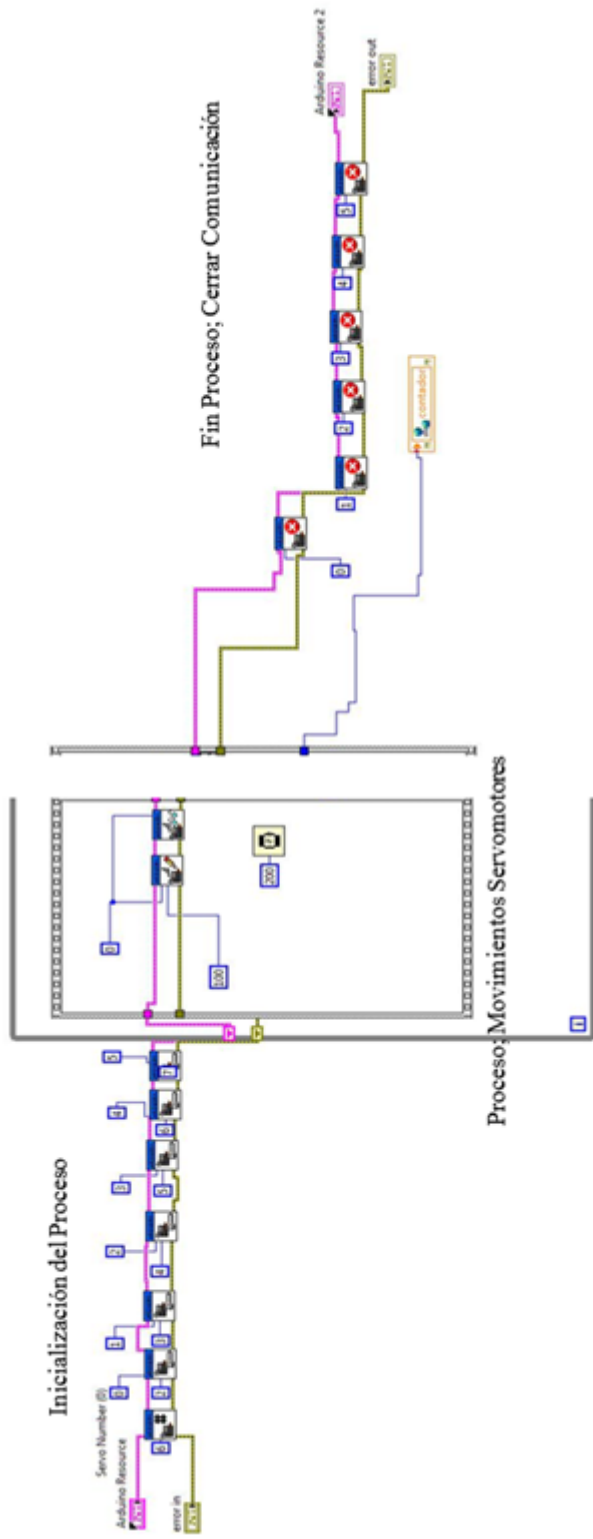


Figura 77: Programación en LabVIEW, para el movimiento del Brazo Robótico.  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.6.3.1. Programación.

En la Figura 78 se indica el diagrama de flujo general para todo el proceso, LabView controla el sistema con la ayuda del usuario, y sigue los siguientes pasos para su implementación.

DIAGRAMA DE FLUJO “SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”

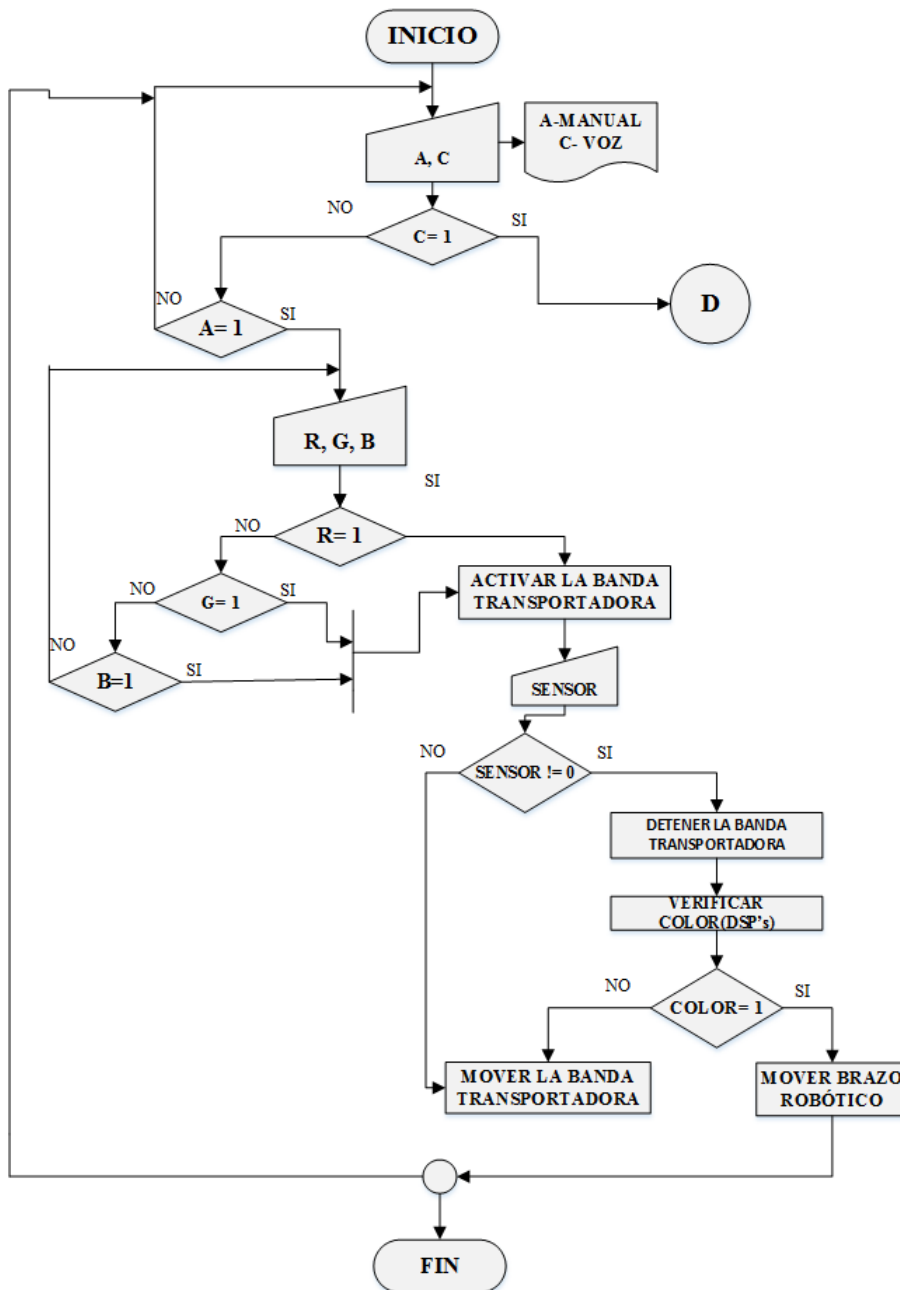


Figura 78: Diagrama de Flujo para la implementación del Sistema de Control.  
Elaborado por: El Investigador.

- Diagrama de flujo para el reconocimiento de voz.

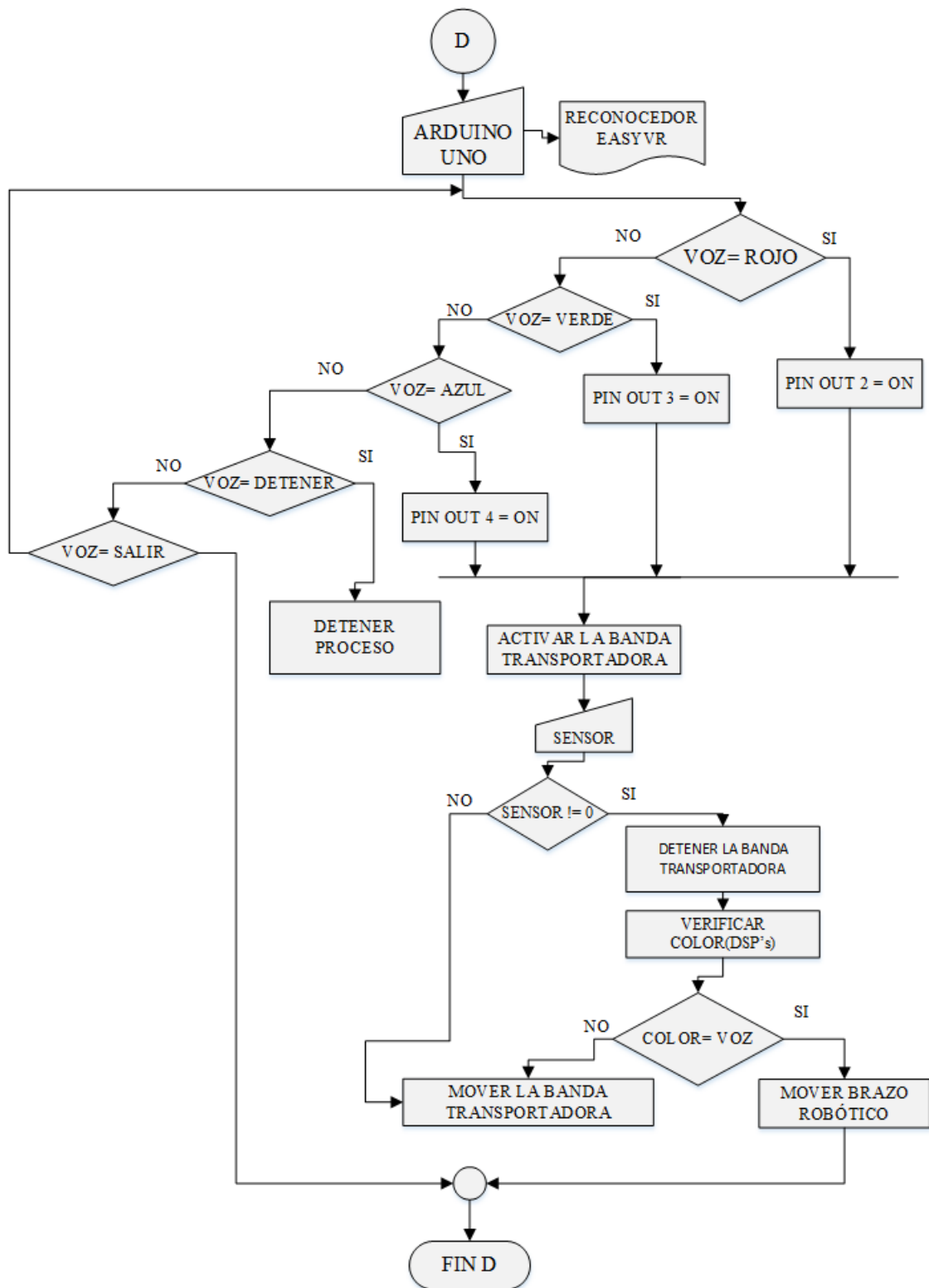


Figura 79: Diagrama de Flujo para el Reconocimiento de Voz  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.6.3.2. Diseño del esquema Electrónico.

Para el esquema electrónico fue necesario el estudio de las tarjetas Arduino UNO y MEGA, se utiliza el módulo procesador de voz EasyVR Shield3 para el reconocimiento de voz, el CI L293D, el diagrama electrónico está conectado de la siguiente manera:

- El módulo EasyVr trabaja conjuntamente con Arduino UNO, el pin RX de EasyVR esta unido al pin de TX de Arduino UNO y el pin TX de EasyVR está unido al pin de RX de Arduino UNO, estableciendo la comunicación de transmisión y recepción.
- Para cada comando de Voz se tiene una salida de voltaje (pin 6,7,8,9,10,11 Arduino UNO), en este caso son seis parámetros; estas salidas van conectadas directamente con Arduino MEGA( pin 39,41,43,45,47,49).
- Arduino MEGA controla el funcionamiento de los seis servomotores a través de señales PWM, como se observa en la figura 80 utiliza las salidas 2,3,4,5,6,7; para los servomotores del Brazo robótico enumerado desde la parte inferior hasta la parte superior consecutivamente.
- Para el panel de control mediante pulsadores se utiliza las salidas 24,26,28,30,32 de Arduino Mega.
- El servomotor truncado de la banda transportadora es controlado usando el puente H L293D.
- Tanto el Arduino UNO como Arduino MEGA tienen su propio botón de reset.

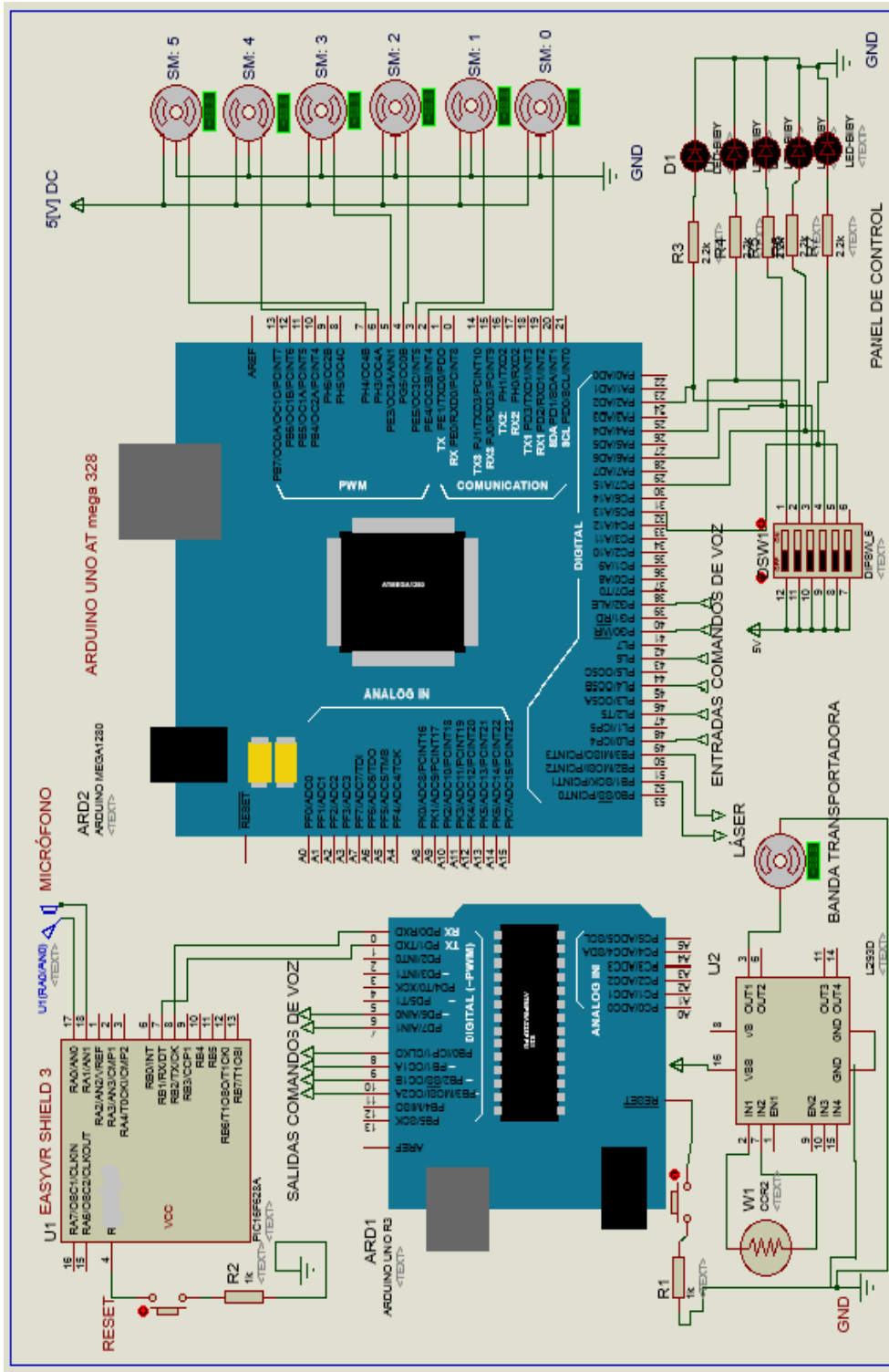


Figura 80: Esquema Electrónico del sistema completo.  
Elaborado por: El Investigador.

■ **Panel de Control.**

En el panel de control se colocan los botones de control, las luces piloto, leds indicadores para cada color RGB y el “pare de emergencia”, en la Figura 81 se muestra la conexión electrónica del panel de control.

Los pulsadores tanto como los leds están dispuestos de la siguiente forma, rojo, verde, azul, detener y parar; desde el lado izquierdo sucesivamente como está indicado.

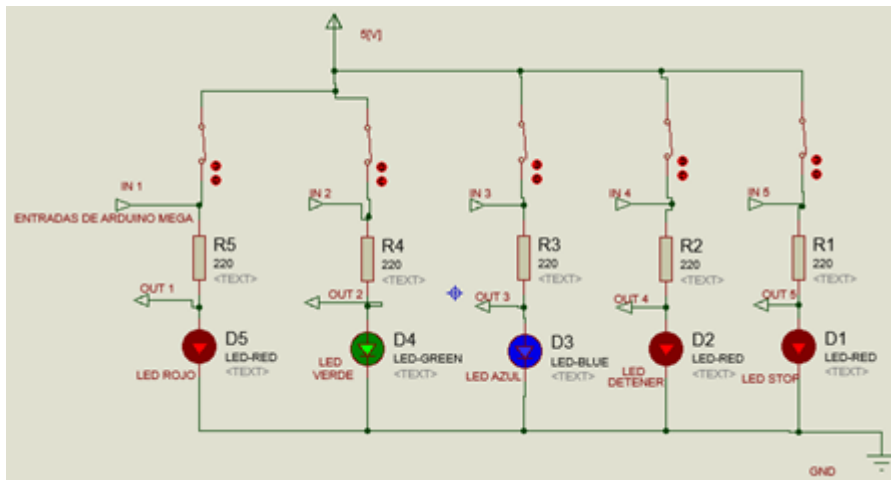


Figura 81: Conexión electrónica del panel de control.  
Fuente: El Investigador.

Cálculo de la resistencia mediante la Ley de Kirchoff, para protección del diodo led:

$$V_{fuente} - v_R - V_D = 0$$

Reemplazando y ordenando:

$$V_{fuente} - IxR - V_D = 0$$

Cálculo de la corriente aplicando la ley de Kirchoff

$$I = \frac{(V_{fuente} - V_{caída.led})}{R}$$

Despejando R:

$$R = \frac{(V_{fuente} - V_{caída.led})}{I}$$

Revisando las especificaciones generales para leds de 3 mm utilizados, éstos necesitan una corriente desde 10-20 [mA] para funcionamiento óptimo, a un voltaje directo promedio de 2,2[V], entonces:

$$R = \frac{(V - V_{caída.led})}{I}$$

$$R = \frac{(5 - 2.2)[v]}{10[mA]}; R = \frac{(5 - 2.2)[v]}{20[mA]}$$

$$R1 = 280\Omega; R2 = 140\Omega$$

Teniendo en cuenta que a menor resistencia, mayor es la intensidad de corriente, se consulta valores comerciales para elegir un valor apropiado, siendo  $R = 220\Omega$

$$I = \frac{(V_{fuente} - V_{caída.led})}{R}$$

$$I = \frac{(5 - 2,2)}{220} = 0.0127[A]$$

Al calcular la intensidad de corriente aproximadamente 12[mA] lo que proporciona al led un brillo adecuado, y suficiente bajo para alargar la vida útil del elemento.

■ **Placas Electrónicas Realizadas.**

Además de las Tarjetas Arduino, se realizó el diseño de dos placas electrónicas en el programa EAGLE, una está diseñada para la etapa de potencia de los seis servomotores y el control de la banda transportadora a través del circuito integrado 1293d, la otra placa realiza el control del proceso mediante el panel de pulsadores, en la Figura 82 se observa el diseño de las placas a) para los pulsadores del panel de control y b) para el control de los servomotores del brazo robótico y de la banda transportadora, respectivamente.

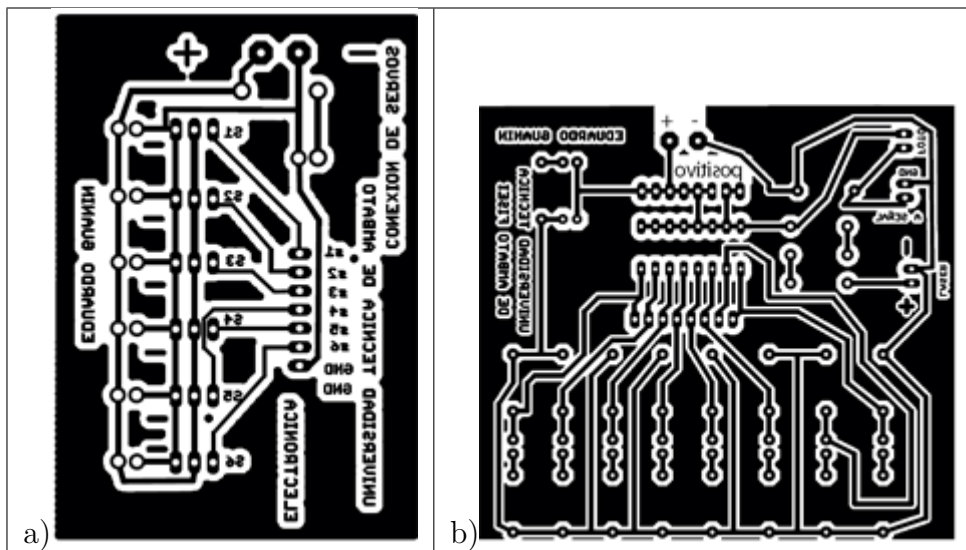


Figura 82: Placas realizadas, a) Control mediante Pulsadores, b) Control de servomotores.

Fuente: El Investigador

Después de realizar la transferencia de las pistas, la corrosión del cobre no protegido y realizar las perforaciones necesarias, se suelda los elementos electrónicos en las placas, en la Figura 83 se muestra las placas terminadas.



Figura 83: Placa terminada con los Componentes Electrónicos acoplados.  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.6.3.3. Sistema de Alimentación.

Una fuente es un dispositivo que convierte la tensión alterna en una o varias tensiones continuas que alimentan los distintos circuitos electrónicos.

El sistema de control implementado requiere de fuentes de alimentación de las siguientes denominaciones.

- 5[V] / 300[mA]; Alimentación a Tarjetas electrónicas.
- 5[V]- 6[V]/3[A]- Alimentación a Servomotores.

Para la etapa de alimentación del circuito, el cable USB conecta directamente la PC con el módulo principal Arduino Mega, es decir; además de transferir datos en tiempo real brinda la energía necesaria para alimentar las tarjetas electrónicas:

- Voltaje = 5[V]
- Intensidad de Corriente= 500[mA]

Por otro lado se debe tomar en consideración el consumo de corriente de cada servomotor, en la tabla 24 se realiza un estudio para determinar el consumo de energía en la parte de potencia



Tabla 24: Consumo se energía de los servomotores.

Servomotor	Voltaje	Corriente	Potencia
1 Base	5[V]	520[mA]	2,6[W]
2 Hombro	5[V]	520[mA]	2,6[W]
3 Codo	5[V]	520[mA]	2,6[W]
4 Muñeca	5[V]	520[mA]	2,6[W]
5 Rotación de la Muñeca	5[V]	520[mA]	2,6[W]
6 Pinza	5[V]	520[mA]	2,6[W]
Banda Transportadora	5[V]	520[mA]	2,6[W]
Total	5[V]	3,1[A]	18,2[W]

Fuente: El Investigador.

Con el análisis anterior se observa que se necesita un Transformador de 3[A] con una potencia superior a los 15,6 [W], dado que todos los servomotores no trabajan al mismo tiempo el consumo de energía es menor, pero para la construcción de la fuente se toman valores máximos y así no tener problemas en la alimentación.

- Diseño de una fuente regulable de 0 a 24 [V]DC, 3[A].

Una Fuente generalmente consta de cuatro etapas, como se muestra en la Figura 84

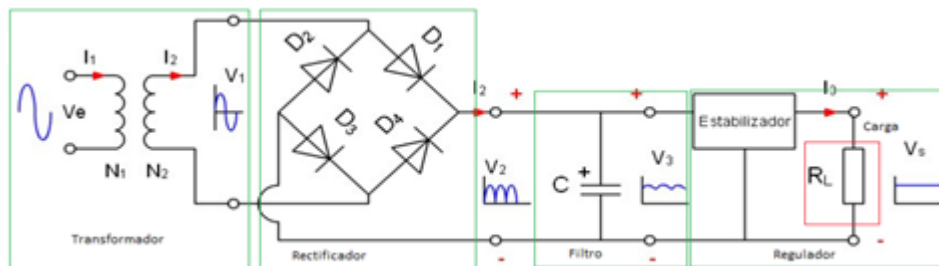


Figura 84: Partes de una fuente de Voltaje.

### Transformador.

Son dispositivos encargados de bajar o subir el voltaje o corriente dependiendo de la relación de vueltas en los bobinados del primario y secundario.

Relación del Bobinado con el voltaje.

$$\frac{V1}{V2} = \frac{n1}{n2}$$

$$V2 = \frac{n1}{n2} * V1$$

$n_1 > n_2$  = Transformador elevado.

$n_2 > n_1$  = Transformador reductor.

Relación de Bobinado con la corriente.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$I_2 = \frac{n_1}{n_2} * I_1$$

$n_1 > n_2$  = Transformador reductor presenta corriente alta.

$n_2 > n_1$  = Transformador elevador presenta corriente baja.

Relación con resistencia

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_1/I_1}{V_2/I_2} = \frac{V_1}{V_2} * \frac{I_2}{I_1} \rightarrow \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = a^2$$

$$R_1 = a^2 * R_2$$

Características del Transformador:

- Entrada de transformador: 120 [V] AC a 60 Hz
- Salida de transformador: 24 [V] AC y 12[V] AC
- Corriente: 3[A]
- Potencia: 36[W]

### **Rectificador.**

Un rectificador convierte una señal de AC en una señal DC. Existen varios tipos de Rectificadores de voltaje.

- Rectificadores de media onda.
- Rectificador de onda completa con tab central.
- Rectificador Puente
- Rectificador Trifásico.

Para la investigación presente es necesario utilizar un rectificador, por lo que se estudia al Rectificador Puente, en la Figura 85 se observa los tipos de Rectificadores existentes:



Figura 85: Tipos de encapsulamiento del rectificador tipo puente.  
 Fuente: [http://www.mcbtec.com/fuentes\\_lineales.html](http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.html)

Se utiliza un puente de diodos considerando los terminales +9V y -9V para la etapa de rectificación de la onda

$$V_{max} = V_0 * \sqrt{2}$$

Donde:

$V_0$  = voltaje salida del transformador 24[V]

$V_{m\acute{a}x}$  = Voltaje máximo para el cálculo del condensador.

$$V_{max} = 24 * \sqrt{2}$$

$$V_{max} = 33.9[V]$$

Al voltaje obtenido se le resta 1.4[V] debido a que el valor que consume el par de diodos por cada ciclo; por lo tanto el  $V_{m\acute{a}x}$  será:

$$V_{max} = 33.9[V] - 1.4[V]$$

$$V_{max} = 32.5[V].$$

#### ■ Filtro.

Una vez que la señal es rectificada, se obtiene una forma de onda que no es totalmente continua, como se ve en la figura ?? la señal de salida de color negro, para poder eliminar la ondulación y dejar la señal lo más continua posible, se debe filtrar la señal con capacitores.

Para calcular el valor del capacitor se tiene la siguiente ecuación:

$$C = \frac{5 * I_{max}}{2f * V_{max}}$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$  = Valor máximo de la tensión de entrada que equivale al valor pico del secundario del transformador.

$I_{m\acute{a}x}$  = Intensidad máxima en el secundario.

$d$  = Frecuencia de la señal de red.

CD = Capacitancia en Faradios.

$$C = \frac{5(3)A}{120 * 32,5}$$

$$C = 3846\mu A$$

Con la ecuación anterior se ha calculado el valor del capacitor, el cual se ha comparado con valores que se encuentran en el mercado y son los siguientes:

$$C1 = 4700\mu A$$

$$C2 = 2200\mu A$$

- **Regulador.**

La salida filtrada presenta una pequeña ondulación, para eliminar esta ondulación y controlar la tensión para que esta no cambie ante variaciones de corriente en la carga, se utiliza el regulador de voltaje LM338, seguido del regulador se coloca un capacitor de 0,1uF que actúa como filtro para minimizar el ruido y otras caídas de tensión no deseadas.

- **Diseño electrónico de la fuente reguladora de 0 a 24 V DC.**

En la figura 86 se observa el diseño electrónico de la fuente regulable de 0V a 24V de corriente continua, con una corriente de 3A, para solucionar el problema de energía.

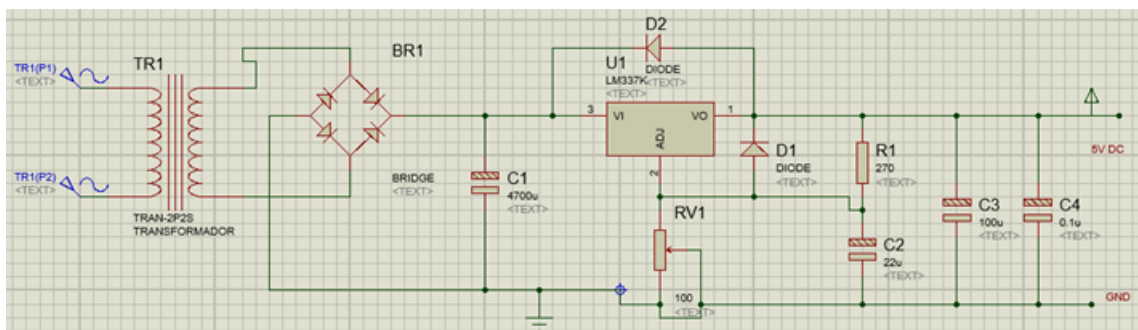


Figura 86: Diseño de la fuente reguladora en PROTEUS.

Elaborado por: El Investigador.

Finalmente se tiene la fuente regulable lista para usar en el sistema robótico, como se muestra en la figura 87 , además de la placa diseñada se indica un

disipador de calor para el regulador de voltaje LM338 y un ventilador para evitar el sobrecalentamiento e impida el incorrecto funcionamiento de la fuente.



Figura 87: Fuente regulable de 24 VDC.  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.6.3.4. Hardware Implementado.

Se construyó el prototipo sobre una base de cartón prensado, en donde se ha puesto la banda transportadora, el brazo robótico, el panel de control por botones, y la computadora como se indica en la Figura 88 .

En la parte Inferior del robot se coloca la Unidad de control, un lugar de fácil acceso para posteriores mantenimientos.

En el panel de control de ubican las luces piloto, los pulsadores, el pulsador de “Pare de emergencia” y en la parte interior se ubica el transformador, el disipador de calor de la fuente etc, con las conexiones establecidas.

Para encender el Sistema se usa el swich de paso que se encuentra en el lado inferior derecho de la maqueta, el administrador debe asegurarse que el botón de “Pare de emergencia” esté desactivado para iniciar el proceso.

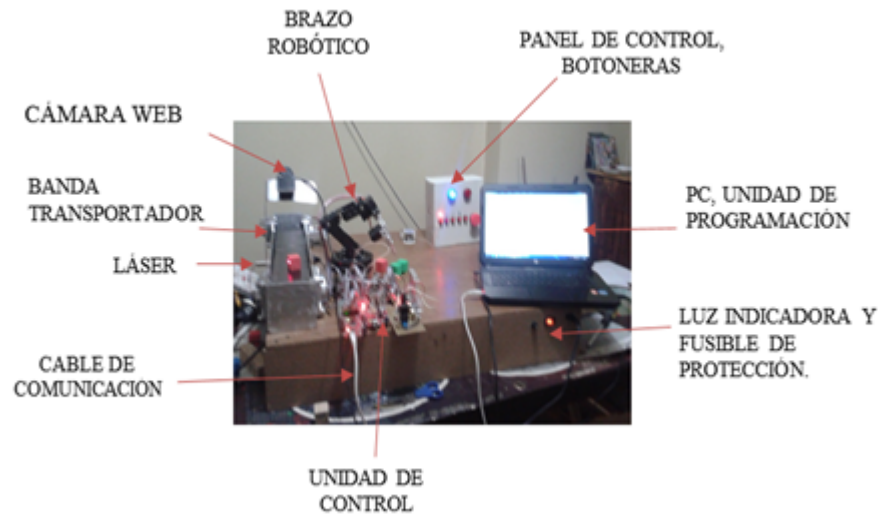


Figura 88: Hardware Implementado.  
Elaborado por : El Investigador.

El prototipo presenta un diseño cómodo para trasladar de un lugar a otro, en la tabla 25 se muestra las principales características que posee el sistema de control mediante voz:

Tabla 25: Características Principales del Prototipo.

Dispositivo	Modelo	Característica
Manipulador Robótico	“6DOF Robot Arm”	6 grados de libertad
Computador interfaz LabVIEW	HP	Windows 7, LabVIEW 2014 4Gb memoria RAM
Cámara web	Omega	Interfaz USB, Alta resolución
Arduino MEGA	Microcontrolador ATmega1280	54 E/S digitales, 8kb memoria RAM
Arduino UNO	Microcontrolador ATmega328	Bajo costo. 14 E/S Digitales
Sensor	Láser	45nm, luz regulable
Reconocedor de Voz	EasyVR Shield 3	32 comandos SD, 26 SI Varios idiomas
Iluminación	Luz Direccional	Resalta color RGB, Ayuda a resaltar el contraste
Banda Transportadora	Transportador de Caucho	60[cm] largo, 11[cm] ancho, 40[cm] alto, Estructura de metal.

Elaborado por : El Investigador.

#### 4.6.4. Construcción de las interfaz gráfica Hombre/ Robot en LabView.

Para el control del sistema se utilizó LabView, ya que con su orientación a control de procesos, sirve para generar prototipos, diseñar y desplegar sistemas embebidos, etc. El software está dividido en dos partes; la primera para realizar el control del brazo robótico y la segunda dedicada a la adquisición, procesamiento de imágenes e interpretación de la información contenida, mediante las librerías de Visión And Motion y Arduino, que constituye un transformador sistema de programación gráfica amigable y posee aplicaciones para el reconocimiento de imágenes mediante la adaptación de cámaras con puerto USB.

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs, un VI puede ser usado en otro VI realizando varias subrutinas, estos son llamados subVIs.



Figura 89: Representación Gráfica de un subVIs  
Elaborado por: El Investigador.

Después de desarrollar un VI, puede ser utilizado en otro VI, un Vi llamado desde otro diagrama de bloque, solo se necesita desarrollar un panel conector y crear un ícono.

- Desarrollo de la pantalla principal.

El software implementado para el “Sistema de control Electrónico” está constituido por una pantalla principal que consta con un menú de opciones: Iniciar Proceso y Salir

Además consta con información principal, con el nombre de la Universidad, el nombre de la Facultad, nombre del Autor, nombre del Tutor, el Tema del trabajo de Investigación, como se observa en la Figura 90 .



Figura 90: Pantalla Principal de Sistema Electrónico.  
Elaborado por: El Investigador.

- Iniciar Proceso. La opción de Iniciar Proceso permite ingresar en el sistema, llegando hacia otra ventana con opciones para el control del sistema.
- Salir: La pestaña de Salir, permite parar el proceso y por ende salir del software en ejecución.

En la Figura 91 se observa el código de programación en bloques de la Pantalla principal del proyecto de investigación.

Se puede observar cómo se inicializa y se cierra el puerto para Arduino con las herramientas Init.vi y Close.vi, respectivamente, una vez inicializado mediante la pulsación del botón “Iniciar Proceso” el caso ejecuta el VI interno dependiendo la selección del usuario.

Además de observa que se ha designado el puerto de comunicación COM, el tipo de módulo Arduino con la velocidad de transmisión que son 9600 baudios.

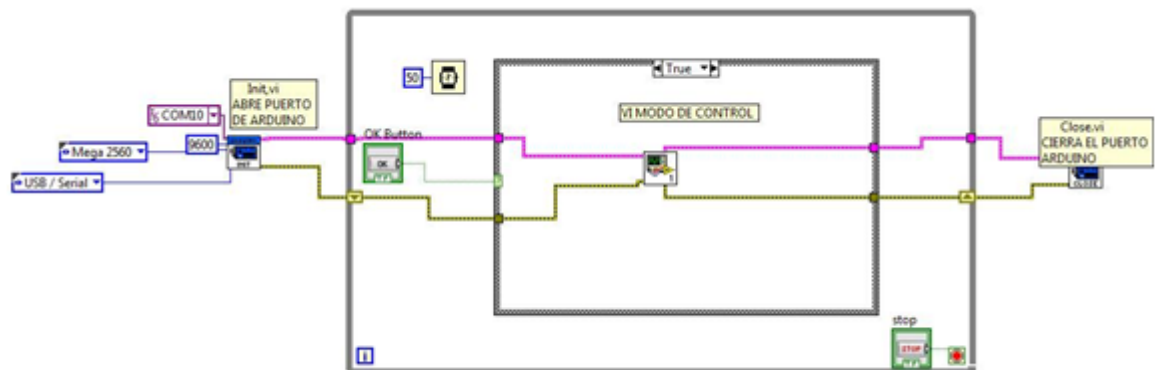


Figura 91: Código de la Pantalla Principal del Sistema de control implementado.  
Elaborado por: El Investigador.



La siguiente ventana del software de Control Electrónico, requiere la participación del usuario, el cual selecciona el modo de trabajo a usar.

Se ha desarrollado dos opciones, el primero para el control mediante comandos de Voz y el segundo por control manual. En la Figura 92 se muestra la pantalla con los dos modos de uso del sistema.



Figura 92: Software para la selección del modo de trabajo del Sistema.  
Elaborado por: El Investigador.

La primera opción, Control Mediante Voz, permite la selección y clasificación de objetos según el comando dicho por el usuario, en la pantalla se indica los comandos que se puede decir para empezar el proceso: como verde, azul, rojo, detener y salir, que son los comandos utilizados en el Módulo de reconocimiento de Voz EasyVR, en la Figura 93 de muestran las pantallas; la primera a) Control por Voz; y b) Control Manual.

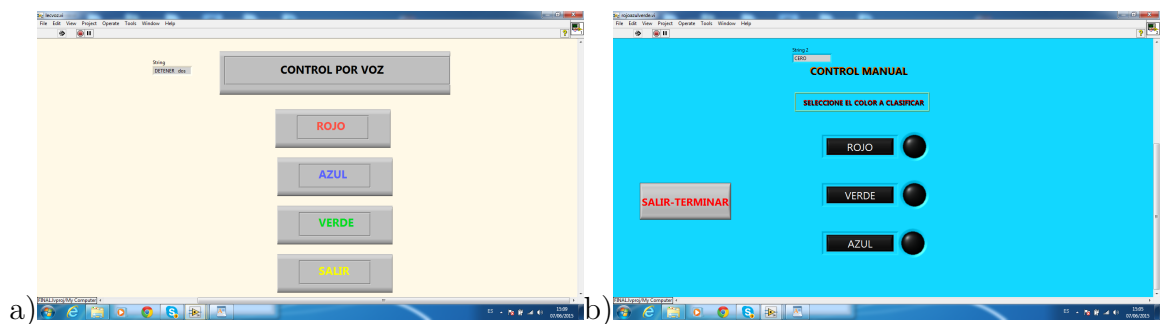


Figura 93: Pantalla para el Control: a) Control por Voz, b) Control Manual  
Elaborado por: El Investigador.

Una vez dicho cualquier comando de voz, la banda empezará a moverse y se clasificará solo objetos del color dichos por el usuario, y para cambiar de proceso, se debe primero decir la Palabra “Detener” , o La palabra “Salir ” para cambiar de modo de operación.

En la Figura 94 se realiza un ejemplo con el comando “Rojo”.

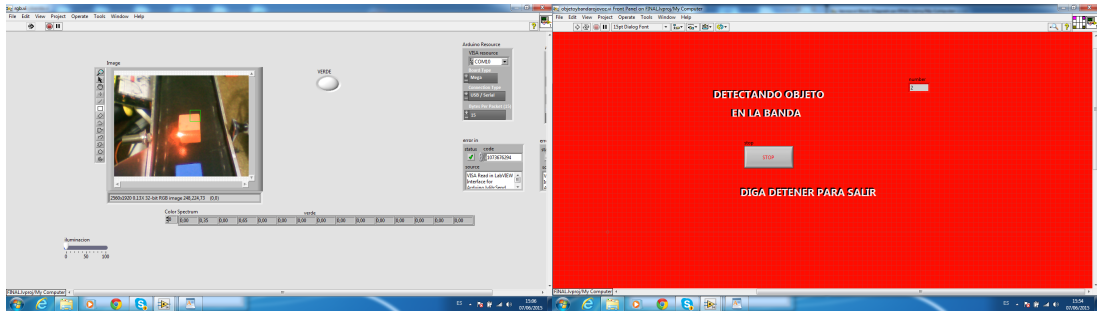


Figura 94: Ejemplo de selección, con el color Rojo.  
Elaborado por: El Investigador.

- **Control Manual:**

Para el control manual existen dos posibilidades, mediante la computadora o mediante el panel de control usando los pulsadores en la Figura 95 se observa los tipos de control para el modo manual.

- *Control por Computador*

El usuario debe elegir dando clic en cualquier opción para la selección de objetos de acuerdo a la necesidad del mismo utilizando la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

- *Control por Pulsadores:*

En el panel de control existen 5 pulsadores, con las funciones de elegir, Rojo, Verde, Azul, Detener y Salir.

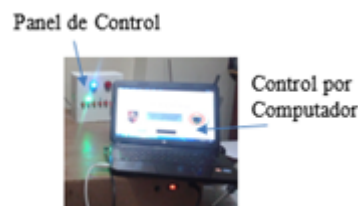


Figura 95: Control por Modo Manual.  
Elaborado por: El Investigador.

#### 4.6.5. Monitoreo del Sistema mediante la aplicación “Data Dashboard” para LabVIEW.

El Data Dashboard permite crear vistas personalizadas y portátiles de las aplicaciones del software LabVIEW de National Instruments. Con esta aplicación

se pueden crear paneles de control de datos para mostrar los valores de las variables compartidas publicados en la red y desplegar los servicios de Web de LabVIEW sobre indicadores, tales como gráficos, cuadros de texto, LEDs, etc[44]. Se debe vincular los controles e indicadores del panel de control con las variables compartidas en la red, en la Figura 96 se indica el proceso para crear variables compartidas.

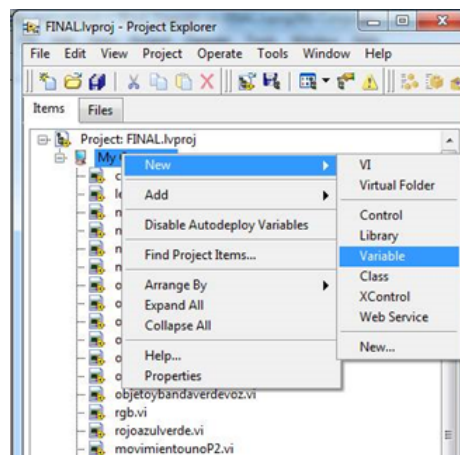


Figura 96: Añadir variables compartidas al proyecto.  
Elaborado por: El Investigador.

Luego de crear las variables compartidas, se arrastra hacia el case para mostrar en la ventana correspondiente, como se explica en la Figura 97 , se tiene dos variables compartidas, en Proceso Manual y proceso Voz, para determinar el color que está en proceso ya sea rojo, verde o azul dependiendo del modo de control.

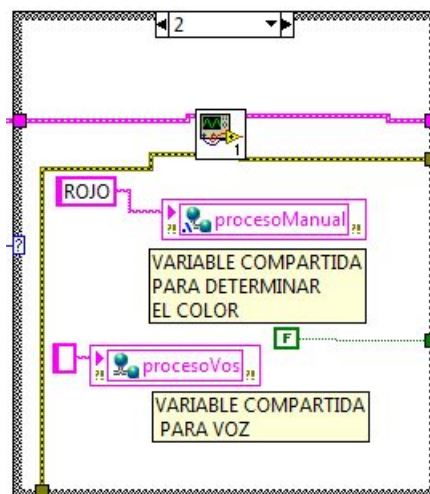


Figura 97: Variables Compartidas.  
Elaborado por: El Investigador.

- Configuración de la red.

Data Dashboard para LabVIEW permite utilizar dispositivos móviles iOS y Android para ver datos de medidas de programas de NI LabVIEW en PCs de escritorio o sistemas embebidos. Para el monitoreo se necesita de una red interconectada mediante un router, en la figura 98 se observa la configuración realizada de la red.

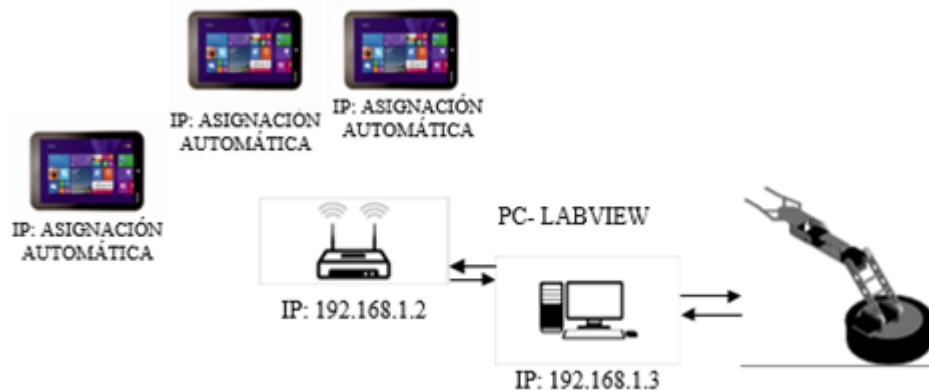


Figura 98: Configuración de la red para monitorear el sistema.  
Elaborado por: El Investigador.

Para el proyecto se ha utilizado una Tablet con Android versión 4.0.4, se necesita estar conectados a una red wifi. En la figura 99 se observa el monitoreo mediante la aplicación Data Dashboard para LabVIEW, utilizando la variable compartida “Proceso Voz”.

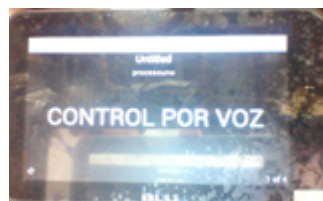


Figura 99: Monitoreo mediante la Tablet BLU..  
Elaborado por: El Investigador.

Mientras que en la figura 100 se observa el monitoreo de la variable compartida “Proceso Manual”, en la que se observa el nombre del color del objeto que se esta manipulando, en a) ROJO, b) VERDE, c) AZUL.



Figura 100: Monitoreo de la variable compartida "Proceso Manual", a) ROJO, b) VERDE, c) AZUL

Elaborado por: El Investigador.

#### 4.7. Pruebas de Funcionamiento.

Hay que realizar varias pruebas para calibrar las posiciones del manipulador, para que cumpla con el proceso para evitar problemas en el desempeño del sistema.

- PRUEBA CON EL RECONOCEDOR DE VOZ PARA CLASIFICAR OBJETOS DE COLOR ROJO, VERDE Y AZUL.

El reconocedor de voz está entrenado para detectar la voz del usuario, hay que tomar en cuenta el ruido existente en el lugar para evitar fallos en los comandos, para mayor seguridad se debe grabar los comandos de voz en el lugar de trabajo. Al decir la palabra "ROJO", "VERDE", "AZUL", uno a la vez; según el comando dicho la banda transportadora empieza a mover los objetos hacia el robot, En la Figura 101 se puede observar, que el Brazo robótico apila los objetos de dos en dos, uno encima de otro, respetando el color seleccionado, para tener mayor precisión se ha calibrado los servomotores para obtener un movimiento del robot con mayor acierto en la manipulación de objetos.

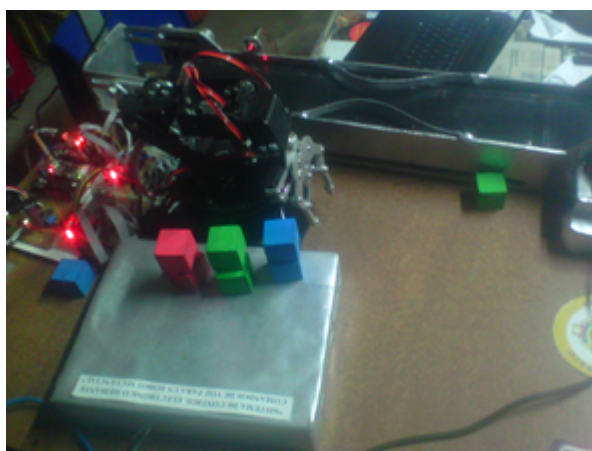


Figura 101: Prueba para la clasificación de objetos.

Fuente: El Investigador

- PRUEBA CON UN OBJETO DIFERENTE PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

Se realizó la prueba con un objeto de diferente color, para determinar si realiza correctamente el procesamiento de imágenes en el software LabVIEW.

Para la prueba se ha utilizado un objeto de madera; como se observa en la figura 102 , el sistema no lo reconoce debido a que no pertenece al modo de color RGB.

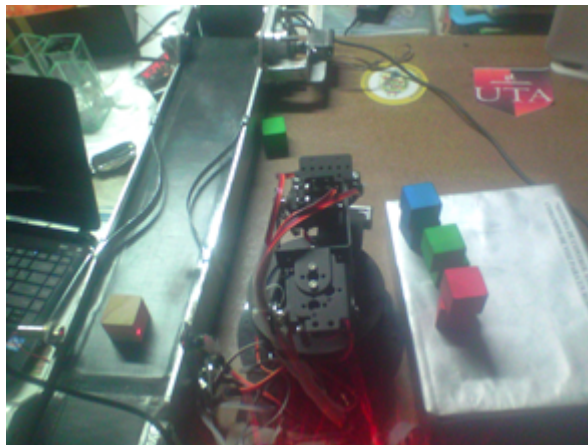


Figura 102: Objeto Diferente.  
Fuente: El Investigador

En el caso de que se encuentre un objeto de distinto color el brazo robótico no realiza ningún movimiento debido a que solo reconoce los colores RGB con los comandos establecidos.

En la figura 103 se observa que el software creado, procesa la información de cada objeto que se encuentre presente en el espacio de trabajo, si no encaja con alguna orden dada, es rechazado haciendo mover el transportador inmediatamente.



Figura 103: Procesamiento de un objeto diferente.  
Fuente: El Investigador

- PRUEBA AL SISTEMA DE CONTROL POR VOZ.

Esta prueba se realiza para evaluar la eficiencia en el reconocimiento de los comandos, cada palabra es repetida 20 veces para determinar el porcentaje de reconocimientos positivos.

Tabla 26: Resultado de las pruebas aplicadas al sistema de voz.

Posición	Palabra	Reconocimientos positivos	Porcentaje
0 Trigger	Iniciar	18	90 %
1 Group	Rojo	19	95 %
1 Group	Verde	18	90 %
1 Group	Azul	16	80 %
1 Group	Detener	19	95 %
1 Group	Salir	18	90 %
Porcentaje Total			90 %

Fuente: El Investigador

Los comandos fueron grabados y dichos por la misma persona en un lugar determinado, se observa que el sistema es eficiente con el 99,33 % de efectividad.

#### 4.8. Análisis de costos final.

Se realizó un desglose de costos con todas las partes que componen el prototipo, En la Tabla 27 se describen los materiales con sus respectivos costos, obteniendo un valor total de \$994,00.

Tabla 27: Costos de Implementación.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor Total
1	Kit Brazo Robótico 6DOF(importado).	Kit	1	\$200.00	\$200.00
2	Servomotores	c/u	7	\$ 40.00	\$280.00
3	Arduino MEGA	c/u	1	\$ 85.00	\$ 85.00
4	Arduino UNO	c/u	1	\$33.00	\$33.00
5	EASY VR	c/u	1	\$60.00	\$60.00
6	Sensor Láser, foto resistencia	c/u	1	\$5.00	\$5.00
7	Fuente de alimentación	c/u	2	\$20.00	\$40.00
8	Zócalos, conectores y borneras	c/u	1	\$20.00	\$20.00
9	Elementos electrónicos(resistencias, diodos, leds, capacitores)	Kit	1	\$20.00	\$20.00
10	Placas y funda de ácido	c/u	3	\$4.00	\$12.00
11	Transformador	c/u	1	\$12.00	\$12.00
12	Luces indicadoras	c/u	2	\$3.00	\$6.00
13	Pulsadores	c/u	5	\$1.00	\$5.00
14	Base de cartón prensado (80x80)cm	c/u	1	\$10.00	\$10.00
15	Caja de metal, botoneras	c/u	1	\$15.00	\$15.00
16	Tornillos, tuercas para sujetar.		10 c/u	\$5.00	\$5.00
17	Construcción de la banda transportadora	c/u	1	\$70.00	\$70.00
18	Puente H	c/u	1	\$6.00	\$6.00
19	Ingeniería Electrónica	c/u	1	\$100	\$100
Total					\$994.00

Fuente: El Investigador.

En la Tabla 28 se muestra un análisis comparativo de rentabilidad con respecto a otros sistemas electrónicos para el control de robots.



Tabla 28: Comparación respecto a otros sistemas de control.

Sistema	Componentes principales	Ventajas	Desventajas	Costo
Robot industrial comandado por control inalámbrico[2]	Brazo Robótico Industrial, control inalámbrico, microcontrolador	Ausencia de cables Tx y Rx, Se opera a cierta distancia del lugar de trabajo	Cada botón del control realiza un movimiento del robot	\$1356.53
Sistema robótico controlado mediante un panel con pulsadores[18]	Robot, Panel pulsadores, Arduino, pulsadores	Se controla manualmente por el operario, control lazo cerrado	No se puede monitorear el proceso	\$1095.89
Brazo robótico controlado por tele- operación con dispositivos android y PC[45]	“Robotic arm edge”, Dispositivos android, routers, Tx, Rx	Se puede controlar al robot a una gran distancia	Uso permanente de una red wifi	\$886.55
Sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial	“6 DOF arm robot”, Arduino, EasyVR, sensor láser, banda transportadora	Mayor interacción con el usuario, se controla mediante comandos de voz y manualmente Monitoreo	Trabaja en un ambiente controlado, luz y ruido	\$994.00

Fuente: El investigador, en base a otros sistemas desarrollados.

## CAPÍTULO 5

### Conclusiones y Recomendaciones.

#### 5.1. Conclusiones.

- El diseño y construcción del prototipo comprueba que mediante la técnica de reconocimiento de imágenes en el modo RGB, origina independencia en procesos repetitivos, posee módulos electrónicos de control Arduino y reconocimiento de voz, que cuentan con un 90% de confiabilidad, ya que reconoce el color de los objetos presentes en el área de trabajo, el 10% restante de error se debe a problemas de ruido y factores de calibración.
- El módulo EasyVR Shield 3, demostró ser un potente y asequible dispositivo para el reconocimiento de voz, utiliza técnicas de muestreo para reducir la cantidad de información espectral de la señal de voz, para que conecte y relacione directamente los vectores de caracterización con los fonemas acústicos pregrabados por el propio usuario las cuales son enseñadas y grabadas en la memoria del módulo.
- Los servomotores cumplen con la función de actuadores, lo mismos que son acoplados directamente en las articulaciones del robot, esto significa que existe un consumo de potencia de hasta 20W, dado que cada servomotor consume 500mA en trabajo nominal, siendo la fuente construida lo suficientemente estable con una potencia de 36 W de salida del transformador, para mantener energizados y controlar óptimamente a los 6 servomotores del brazo robótico.

#### 5.2. Recomendaciones.

- Para aplicaciones en las que se necesite mayor torque en las articulaciones del robot, utilizar motores DC con acondicionamientos como engranajes de diferente tamaño para amplificar o reducir el torque.
- Se recomienda utilizar la Iluminación Direccional para resaltar las características de color del objeto y facilita la adquisición, el procesamiento y la interpretación de la información de la imágenes de colores primarios RGB.

- En procesos en los que se necesita mover el manipulador constantemente se recomienda no utilizar baterías o pilas, con el transcurso de los movimientos se agota la energía, ocasionando imprecisiones en los movimientos de robot.

## Bibliografía

- [1] E. Carletti, *Manejo de potencia para motores con el integrado L293D*, Última visita 28 de mayo 2013. [Online]. Available: [http://robots-argentina.com.ar/MotorCC\\_L293D.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_L293D.htm)
- [2] V. Guilcaso, “Diseño y construcción de un brazo robótico comandado mediante un sistema de control Inalámbrico,” Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, Enero 2011.
- [3] W. Monar, “Aplicación de las redes Neuronales al Reconocimiento de Objetos en Robots Manipuladores,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Octubre 2014.
- [4] F. J. Llanos y Á. V. Lliguin, “Control electrónico por comandos de voz para un robot zoomórfico tipo mascota interactiva,” ESPOCH, Riobamba, Ecuador 2010. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/630>
- [5] E. velasco, J. Mamarandi, “Diseño del Sistema de control basado en Software libre para un brazo robótico de seis grados de libertad con funcionalidad de Mecanizado y paletizado,” ESPE, Latacunga, Ecuador Enero 2015.
- [6] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer y R. Aracil, *Fundamentos de Robótica.*, 2012, Pág: 437.
- [7] E. Sánchez, L. Pérez , “Diseño del Controlador y Tele-operación del Brazo Robótico Robotic Arm Edge por medio de un dispositivo Android y PC,” Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- [8] D. Moya, “Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando Matlab,” Quito, Ecuador, Agosto 2010.
- [9] S. Bermejo. Sánchez, “Desarrollo de robots basados en el comportamiento,” Escuela Politécnica Catalunya, Diciembre 2004.

- [10] A. Ollero. B. , *ROBÓTICA: Manipuladores y robots móviles*. Marcombo, 2001.
- [11] A. L. Campoverde , “Implementación de un sistema de gestión de niveles óptimos de líquidos para industrias embotelladoras propuesta basada en lego Mindstorms NXT,” Universidad de Guayaquil.
- [12] F. Rodriguez, M. Berguel , *Control y robótica en Agricultura*. Universidad Almeida, 2004.
- [13] D.A.Ramírez, “Integración de la estación robótica industrial Yamaha yk550h-qrch al sistema de manufactura flexible de la empresa Nissan time México,” Univ. Autónoma de Hidalgo, Pachuca 2005.
- [14] A. García, F. Castillo , *El computador en la automatización de la producción*. Universidad de Castilla, La Mancha, 2007.
- [15] D. Cruz, V. Martínez , “Diseño y construcción de un prototipo de lista de almacenamiento y recuperación automática de productos,” EPN, Quito, Ecuador, Diciembre 2008.
- [16] R. Escandón, “Interfaz de control para un brazo robot articulado basado en software de desarrollo integral,” Univ. Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, Diciembre 2013.
- [17] D. Moya, “Modelo y análisis cinemático de un robot manipulador esférico industrial aplicando Matlab,” EPN, Quito, Ecuador, Agosto 2010.
- [18] L. Paredes, M. Chávez, “Diseño y Construcción de un sistema robótico dispensador de medios de cultivo para microorganismos,” EPN, Quito, Ecuador, Enero 2013.
- [19] S. Vaca, “Diseño y simulación de un robot manipulador industrial tipo puma capaz de levantar pesos de hasta 20Kg,” Quito, Ecuador, Febrero 2012.
- [20] IEE2682, *Laboratorio de control automático, apuntes experiencia control de sistema robótico*. Pontificia Univ. Católica de Chile.
- [21] J. P. Cáceres, “Sistema de visión artificial para la inspección del nivel de llenado de bebidas embotelladas,” FISEI-UTA, Ambato, Ecuador 2011. [Online]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/2348>

- [22] I. J. Amancha, “Visión artificial para verificar el llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica,” 2011. [Online]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/7362>
- [23] M. Gallo, “Segmentación digital de imágenes médicas para el mejoramiento del diagnóstico de anomalías en los centros radiológicos de la ciudad de Ambato ,” FISEI-UTA, Ambato, Ecuador, Enero 2013.
- [24] R. Ulloa, *Filtros: Aproximación y síntesis*. Primera edición, Universidad Iberoamericana México, 2005.
- [25] G. Passariello, F. Mora, *Imágenes médicas: adquisición, análisis, procesamiento, interpretación*. Primera edición, Departamento de Electrónica y circuitos, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 1995.
- [26] A. Naranjo, “Aplicación de DSP’s para la transcripción de señas a texto,” Universidad Técnica de Ambato. FISEI, Ambato, Ecuador, Julio 2014.
- [27] D. Espinoza, “Diseño e implementación de un sistema de inspección de cajas de botellas utilizando cámara con visión artificial para arca continental Guayaquil,” EPN, Quito, Ecuador 2014.
- [28] M. Walker de Buiraz, M. Líbera de Pedelaborde, *Vos y tu Voz.*, 2013, Pág. 19-20.
- [29] J. M. Lucas Cuesta , “Análisis e implementación de mejoras para un reconocedor de habla continua,” ETSI Telecomunicación. Madrid. UPM, España 2006.
- [30] Lawrence. Rabiner, Biing. Hwang Juang, *Fundamentals of speech recognition*. Prentice-Hall PTR. Englewoods Cliffs, New Jersey., 1993.
- [31] J. Diazaraque , “Modelos Ocultos de Markov,” Universidad Carlos III, Madrid, Espana 2004.
- [32] F.Martinez, G. Portale, H. Klein, O. Olmos , “Reconocimiento de voz, apuntes de cátedra para Introducción a la inteligencia Artificial.”
- [33] N. Pérez Magariños, “Mejora de la interfaz vocal de control de un robot autónomo móvil. Adaptación acústica y generación supervisada de mapas,” ETSI Telecomunicación. Madrid. UPM, España 2008.

- [34] Xuedong. Huang, Alex. Acero, Hsiao-Wuen. Hon, “Spoken language processing. A guide to theory, algorithm and system development,” Prentice-Hall PTR. Upper Saddle River. New Jersey, EE.UU 2001.
- [35] E. Cope , “Diseño e implementación de un sistema de control para el brazo robótico de cinco grados de libertad, utilizando Labview e internet,” ESPOCH, Riobamba, Ecuador 2013.
- [36] ARDUINO, *Arduino, Home Products*, Ultima visita: 07 de Mayo 2015. [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [37] Jácome, “Implementación en prototipo del control de una banda transportadora de compras utilizada en las cajas de los supermercados,” Quito, Ecuador, Diciembre 2011. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4404/1/CD-3990.pdf>
- [38] D. Mendoza, W. Romero , “Diseño y construcción de un prototipo de sistema de control para monitorear e incrementar la seguridad en el acceso vehicular al parqueadero de la ESPE-L, utilizando procesamiento digital de imágenes,” 2012.
- [39] O. Torrente, *ARDUINO, Curso Práctico de Formación*. Segunda edición, Editorial Rc libros, pág 70.
- [40] P. García, M. Hidalgo, J. Loza, J. Muños, *PRACTICAS CON ARDUINO*. Albacete, Junio, 2013.
- [41] D. Benchimol, *Electrónica práctica, aprenda a analizar, simular y construir circuitos*. Primera edición, Buenos Aires, Fox Andina, 2011.
- [42] J. Díaz de Greñu, “Análisis matemático de rutinas de procesamiento de imágenes digitales en Fiji/ImagenJ,” 2014.
- [43] J. Esqueda, “Fundamentos de Procesamiento de Imágenes,” Instituto Tecnológico de ciudad Madero, México, Noviembre 2002.
- [44] National Instruments, “Introducción al panel de control de datos Data Dashboard para LabVIEW,” Febrero 2013.
- [45] L. Pérez, E. Sánchez , “Diseño del controlador y tele operación del brazo robótico, Robotic Arm Edge, por medio de un dispositivo Android y pc,” Sangolquí, Ecuador, Noviembre 2013.

# **ANEXOS**



## Anexo A

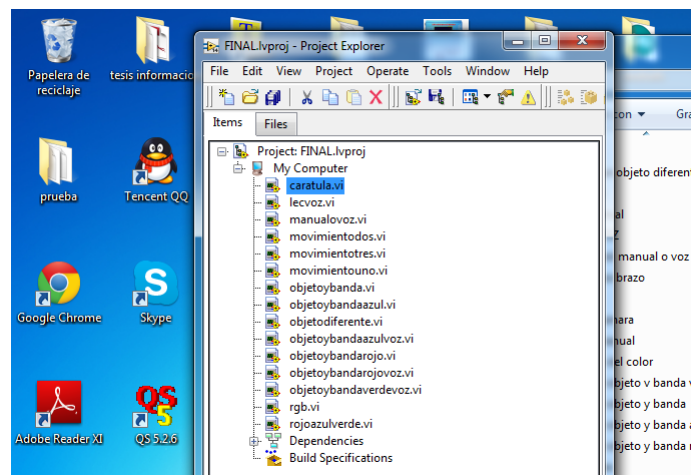
### Manual de Usuario.

#### “CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE COMANDOS DE VOZ PARA UN ROBOT SECUENCIAL”

Autor: Eduardo Guanín T.

Tutor: Ing. Juan Pablo Pallo N.

- Creado el proyecto damos doble clic para abrir el programa “ FINAL”, se abrirá la pantalla principal, enseguida pulsamos run en la pantalla principal creada.



- En la pantalla principal se tiene dos botones, el de iniciar proceso y el de salir.

*Iniciar proceso:* Abrirá otra ventana en la que se puede elegir el modo de operación.

*Salir:* El botón salir sirve para detener el proceso y salir del programa en ejecución.



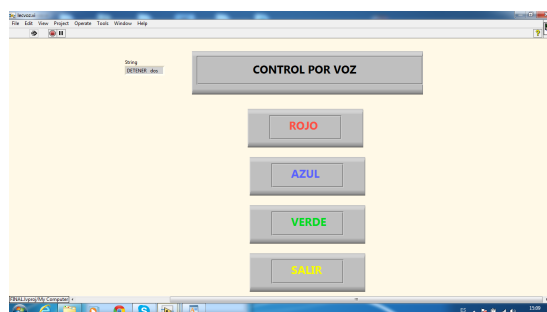
- Después de elegir el botón “Iniciar proceso” se despliega la siguiente ventana para elegir el modo de operación, “Modo manual”: Para operar el proceso mediante la computadora o mediante los botones del panel de control, y “Mediante Voz” se refiere operar al sistema mediante comandos de voz.



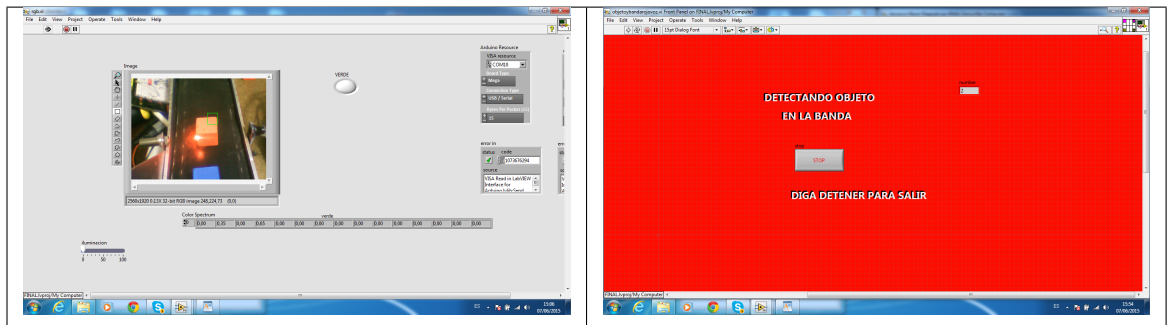
### *Selección por Voz.*

Si se pulsa el botón mencionado se tiene la siguiente ventana, en la cual se indican los comandos de voz para iniciar el proceso, la forma para clasificar objetos es mediante color RGB, en la siguiente tabla se describe el comando a ser dicho con su respectiva función, y a continuación la pantalla para la selección mediante comandos de voz.

Comando	Función.
Rojo	Permite al robot seleccionar y clasificar los objetos de color rojo presentes en el espacio de trabajo.
Verde	Permite al robot seleccionar y clasificar los objetos de color verde presentes en el espacio de trabajo
Azul	El Robot selecciona y clasifica los objetos de color azul presentes en el espacio de trabajo
Detener	Detiene el movimiento de la banda transportadora para cambiar de orden o simplemente detener la acción.
Salir	Sale de la pantalla de selección hacia la pantalla de modos de control. Control por voz o Control Manual.



- Una vez dicho cualquier comando para empezar ya sea ROJO, VERDE O AZUL, el programa reconoce el comando, y empieza a elegir las figuras de color mencionadas.
- Ejemplo de selección con el comando “ROJO”.



- Una vez elegido el control mediante voz, y mientras está en proceso con alguna secuencia en especial, se puede cambiar de proceso, primero se debe detener el proceso con la palabra “DETENER”, y luego se puede decir otro comando, y así sucesivamente.
- Se usa el Comando “SALIR” para cambiar de modo de operación, pero primeramente se debe decir el comando “DETENER”

### *Modo Manual.*

El modo manual se lo puede hacer por computadora o por el panel de Botones.

- Control por Computadora.

El usuario deberá pulsar el botón que requiera ya sea ROJO, VERDE o AZUL, dependiendo de la necesidad, en la siguiente figura se indica la pantalla para el control por computadora.

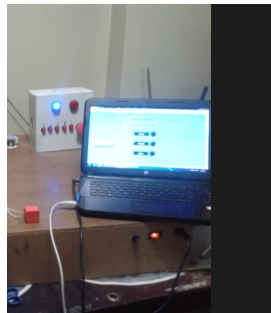


- Control por Botoneras.

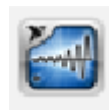
El panel de control realizado tiene cinco botones preestablecidos para: elegir un color RGB, para detener el proceso y para salir.

En la Figura se indica el panel de control mediante botoneras.

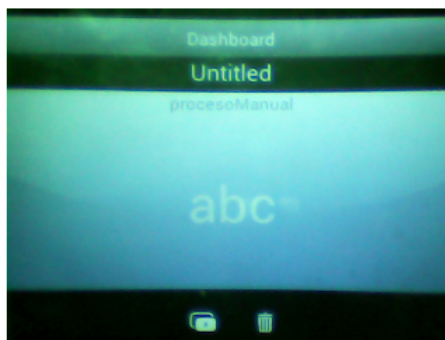
Una vez elegido el modo de control la banda transportadora empieza a deslizarse con objetos de diferente color, el robot manipulara el objeto según el comando dado.



- Monitoreo del Sistema mediante la aplicación “Data Dashboard” para LabVIEW.



El Data Dashboard permite crear vistas personalizadas y portátiles de las aplicaciones del software LabVIEW de National Instruments. Con esta aplicación se pueden crear paneles de control de datos para mostrar los valores de las variables compartidas publicados en la red y desplegar los servicios de Web de LabVIEW sobre indicadores, tales como gráficos, cuadros de texto, LEDs, etc. Para el trabajo presente se usa tres variables compartidas, para ser visualizadas en una Tablet y seguir el proceso en el que se encuentra realizando el sistema desde un lugar apartado del lugar de trabajo.

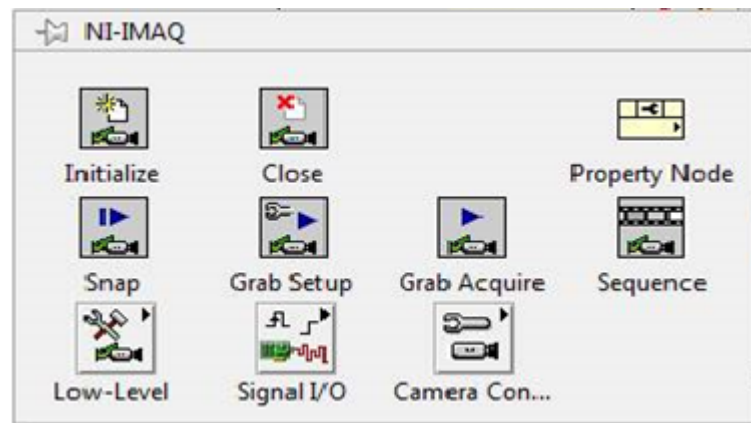


## Anexo B

### Herramientas utilizadas del Software LabVIEW.

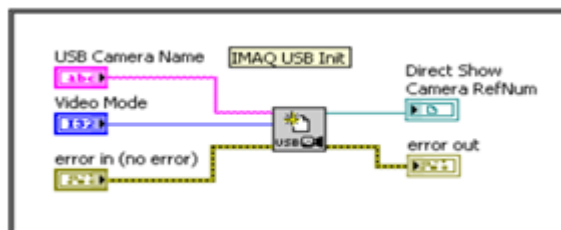
- NI-IMAQ

Posee los instrumentos virtuales que establecen el sistema de adquisición y captura las imágenes.



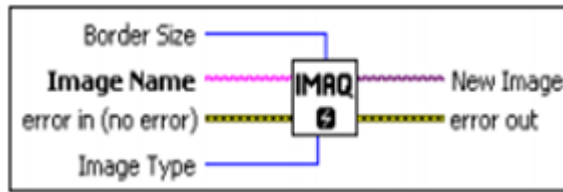
- IMAQ USB Init

Permite escoger el modo de adquisición de la cámara por medio del parámetro modo de video, una vez que sabe el nombre de la cámara USB.



- Administración de espacios de memoria.

Para que LabVIEW pueda manejar archivos gráficos o capturas debe reservar un espacio de memoria para su almacenamiento temporal, en La Figura se visualiza el ícono de [IMAQ Creat] el cual realiza la función descrita.

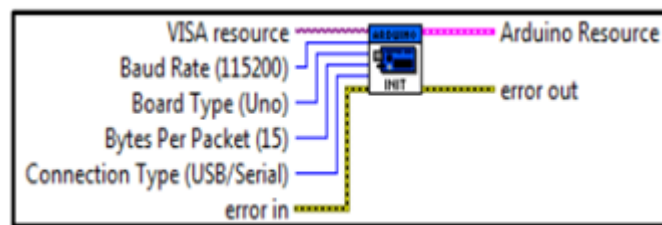


- **Herramientas principales para la comunicación LabVIEW-Arduino.**

National Instruments ha desarrollado herramientas que permiten la comunicación entre estos dos equipos virtuales.

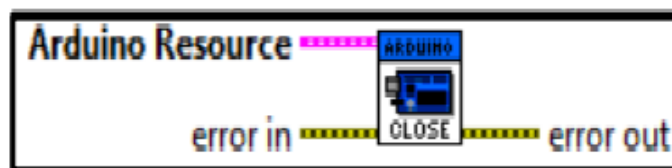
- **Init-vi**

Cuando se ejecuta el programa, inicializa una conexión entre la interfaz de LabVIEW y Arduino por medio de un puerto asignado para la comunicación.



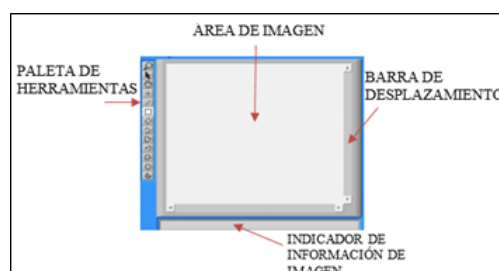
- **Close.vi**

Cierra la conexión activa hacia el Arduino y evita que internamente se encuentre ejecutando.



Se utilizó el instrumento virtual Image Display para visualizar las capturas realizadas por la cámara web.

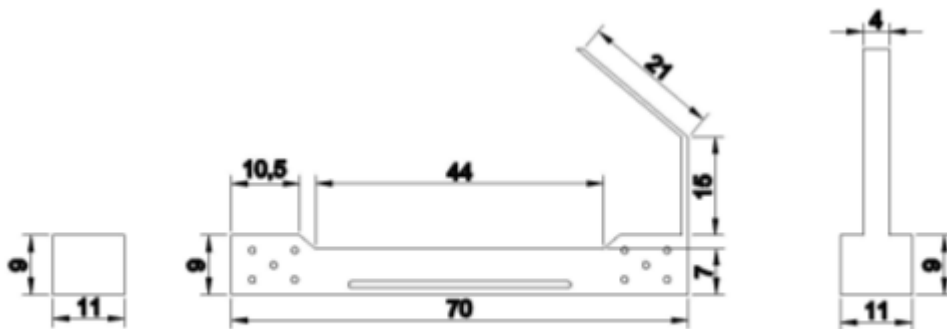
Image Display contiene un área de visualización de la imagen, en el lado izquierdo tiene algunas herramientas para ampliar o reducir imágenes, en la Figura se representa el instrumento virtual Image Display.



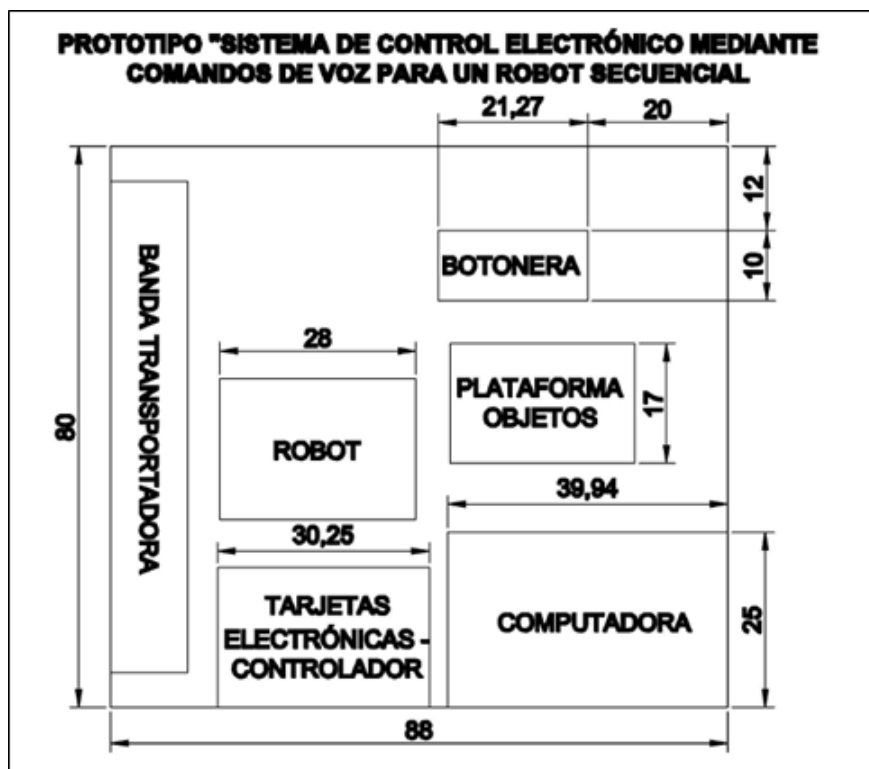
## Anexo C

Planos de la Banda Transportadora y del prototipo.

### ■ BANDA TRANSPORTADORA.



### ■ MEDIDAS DEL PROTOTIPO.

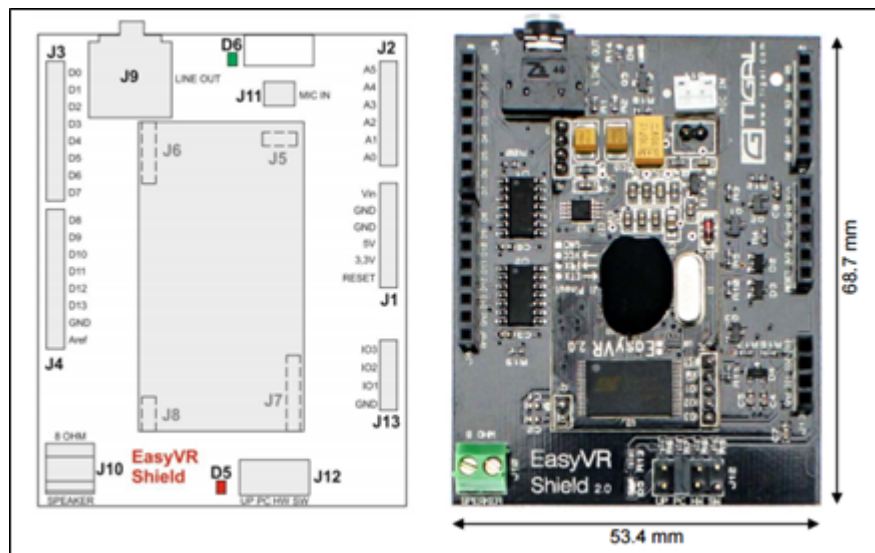


## Anexo D

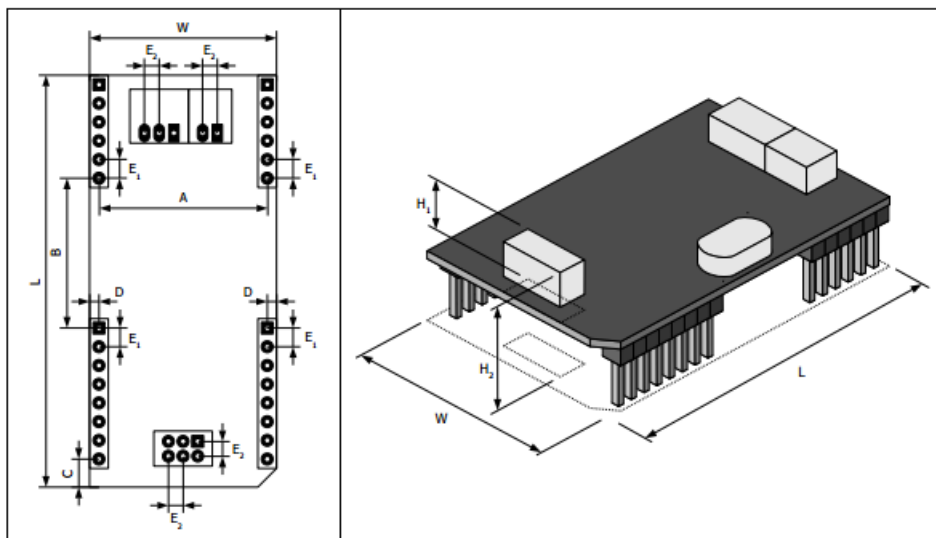
### Especificaciones Técnicas de los Componentes.

- Especificaciones técnicas y eléctricas del Módulo EasyVR Shield.

En la siguiente Figura se muestran las dimensiones físicas del módulo Easonense, así como la disposición de las señales que se explica en la Tabla



### Physical dimensions





Symbol	Parameter	Units (mm / Inches)	
<b>W</b>	Width	25.4	1.000
<b>L</b>	Length	56.4	2.220
<b>H<sub>1</sub></b>	Height (without outer strips J1-J4)	9.5	0.375
<b>H<sub>2</sub></b>	Height (with outer strips J1-J4)	17.0	0.670
<b>E<sub>1</sub></b>	Connector pitch and pin spacing (of outer strips J1-J4)	2.54	0.100
<b>E<sub>2</sub></b>	Connector pitch (of inner connectors J5-J7)	2.00	0.079
<b>A</b>	Headers horizontal spacing	22.86	0.900
<b>B</b>	Headers vertical spacing	20.32	0.800
<b>C</b>	Header vertical offset	3.81	0.150
<b>D</b>	Header horizontal offset	1.27	0.050

EasyVR 3

User Manual (1.0.11)

#### Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
5V	DC Power Input (Host) = $V_{SEL}$	3.15	5.0	5.5	V
3V3		3.15	3.3	5.5	V
5V_P	DC Power Input (Programming cable)	4.0	5.0	5.5	V
Ta	Ambient Operating Temperature Range	0	25	70	°C

#### Power Supply Requirements

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
I <sub>SLEEP</sub>	Sleep current ( $V_{SEL} = 5.0V$ )		6		mA
I <sub>OPER</sub>	Operating current ( $V_{SEL} = 5.0V$ )		25	35	mA
I <sub>AUDIO</sub>	Audio playback current (with 8Ω speaker)		175	250	mA <sub>(RMS)</sub>
I <sub>TOT</sub>	Total current consumption (excluding I/O)		25	285	mA <sub>(RMS)</sub>
I <sub>PEAK</sub>	Peak supply current (excluding I/O)		400		mA

### Electrical Characteristics

These are applicable to pins RX, TX\_P.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	2.1		5.5	V
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	0.0		0.9	V
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current (0 < V <sub>I</sub> < 5.5V)		-65		μA

These are applicable to pins TX, DE.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage (I <sub>OH</sub> = -0.3 mA, V <sub>SEL</sub> = 3.3V)	2.6		3.3	V
	Output High Voltage (I <sub>OH</sub> = -0.3 mA, V <sub>SEL</sub> = 5.0V)	4.3		5.0	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (I <sub>OL</sub> = 5 mA)	0.0		0.2	V

These are applicable to pin XM.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	1.4	(0.8)	5.5	V
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	0.0	(0.7)	0.5	V
I <sub>IN</sub>	Input Current (0 < V <sub>I</sub> < 3.3V)	0	0.2	0.4	mA
	Input Current (0 < V <sub>I</sub> < 5.5V)	0	0.5	0.7	mA

These are applicable to pin RST.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	2.1		5.5	V
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	0.0		0.6	V
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current (0 < V <sub>I</sub> < 5.5V)		-85		μA

These are applicable to pin RX\_P.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage (I <sub>OH</sub> = -5 mA)	2.4		3.0	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (I <sub>OL</sub> = 8 mA)	0.0		0.6	V

These are applicable to pins IO1 – IO6.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	2.4	3.0	3.3	V
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	-0.1	0.0	0.75	V
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current (0 < V <sub>I</sub> < 3V, Hi-Z Input)		<1	10	μA
R <sub>PU</sub>	Pull-up Resistance	Strong	10		kΩ
		Weak	200		kΩ
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage (I <sub>OH</sub> = -5 mA)	2.4		3.0	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (I <sub>OL</sub> = 8 mA)	0.0		0.6	V

### Pin assignment

Group	Name	Number	Pin	Type	Description	
● MIKROBUS	J1	1	-	-	(Not connected)	
		2	RST	I	Active low asynchronous reset (internal pull-up)	
		3-6	-	-	(Not connected)	
		7	3V3	I	3.3V DC power input	
		8	GND	-	Ground	
	J2	1	XM	I	Boot select (internal pull-down)	
		2	DE	O	(Reserved)	
		3	TX	O	Serial Data Transmit	
		4	RX	I	Serial Data Receive	
		5-6	-	-	(Not connected)	
		7	5V	I	5.0V DC power input	
		8	GND	-	Ground	
	● GPIO	J3	1	IO1	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)
			2	IO2	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)
3			IO3	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)	
4			IO4	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)	
5			IO5	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)	
6			IO6	I/O	General purpose I/O (VDD logic levels)	
● AUDIO	J4	1	SP+	O	Differential audio output (can directly drive 8Ω speaker)	
		2	SP-	O		
		3	VM	O	Microphone power (to support custom microphones)	
		4	MIC	I	Microphone audio input	
		5	RET	-	Microphone return (analog ground)	
		6	VDD	O	Internal logic voltage (for reference only)	
● CABLES	J5	1	SP-	O	Differential audio output (can directly drive 8Ω speaker)	
		3	SP+	O		
		2	-	-	(Not connected)	
	J6	1	MIC	I	Microphone audio input	
2	RET	-	Microphone return (analog ground)			
● ADAPTER	J7	1	RX_P	O	Programming cable serial data receive	
		2	RTS_P	I	Programming cable request to send (reset/boot control)	
		3	GND	-	Programming cable ground	
		4	5V_P	I	Programming cable 5V DC power output	
		5	TX_P	I	Programming cable serial data transmit	
		6	CTS_P	O	Programming cable clear to send (tied to ground)	

## Microphone

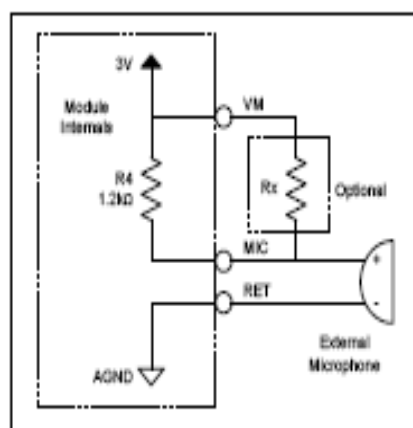
The microphone provided with the EasyVR 3 module is an omnidirectional electret condenser microphone (Horn EM0745P-382):

- Sensitivity -38dB (0dB=1V/Pa @1KHz)
- Load Impedance 2.2K
- Operating Voltage 3V
- Almost flat frequency response in the range 100Hz – 20kHz

The microphone circuit is optimized for use at ARMS\_LENGTH (default, about 60cm) or FAR\_MIC distance settings.

If you use a microphone with different specifications the recognition accuracy may be adversely affected. Differences in rated load impedance and sensitivity can be compensated to a certain extent by changing the microphone gain. This can be done in several ways:

- Replacing the internal gain resistor R4 (1.2kΩ)
- Adding an external resistor Rx going in parallel with R4 (it can only reduce gain, useful for HEADSET distance settings)
- Removing the internal resistor R4 and using only the external resistor Rx



*Microphone circuit*

### *Modifying gain resistance*

You can calculate the overall microphone gain resistance using the formula below:

$$R_s = I \times 10^{\frac{G-S}{20}}$$

$R_s$  is the optimal microphone gain resistance

$I$  is the impedance rating of the microphone

$G$  is the desired overall system gain, defined as follows:

1. If the module is configured for HEADSET microphone distance (typically a few centimeters from the user's mouth), then the overall system gain should be -40 dB (0dB=1v/Pa@1KHz);
2. If the module is configured for ARMS\_LENGTH microphone distance (typically 60-90 cm from the user's mouth – this is the default setting of EasyVR), then the overall system gain should be -44 dB;
3. If the module is configured for FAR\_MIC microphone distance (up to about 3 meters from the user's mouth), then the overall system gain should be -43 dB.

- SERVOMOTOR MG996R

## MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo

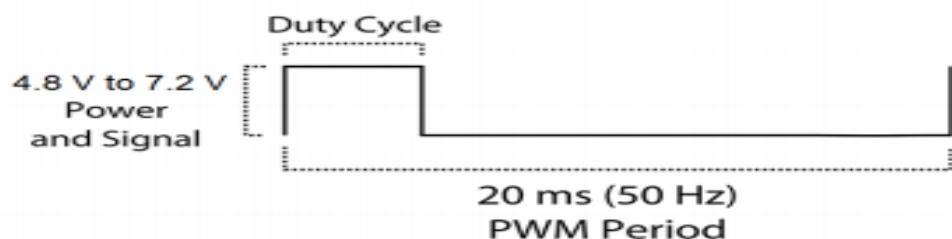


This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

### Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C



- L293D, PUENTE H

## L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

- Featuring Unitorde L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

### description

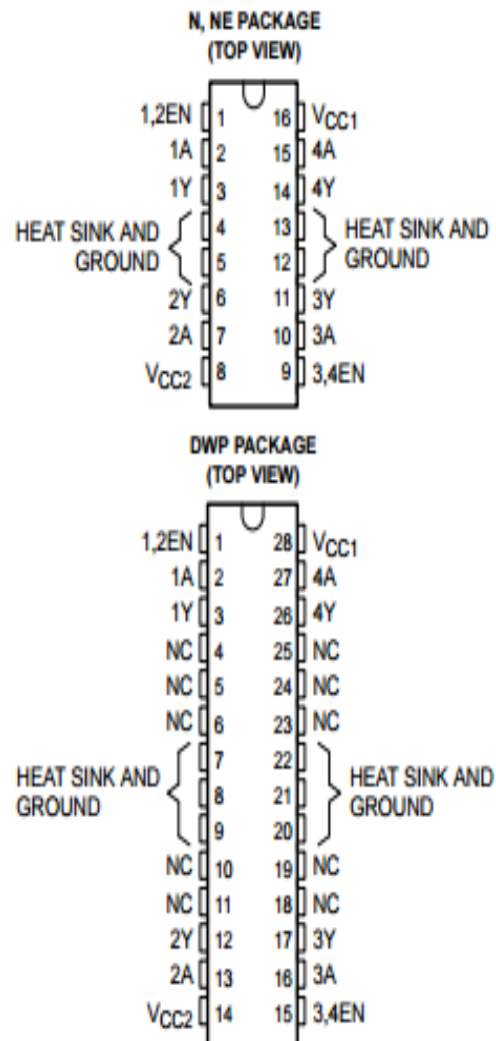
The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A  $V_{CC1}$  terminal, separate from  $V_{CC2}$ , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

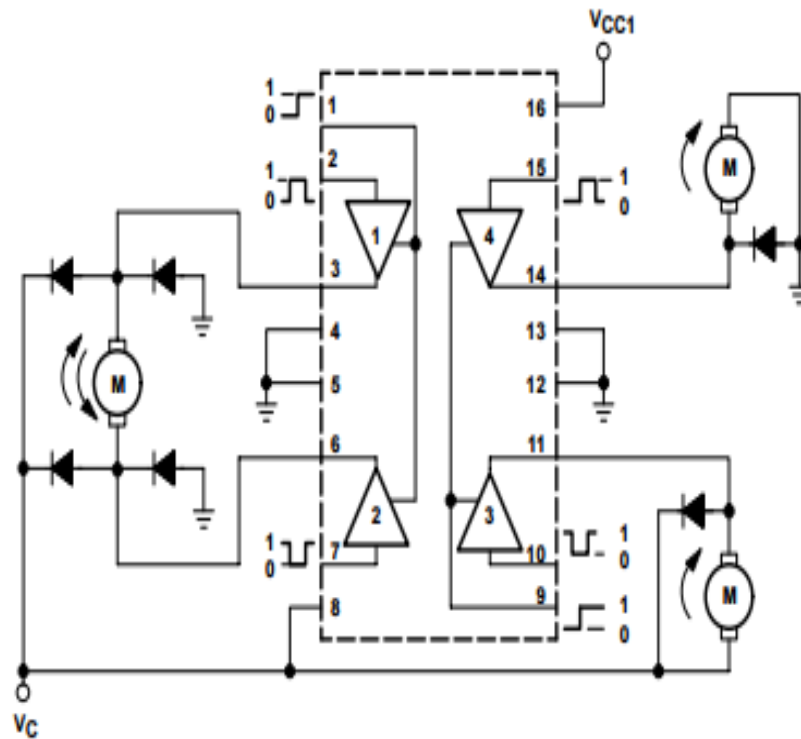
The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.



# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008B – SEPTEMBER 1985 – REVISED JUNE 2002

## block diagram



NOTE: Output diodes are internal in L293D.

### TEXAS INSTRUMENTS AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGE
	PLASTIC DIP (NE)
0°C to 70°C	L293NE L293DNE



Unitrode Products  
from Texas Instruments

### AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGED DEVICES	
	SMALL OUTLINE (DWP)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	L293DWP L293DDWP	L293N L293DN

The DWP package is available taped and reeled. Add the suffix TR to device type (e.g., L293DWPTR).

- ARDUINO MEGA

## Technical Specification

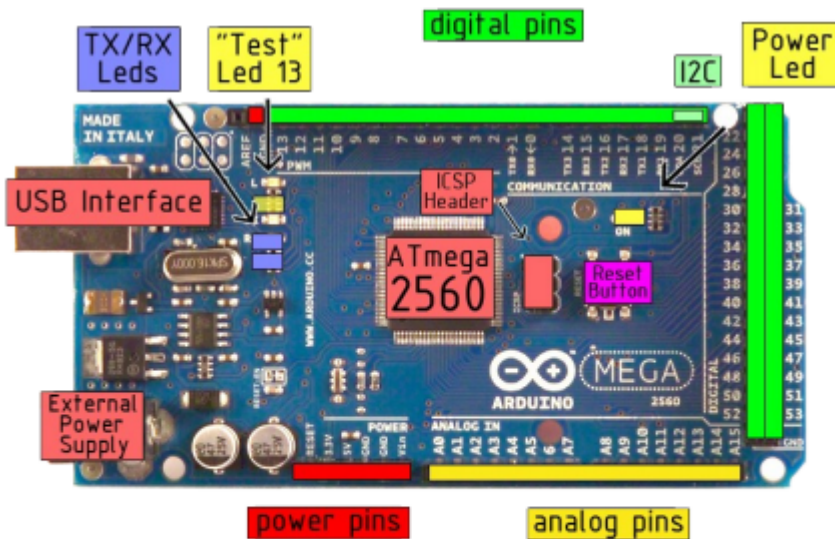


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

### the board



**radiospares RADIONICS**





## Anexo E

### Especificaciones Técnicas del brazo Robot.

#### Aleación 6 DOF Robot Arm Clamp y Claw y giro del Soporte Kit de montaje

Para Arduino compatible. Whit 6 metal Servo Arm



(Kit de montaje solamente, servo y componentes electrónicos que se muestran en cuadro no se incluyen.)

**Metal de la aleación 6 DOF Robot Arm Clamp Claw y giro del Soporte Kit de montaje para Arduino**

(Kit de montaje solamente, servo y componentes electrónicos que se muestran en cuadro no se incluyen.)

**Características:**

- ángulo de rotación de 180 grados
- Radio de giro: 355mm
- Altura: 428 cm (titular cerrado)
- Clamp Max abierta es de 55mm
- titular de la distancia más amplia: 98mm
- con 6 unids aleación brazo del servo.
- con soporte del eslabón giratorio (5mm de espesor de acrílico materiales chasis, cortado con láser de acrílico placa)
- el kit sin servos.

\* En este juego de garra de sujeción, es mejor que usar MG996R servos para los osos conjuntos de fuerza mayor, mientras que los servos MG995 para juntas lleva fuerza relativamente pequeña.

**Artículos incluidos**

- 4 x multifuncional soporte servo
- 3x U-tipo Largo servo soporte
- 1 x L-tipo servo soporte
- 3 x miniatura rodamiento
- 1 x Aluminio Fijación Claw
- 1 x tornillo y Cap Set
- 1 x aluminio base giratoria
- 6 XMetal. Serovo Arm
- 1 x chasis de acrílico 1  
(sin ensamblar, un kit)