



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA  
AUTOMÁTICA CLASIFICADORA DE OBJETOS SEGÚN SU  
COLOR DETECTADOS MEDIANTE UN SENSOR DE COLOR Y  
CLASIFICADOS POR UN BRAZO ROBÓTICO”

JOSÉ LUÍS ZURITA PÉREZ

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

2014

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS-ESPE  
EXTENSIÓN LATACUNGA  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, José Luis Zurita Pérez

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CLASIFICADORA DE OBJETOS SEGÚN SU COLOR DETECTADOS MEDIANTE UN SENSOR DE COLOR Y CLASIFICADOS POR UN BRAZO ROBÓTICO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Enero del 2014

---

José Luis Zurita Pérez  
C.I. 050326298-2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO**

Ing. David Rivas (director de tesis)

Ing. Eddie Galarza (codirector de tesis)

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CLASIFICADORA DE OBJETOS SEGÚN SU COLOR DETECTADOS MEDIANTE UN SENSOR DE COLOR Y CLASIFICADOS POR UN BRAZO ROBÓTICO”, realizado por el Sr. José Luis Zurita Pérez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico, que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan al Sr. José Luis Zurita Pérez que lo entregue al Ing. José Bucheli, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Enero del 2014

---

Ing. David Rivas  
DIRECTOR

---

Ing. Eddie Galarza  
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE  
EXTENSIÓN LATACUNGA  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**AUTORIZACIÓN**

Yo, José Luis Zurita Pérez

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMANDAS-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CLASIFICADORA DE OBJETOS SEGÚN SU COLOR DETECTADOS MEDIANTE UN SENSOR DE COLOR Y CLASIFICADOS POR UN BRAZO ROBÓTICO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Enero del 2014

---

José Luis Zurita Pérez  
C.I. 050326298-2

## **DEDICATORIA**

*“El hombre nunca sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta”  
Charles Dickens*

A mi familia, quienes supieron darme la fuerza necesaria para continuar y alcanzar mi meta anhelada.

En especial a mis padres y hermana que con sacrificio y dedicación lograron guiarme y apoyarme durante toda mi vida estudiantil, ya que sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora me he propuesto.

*José Luis*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero dar gracias a Dios por haberme dado la salud y la oportunidad de cumplir mi meta profesional.

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida a todos los docentes de la carrera que con respeto y vocación han transmitido todos sus conocimientos en especial para mis asesores de tesis Ing. David Rivas e Ing. Eddie Galarza los cuales con su ayuda, paciencia y colaboración que me han brindado para culminar mi proyecto de graduación.

Y a mi familia y amigos que durante los años de estudio me ayudaron a que este sueño se convierta en una realidad.

*José Luis*

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICADO .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>1</b>
1.1. Automatización Industrial.....	1
1.1.1. Introducción.....	1
1.1.2. El Automatismo Secuencial.....	2
1.1.3. Modelo estructural de un Sistema Automatizado .....	2
1.1.4. Clasificación Tecnológica del Control .....	3
a. Lógica Cableada .....	4
b. Lógica Programada.....	4
1.1.5. Niveles de Automatización.....	5
1.2. La Robótica.....	6
1.2.1. Introducción.....	6
1.2.2. Definición de Robot.....	7
1.2.3. Esquema general del sistema del robot.....	7
1.2.4. Clasificación de los Robots.....	8
a. Clasificación atendiendo a la Generación .....	8
b. Clasificación atendiendo al Área de Aplicación .....	9
c. Clasificación atendiendo al tipo de Actuadores .....	10
d. Clasificación atendiendo al Número de Ejes.....	10
e. Clasificación atendiendo a la Configuración.....	10
f. Clasificación atendiendo al Tipo de Control .....	11
1.2.5. Robot Manipulador .....	12
a. Definición .....	12
b. Sistema Básico de un Robot Manipulador .....	12
c. Aplicaciones .....	13
1.2.6. Características Principales para la Selección de un Robot.....	13

a. Área de Trabajo .....	13
b. Grados de Libertad .....	14
c. Precisión, repetibilidad y resolución .....	14
d. Velocidad.....	15
e. Capacidad de Carga.....	15
1.2.7. Disposición del Robot en la Célula de Trabajo .....	15
a. Robot en el Centro de la Célula.....	15
b. Robot en Línea .....	16
c. Robot Móvil.....	16
d. Robot Suspendido.....	17
1.3. Los Colores .....	17
1.3.1. Introducción .....	17
1.3.2. Definición .....	18
1.3.3. La Física del Color.....	19
a. El espectro visible.....	19
b. Colores del Espectro.....	19
c. La reflexión en las superficies .....	20
1.3.4. Propiedades del Color .....	20
a. Matiz o Tonalidad.....	21
b. Valor o Luminosidad.....	21
c. Saturación o Brillo.....	21
1.3.5. Colores elementales .....	22
1.3.6. Círculo cromático .....	22
1.3.7. Modelo de color RGB.....	23
1.3.8. Modelo de color RYB.....	23
1.3.9. Modelo de color CMYK.....	23
1.4. Sensores .....	24
1.4.1. Introducción .....	24
1.4.2. Definición .....	25
1.4.3. Características Generales .....	25
a. Descriptores Estáticos .....	25

b. Descriptores Dinámicos.....	26
1.4.4. Tipos de Sensores .....	26
1.4.5. Sensor de Proximidad .....	27
a. Sensor Capacitivo.....	28
b. Sensor Inductivo.....	29
c. Sensor Fotoeléctrico .....	30
d. Sensor Ultrasónico.....	31
e. Sensor Magnético .....	32
1.4.6. Sensor de Color.....	32
a. Aplicaciones .....	33
1.5. Actuadores .....	34
1.5.1. Clasificación según el tipo de energía empleada .....	34
1.5.2. Servomotores .....	35
1.5.3. Ventajas y Desventajas de cada tipo de Actuador .....	36
1.6. Comunicaciones Industriales .....	36
1.6.1. Sistemas de Transmisión de la Señal .....	36
1.6.2. Bucle de Corriente .....	37
1.6.3. Buses de Campo.....	38

## CAPÍTULO II

<b>2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>40</b>
2.1. Introducción .....	40
2.2. Diagrama General del Sistema.....	41
2.3. Servomotor Hitec HS-311 Estándar.....	42
2.3.1. Características Generales.....	42
2.3.2. Estructura Interna.....	43
2.3.3. Control de Posición.....	43
a. Cálculo del Tiempo en Nivel Alto.....	44
b. Diseño del Generador de Pulsos.....	44

2.3.4. Modificación de Servomotor Hitec	
HS-311 Estándar .....	48
2.4. Sensor de Proximidad Sick WL250-S132 .....	50
2.4.1. Características Generales .....	50
2.4.2. Terminales y Diagrama de Conexiones .....	50
2.5. Sensor de Color TCS-230 .....	53
2.5.1. Características Generales .....	54
2.5.2. Diagrama y Descripción de los Pines .....	54
2.5.3. Sensor de Color con la Salida Analógica.....	55
2.5.4. Sensor de Color con la Salida Digital.....	56
2.6. Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm.....	56
2.6.1. Servomotores Dynamixel AX-12A .....	56
a. Características Generales.....	57
b. Disposición de los pines .....	57
2.6.2. Controlador USB2Dynamixel.....	58
a. Partes del Controlador .....	58
2.6.3. Ensamblaje del Brazo Robótico.....	60
2.6.4. Conexión de la Alimentación y el	
Controlador USB2Dynamixel.....	65
2.7. Placa de control.....	65
2.7.1. Diseño de la Placa de Control.....	65
2.7.2. Implementación de la Placa de Control .....	66
2.8. Diseño e Implementación de la Estructura	
para el Sistema .....	68
2.9. Software de Programación .....	70
2.9.1. Plataforma LabVIEW .....	70
2.9.2. Adquisición de Datos.....	70
a. DAQ NIUSB6008 .....	70
b. Adquisición de Datos Analógicos .....	70
c. Adquisición de Datos Digitales .....	73
2.9.3. Programación del Brazo Robótico.....	75

a. Librerías Dynamixel SDK.....	75
b. Control Individual de las Articulaciones del Brazo Robótico .....	76
c. Control de Movimientos del Brazo Robótico.....	77

### **CAPÍTULO III**

#### **3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

3.1. Prueba del Generador de Pulsos .....	79
3.2. Prueba del control de posición del servomotor Hitec HS-211 Estándar .....	82
3.3. Prueba de la Modificación del Servomotor Hitec HS-311 .....	83
3.4. Prueba del Sensor de Proximidad SICK WL250-S132.....	83
3.5. Pruebas del Sensor de Color TCS-230.....	84
3.6. Pruebas del Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm .....	87

### **CAPÍTULO IV**

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 91**

4.1. Conclusiones .....	91
4.2. Recomendaciones .....	93

BIBLIOGRAFÍA .....	95
--------------------	----

NETGRAFÍA .....	96
-----------------	----

ANEXOS .....	97
--------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1.1. Pato de Vaucanson.....	1
Figura 1.2. Modelo Estructural de un Sistema Automatizado .....	3
Figura 1.3. Clasificación Tecnológica del Control .....	3
Figura 1.4. Diagrama de la Lógica Cableada .....	4
Figura 1.5. Diagrama de la Lógica Programada.....	4
Figura 1.6. Niveles de Automatización.....	5
Figura 1.7. “UNIMATE” el primer Robot Industrial.....	6
Figura 1.8. Esquema General de un Sistema de Robot .....	8
Figura 1.9. Clasificación de los Robots según el Tipo de Control.....	11
Figura 1.10. Algunos Tipos de Robots.....	11
Figura 1.11. Componentes Básicos de un Sistema Robot Manipulador .....	12
Figura 1.12. Área de Trabajo del Robot.....	14
Figura 1.13. Disposición del Robot en el Centro de la Célula .....	15
Figura 1.14. Disposición del Robot en Línea.....	16
Figura 1.15. Disposición de un Robot Móvil sobre raíl .....	16
Figura 1.16. Disposición del Robot Suspendido .....	17
Figura 1.17. Los colores del espectro por la descomposición de la luz blanca que pasa a través de un prisma.....	18
Figura 1.18. Espectro Visible .....	19
Figura 1.19. Reflexión sobre un objeto .....	20
Figura 1.20. Diferencia de matiz o tonalidad .....	21
Figura 1.21. Diferencia de Valor o Luminosidad.....	21
Figura 1.22. Diferencia de Saturación o Brillo .....	21
Figura 1.23. Colores Elementales .....	22
Figura 1.24. Círculo Cromático.....	22
Figura 1.25. Círculo Cromático del Modelo de Color RGB .....	23

Figura 1.26. Círculo Cromático del Modelo de Color RYB .....	23
Figura 1.27. Modelo de color CMYK.....	24
Figura 1.28. Algunos Tipos de Sensores.....	27
Figura 1.29. Operación de los Sensores de Proximidad Capacitivos.....	28
Figura 1.30. Componentes de un Sensor de Proximidad Inductivo .....	29
Figura 1.31. Operación de los Sensores de Proximidad Inductivos.....	29
Figura 1.32. Sistema de detección: a) Tipo barrera. b) Tipo réflex. c) Tipo auto réflex .....	30
Figura 1.33. Sensor Ultrasónico .....	31
Figura 1.34. Funcionamiento del Sensor Ultrasónico .....	31
Figura 1.35. Sensor de Proximidad Magnético .....	32
Figura 1.36. Sensor de Color.....	32
Figura 1.37. Aplicaciones de Sensores de Color: a) Distribución de Botellas por su color. b) Detección de presencia o no de productos. c) Separación de piezas sin tratar .....	33
Figura 1.38. Clasificación de los actuadores por la energía Empleada .....	34
Figura 1.39. Servomotor.....	35
Figura 1.40. Estándares más conocidos de los Sistemas de Transmisión .....	37
Figura 1.41. Pirámide de la Automatización.....	38
Figura 1.42. Buses de Campo.....	39

## **CAPÍTULO II**

Figura 2.1. Diagrama de Bloques de las Etapas del Sistema .....	40
Figura 2.2. Diagrama de Bloques General del Sistema.....	41
Figura 2.3. Servomotor Hitec HS-311 Standar. ....	42

Figura 2.4.	Partes del servomotor Hitec HS-311 Standar .....	43
Figura 2.5.	Duración del Ancho de Pulso para el Control de Posición.....	43
Figura 2.6.	Circuito Integrado 555 .....	44
Figura 2.7.	Diagrama Esquemático del Multivibrador Astable .....	45
Figura 2.8.	Señal de Pulsos .....	45
Figura 2.9.	Señal de Pulsos a) $t_1 > t_2$ . b) $t_1 < t_2$ .....	46
Figura 2.10.	Diagrama Esquemático con Potenciómetro para variar el ancho de pulso .....	48
Figura 2.11.	Diagrama Esquemático Generador de pulsos con Transistor NPN Emisor Común .....	48
Figura 2.12.	Modificación del servomotor. a) Circuito de Control Desacoplado. b) Reemplazo del potenciómetro por dos resistencias. c) Engranaje con pestaña a retirar. d)Engranaje con la pestaña retirada .....	49
Figura 2.13.	Sensor de Proximidad Sick WL250-S132 .....	50
Figura 2.14.	Sensor de Proximidad. a) Control e Indicador de Sensibilidad. b) Terminales y Diagrama de Conexiones.....	52
Figura 2.15.	Diagrama de conexiones entre el Sensor de Proximidad y el Sistema de Control del Servomotor.....	52
Figura 2.16.	Sensor de color TCS-230.....	53
Figura 2.17.	Disposición de los Pines del Sensor de Color TCS-230.....	54
Figura 2.18.	Servomotor Dynamixel AX-12A.....	57
Figura 2.19.	Pines del Servomotor Dynamixel AX-12A .....	58
Figura 2.20.	Controlador USB2Dynamixel.....	58
Figura 2.21.	Partes del Controlador USB2Dynamixel .....	59
Figura 2.22.	Primer servomotor sujeto a la base del servomotor .....	60

Figura 2.23. Rulimanes en la Base .....	60
Figura 2.24. Sujeción de la base para los Servomotores 2 y 3 .....	61
Figura 2.25. Sujeción de los Servomotores 2 y 3 a la Estructura del Brazo Robótico.....	61
Figura 2.26. Sujeción de la pieza en forma de doble T a los servomotores 2 y 3 .....	62
Figura 2.27. Sujeción de los servomotores 4 y 5 .....	62
Figura 2.28. Sujeción del Servomotor 6.....	63
Figura 2.29. Sujeción del Servomotor 7.....	63
Figura 2.30. Armado del Gripper .....	64
Figura 2.31. Brazo Robótico AX-12A Smart Robotic Arm ensamblado .....	64
Figura 2.32. Conexión de la Alimentación y el Controlador USB2Dynamixel.....	65
Figura 2.33. Ruteado de los Caminos de la Placa de Control .....	66
Figura 2.34. Caminos de la Placa de Control.....	66
Figura 2.35. Caminos de la Placa con Marcador Indeleble.....	67
Figura 2.36. Placa de Control para la Salida Analógica del Sensor de Color.....	67
Figura 2.37. Placa de Control para la Salida Digital del Sensor de Color.....	68
Figura 2.38. Esquema General de los elementos del Sistema.....	69
Figura 2.39. Fotografía de todo el Sistema Implementado .....	69
Figura 2.40. Tarjeta de Adquisición de Datos NIUSB6008.....	71
Figura 2.41. Inclusión del Asistente DAQ en el Diagramas de Bloques de LabVIEW .....	72
Figura 2.42. Programación para la Adquisición de las Señal Analógica del Sensor de Color .....	73
Figura 2.43. Programación para la Adquisición de las Señales del Sensor de Proximidad .....	74
Figura 2.44. Localización de las librerías Dynamixel en	

el Diagrama de Bloques .....	75
Figura 2.45. Interfaz para el Control de cada Articulación del Brazo Robótico .....	77

### **CAPÍTULO III**

Figura 3.1. Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 19ms .....	80
Figura 3.2. Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 18.5ms .....	80
Figura 3.3. Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 18ms .....	80
Figura 3.4. Señal de Ancho de Pulso de 1ms .....	81
Figura 3.5. Señal de Ancho de Pulso de 1.5ms .....	82
Figura 3.6. Señal de Ancho de Pulso de 2ms .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

Tabla 1.1.	Definición de Robot según algunos diccionarios y enciclopedias.....	7
Tabla 1.2.	Clasificación de los Robots según la Generación.....	8
Tabla 1.3.	Clasificación de los Robots por Área de Aplicación .....	9
Tabla 1.4.	Tipos de Configuraciones de Robots .....	10
Tabla 1.5.	Aplicaciones de los Robots Manipuladores.....	13
Tabla 1.6.	Colores del Espectro Visible.....	20
Tabla 1.7.	Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada tipo de actuador .....	36

### CAPÍTULO II

Tabla 2.1.	Características Generales del Servomotor Hite HS-311.....	42
Tabla 2.2.	Cálculo del Tiempo en Nivel Alto.....	44
Tabla 2.3.	Tiempos en alto (t1) y bajo (t2) de la Señal de control del Servomotor.....	47
Tabla 2.4.	Valores aproximados de R1 y R2 para los tiempos t1 y t2.....	47
Tabla 2.5.	Características generales del sensor de proximidad .....	51
Tabla 2.6.	Descripción de los Terminales.....	51
Tabla 2.7.	Características Generales del Sensor de Color TCS-230.....	54
Tabla 2.8.	Descripción de los pines del sensor de color TCS-230.....	55
Tabla 2.9.	Características Generales del servomotor Dynamixel AX-12 <sup>a</sup> .....	57

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1.	Valores de R1 y R2 en la prueba del Generador de Pulsos .....	79
Tabla 3.2.	Pruebas del ancho de pulso para el control del servomotor .....	81
Tabla 3.3.	Valores de los Grados de posición del Servomotor .....	82
Tabla 3.4.	Distancias de Detección del Sensor de Proximidad con Diferentes Sensibilidades .....	84
Tabla 3.5.	Voltaje de Salida del Sensor de Color para los Colores Rojo, Verde y Azul con luz natural .....	85
Tabla 3.6.	Voltaje de Salida para los colores Rojo, Verde y Azul a diferentes distancias.....	85
Tabla 3.7.	Respuesta del Sensor de Color con Luz externa para los Colores Rojo, Verde y Azul .....	86
Tabla 3.8.	Respuesta del Sensor de Color con luz Externa, Aislado de Luz Ambiente para los Colores Rojo, Verde y Azul .....	86
Tabla 3.9.	Valores RGB de los colores Rojo, Verde y Azul .....	87
Tabla 3.10.	Valores del Área de Trabajo del Brazo Robótico .....	88
Tabla 3.11.	Ángulo de Giro de las Articulaciones y distancia de Apertura del Gripper .....	88
Tabla 3.12.	Cálculo del Error del Brazo Robótico.....	89
Tabla 3.13.	Cálculo de la Exactitud del Brazo Robótico .....	89
Tabla 3.14.	Valores de Peso de la Capacidad de Carga del Brazo Robótico.....	90

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1.	Tiempo en alto de la señal de control .....	44
Ecuación 2.2.	Tiempo en alto del generador de pulsos.....	45
Ecuación 2.3.	Tiempo en bajo del generador de pulsos.....	46
Ecuación 2.4.	Frecuencia del generador de pulsos .....	46
Ecuación 2.5.	Periodo del generador de pulsos .....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Glosario de términos .....	99
ANEXO B:	Diagrama de bloques control individual de las articulaciones del brazo robótico .....	104
ANEXO C:	Diagrama de bloques del brazo robótico para movimientos preestablecidos .....	105
ANEXO D:	Diagrama de bloques del sistema para la salida analógica del sensor de color TCS-230 .....	106
ANEXO E:	Diagrama de bloques del sistema para la salida digital del sensor de color TCS-230 .....	107
ANEXO F:	Código de programación del microcontrolador .....	108
ANEXO G:	Hojas de especificaciones técnicas.....	118
ANEXO H:	Guía de instalación.....	125

## **RESUMEN**

El propósito principal de este proyecto es el diseño e implementación de un prototipo de una máquina que clasifica cubos por su color mediante la utilización de un sensor de color para la detección y un brazo robótico para la clasificación.

Este proyecto está estructurado por tres etapas, la etapa de transporte la cual consta de una cinta transportadora impulsada por un servomotor Hitec-311 modificado traslada los cubos hasta el punto de detección, la etapa de sensado la cual identifica el color del cubo mediante el sensor de color TCS-230 y la etapa de clasificación la cual consta del brazo robótico AX-12A Smart RoboticArm para clasificar los cubos en su lugar establecido.

En el primer capítulo del proyecto se desarrolla los fundamentos teóricos como antecedentes, conceptos y características de los colores, robótica, sensores y de la automatización industrial.

El segundo capítulo de diseño e implementación detalla cada una de las etapas del proyecto, la etapa de transporte, sensado y clasificación tanto de hardware como software.

El tercer capítulo de pruebas y análisis de resultados indica las pruebas realizadas en diferentes condiciones y los resultados obtenidos del proyecto.

El cuarto capítulo recoge las conclusiones y recomendaciones que se han logrado obtener durante la ejecución del proyecto.

Finalmente, se incluyen anexos que ayudan al entendimiento y reproducción total del proyecto.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this project is the design and implementation of a prototype of a machine that sorts by color cubes using a color sensor for detection and a robotic arm for classification.

This project is structured in three stages, the stage of transportation which consists of a conveyor belt driven by Hitec-311 modified servomotor moves the cubes to the point of detection, the stage of sensing which identifies the color of the cube by TCS-230 color sensor and the classification stage which consists of the robotic arm AX-12A Smart RoboticArm to classify cubes in place established.

In the first chapter of this project develop the theoretical foundations as background, concepts and characteristics of colors, robotics, sensors and industrial automation.

The second chapter details the design and implementation of each of the stages of the project, the stage of transport, sensing and classification both hardware and software.

The third chapter of testing and analysis of results indicates tests performed under different conditions and the results of the project.

The fourth chapter presents the conclusions and recommendations have achieved during project implementation.

Finally, it includes appendices that help the understanding and full reproduction of the project.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

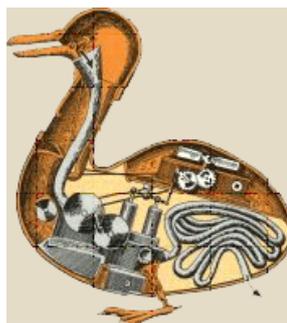
### 1.1 Automatización Industrial

#### 1.1.1 Introducción<sup>1</sup>

Los autómatas han existido desde tiempos muy antiguos y eran aquellas máquinas en las que una fuente de energía accionaba un mecanismo, permitiendo realizar algunos movimientos.

Entre los primeros autómatas se tienen las estatuas del templo de Dédalo<sup>2</sup>; además algunos autómatas fueron construidos en la edad media por San Alberto Magno<sup>3</sup>.

Vaucanson<sup>4</sup>, construyó varios juguetes, entre los cuales su célebre Pato (Figura 1.1), el cual era capaz de batir las alas, nadar, tragar grano y expulsar un producto parecido al excremento.



**Figura 1.1:** *Pato de Vaucanson (Del libro Automatización de Procesos Industriales).*

---

<sup>1</sup>Del libro “Ingeniería de la Automatización Industrial”. 2ª Edición, de Ramón Piedrafita Moreno. Alfaomega Grupo Editor, México, 2004.

<sup>2</sup> Arquitecto e inventor de la Grecia antigua.

<sup>3</sup> Obispo y Doctor de la Iglesia, teólogo, geógrafo, filósofo y científico. Baviera, Alemania 1193 – Colonia, Alemania 1280.

<sup>4</sup> Ingeniero e inventor francés. Grenoble 1709 – París 1782.

Los actuales sistemas de automatización industrial pueden considerarse como herederos de los autómatas mecánicos del pasado.

La implementación de los automatismos ha dependido del desarrollo de la tecnología, en primer lugar mediante sistemas mecánicos y posteriormente por tecnologías cableadas como la neumática, circuitos de relés y tarjetas electrónicas.

### **1.1.2 El Automatismo Secuencial<sup>5</sup>**

Un Automatismo Secuencial, es un sistema que funciona mediante intervalos o fases que se activan una a continuación de otra, cumpliendo ciertas condiciones en cada fase.

Los principales componentes de la Automatización son los transductores y los captadores de información, los preaccionadores (relés, contactores, etc.) y accionadores (motores) así como los sistemas de tratamiento de información (ordenadores, microprocesador, etc.).

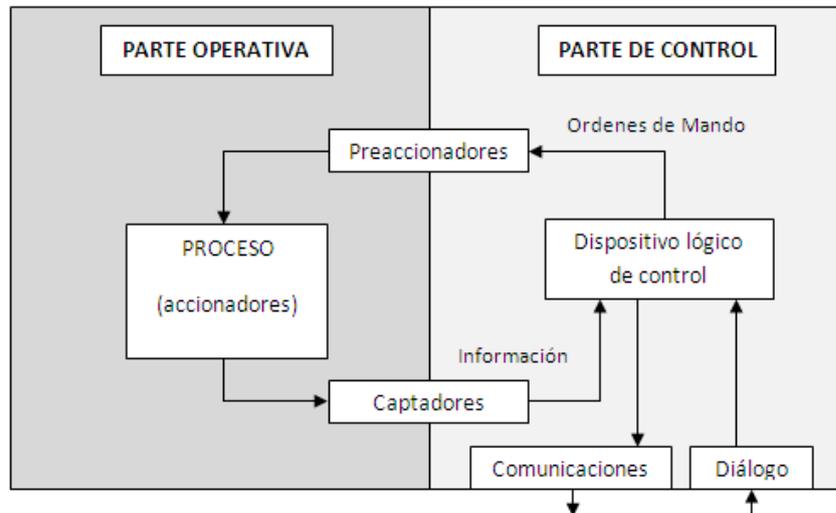
### **1.1.3 Modelo estructural de un Sistema Automatizado<sup>6</sup>**

La estructura de un Sistema Automatizado (Figura 1.2) se clasifica en la *Parte Operativa*, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas, diseñados para funciones de fabricación. Y la *Parte de Control*, es el dispositivo encargado de mantener bajo control la parte operativa.

---

<sup>5</sup> Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega. México, D.F. 2001.

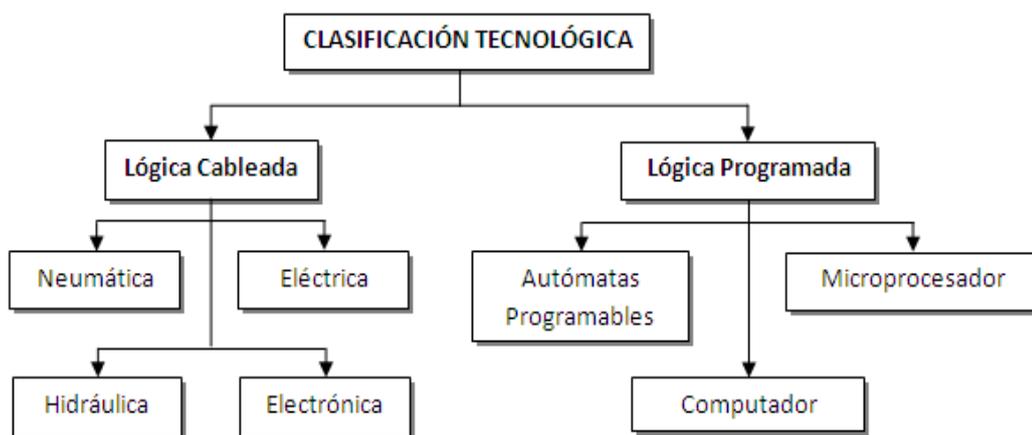
<sup>6</sup>Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega. México, D.F. 2001.



**Figura 1.2:** Modelo Estructural de un Sistema Automatizado (Del libro *Automatización de Procesos Industriales*).

#### 1.1.4 Clasificación Tecnológica del Control<sup>7</sup>

Se puede establecer la clasificación partiendo de dos conceptos principales: lógica cableada y lógica programada (Figura 1.3).

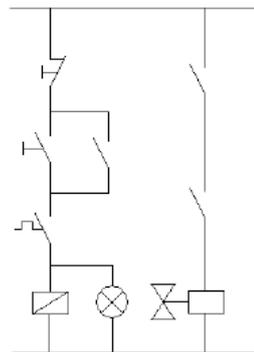


**Figura 1.3:** Clasificación Tecnológica del Control (Del libro *Automatización de Procesos Industriales*).

<sup>7</sup> Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega. México, D.F. 2001.

### a. Lógica Cableada

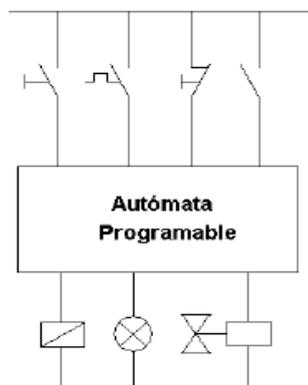
Es el sistema que utiliza distintos elementos para su control (Figura 1.4). En el caso de la tecnología eléctrica, se realiza mediante cables eléctricos, relés, interruptores, pulsadores etc., y en la tecnología electrónica, se diseñan los controladores mediante compuertas lógicas.



**Figura 1.4:** *Diagrama de la Lógica Cableada.*

### b. Lógica Programada

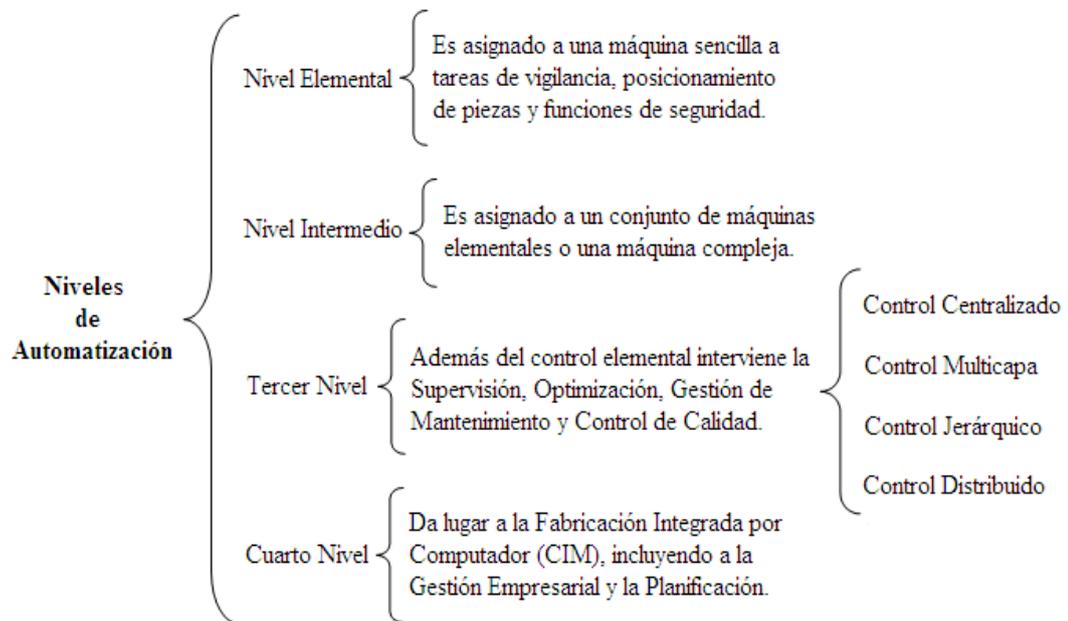
Es el sistema que utiliza dispositivos de lógica programada como autómatas programables, computadoras, etc.; y mediante un software específico se diseña el programa de control (Figura 1.5).



**Figura 1.5:** *Diagrama de la Lógica Programada.*

### 1.1.5 Niveles de Automatización<sup>8</sup>

El grado de automatización de un proceso viene determinado por factores de tipo económico y tecnológico. En la Figura 1.6 se muestra los niveles de automatización de un proceso.



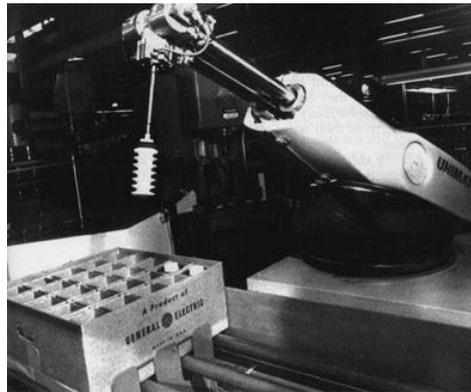
**Figura 1.6:** *Niveles de Automatización.*

<sup>8</sup>Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega. México, D.F. 2001.

## 1.2 La Robótica

### 1.2.1 Introducción<sup>9</sup>

La palabra robot fue introducida en 1917 por KarelCapek<sup>10</sup> en su cuento Opilec. “Robota” es la palabra checoeslovaca para labor monótona o trabajos forzados. En la ciencia ficción ha aparecido un gran número de robots pero la historia de los verdaderos robots comienza en 1954 cuando George Devol<sup>11</sup> registró la patente ProgrammedArticle Transfer (Transferencia Automática de Artículos). Esta patente condujo al primer robot industrial, (Figura1.7) fabricado en 1962 por Unimation, Inc., una compañía fundada por Joseph Engleberger<sup>12</sup> en 1958.



**Figura 1.7:** “UNIMATE”el primer Robot Industrial.

---

<sup>9</sup> Del libro, “Robótica, una introducción”, de D. McCloy, D. M. J. Harris, LIMUSA Noriega Editores.

<sup>10</sup>Escritor en lengua checa. Bohemia, Imperio austrohúngaro 1890 - Praga, Checoslovaquia 1938.

<sup>11</sup> Inventor estadounidense. (1912 - 2011).

<sup>12</sup> Físico, ingeniero y emprendedor conocido como el "Padre de la Robótica Industrial". Nació en Nueva York, 26 Julio 1925.

### 1.2.2 Definición de Robot<sup>13</sup>

En la Tabla 1.1 se recogen algunas de las definiciones consideradas por los diccionarios y enciclopedias de más prestigio en el mundo.

**Tabla 1.1:** Definición de Robot según algunos diccionarios y enciclopedias.

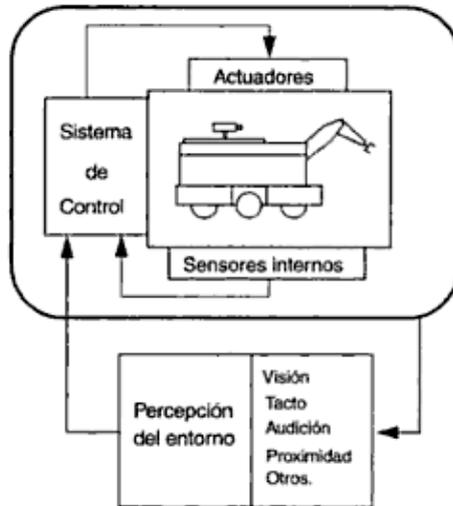
<b>Enciclopedia Británica</b> <i>“Maquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos, aunque no tiene por qué tener apariencia humana o desarrollar sus actividades a la manera de los humanos”.</i>
<b>Diccionario MerriamWebster</b> <i>“Máquina que se asemeja a los humanos y desarrolla como ellos tareas complejas como andar o hablar”.</i> <i>“Un dispositivo que desarrolla de manera automática tareas complicadas, a menudo de manera repetitiva”.</i> <i>“Un mecanismo guiado por control automático”.</i>
<b>Diccionario de la Real Academia Española</b> <i>“Máquinas o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas”.</i>

### 1.2.3 Esquema general del sistema del robot<sup>14</sup>

El esquema básico de un robot (Figura 1.8) se identifica por un sistema mecánico, actuadores, sensores y el sistema de control.

<sup>13</sup> Del libro “Fundamentos de Robótica”, 2ª Edición, Antonio Barrientos, Luis Peñin, Carlos Balaguer, Rafael Aracil. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, 2007.

<sup>14</sup> Del libro “Robótica Manipuladores y Robots Móviles”, de Aníbal OlleroBaturone, MarcomboBoixareu Editores, Barcelona, España, 2001.



**Figura 1.8:** Esquema General de un Sistema de Robot (Del libro *Fundamentos de Robótica*).

#### 1.2.4 Clasificación de los Robots<sup>15</sup>

Un robot puede ser clasificado por diferentes características, aplicaciones y tareas a la cual se destinan.

##### a. Clasificación atendiendo a la Generación

**Tabla 1.2:** Clasificación de los Robots según la Generación

<b>Primera Generación</b>	<p>Repite la tarea programada.</p> <p>No ve su entorno.</p>
<b>Segunda Generación.</b>	<p>Información limitada de su entorno.</p> <p>Puede localizar objetos (visión).</p>
<b>Tercera Generación.</b>	<p>Programación por lenguaje natural.</p> <p>Planificación automática de tareas.</p>

<sup>15</sup>Del libro “Fundamentos de Robótica”, 2ª Edición, Antonio Barrientos, Luis Peñin, Carlos Balaguer, Rafael Aracil. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, 2007.

## b. Clasificación atendiendo al Área de Aplicación

Desde el punto de vista del uso del robot es posible clasificarlos en base al sector económico en que trabaja o en base a la aplicación que desarrollan.

En la Tabla 1.3 se indica la clasificación de los robots según su aplicación.

**Tabla 1.3:** *Clasificación de los Robots por Área de Aplicación.*<sup>16</sup>

<b>Robots Personales y Domésticos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Robots para tareas domésticas</li><li>• Robots de entretenimiento</li><li>• Asistenciales, ayuda a discapacitados</li><li>• Transporte personal</li><li>• Seguridad y vigilancia de la vivienda</li></ul>
<b>Robots de Servicio Profesionales</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Robots de exteriores</li><li>• Limpieza profesional</li><li>• Sistema de inspección</li><li>• Construcción y demolición</li><li>• Sistemas logísticos</li><li>• Medicina</li><li>• Defensa, rescate y seguridad</li><li>• Submarinos</li><li>• Plataformas móviles</li><li>• Robots de laboratorio</li><li>• Relaciones públicas</li><li>• Propósito especial</li><li>• Humanoides</li></ul>

---

<sup>16</sup> De la Federación Internacional de Robótica (IFR).

**c. Clasificación atendiendo al tipo de Actuadores**

Dependiendo de cuál sea el tipo de energía utilizada por los ejes principales del robot, éste puede ser clasificado como:

- Robot Neumático
- Robot Hidráulico
- Robot Eléctrico

**d. Clasificación atendiendo al Número de Ejes**

Se entiende por eje a cada uno de los movimientos independientes con que está dotado el robot.

Se tienen robots de ejes superior o igual a 3. En la práctica, la mayor parte de los robots tienen 6 ejes, seguidos por los de 4 y 5 ejes.

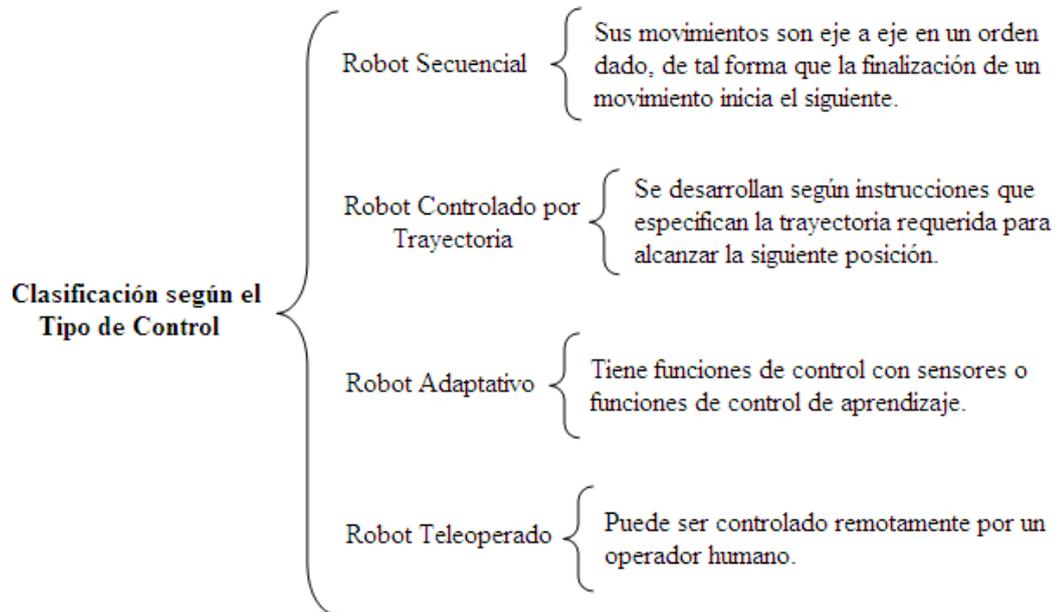
**e. Clasificación atendiendo a la Configuración**

La configuración de un robot queda definida por el tipo de movimientos permitidos.

**Tabla 1.4:** *Tipos de Configuraciones de Robots.*

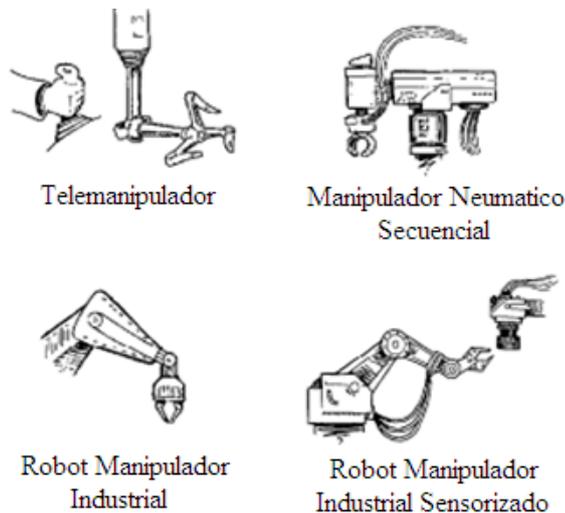
<b>Configuraciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cartesiano</li><li>• Cilíndrico</li><li>• Polar o Esférico</li><li>• Articular</li><li>• SCARA</li><li>• Paralelo</li></ul>

f. **Clasificación atendiendo al Tipo de Control**<sup>17</sup>



**Figura 1.9:** *Clasificación de los Robots según el Tipo de Control.*

En la Figura 1.10 se muestra algunos ejemplos de tipos de robots.



**Figura 1.10:** *Algunos Tipos de Robots (Del libro Fundamentos de Robótica).*

<sup>17</sup>De la Organización Internacional de Estandarización (ISO), norma ISO 8373.

## 1.2.5 Robot Manipulador

### a. Definición

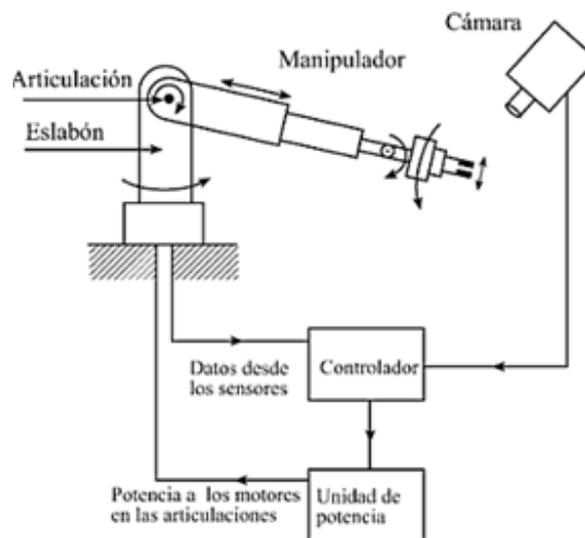
*“Es un robot manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”*.<sup>18</sup>

### b. Sistema Básico de un Robot Manipulador<sup>19</sup>

Un robot manipulador necesita como mínimo los siguientes componentes:

- El brazo
- El controlador
- La unidad de potencia

El sistema completo de un brazo manipulador se indica en la Figura 1.11 el cual consta de sensores externos; los cuales envían la información al microcomputador que controla el robot.



**Figura 1.11:** Componentes Básicos de un Sistema Robot Manipulador.

<sup>18</sup> De la Robotic Industries Association (RIA).

<sup>19</sup> Del libro “Robots Industriales Manipuladores”, de Rafael Iñigo Madrigal, Enric Vidal Idiarte. Grupo Editor Alfaomega, México D.F., 2004.

### **c. Aplicaciones**

En la Tabla 1.5 se indica las aplicaciones de los robots manipuladores según la Federación Internacional de Robótica (IFR).

**Tabla 1.5:** *Aplicaciones de los Robots Manipuladores.*<sup>20</sup>

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Manipulación en fundición</li><li>• Manipulación en moldeo de plásticos</li><li>• Manipulación en tratamientos térmicos</li><li>• Manipulación en la forja y estampación</li><li>• Soldadura</li><li>• Aplicación de materiales</li><li>• Mecanización</li><li>• Otros procesos</li><li>• Montaje</li><li>• Paletización y empaquetado</li><li>• Medición, inspección, control de calidad</li><li>• Manipulación de materiales</li><li>• Formación, enseñanza e investigación</li></ul> |
|---|

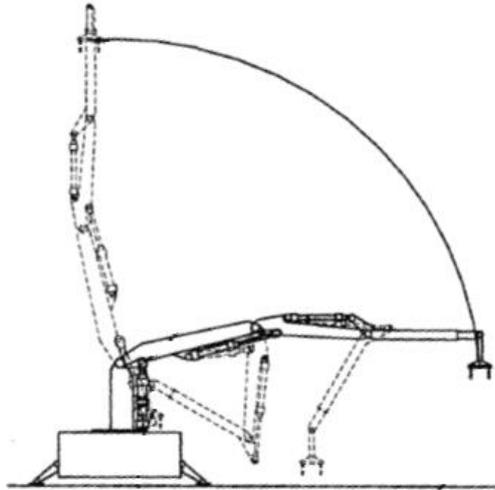
### **1.2.6 Características Principales para la Selección de un Robot**

#### **a. Área de Trabajo**

El área de trabajo o campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot (Figura 1.12).

---

<sup>20</sup>De la Federación Internacional de Robótica (IFR).



**Figura 1.12:** *Área de Trabajo del Robot.*

#### **b. Grados de Libertad**

Los grados de libertad se definen a cada uno de los movimientos independientes que puede realizar una articulación respecto de la anterior.

#### **c. Precisión, repetibilidad y resolución**

Las ventajas del robot frente a otras máquinas son el bajo error de posicionamiento con el que realizan su trabajo.

Para la definición de este error es necesario tener en cuenta tres conceptos complementarios: la precisión, la repetibilidad y la resolución.

- **La Precisión**

Es la distancia entre el punto programado y el valor de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces.

- **La Repetibilidad**

Se refiere a la capacidad del robot de regresar al punto programado las veces que sean necesarias, al realizar una tarea programada.

- **La Resolución**

Se define como el incremento más pequeño de movimiento en que el robot puede dividir su volumen de trabajo.

**d. Velocidad**

Se refiere a la velocidad máxima alcanzable por las articulaciones.

**e. Capacidad de Carga**

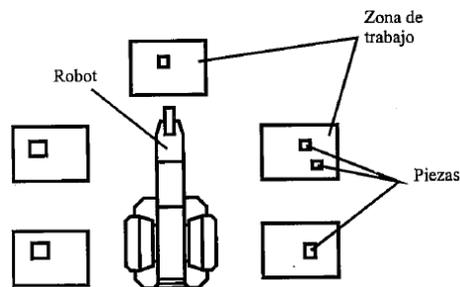
Es la capacidad máxima que puede soportar un robot.

### 1.2.7 Disposición del Robot en la Célula de Trabajo<sup>21</sup>

**a. Robot en el Centro de la Célula**

En esta disposición el robot se encuentra rodeado por el resto de elementos (Figura 1.13).

La disposición del robot en el centro se usa para que un robot sirva a una o varias máquinas.

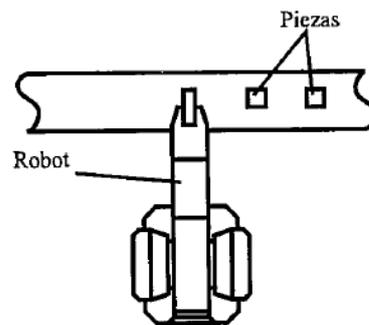


**Figura 1.13:** *Disposición del Robot en el Centro de la Célula (Del libro Fundamentos de Robótica).*

<sup>21</sup> Del libro “Fundamentos de Robótica”, Segunda Edición, de Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñin, Carlos Balaguer, Rafael Aracil. Editorial Mc Graw-Hill/Interamericana de España, 2007.

### b. Robot en Línea

Es cuando uno o varios robots deben trabajar sobre elementos que llegan en un sistema de transporte (Figura 1.14).



**Figura 1.14:** *Disposición del Robot en Línea (Del libro Fundamentos de Robótica).*

### c. Robot Móvil

Es un robot el cual se encuentra sobre una vía que permita su desplazamiento lineal de manera controlada (Figura 1.15).



**Figura 1.15:** *Disposición de un Robot Móvil sobre raíl (http://www.directindustry.es).*

#### **d. Robot Suspendido**

Esta disposición es la que el robot queda situado sobre el área de trabajo (Figura 1.16).



**Figura 1.16:** *Disposición del Robot Suspendido* (<http://www.directindustry.es>).

### **1.3 Los Colores**

#### **1.3.1 Introducción<sup>22</sup>**

El color ha sido estudiado por científicos, físicos, filósofos y artistas en su respectivo campo.

En la prehistoria hace 1.500.000a.C., el primer color que utilizaron los Homo Erectus<sup>23</sup> fue el rojo de la sangre y el color negro del carbón que quedaba de las hogueras. Aristóteles<sup>24</sup> definió como colores básicos a la tierra, el fuego, el agua y el cielo.

---

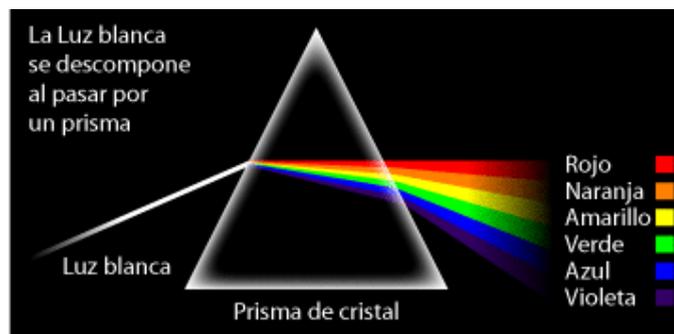
<sup>22</sup> Del libro, “Historia de los Colores”, Escrito por Manlio Brusatin. Ediciones Paidós Ibérica, S.A. Barcelona, España 1987.

<sup>23</sup> Primate de postura erguida extinto. (1.500.000a.C. - 10.000a.C.).

<sup>24</sup> Filósofo y científico de la Antigua Grecia. (384 a. C. - 322 a. C.).

Unos siglos más tarde, Leonardo Da Vinci<sup>25</sup>, definió el color como propio de la materia siendo el blanco como el principal, ya que recibe a los demás colores y el negro era considerado para la oscuridad ya que priva de todos los otros colores.

Isaac Newton<sup>26</sup> estableció que la luz es color. En 1665 descubrió que la luz del sol al pasar por un prisma, se tenía varios colores formando un espectro. (Figura1.17).



**Figura 1.17:** Los colores del espectro por la descomposición de la luz blanca que pasa a través de un prisma (<http://www.gusgsm.com>).

Lo que Newton consiguió fue la descomposición de la luz en los colores del espectro. Estos colores son básicamente el Violeta, el Azul, el Verde, el Amarillo, el Naranja y el Rojo.

### 1.3.2 Definición<sup>27</sup>

Es una impresión de los rayos reflejados en un cuerpo en los fotorreceptores de la retina del ojo y distinguen las distintas longitudes de onda y por tanto los distintos colores.

<sup>25</sup> Científico y artista italiano. Vinci 1452 - Amboise 1519.

<sup>26</sup> Físico, filósofo, inventor y matemático inglés. Lincolnshire, Inglaterra 1643 - Londres, Inglaterra 1727.

<sup>27</sup> De la Enciclopedia Temática Autoevaluativa “LEXUS”, 1999 LEXUS EDITORES.

### 1.3.3 La Física del Color<sup>28</sup>

#### a. El espectro visible

Del espectro electromagnético la región que el ser humano es capaz de percibir se denomina espectro visible.

El espectro visible (Figura 1.18) es la región del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir. El ojo humano responde a longitudes de onda desde 400 a 700 nm aunque algunas personas pueden desde 380 a 780 nm.



**Figura 1.18:** *Espectro Visible* (<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

#### b. Colores del Espectro

Los colores espectrales son los colores presentes en la luz visible. En la Tabla 1.6 se muestra estos colores espectrales, (violeta, azul, verde, amarillo, naranja, rojo) y las longitudes de onda aproximadas.

---

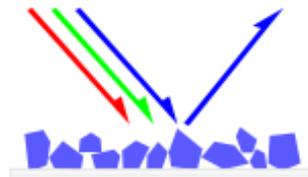
<sup>28</sup> Basado en la página web. Dirección: <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>

**Tabla 1.6:** *Colores del Espectro Visible* (<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

Color	Longitud de onda
violeta	~ 380-450 nm
azul	~ 450-495 nm
verde	~ 495-570 nm
amarillo	~ 570-590 nm
naranja	~ 590-620 nm
rojo	~ 620-750 nm

### c. La reflexión en las superficies

Cuando la luz incide sobre un objeto, su superficie absorbe ciertas longitudes de onda y refleja otras. Sólo las longitudes de onda reflejadas podrán ser vistas por el ojo humano.



**Figura 1.19:** *Reflexión sobre un objeto* (<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

### 1.3.4 Propiedades del Color<sup>29</sup>

Las propiedades del color son elementos que hacen único un determinado color.

<sup>29</sup> Basado en el artículo publicado en la página web Fotonostra. Dirección: <http://www.fotonostra.com/grafico/teoriacolor.htm>

**a. Matiz o Tonalidad**

Es la propiedad que se refiere al estado puro del color; por la cual diferenciamos y damos su nombre.



**Figura 1.20:** *Diferencia de matiz o tonalidad.*

**b. Valor o Luminosidad**

Describe cuan claro o cuan oscuro parece un color (Figura 1.21).



**Figura 1.21:** *Diferencia de Valor o Luminosidad.*

**c. Saturación o Brillo**

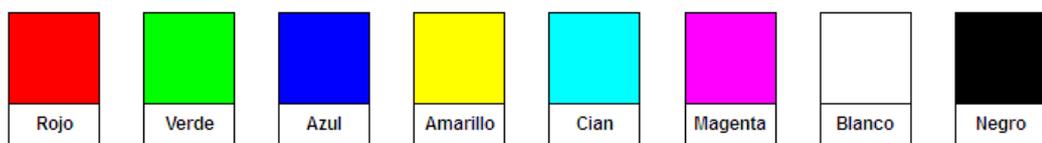
Representa la viveza o palidez de un color. Los colores puros del espectro están completamente saturados.



**Figura 1.22:** *Diferencia de Saturación o Brillo.*

### 1.3.5 Colores elementales

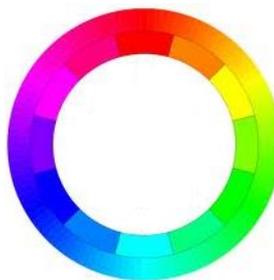
Los colores elementales (Figura 1.23) corresponden a las posibilidades extremas de percepción de la vista. Son resultado de las combinaciones de los tres colores primarios. Estas ocho posibilidades son los tres colores primarios más los dos colores acromáticos, el blanco y el negro.



**Figura 1.23:** *Colores Elementales*

### 1.3.6 Círculo cromático

Los extremos del espectro visible visualmente tienen algunas similitudes, Newton propuso que los colores del espectro se distribuyan en una forma circular uniendo los extremos del espectro visible.



**Figura 1.24:** *Círculo Cromático* (<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

### 1.3.7 Modelo de color RGB

Es un modelo de color de síntesis aditiva de los tres colores primarios (rojo, verde, azul).



**Figura 1.25:** *Círculo Cromático del Modelo de Color RGB*  
(<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

### 1.3.8 Modelo de color RYB

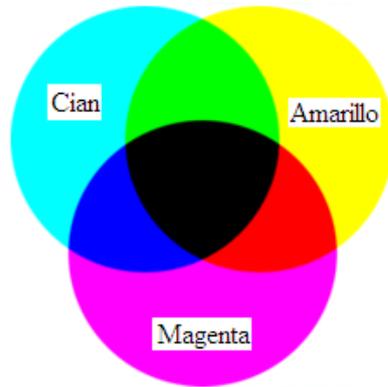
Es un modelo de síntesis sustractiva de color, el cual es impreciso y su corrección es el modelo CMYK.



**Figura 1.26:** *Círculo Cromático del Modelo de Color RYB*  
(<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).

### 1.3.9 Modelo de color CMYK

Es un modelo de color sustractivo que permite representar una gama de colores más amplia.



**Figura 1.27:** *Modelo de color CMYK (<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>).*

## 1.4 Sensores

### 1.4.1 Introducción<sup>30</sup>

El sistema sensorial en los seres humanos está enormemente desarrollado. La situación de abrir una puerta en la mayoría de ocasiones no representa ningún problema, pero representa una gran cantidad y complejidad de información que el cerebro debe procesar.

Los sensores en robótica y en otras áreas de la industria son de gran importancia ya que aportan información del entorno de trabajo como del robot.

Los parámetros tales como posición, velocidad o ángulo de giro de cada articulación son imprescindibles en la mayoría de las aplicaciones, información captada por sensores integrados estructura del robot, por lo que se denominan sensores internos.

Por otro lado, los sensores externos están ubicados fuera de la estructura del robot y permiten captar información del entorno de trabajo, reconocimiento y localización de objetos.

---

<sup>30</sup> Del libro “Robots y Sistemas Sensoriales”, de Fernando Torres, Jorge Pomares, Pablo Gil, Santiago T. Puente, Rafael Aracil, Editorial Pearson Educación, S. A., Madrid, 2002.

## 1.4.2 Definición<sup>31</sup>

Un sensor es un dispositivo eléctrico o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, calor, presión, movimiento, etc.) a valores medibles de dicha magnitud.

## 1.4.3 Características Generales

### a. Descriptores Estáticos

Definen el comportamiento en régimen permanente de un sensor. Dentro de estos descriptores tenemos:

- **Rango.** Valores mínimos y máximos para las variables de entrada y salida.
- **Exactitud.** Es la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. Se suele definir también como el mayor error esperado entre la señal medida e ideal.
- **Repetitividad.** Se suele definir como la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- **Reproducibilidad.** Tiene el mismo significado que la repetitividad excepto que en este caso se utiliza cuando distintas medidas se realizan bajo condiciones diferentes.
- **Resolución.** Se define como la cantidad más pequeña de incremento que puede ser determinada, siendo la cantidad de medida más pequeña que se puede detectar.
- **Error.** se trata de la diferencia entre el valor medido por el sensor y el valor real.

---

<sup>31</sup>Del libro “Robots y Sistemas Sensoriales”, de Fernando Torres, Jorge Pomares, Pablo Gil, Santiago T. Puente, Rafael Aracil, Editorial Pearson Educación, S. A., Madrid, 2002.

## b. Descriptores Dinámicos

Hacen referencia a la caracterización de la evolución temporal de la señal de salida ante determinadas señales de excitación en la entrada.

Se pueden definir los siguientes parámetros:

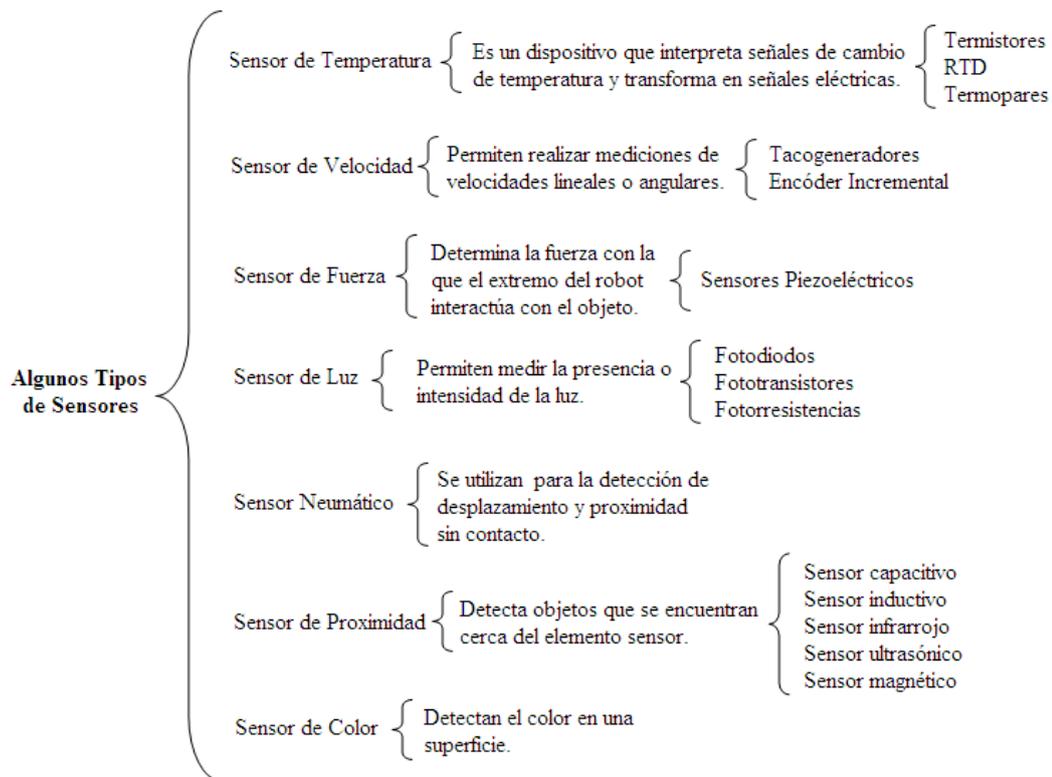
- **El tiempo de retardo.** Es el tiempo que tarda la señal de salida del sensor en alcanzar el 50 por ciento de su valor final.
- **El tiempo de subida.** Se define como el tiempo que tarda la señal de salida del sensor desde el valor original hasta alcanzar su valor final. Este parámetro proporciona información acerca de la velocidad del sensor, es decir, de lo rápido que responde ante una entrada.
- **El tiempo de pico.** Es el tiempo que tarda la señal de salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobre oscilación.
- **El pico de sobre oscilación.** Es la amplitud del primer pico y se suele medir en porcentaje respecto al valor final.
- **Tiempo de establecimiento.** Es el tiempo que tarda la señal de salida del sensor en entra en la banda de 5 por ciento alrededor del valor final, y ya no vuelve a salir de ella.

### 1.4.4 Tipos de Sensores<sup>32</sup>

En la figura 1.28 se indica los tipos de sensores más comunes que se tiene.

---

<sup>32</sup>Del libro “Robots y Sistemas Sensoriales”, de Fernando Torres, Jorge Pomares, Pablo Gil, Santiago T. Puente, Rafael Aracil, Editorial Pearson Educación, S. A., Madrid, 2002.  
Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega, 2001, México D.F.



**Figura 1.28:** *Algunos Tipos de Sensores.*

### 1.4.5 Sensor de Proximidad<sup>33</sup>

El sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor.

Los sensores de proximidad permiten determinar tanto la presencia como la proximidad de un objeto situado a una distancia máxima.

Entre los sensores de proximidad se encuentran:

- Sensor capacitivo.
- Sensor inductivo.

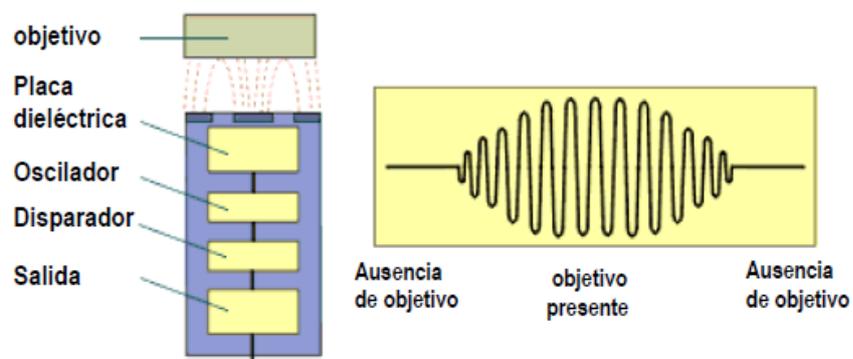
<sup>33</sup> Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega, 2001, México D.F.

- Sensor infrarrojo.
- Sensor ultrasónico.
- Sensor magnético.

#### a. Sensor Capacitivo

Detecta objetos metálicos o no metálicos, su función es señalar un cambio de estado midiendo el cambio de la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar.

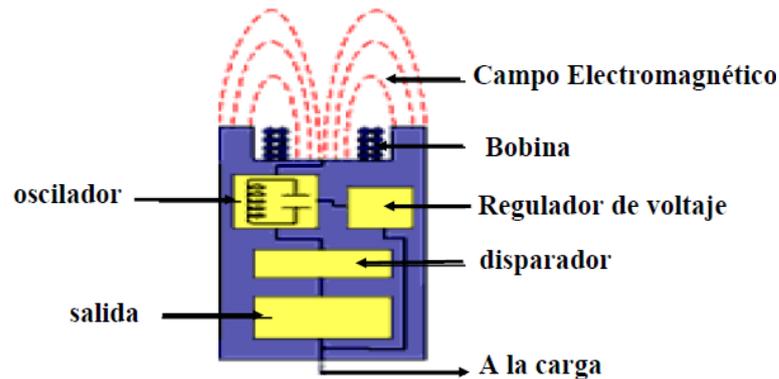
Cuando el objeto a detectar entra al campo electroestático, cambia la capacitancia y el oscilador empieza a oscilar; el circuito disparador lee la amplitud y la etapa de salida del sensor cambia; mientras el objetivo se aleja la amplitud cambia, y la salida regresa a su estado original. En la Figura 1.29 se muestra como opera un sensor de proximidad capacitivo.



**Figura 1.29:** Operación de los Sensores de Proximidad Capacitivos  
(<http://galia.fc.uaslp.mx>).

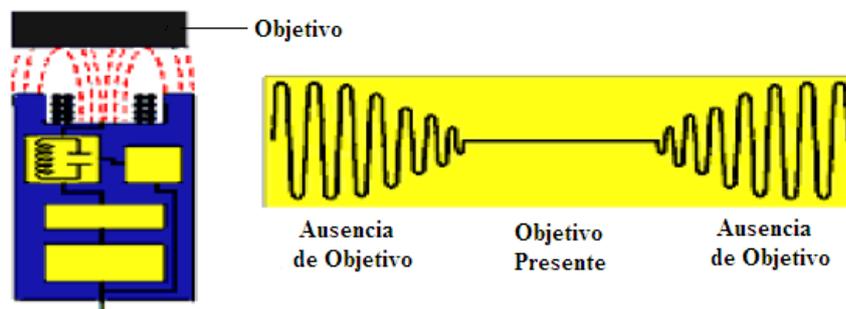
## b. Sensor Inductivo

Es un dispositivo de conmutación sin contacto que tiene una bobina electromagnética y puede detectar solo objetos metálicos. En la Figura 1.30 se muestra los componentes principales de un sensor de proximidad inductivo.



**Figura 1.30:** Componentes de un Sensor de Proximidad Inductivo  
(<http://galia.fc.uaslp.mx>).

Su principio de operación (Figura 1.31) se basa en cuando el objetivo metálico entra al campo electromagnético aumenta la carga en el sensor y disminuye la amplitud del oscilador activando la salida del sensor; cuando el objetivo se aleja del sensor, la amplitud del oscilador y la salida regresa a su estado normal.



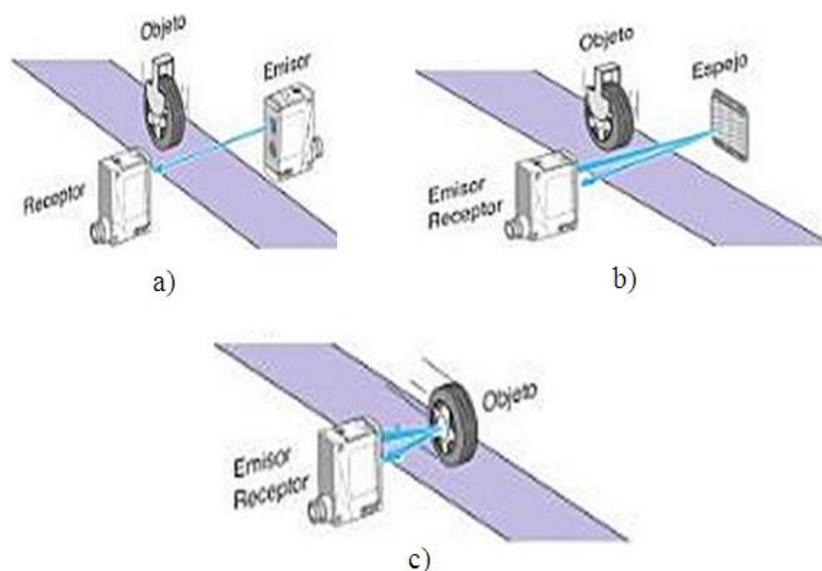
**Figura 1.31:** Operación de los Sensores de Proximidad Inductivos  
(<http://galia.fc.uaslp.mx>).

### c. Sensor Fotoeléctrico

El principio de funcionamiento se basa en la generación de un haz de luz que se proyecta sobre un fotoreceptor o un dispositivo reflejante. La interrupción o reflexión del haz por parte del objeto a detectar, provoca el cambio de estado de la salida.

Se clasifican según su sistema de detección:

- Sistema de detección de “barrera”  
El emisor y receptor se encuentran separados y el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz.
- Sistema de detección “réflex”  
El emisor y receptor están en un solo lado y el dispositivo reflector refleja la luz en la misma dirección en la que llega.
- Sistema de detección “auto réflex”  
En este sistema el objeto a detectar funciona como elemento reflector.



**Figura 1.32:** Sistema de detección: a) Tipo barrera. b) Tipo réflex. c) Tipo auto réflex (<http://conociendotemporizadores.blogspot.com/>).

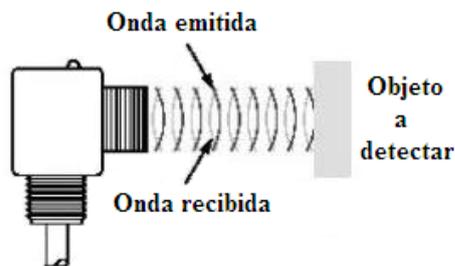
**d. Sensor Ultrasónico<sup>34</sup>**

Los sensores ultrasónicos (Figura 1.33) son detectores de proximidad sin contacto físico que detectan objetos a distancias de hasta 8m.



**Figura 1.33:** *Sensor Ultrasónico* (<http://sensoresdeproximidad.blogspot.com>).

El sensor emite una onda ultrasónica, se refleja en el objeto a detectar y el sensor recibe el eco producido (Figura 1.34).



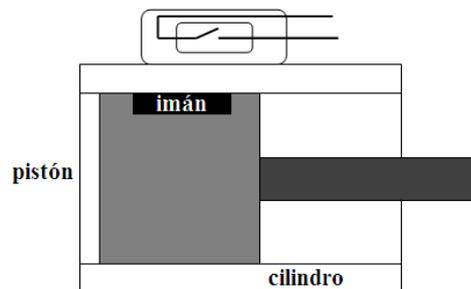
**Figura 1.34:** *Funcionamiento del Sensor Ultrasónico*  
(<http://sensoresdeproximidad.blogspot.com>).

---

<sup>34</sup> De la página web: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_de\\_proximidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_proximidad).

#### e. Sensor Magnético<sup>35</sup>

En su interior tiene un sistema de contacto que se acciona cuando aparece un campo magnético.



**Figura 1.35:** *Sensor de Proximidad Magnético (Del libro Automatización de Procesos Industriales).*

#### 1.4.6 Sensor de Color<sup>36</sup>

Los sensores de color (Figura 1.36) detectan el color en una superficie. Los sensores emiten luz sobre el objeto que se analiza, calculan las coordenadas cromáticas a partir de la radiación reflejada. Si los valores de color se encuentran dentro del margen de tolerancia establecido, se activa una salida de conmutación.



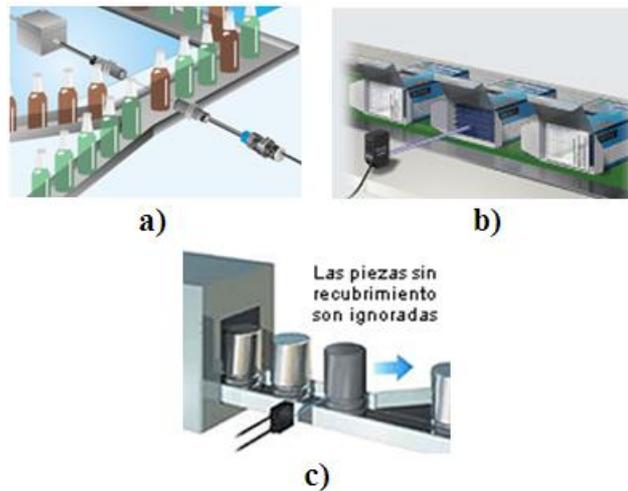
**Figura 1.36:** *Sensor de Color (<http://www.microcomsolutions.com>).*

<sup>35</sup>Del libro “Automatización de Procesos Industriales” de Emilio García Moreno. Grupo Editor Alfaomega, 2001, México D.F.

<sup>36</sup>De la página web: <http://www.sick.com>

### a. Aplicaciones

En los procesos industriales con un elevado grado de automatización, el color es a menudo un criterio de selección para detectar, clasificar y controlar diferentes mercancías.



**Figura 1.37:** *Aplicaciones de Sensores de Color: a) Distribución de Botellas por su color. b) Detección de presencia o no de productos. c) Separación de piezas sin tratar (<http://www.keyence.com.mx>).*

Mediante los detectores electrónicos de color es posible detectar de forma precisa tanto el color de los productos en sí como también los envases, las etiquetas o las notas impresas.

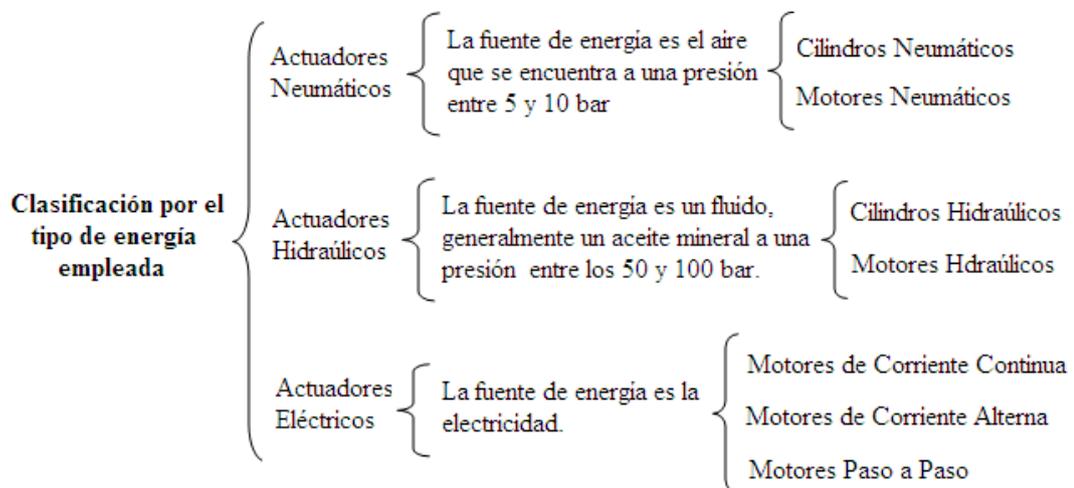
El sensor de color es utilizado ampliamente en el campo de la robótica, automatización, control de calidad y en diversos procesos de producción.

## 1.5 Actuadores<sup>37</sup>

Para que un sistema de control electrónico pueda controlar un proceso o producto se necesita actuar sobre el mismo.

Un actuador es todo dispositivo que convierte la energía hidráulica, neumática y eléctrica, en una salida generalmente mecánica, que puede provocar un efecto sobre el proceso automatizado.

### 1.5.1 Clasificación según el tipo de energía empleada



**Figura 1.38:** Clasificación de los actuadores por la energía empleada.

<sup>37</sup> Del libro “Avances en Robótica y Visión Artificial” de José A. Somolinos S. Ediciones de la universidad de Castilla-La Mancha, 2002.

## 1.5.2 Servomotores<sup>38</sup>

Un servomotor (Figura 1.39) es un tipo especial de motor, está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control. Su tamaño y peso son reducidos y la tensión de alimentación flexible y de bajo consumo, lo cual ha hecho que se utilice en la construcción de robots.



**Figura 1.39:** Servomotor (<http://www.hitecrd.com>).

Tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y de mantenerse estable en dicha posición.

Debido a las aplicaciones para las que fueron desarrollados, presentan el inconveniente de que no recorren 360°, por lo que se corta una pestaña en el interior para modificarlos. Si además de la pestaña se elimina la electrónica de control, tendríamos un motor de corriente continua muy compacto y con un buen par de fuerza.

---

<sup>38</sup> Del libro “Introducción a la Robótica, Principios Teóricos, construcción y programación de un robot educativo” de Jose Ma. Angulo Usategui, Susana Romero Yesa, Ignacio Angulo Martinez,. Editorial Thomson, 2005.

### 1.5.3 Ventajas y Desventajas de cada tipo de Actuador

**Tabla 1.7:** Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada tipo de actuador.

<b>Tipo de Actuador</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Neumático</b>	Bajo costo Velocidad Robustos	Instalación especial Ruidosos
<b>Hidráulico</b>	Capacidad de carga Velocidad	Instalación especial Difícil mantenimiento Costosos
<b>Eléctrico</b>	Precisos Silenciosos Fácil control Fácil instalación	Potencia limitada

## 1.6 Comunicaciones Industriales

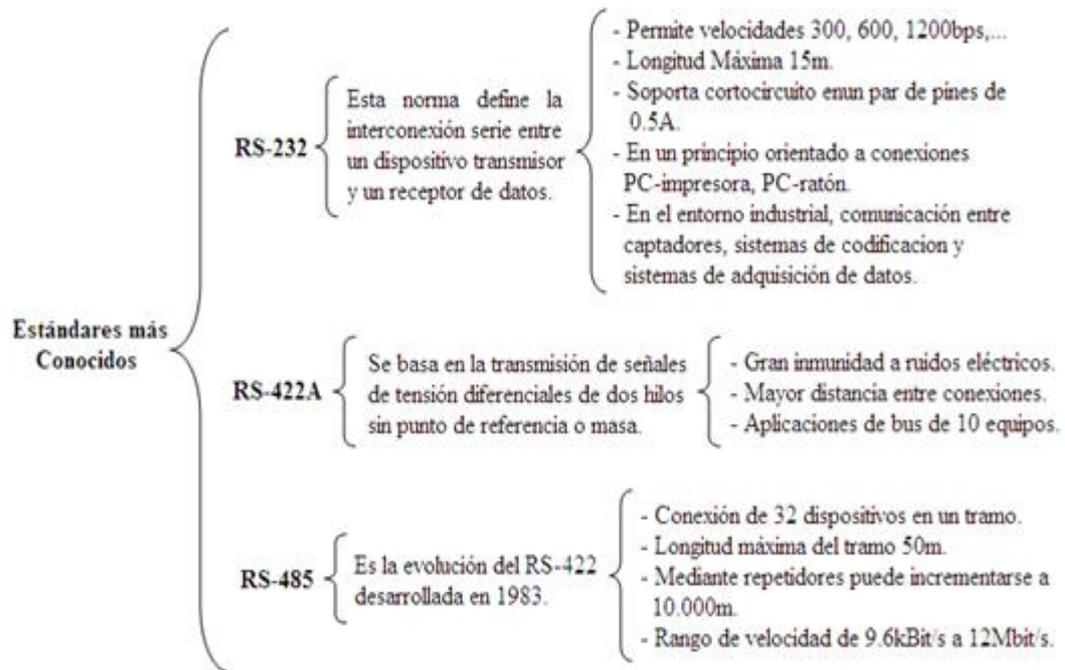
### 1.6.1 Sistemas de Transmisión de la Señal<sup>39</sup>

Para que una señal llegue al destinatario es necesario que la señal llegue en óptimas condiciones para que se la pueda recuperar.

Las conexiones físicas en el entorno industrial son normalizadas por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos. Los estándares más conocidos son: RS-232, RS-422A, RS-485, TTL.

---

<sup>39</sup> Del libro “Comunicaciones Industriales”, Primera Edición de Aquilino Rodríguez Penin. Editorial Marcombo, S.A., Barcelona, 2008.



**Figura 1.40:** Estándares más conocidos de los Sistemas de Transmisión.

La transmisión por señales de tensión no se recomienda para distancias extensas.

### 1.6.2 Bucle de Corriente<sup>40</sup>

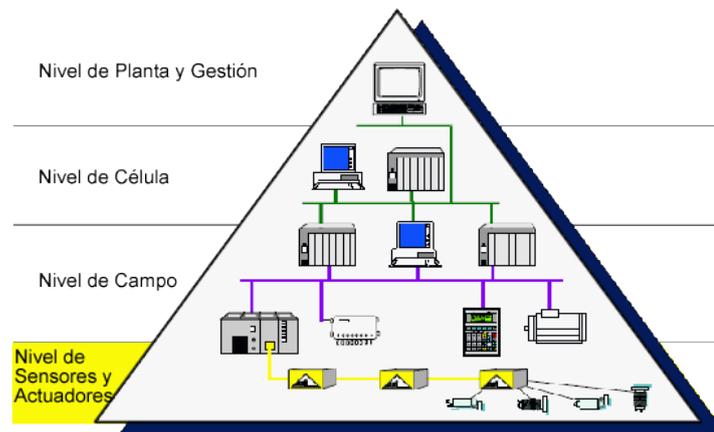
Los diferentes niveles lógicos se indican mediante niveles de corriente en la línea de transmisión (4 a 20mA). Es más inmune a interferencias eléctricas que en los niveles de tensión; además utiliza el mismo cable para la alimentación de los dispositivos.

<sup>40</sup> Del libro “Sensores y Acondicionadores de Señal”, 3ª Edición, de Ramón Pallas Areny. Alfaomega Grupo Editor, S.A., México D.F., 2001.

Las ventajas de este sistema es que se puede transmitir a largas distancias, permite la detección de fallos de sensores, es económica y alta inmunidad a interferencias electromagnéticas.

### 1.6.3 Buses de Campo<sup>41</sup>

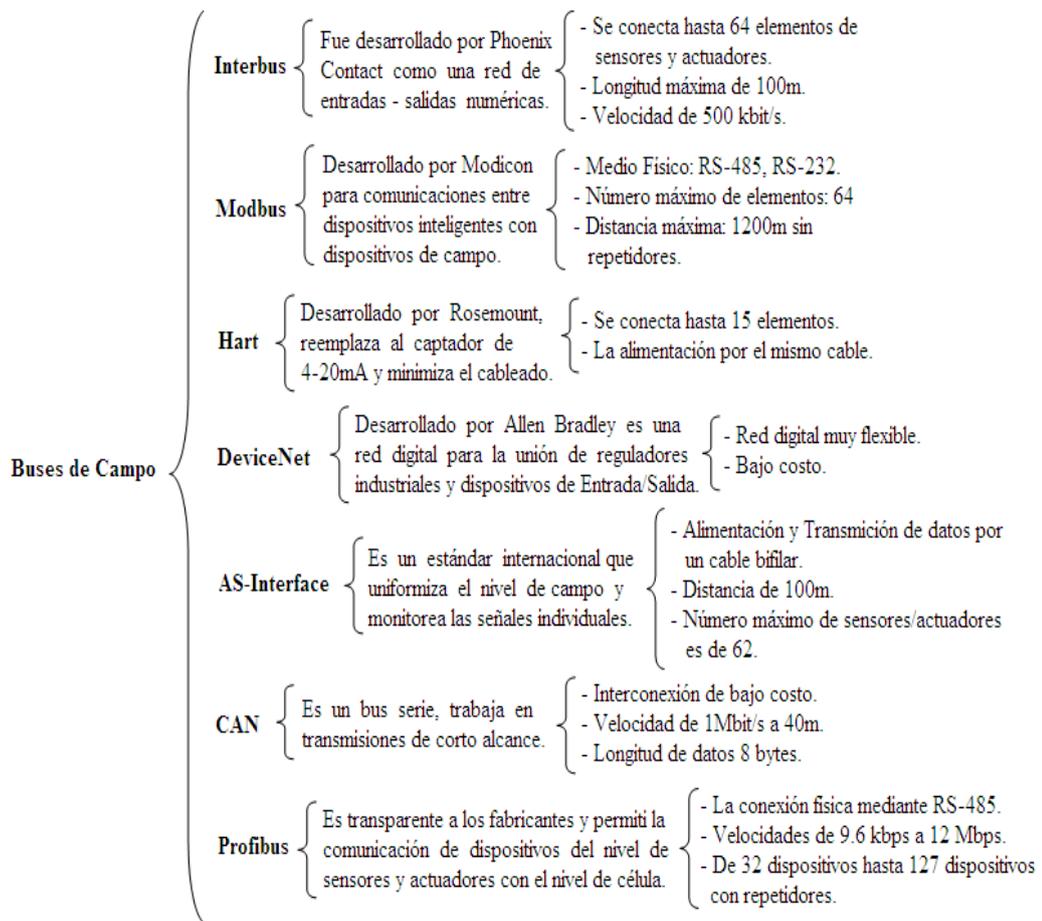
Son redes digitales que transmiten la información por un bus al mismo que se acoplan los elementos del nivel de campo y del nivel de sensores-actuadores de la pirámide de automatización (Figura 1.41), como PLC's, transductores, actuadores y sensores.



**Figura 1.41:** Pirámide de la Automatización(<http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125>).

Entre los buses de campo (Figura 1.42) más conocidos que se tiene actualmente son:

<sup>41</sup>Del libro “Comunicaciones Industriales”, Primera Edición de Aquilino Rodríguez Penin. Editorial Marcombo, S.A., Barcelona, 2008.



**Figura 1.42:** *Buses de Campo.*

## CAPÍTULO II

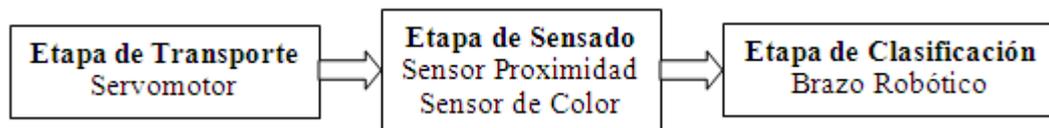
### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 2.1 Introducción

Una vez revisado los conceptos básicos y necesarios para este proyecto expuestos en el capítulo anterior, se procede con el diseño e implementación, detallando las características electrónicas y explicando cada una de las partes que conforma el proyecto.

El proyecto está dividido por etapas, (Figura 2.1)

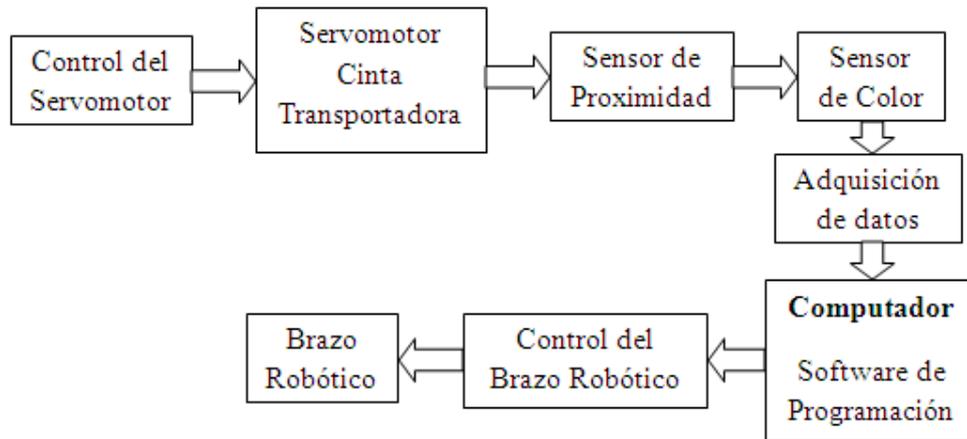
- La etapa de transporte en la cual los cubos de colores son llevados en una cinta transportadora impulsada por un servomotor de modelismo Hitec HS-311 Standard modificado para que su funcionamiento sea de giro continuo.
- La etapa de sensado, una vez que los cubos son transportados, el sensor de proximidad SICK WL250-S132 detecta la presencia de un cubo deteniendo al servomotor y por ende a la cinta transportadora, para que el sensor de color TCS-230 pueda detectar el color del cubo.
- La etapa de clasificación, una vez que se conoce el color del cubo, el brazo robótico AX-12A Smart Robotic Arm procede a colocarlo en un lugar establecido para cada color.



**Figura 2.1:** *Diagrama de Bloques de las Etapas del Sistema.*

## 2.2 Diagrama General del Sistema

El sistema en el que se basa este proyecto posee varios bloques funcionales como se describe en la figura 2.2. a continuación. En la Figura 2.2 se muestra un diagrama de bloques general del proyecto.



**Figura 2.2:** *Diagrama de Bloques General del Sistema.*

El proyecto se ha dividido en diferentes bloques para tener una mejor visión del mismo, las cuales serán descritas en detalle en secciones posteriores.

En primera instancia se encuentra el control del servomotor, el cual acciona el servomotor Hitec HS-311 Standar que a su vez hace girar a la cinta transportadora que lleva los cubos, hasta que los mismos corten el haz de luz que emite el Sensor de Proximidad Sick y se detenga la cinta transportadora. El Sensor de Color TCS-230 detecta el color del cubo y envía una señal analógica a la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008 para poder ingresar la señal al computador, mediante LabView se realiza el análisis de la señal y la programación de los comandos para el control del brazo robótico.

## 2.3 Servomotor Hitec HS-311 Standar

Para el impulso de la cinta transportadora se utiliza un Servomotor Hitec HS-311 Standar (Figura 2.3) ya que este entrega un alto par de fuerza. Es un tipo especial de motor, está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito electrónico de control.



**Figura2.3:** *Servomotor Hitec HS-311 Standar.*

### 2.3.1 Características Generales

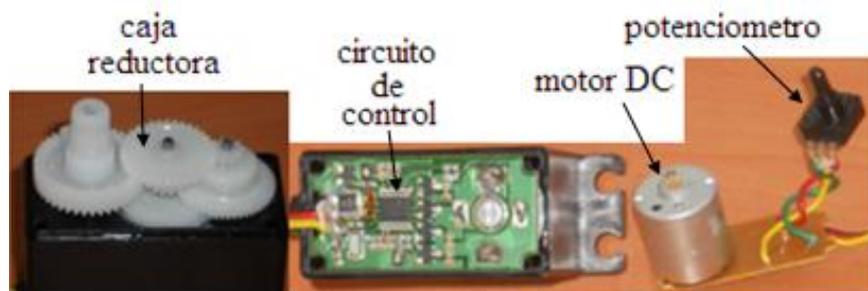
En la Tabla 2.1 se muestra las especificaciones básicas y necesarias para la correcta utilización del servomotor Hitec HS-311 Estándar.

**Tabla 2.1:** *Características Generales del Servomotor Hitec HS-311.*

Características	
<b>Voltaje de operación (Vcc)</b>	4.8 – 6V
<b>Sistema de control</b>	Ancho de pulso
<b>Ciclo del pulso (periodo)</b>	20ms
<b>Conector</b>	Rojo: positivo(+) Negro: negativo(-) Amarillo: señal
<b>Temperatura de operación</b>	-20 – 60 °C
<b>Velocidad de operación sin carga</b>	4.8V: 0.19s/60° 6V:0.15s/60°
<b>Torque</b>	4.8V: 3Kg/cm 6V: 3.7Kg/cm
<b>Peso</b>	43g
<b>Dimensiones</b>	Longitud: 39.9mm Ancho: 19.8mm Alto: 36.3mm

### 2.3.2 Estructura Interna

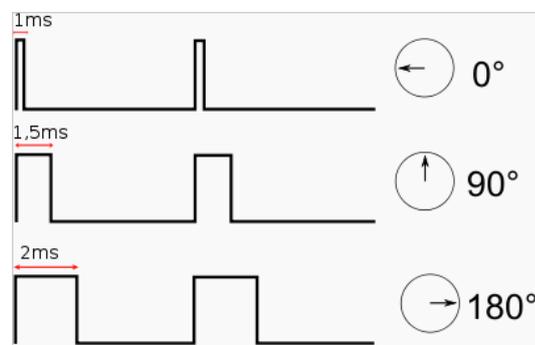
El servomotor Hitec HS-311 Estándar posee en la misma carcasa el motor el cual gira a una alta velocidad pero con un bajo torque, la caja reductora permite aumentar el torque, el circuito de control recibe la señal de control para ubicar al motor en la posición deseada y el potenciómetro acoplado a la caja reductora indica la posición del motor. En la Figura 2.4 se muestra las partes que conforman un servomotor.



**Figura 2.4:** Partes del servomotor Hitec HS-311 Standar.

### 2.3.3 Control de Posición

El servomotor posee un circuito de control para ubicar al motor en un punto dependiendo del ancho de pulso de la señal de control. El ángulo de posición del motor está dado por la duración de la señal en el nivel alto. Estos niveles están entre 1 y 2ms para 0 y 180° respectivamente (Figura2.5).



**Figura 2.5:** Duración del Ancho de Pulso para el Control de Posición  
(<http://hitecrnd.com/>).

### a. Cálculo del Tiempo en Nivel Alto

Los valores de tiempo en alto para ubicar el motor en otras posiciones se hallan mediante una relación lineal con la ecuación Ec. 2.1.

$$t = 1 + \frac{\phi}{180} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde  $t$  es el tiempo en alto dado en milisegundos ms y  $\phi$  los grados de la posición del motor.

En la Tabla 2.2 se muestra los valores calculados para los respectivos grados de giro.

**Tabla 2.2:** *Cálculo del Tiempo en Nivel Alto.*

Posición del motor $\phi(^{\circ})$	Tiempo en alto $t$ (ms)
0°	1ms
90°	1.5ms
180°	2ms

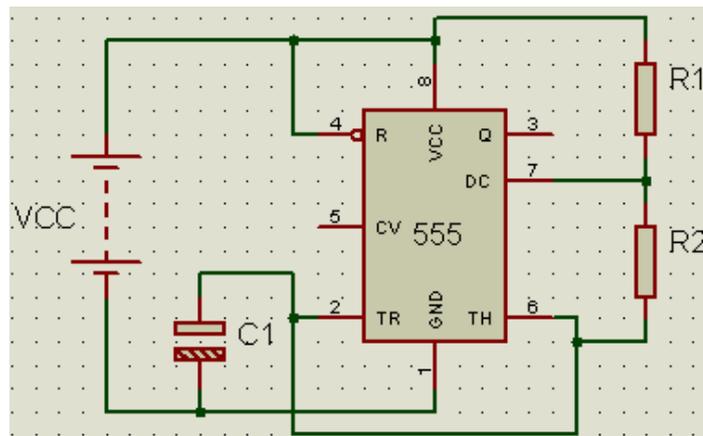
### b. Diseño del Generador de Pulsos

El generador de pulsos se realiza mediante el circuito integrado 555 (Figura 2.6) cuya función es la de producir pulsos de temporización con gran precisión.



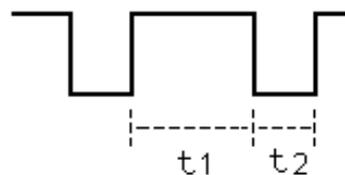
**Figura 2.6:** *Circuito Integrado 555* (<http://www.ti.com>).

Para la generación de pulsos, al circuito integrado 555 se lo utilizará como multivibrador astable ya que esta configuración se caracteriza por una salida con forma de onda cuadrada o rectangular continua de ancho predefinido por el diseño del circuito (Figura 2.7).



**Figura 2.7:** Diagrama Esquemático del Multivibrador Astable.

La señal de salida que es por el pin 3 del circuito integrado 555 tiene un nivel alto  $t_1$  y un nivel bajo  $t_2$ . (Figura 2.8)



**Figura 2.8:** Señal de Pulsos.

El cálculo del tiempo en el nivel alto  $t_1$  está dado por Ec. 2.2.

$$t_1 = \ln 2 * (R_1 + R_2) * C_1 \quad \text{Ec. 2.2}$$

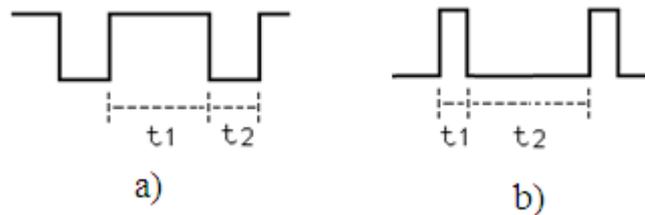
$$t_1 \approx 0.693 * (R_1 + R_2) * C_1$$

El cálculo del tiempo en el nivel bajo  $t_2$  está dado por Ec. 2.3

$$t_2 = \ln 2 * R_2 * C_1 \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$t_2 \approx 0.693 * R_2 * C_1$$

Las Ec. 2.2 escritas anteriormente de  $t_1$  y las Ec. 2.3 de  $t_2$  están dadas para cuando  $t_1 > t_2$ ; por lo tanto como para el control de posición se necesita que  $t_1 < t_2$  (Figura 2.9) se realiza los cálculos invirtiendo los tiempos.



**Figura 2.9:** Señal de Pulsos a)  $t_1 > t_2$ . b)  $t_1 < t_2$ .

Para el control de posición del servomotor el periodo  $T = 20ms$ , los tiempos en el nivel son de  $t_1 = 1ms$ ,  $t_1 = 1.5ms$  y  $t_1 = 2ms$  para los respectivos grados de posición.

Por lo tanto se calcula la frecuencia sabiendo que  $T = 20ms$ .

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Reemplazar  $T$  en Ec. 2.4:

$$f = \frac{1}{20ms}$$

$$f = 50Hz$$

Calcular los tiempos en nivel bajo para  $t_1 = 1ms$ ,  $t_1 = 1.5ms$  y  $t_1 = 2ms$ . Se despeja  $t_2$  de Ec. 2.5 y se reemplaza los valores.

$$T = t1 + t2 \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$t2 = T - t1$$

**Tabla 2.3:** *Tiempos en alto (t1) y bajo (t2) de la Señal de control del Servomotor.*

Tiempo en alto (t1)	Tiempo en bajo (t2)
1ms	19ms
1.5ms	18.5ms
2ms	18ms

Por lo expuesto anteriormente se invierte los tiempos  $t1$  con  $t2$ .

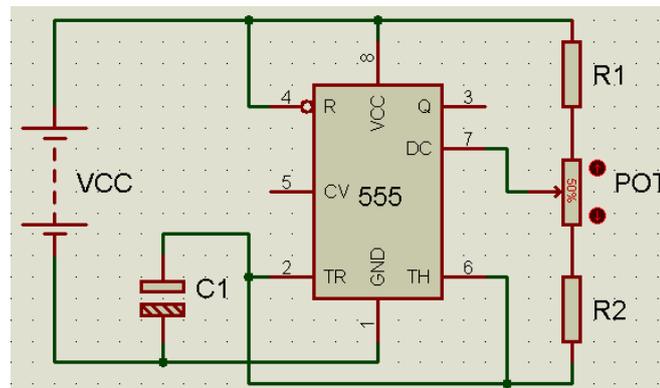
Calcular los valores de  $R1$  y  $R2$  para los tiempos  $t1$  y  $t2$ . Despejando  $R2$  de Ec.2.3, teniendo  $R2$  se despeja  $R1$  de Ec. 2.2 y se obtiene los valores de las resistencias.

En la Tabla 2.4 se muestra los valores de  $R1$  y  $R2$  aproximados para los tiempos  $t1$  y  $t2$ .

**Tabla 2.4:** *Valores aproximados de R1 y R2 para los tiempos t1 y t2.*

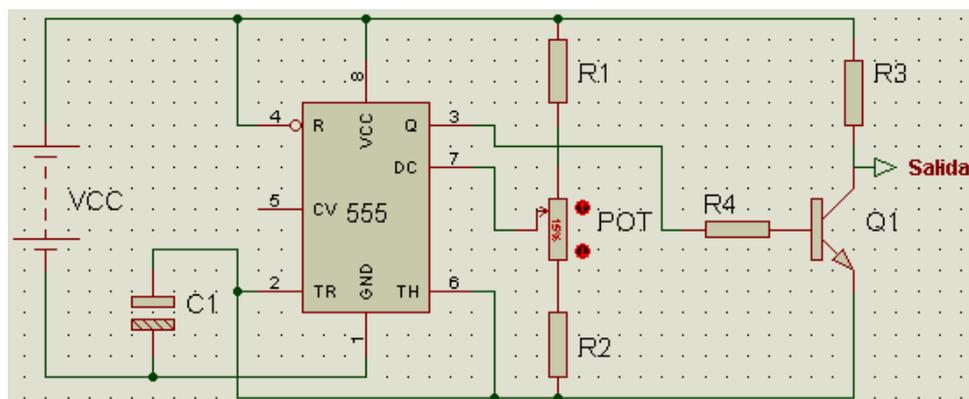
t1 y t2	t1=19ms t2=1ms	t1=18.5ms t2=1.5ms	t1=18ms t2=2ms
R1	260KΩ	245KΩ	230 KΩ
R2	15KΩ	22KΩ	29KΩ

Para poder variar el ancho del pulso se utiliza un potenciómetro colocado en serie entre la resistencia  $R1$  y  $R2$  como se muestra en la Figura 2.10.



**Figura 2.10:** Diagrama Esquemático con Potenciómetro para variar el ancho de pulso.

Para poder controlar el servomotor se debe cambiar los tiempos en alto con los tiempos en bajo para lo cual se utiliza un transistor NPN en configuración de emisor común (Figura 2.11).



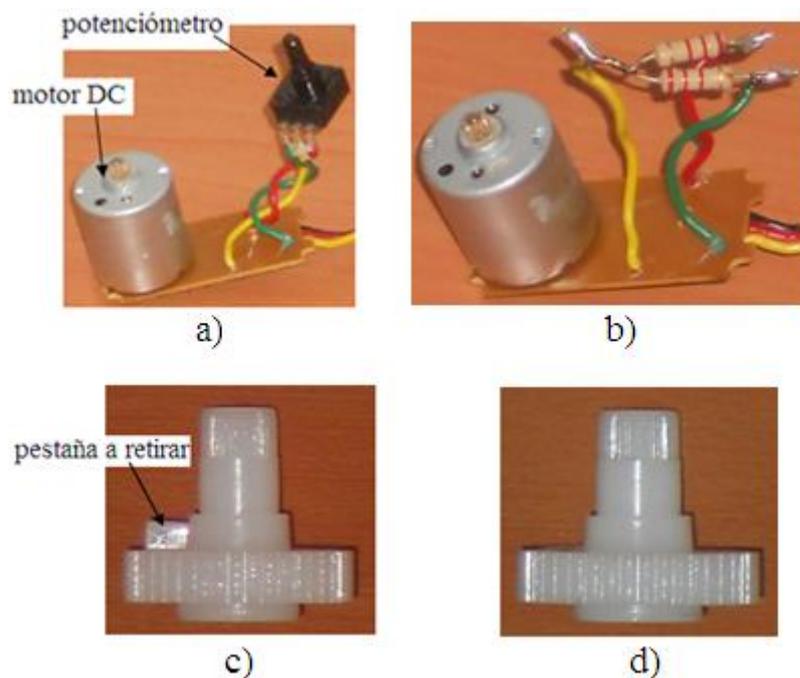
**Figura 2.11:** Diagrama Esquemático Generador de pulsos con Transistor NPN Emisor Común.

### 2.3.4 Modificación de Servomotor Hitec HS-311 Estándar

El servomotor Hitec HS-311 Standar tiene el ángulo de giro limitado de 0 a 180° pero para el proyecto este servomotor va estar acoplado al rodillo de la cinta transportadora, es necesario que el servomotor de un giro continuo; por lo que se puede realizar la modificación del servomotor para que de giros continuos.

Para realizar la modificación del servomotor se realizan los siguientes pasos:

- Se retira la tapa del servomotor y se procede a extraer el circuito de control.
- Se procede a retirar con cuidado los engranajes y si es necesario tomar una foto de estos para tener una referencia al momento de ensamblarlos.
- Se corta la pestaña que limita el giro del servomotor.
- Se desuelda el potenciómetro y se coloca dos resistencias del mismo valor.
- Para finalizar se ensambla el servomotor.



**Figura 2.12:** *Modificación del servomotor. a) Circuito de Control Desacoplado. b) Reemplazo del potenciómetro por dos resistencias. c) Engranaje con pestaña a retirar. d) Engranaje con la pestaña retirada.*

## 2.4 Sensor de Proximidad Sick WL250-S132

El sensor de proximidad SickWL250-S132 (Figura 2.13) es un sensor fotoeléctrico de luz roja visible tipo reflex, el cual permite detectar objetos a distancias considerables, la sensibilidad se indica mediante un potenciómetro.



**Figura 2.13:** *Sensor de Proximidad Sick WL250-S132.*

### 2.4.1 Características Generales

En la Tabla 2.5 se muestra las características generales del Sensor de Proximidad Sick WL250-S132.

### 2.4.2 Terminales y Diagrama de Conexiones

En la tabla 2.6 se muestra los colores de los terminales y su identificación.

- [Café] Es la entrada positiva de la fuente de voltaje, ya sea esta corriente alterna, como corriente continua.
- [Azul] Es la referencia o tierra para la alimentación del sensor de proximidad.

- [Blanco] Es la entrada positiva para la alimentación de los contactos NA y NC.
- [Negro] Es la salida del contacto normalmente abierto.
- [Plomo] Es la salida del contacto normalmente cerrado.

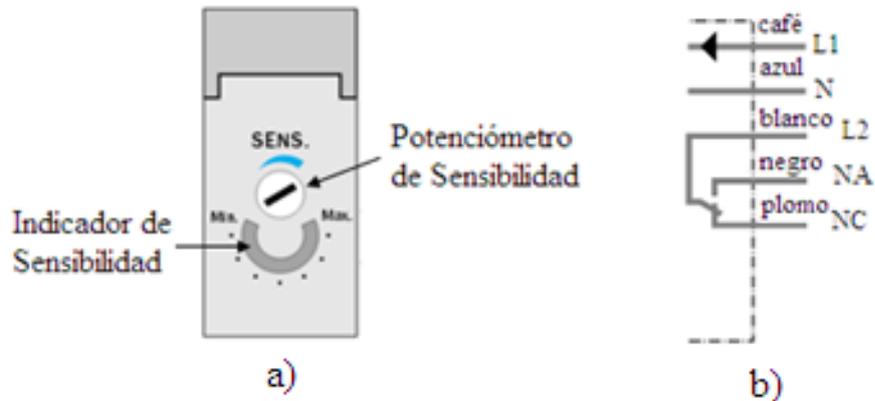
**Tabla 2.5:** *Características generales del sensor de proximidad.*

<b>Características</b>	
<b>Voltaje de operación (Vcc)</b>	12 - 240Vdc 24 - 240Vac
<b>Salida</b>	Tipo Relé, contactos inversores 240 Vac 3A 30 Vdc 3A
<b>Tiempo de Respuesta</b>	≤15ms
<b>Peso</b>	160 g
<b>Temperatura de operación</b>	-25 – 55°C
<b>Ajuste de la Distancia</b>	Potenciómetro 270°
<b>Dimensiones</b>	Longitud: 63mm Ancho: 25mm Alto: 78mm

**Tabla 2.6:** *Descripción de los Terminales*

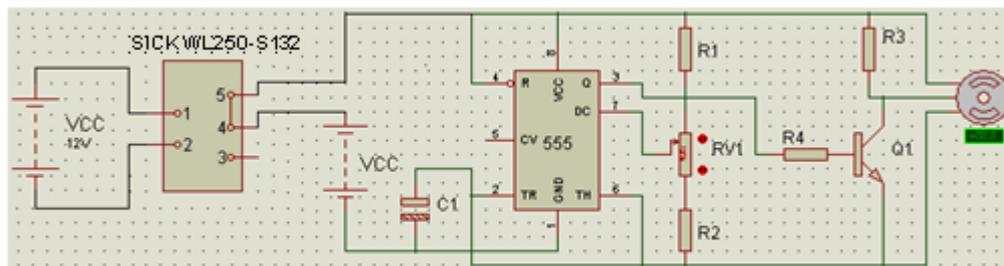
<b>Color del cable</b>	<b>Identificación</b>
Café	Alimentación
Azul	Referencia
Blanco	Entrada para los contactos NA y NC
Negro	Salida del contacto NA
Plomo	Salida del contacto NC

En la Figura 2.14 se muestra el sensor de proximidad con sus terminales de conexión y el diagrama de conexiones.



**Figura 2.14:** Sensor de Proximidad. a) Control e Indicador de Sensibilidad. b) Terminales y Diagrama de Conexiones.  
 (<http://www.farnell.com/datasheets/5708.pdf>)

Una vez que se ha conocido todas las partes y terminales del sensor de proximidad se procede a acoplarlo acoplar el sensor de proximidad con el sistema de control del servomotor como se muestra en la Figura 2.15.



**Figura 2.15:** Diagrama de conexiones entre el Sensor de Proximidad y el Sistema de Control del Servomotor.

En los cables de color café y azul del sensor de proximidad se conecta la fuente de alimentación de 12Vdc, ya que el sensor entrega una salida tipo relé, se conecta el cable positivo de la fuente al cable de color blanco del sensor de proximidad, y el cable plomo del sensor se conecta al circuito de control del

servomotor, trabajando el sensor de proximidad como un Switch que al momento de detectar un objeto se abre el contacto y desactiva el sistema de control deteniendo al servomotor, y cuando no existe ningún objeto el contacto permanece cerrado permitiendo que el servomotor gire.

## 2.5 Sensor de Color TCS-230

Para el proyecto se ha utilizado el sensor de color TCS-230 (Figura 2.16) ya que nos entrega una señal analógica o digital y esta se puede ingresar directamente a la DAQ. Es un detector de color completo el cual convierte la luz que recibe en una señal analógica o digital siendo la señal directamente proporcional a la intensidad de la luz.



**Figura 2.16:** *Sensor de color TCS-230.*

Además tiene una matriz de fotodetectores, cada uno con un filtro de color rojo, verde o azul, o sin filtro los mismos que se distribuyen uniformemente por toda la matriz.



En la tabla 2.8 se muestra la descripción de cada uno de los pines del sensor de color TCS-230.

**Tabla 2.8:** Descripción de los pines del sensor de color TCS-230.

<b>Sensor de Color TCS-230</b>		
<b>Pin</b>	<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>
1	S1	Control salida analógica
3	S2	Control salida analógica
2, 4	Vcc	Alimentación +
6, 8, 12, 16	Gnd	Referencia o tierra
5	RXD	Dato recibido UART <sup>42</sup>
7	TXD	Dato transmitido UART
9	/CS	Habilitación SPI <sup>43</sup>
11	SCK	Reloj SPI
13	SDO	Salida de dato SPI
15	SDI	Entrada de dato SPI
10	Vref	Salida del voltaje de referencia
14	Vcolor	Salida del voltaje del color

### 2.5.3 Sensor de Color con la Salida Analógica

La salida analógica del sensor de color TCS-230 entrega un voltaje en el rango de 0-5V, por lo que se conecta directamente a una de las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008 la cual indique el valor en voltaje para cada color que detecte.

<sup>42</sup> Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal).

<sup>43</sup> Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférico Serial).

#### **2.5.4 Sensor de Color con la Salida Digital**

Para la utilización de la salida digital del sensor de color TCS-230 se debe conectar a un dispositivo el cual tenga comunicación UART, en este caso se utiliza un microcontrolador PIC16F628A para enviar los datos hacia el sensor de color, como la velocidad que inicia la comunicación, el balance del color y el filtro que se utiliza para la detección y un microcontrolador PIC 16F876A para recibir los distintos valores RGB del sensor de color, para que mediante programación identificar el color que se está detectando y enviar por medio del puerto de salida del microcontrolador al puerto digital de la tarjeta de adquisición de datos.

#### **2.6 Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm**

El Ax12-A Smart RoboticArm es un brazo robótico inteligente diseñado por Alex Dirks, el cual utiliza para el movimiento de sus articulaciones, servomotores Dynamixel AX-12A, teniendo estos una buena velocidad y un gran torque necesarios para su funcionamiento, siendo estos compatibles con programas como MatLab, LabView, etc,

##### **2.6.1 Servomotores Dynamixel AX-12A**

El servomotor Dynamixel AX-12A (Figura 2.18) es un actuador inteligente y modular que incorpora un reductor, un motor de corriente continua y un circuito de control con funciones de red en un solo paquete. A pesar de su tamaño compacto, puede producir un alto par.



**Figura 2.18:** *Servomotor Dynamixel AX-12A*

**a. Características Generales**

En la tabla 2.9 se muestra las características generales del servomotor Dynamixel AX-12A.

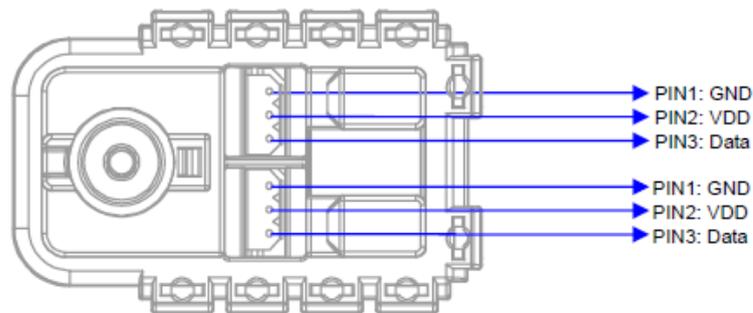
**Tabla 2.9:** *Características Generales del servomotor Dynamixel AX-12A.*

<b>Características</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	7V-10V
<b>Torque</b>	12Kg/cm-16.5Kg/cm
<b>Peso</b>	55g
<b>Angulo de operación</b>	300°
<b>Temperatura de operación</b>	-5°C - 85°C
<b>Tipo de protocolo</b>	Half dúplex asincrona
<b>Medio Físico</b>	TTL
<b>Velocidad de comunicación</b>	1Mbps

**b. Disposición de los pines**

En la figura 2.19 se muestra la disposición y la descripción de los pines del servomotor Dynamixel AX-12A. Tiene 2 conectores de tres cables, como este tipo de servomotores se conectan en cascada, el primer conector es la entrada desde

otro servo o desde un controlador y el segundo es la salida hacia otro servo o queda libre cuando es el último servo.



**Figura 2.19:** Pines del Servomotor Dynamixel AX-12A. (<http://www.crustcrawler.com>)

## 2.6.2 Controlador USB2Dynamixel

El controlador USB2Dynamixel (figura 2.20) es un dispositivo que controla directamente los servomotores Dynamixel ya sea de la serie AX, DX y RX con la PC.



**Figura 2.20:** Controlador USB2Dynamixel.

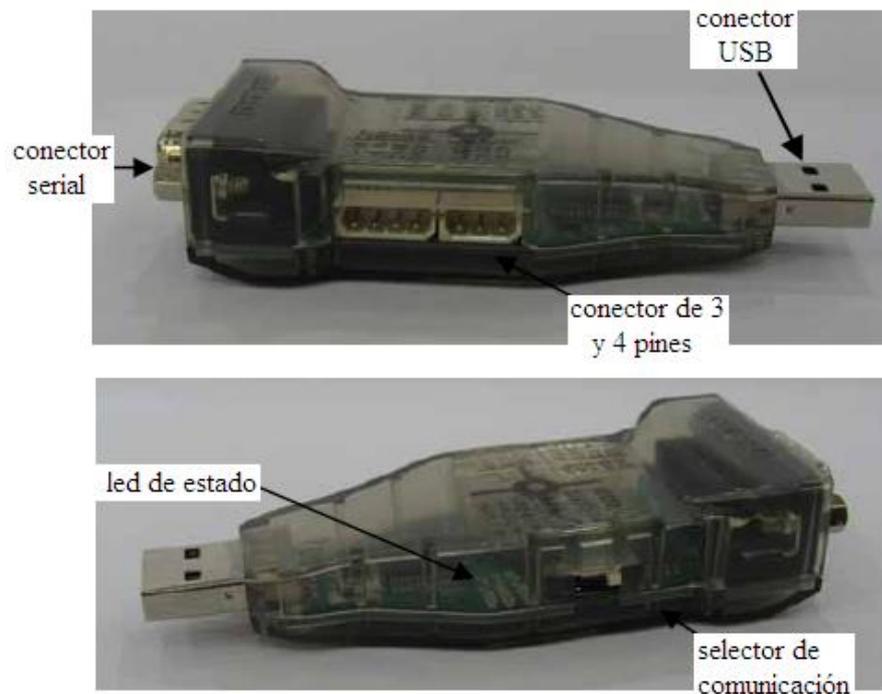
### a. Partes del Controlador

El controlador USB2Dynamixel tiene las siguientes partes:

- Leds de estado: el cual indican el estado de la alimentación, la lectura de datos y la escritura de datos.

- Selector de Comunicación: permite seleccionar entre TTL, RX-485 y RX-232.
- Conector de 3 pines: donde se conecta los servomotores Dynamixel de la serie AX vía TTL.
- Conector de 4 pines: donde se conecta los servomotores Dynamixel de la serie DX, RX vía RX-485.
- Conector serial: convierte el puerto USB a puerto serial y viceversa.

En la figura 2.21 se muestra las partes que conforman el controlador USB2Dynamixel.



**Figura 2.21:** Partes del Controlador USB2Dynamixel.

### 2.6.3 Ensamblaje del Brazo Robótico

Para la construcción del brazo robótico, en primer lugar se identifica todas las partes de aluminio y elementos con los que se va a ensamblar el brazo robótico.

Una vez identificadas todas las partes del robot se procede a realizar los siguientes pasos:

1.- En la base se instala el servomotor 1 como se muestra en la figura 2.22.



**Figura 2.22:** Primer servomotor sujeto a la base del servomotor.

2.- Seguidamente se procede a colocar los rulimanes en los agujeros de la base (Figura 2.23).



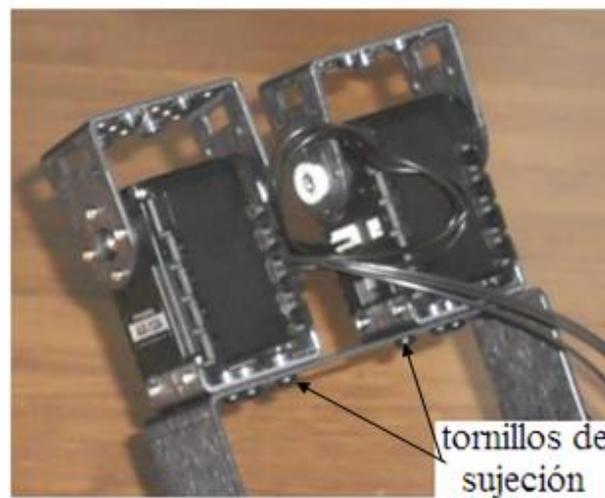
**Figura 2.23:** Rulimanes en la Base.

4.- Luego se procede a unir el disco de aluminio con las piezas en forma que servirán de soporte de los servomotores 2 y 3 (Figura 2.24).



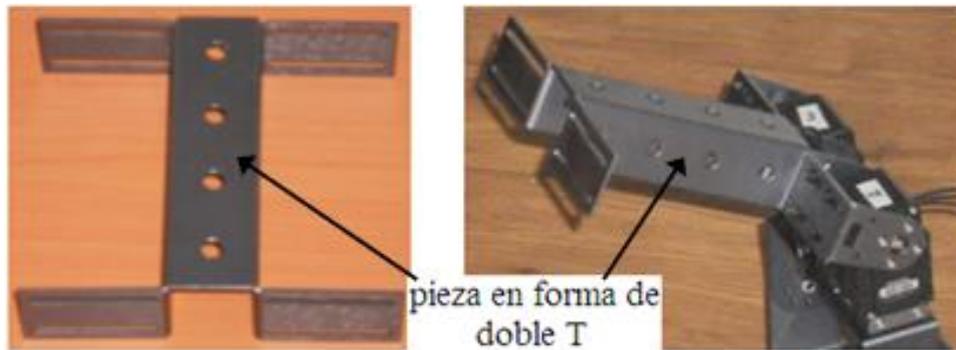
**Figura 2.24:** *Sujeción de la base para los Servomotores 2 y 3.*

5.- Luego se procede a sujetar los servomotores 2 y 3 (Figura 2.25).



**Figura 2.25:** *Sujeción de los Servomotores 2 y 3 a la Estructura del Brazo Robótico.*

6.- Se procede a atornillar la pieza de aluminio en forma de doble T a los servomotores 2 y 3(figura 2.26).



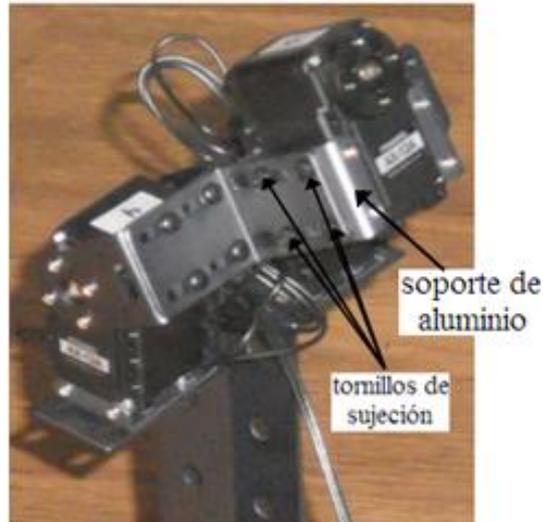
**Figura 2.26:** Sujeción de la pieza en forma de doble T a los servomotores 2 y 3.

7.- Seguidamente se atornilla los servomotores 4 y 5 a la pieza de aluminio en forma de doble T (Figura 2.27).



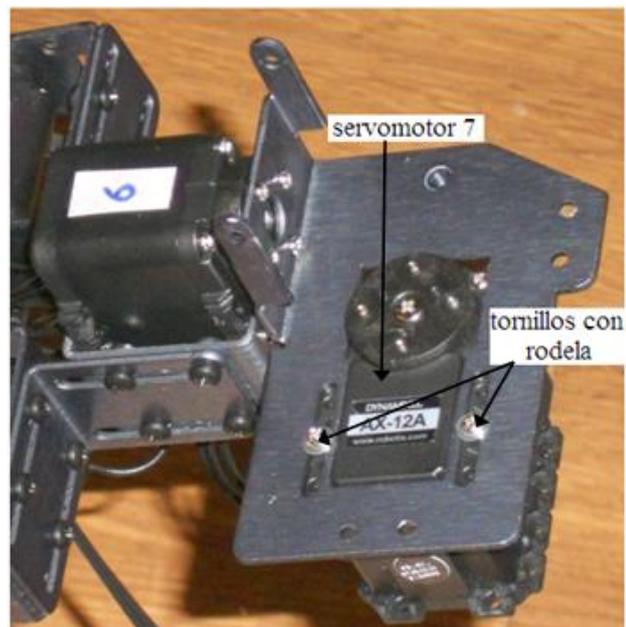
**Figura 2.27:** Sujeción de los servomotores 4 y 5.

8.-Se instala el servomotor 6 a los servomotores 4 y 5 (Figura 2.28).



**Figura 2.28:** *Sujeción del Servomotor 6.*

9.- Seguidamente se instala el servomotor 7 para la apertura y cierre del gripper (Figura 2.29).



**Figura 2.29:** *Sujeción del Servomotor 7.*

10.- Se procede armar el gripper colocando las ruedas con engranes sobre el servomotor 7 y sujetando las demás piezas de aluminio que forma parte del gripper (Figura 2.30).



**Figura 30:** *Armado del Gripper.*

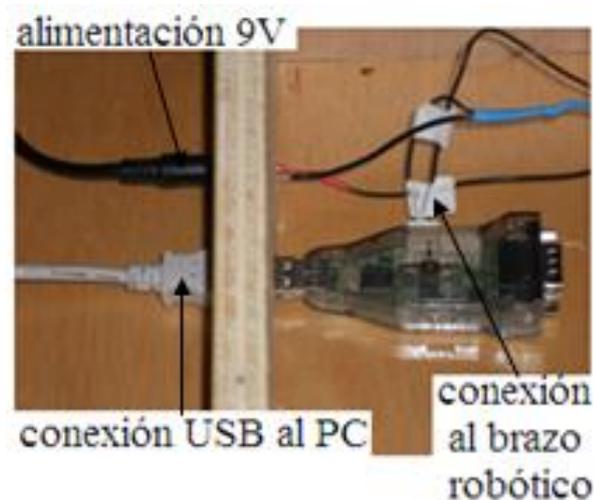
En la figura 2.31 se muestra el brazo robótico AX-12A Smart RoboticArm completamente ensamblado.



**Figura 2.31:** *Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm ensamblado.*

## 2.6.4 Conexión de la Alimentación y el Controlador USB2Dynamixel

Los servomotores Dynamixel AX-12A son alimentados con una fuente de voltaje de 9Vdc por medio del conector de 3pines el cual se conectan en cascada, de la salida del servo1 se conecta a la entrada del servo2 y así sucesivamente hasta el servo7. Al controlador USB2Dynamixel se le debe colocar en modo TTL y se conecta solo el cable de datos y el cable de tierra ya que su alimentación es por medio del puerto USB del PC (Figura 2.32).



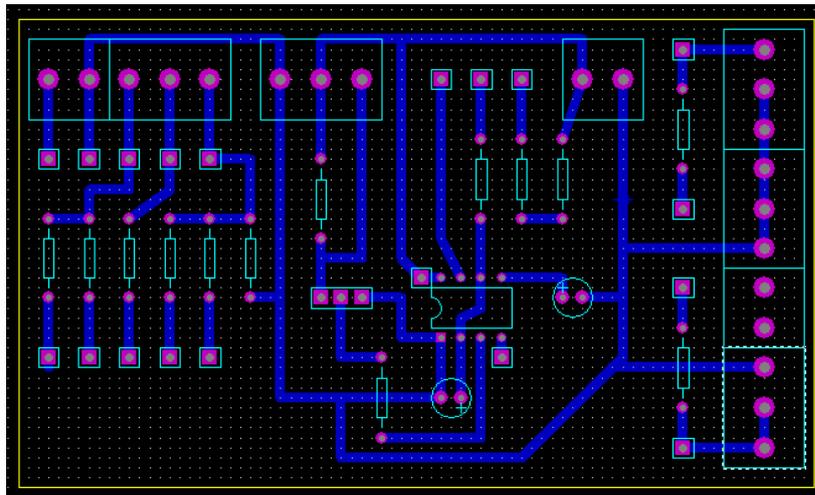
**Figura 2.32:** *Conexión de la Alimentación y el Controlador USB2Dynamixel.*

## 2.7 Placa de control

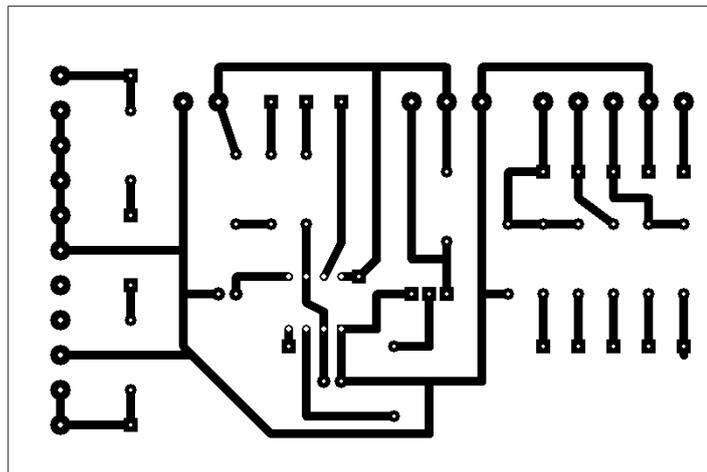
### 2.7.1 Diseño de la Placa de Control

Para el diseño de la placa de control se utiliza el programa ISIS PROTEUS el cual permite realizar y simular circuitos electrónicos; además tiene el programa ARES el cual permite realizar placas de circuitos impresos.

En la figura 2.33 se muestra el circuito de control en un solo lado de la placa en el programa ARES. Además el programa ARES permite imprimir los caminos del circuito (Figura 2.34).



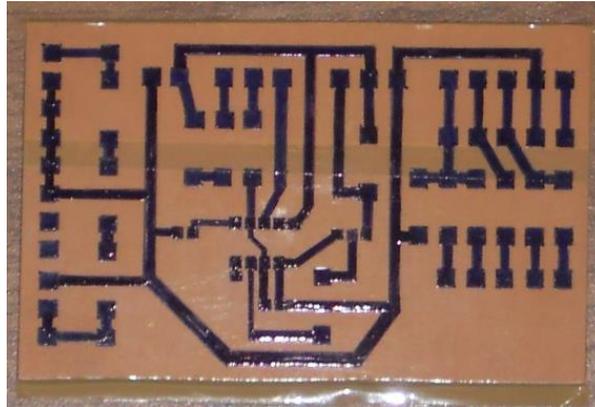
**Figura 2.33:** *Ruteado de los Caminos de la Placa de Control.*



**Figura 2.34:** *Caminos de la Placa de Control.*

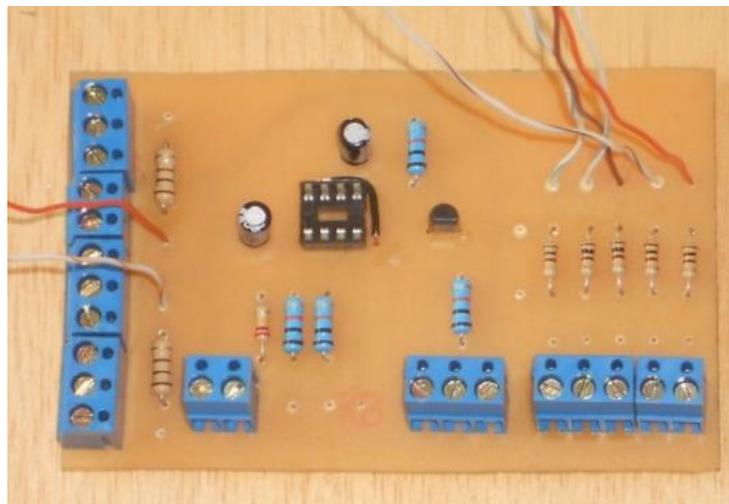
### 2.7.2 Implementación de la Placa de Control

Para la realización de la placa el método que se utilizará es el del marcador indeleble, el cual se dibujan en la placa de baquelita los caminos y se procede a quemar la placa en cloruro férrico.

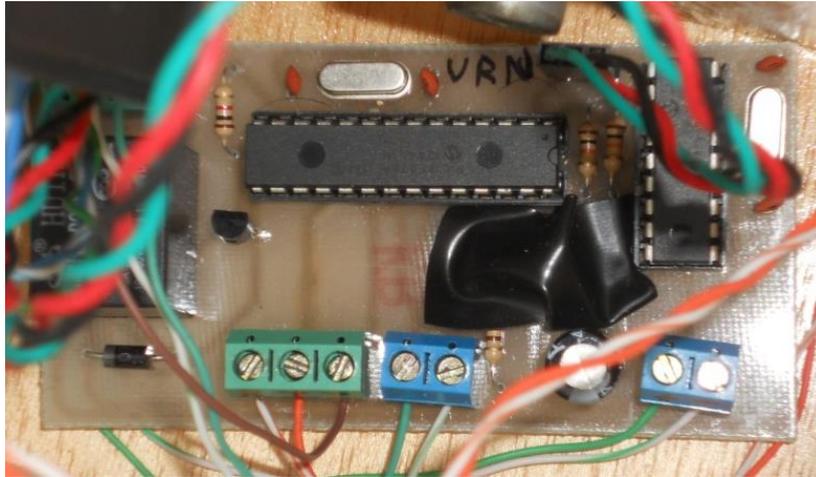


**Figura 2.35:** *Caminos de la Placa con Marcador Indeleble.*

Una vez que se tiene la placa quemada se procede a realizar los agujeros con un taladro y se suelda los elementos (Figura 2.36).



**Figura 2.36:** *Placa de Control para la Salida Analógica del Sensor de Color.*



**Figura 2.37:** *Placa de Control para la Salida Digital del Sensor de Color.*

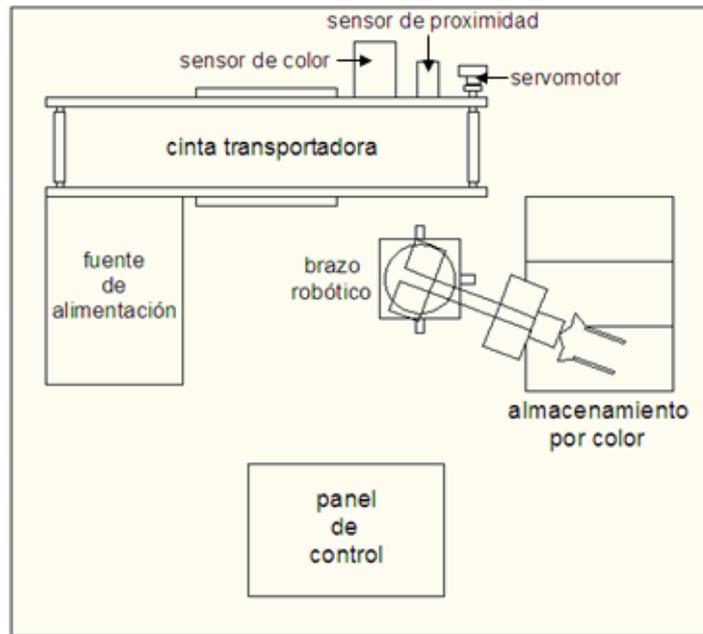
## **2.8 Diseño e Implementación de la Estructura para el Sistema**

Para la construcción de la estructura el material que se ha utilizado es la madera ya que es muy versátil y muy resistente. Para el diseño de los elementos que conforman la maqueta se ha utilizado Autocad. La maqueta consta de una cinta transportadora, una caja para las fuentes de alimentación, la caja de control y el sitio de almacenamiento por color.

Todos los elementos del sistema están sobre una base de madera de 1 metro por 90 centímetros estos elementos son:

- La cinta transportadora consta de dos piezas de madera colocadas en forma paralela, con dos agujeros en los extremos en los cuales van a estar acoplados los rodillos para la cinta.
- El panel de control el cual va a contener la tarjeta de control, el controlador USB2Dynamixel y la DAQ.
- La caja de la fuente de alimentación en donde se encuentran tanto la fuente para los elementos electrónicos y la fuente para el brazo robótico.
- El sitio de almacenamiento por color, donde los cubos de color se encuentran clasificados por su color.

En la figura 2.38 se muestra el esquema general de todos los elementos que conforman el sistema.



**Figura 2.38:** Esquema General de los elementos del Sistema.



**Figura 2.39:** Fotografía de todo el Sistema Implementado.

## **2.9 Software de Programación**

### **2.9.1 Plataforma LabVIEW**

LabVIEW es un programa que permite el desarrollo de aplicaciones de propósito general mediante una programación gráfica se basa en el concepto de instrumentos virtuales, introducido por primera vez por National Instruments en 1986, que consiste en un “instrumento que no es real” cuyas funciones son definidas por programación, al contrario de un instrumento real, definido para un propósito específico.

Hay dos entornos en los que se programa en LabVIEW. El primero, llamado panel frontal, es un entorno en el que se incluye los elementos gráficos para la interfaz que va a interactuar con el usuario. El segundo entorno, llamado diagrama de bloques, es donde se provee la funcionalidad y programación de la aplicación.

### **2.9.2 Adquisición de Datos**

Para que la computadora y por ende LabVIEW puede leer los datos de los sensores (datos analógicos y datos digitales) es necesario que estos datos se conviertan a señales que la computadora y LabView pueda entender y procesarlas por lo que es necesario utilizar una DAQ la cual posee entradas analógicas y digitales que se pueden configurar desde el programa para que adquieran las señales según la necesidad.

#### **a. DAQ NIUSB6008**

La tarjeta de adquisición de datos de National Instrument NIUSB6008 (Figura 2.40) posee entradas y salidas analógicas, entradas y salidas digitales las cuales brindan funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio.



**Figura 2.40:** Tarjeta de Adquisición de Datos NIUSB6008

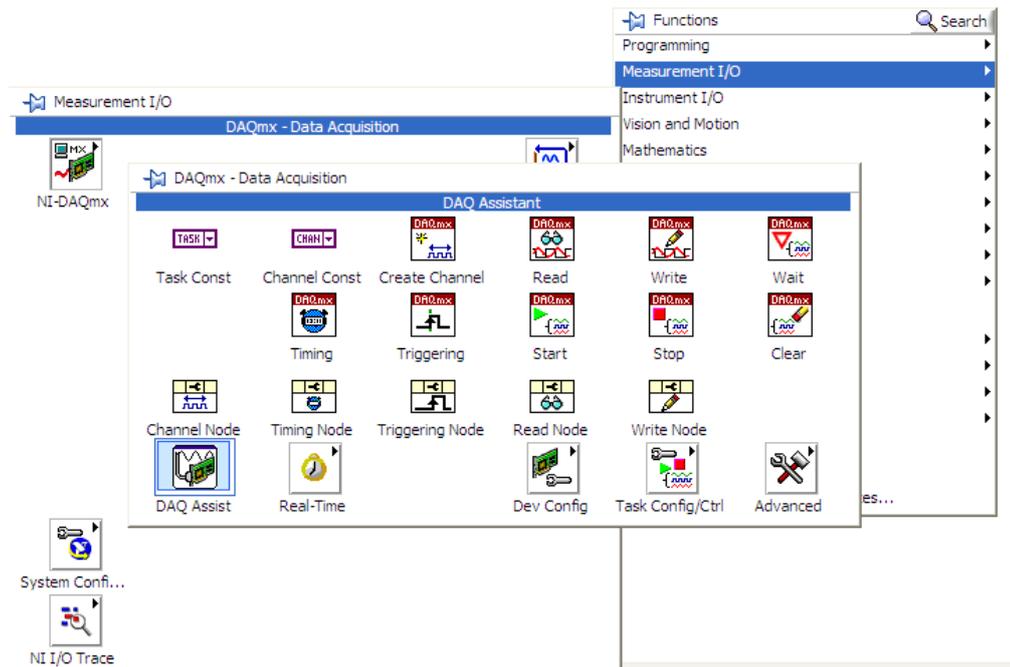
### **b. Adquisición de Datos Analógicos**

La conexión de la salida analógica del sensor de color a la tarjeta se lo realiza a los puertos analógicos AI0+ y AI0-.

Una vez realizada las conexiones necesarias para la adquisición de datos del sensor de color TCS-230 se procede a configurar el dispositivo en la ventana de diagramas de bloques de LabVIEW. El icono se encuentra en Measurement I/O/ NI-DAQmx/DAQAssistant (Figura 2.41).

Después de colocar el asistente de DAQ en el diagrama de bloques, se abre automáticamente el asistente, que ofrece las opciones configurables según las necesidades como son:

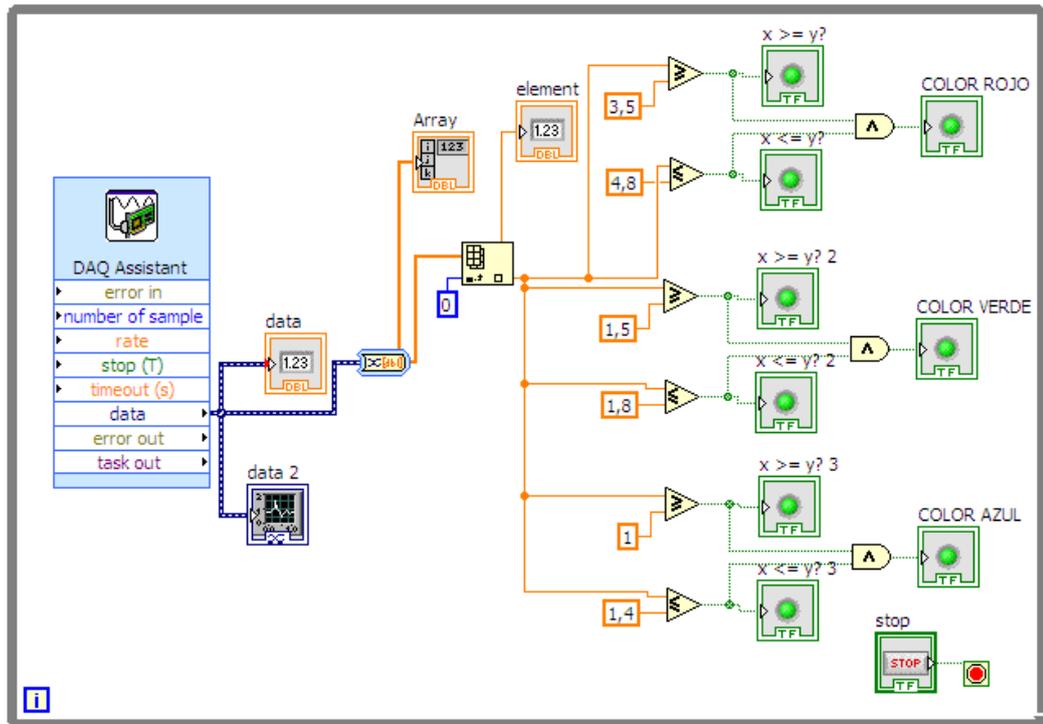
- Adquisición de señales.
- Tipo de entrada (analógica)
- Se selecciona el tipo de variable (voltaje)
- Selección del canal (AI0)
- Parámetros rango de voltaje (0-5V)



**Figura 2.41:** *Inclusión del Asistente DAQ en el Diagramas de Bloques de LabVIEW.*

Una vez terminado con todas las configuraciones el asistente se crea de forma automática en el diagrama de bloques de LabVIEW.

En la figura 2.42 se muestra la programación para la adquisición de datos de la variable analógica del sensor de color, en primer lugar se tiene el asistente de la DAQ el cual nos indica el valor analógico, para que este dato se pueda manipular es necesario cambiarlo a un dato dinámico, ahora se tiene este como un array por lo que se procede a tomar el primer elemento del array y se procede a realizar las comparaciones para ver qué color se está detectando.



**Figura 2.42:** Programación para la Adquisición de las Señal Analógica del Sensor de Color.

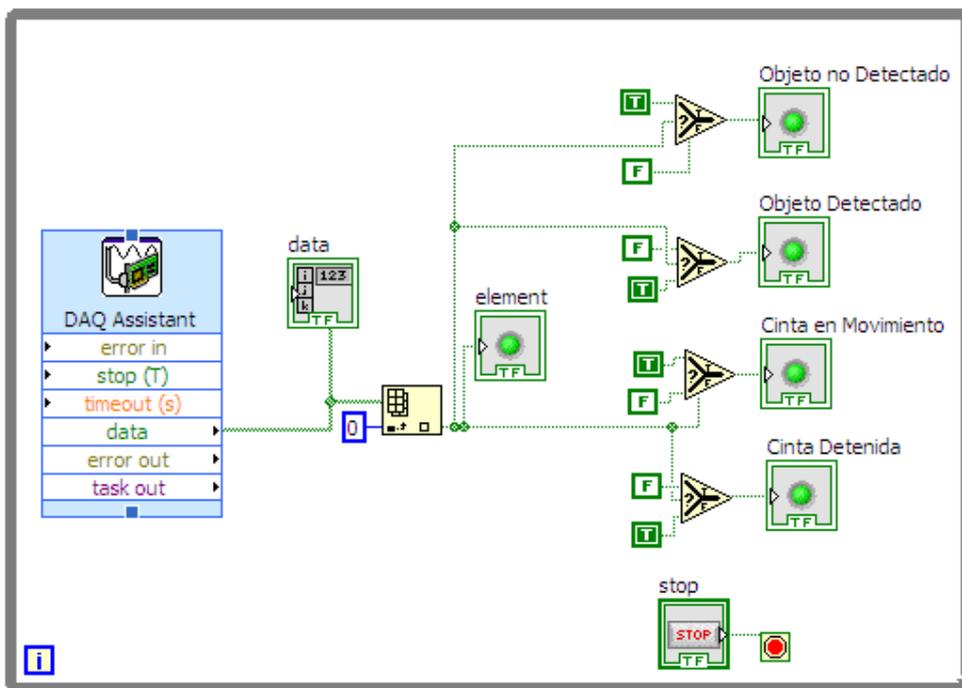
### c. Adquisición de Datos Digitales

La conexión de la salida del sensor de proximidad se conecta a la entrada digital P0.0 de la DAQ. Una vez realiza las conexiones se procede a configurar el dispositivo en la ventana de diagramas de bloques de LabVIEW.

Una vez colocado el asistente DAQ se procede a configurarlo de la siguiente manera:

- Adquisición de señales.
- Tipo de entrada (digital)
- Se selecciona la entrada por línea (port0/line0)
- Parámetros

En la figura 2.43 se muestra la programación para la adquisición de la variable digital del sensor de proximidad, se tiene el asistente DAQ el cual entrega el dato de la entrada digital en un array; por lo cual se debe extraer el dato digital del array para poder manipularlo, una vez que se tiene el dato se procede a realizar comparaciones de selección para obtener la información de la presencia de objetos y de la cinta transportadora.



**Figura 2.43:** Programación para la Adquisición de las Señales del Sensor de Proximidad.

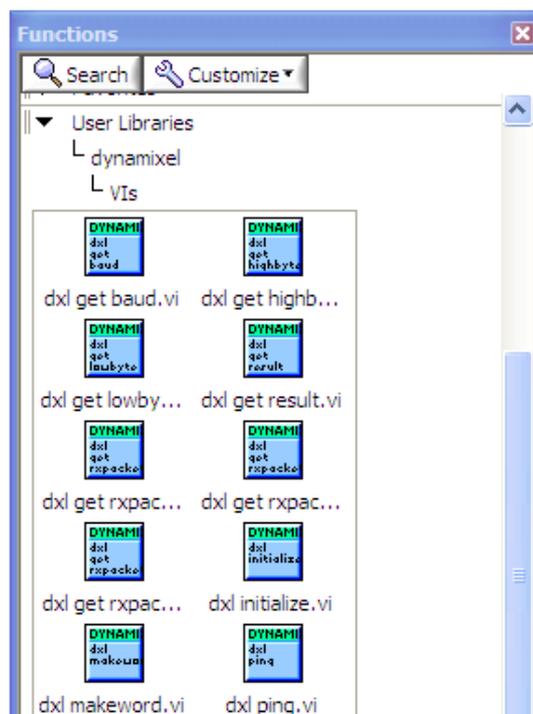
### 2.9.3 Programación del Brazo Robótico

Los servomotores Dynamixel AX-12A con el controlador USB2Dynamixel se pueden controlar con varios programas como MatLab, LabView, Visual Basic, Python, etc.

En este proyecto, para el control de los servomotores, se utilizará el programa LabVIEW ya que en este programa se puede utilizar las librerías de Dynamixel SDK para un fácil control del brazo robótico.

#### a. Librerías Dynamixel SDK

Para utilizar las librerías para el control de los servomotores se debe ir al diagrama de bloques de LabVIEW. Los controles de Dynamixel se encuentran en: UserLibraries/dynamixel/Vis y se tiene todas las librerías con las que se puede controlar los servomotores Dynamixel (Figura 2.44).



**Figura 2.44:** Localización de las librerías Dynamixel en el Diagrama de Bloques.

## **b. Control Individual de las Articulaciones del Brazo Robótico**

Una vez realizadas todas las conexiones necesarias del brazo robótico, se procede a programar cada servomotor de forma individual para poder mover cada articulación del brazo robótico por separado.

Los servomotores 2 y 3 se deben programar como uno solo ya que estos se encargan del movimiento de una sola articulación; por lo tanto como en el ensamblaje estos están colocados en forma contraria, se debe tomar en cuenta que el sentido de giro de cada servomotor es contrario. Este punto de vista también se lo debe aplicar para los servomotores 4 y 5.

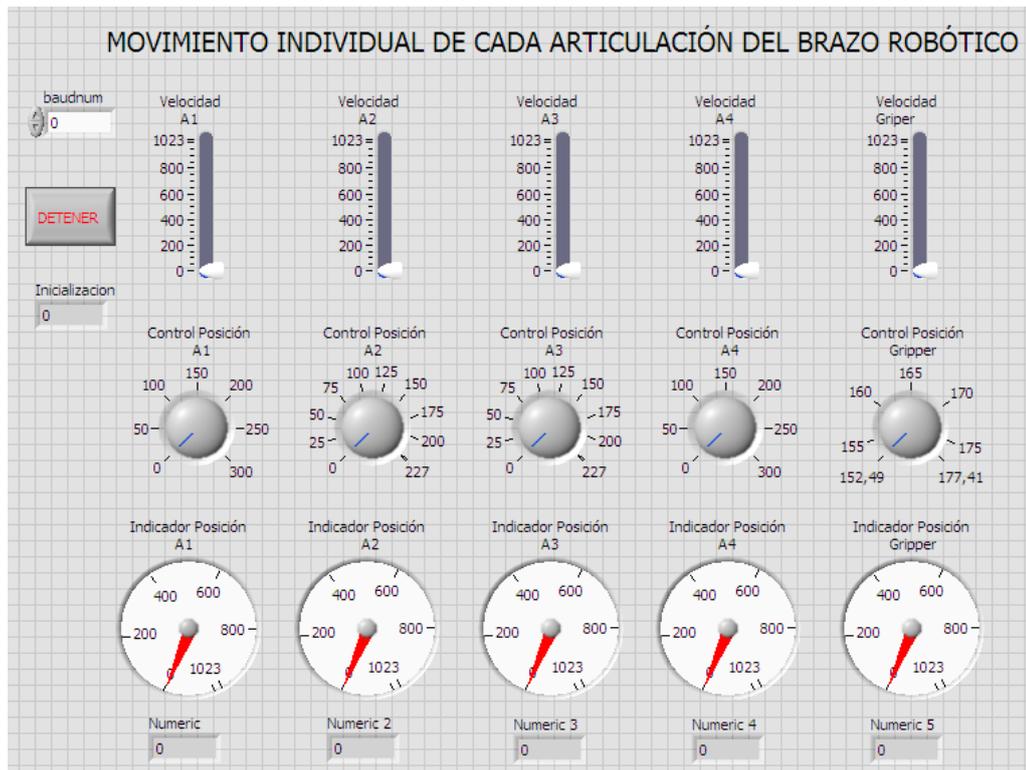
Para la programación de los servomotores Dynamixel AX-12A, LabVIEW tiene las librerías las cuales permiten controlar el movimiento de cada servomotor a una posición que se desee, además se puede leer la posición que se encuentra el servomotor así como determinar a qué velocidad se quiere que se desplace cada servomotor.

En el Anexo B se muestra la programación en LabVIEW para el movimiento de cada articulación individualmente, consta de un control de velocidad de comunicación el cual para estos servomotores es de 1Mbps por lo que el control debe estar siempre en 1.

Se tiene el control de la velocidad mediante la librería de escritura de dato, este dato se varia en la dirección 32 el cual nos permite determinar a qué velocidad se quiere que giren los servomotores, los valores están entre 0 la mínima velocidad y 1023 la máxima velocidad; tomando en cuenta que la velocidad de los servomotores 2 y 3, y de los servomotores 4 y 5 debe ser la misma ya que se encuentran unidos por el eje.

Se tiene el control de la posición de cada servomotor, mediante la librería de escritura de dato, este dato se varía en la dirección 30, los valores están entre 0 y 1023 y permite colocar al servomotor desde 0° a 300°.

Ahora para ver la posición del servomotor se utiliza la librería de lectura de posición en la dirección 36, dentro de un lazo que da la posición de los servomotores a cada momento que el tiempo transcurre.



**Figura 2.45:** Interfaz para el Control de cada Articulación del Brazo Robótico.

### c. Control de Movimientos del Brazo Robótico

Para el control de movimientos establecidos se tiene un control con una variable local para cada color, con la cual se selecciona el caso que se desea siendo estos casos una secuencia diferente para cada color. Una variable local con la secuencia de cada color permite el movimiento de cada articulación, cuando transcurre el tiempo de los temporizadores se activan uno por uno teniendo un valor numérico el cual indica el caso que se quiere que se realice y por ende el movimiento de la articulación dentro del caso, además de determinar la posición

de los servomotores a cada momento que el tiempo transcurre. En el Anexo C se muestra la programación en LabVIEW para movimientos establecidos.

En el Anexo D se muestra la programación en el diagrama de bloques de todo el sistema para la salida analógica del sensor de color TCS-230.

En el Anexo E se muestra la programación en el diagrama de bloques de todo el sistema para la salida digital del sensor de color TCS-230.

# CAPÍTULO III

## PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Prueba del Generador de Pulsos

Una vez realizado el diseño del generador de pulsos expuesto en el capítulo anterior, se procede a realizar las pruebas del generador de pulsos para el tiempo en alto mayor que el tiempo en bajo ( $t1 > t2$ ).

Los valores calculados de R1 están entre 230K $\Omega$  y 260K $\Omega$  y para R2 están entre 15K $\Omega$  y 29K $\Omega$ . Para variar el ancho de pulso se debe variar el potenciómetro y por ende varían los valores de R1 y R2.

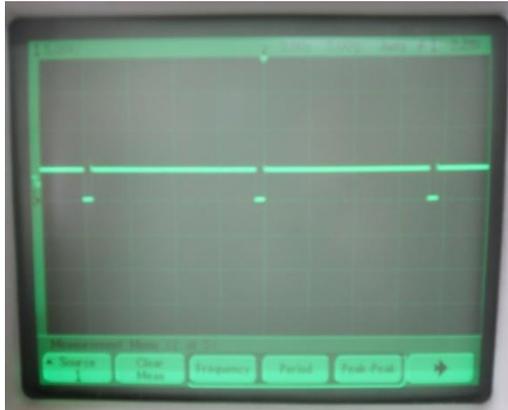
En la tabla 3.1 se muestra los valores de las resistencias tomados de la prueba.

**Tabla 3.1:** *Valores de R1 y R2 en la prueba del Generador de Pulsos.*

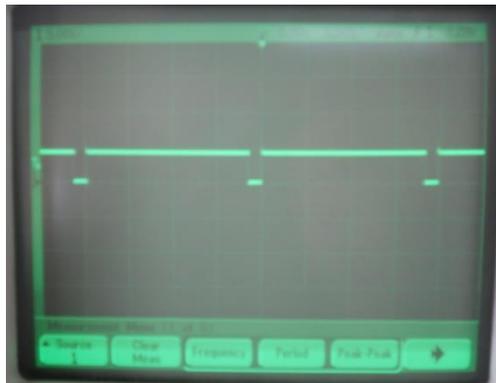
<b>R1 (K<math>\Omega</math>)</b>	<b>R2 (K<math>\Omega</math>)</b>	<b>Ancho de Pulso (ms)</b>
235.7	27.8	19
239.6	24.1	18.7
242.7	21.37	18.5
247.4	18.2	18.3
252.4	16.6	18

Los valores de R1 y R2 tomados en la prueba están dentro del rango antes calculados.

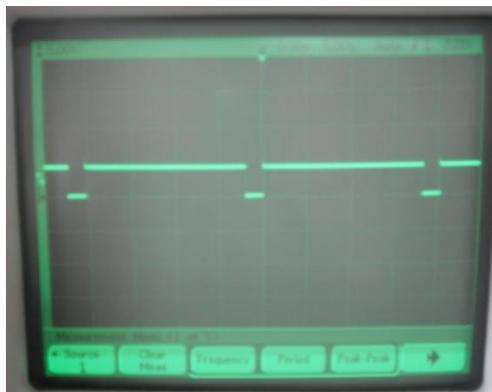
En la figura 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran las señales de ancho de pulso para un tiempo en alto de 19ms, 18.5ms y 18ms respectivamente.



**Figura 3.1:** Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 19ms.



**Figura 3.2:** Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 18.5ms.



**Figura 3.3:** Señal de Ancho de Pulso para Tiempo en Alto de 18ms.

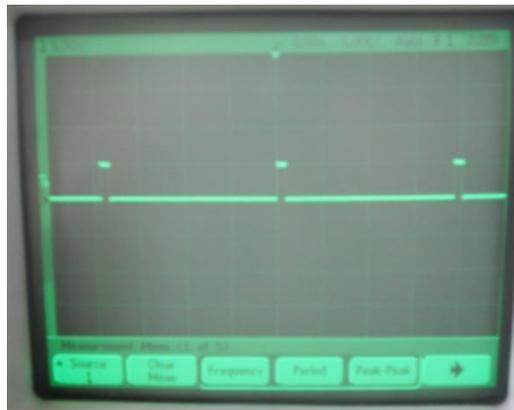
Es necesario invertir a estas señales para que  $t1 < t2$  y obtener el pulso deseado para el control del servomotor. Para invertir la señal se lo realiza mediante un transistor NPN en configuración de emisor común (Figura 2.11).

En la tabla 3.2 se muestran los valores de la prueba del ancho de pulso para el control del servomotor.

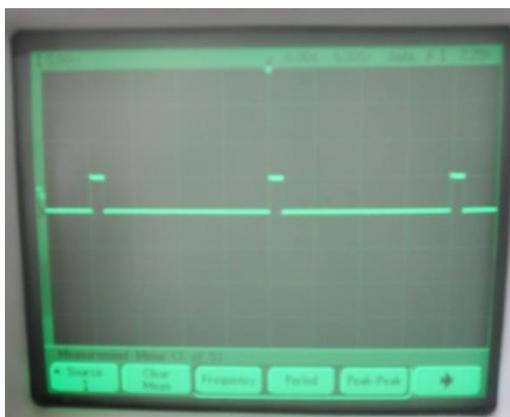
**Tabla 3.2:** Pruebas del ancho de pulso para el control del servomotor.

R1 (K $\Omega$ )	R2 (K $\Omega$ )	Ancho de Pulso (ms)
235.7	27.8	1
239.6	24.1	1.3
242.7	21.37	1.5
247.4	18.2	1.7
252.4	16.6	2

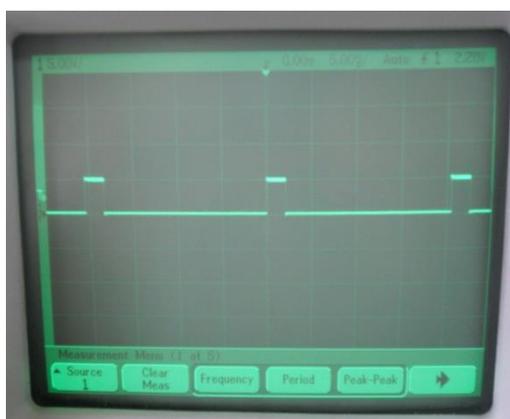
En la figura 3.4, 3.5 y 3.6 se muestra las señales del ancho de pulso de 1ms, 1.5ms y 2ms respectivamente para el control del servomotor.



**Figura 3.4:** Señal de Ancho de Pulso de 1ms.



**Figura 3.5:** Señal de Ancho de Pulso de 1.5ms.



**Figura 3.6:** Señal de Ancho de Pulso de 2ms.

### 3.2 Prueba del control de posición del servomotor Hitec HS-211 Standar

En la tabla 3.3 se muestra los valores de la posición que toma el servomotor

**Tabla 3.3:** Valores de los Grados de posición del Servomotor.

Ancho de Pulso (ms)	Posición Servomotor (°)
1	0
1.3	50
1.5	95
1.7	140
2	190

Aunque en la hojas de datos del servomotor Hitec HS-311 se especifica que el rango de funcionamiento del servomotor es de 0 a 180°, al momento de realizar las pruebas los valores obtenidos determinan un rango de desplazamiento de 0 a 190°.

### **3.3 Prueba de la Modificación del Servomotor Hitec HS-311**

El control del servomotor diseñado e implementado anteriormente, con la modificación del servomotor permite controlar la velocidad del servomotor e inversión de giro.

En la prueba realizada, cuando el ancho de pulso es de 1ms el servomotor gira a máxima velocidad en un sentido; mientras tanto cuando el valor del pulso es de 2 ms el servomotor gira a máxima velocidad pero en sentido contrario y cuando el ancho del pulso es de 1.5ms el servomotor se queda inmóvil.

### **3.4 Prueba del Sensor de Proximidad SICK WL250-S132**

Para determinar los rangos de detección del sensor de proximidad se realiza la prueba con un objeto a diferentes distancias y con diferentes sensibilidades del sensor.

En la tabla 3.4 se muestra los valores de las distancia de detección del sensor de proximidad con diferentes niveles de sensibilidad.

El rango recomendado por el fabricante es de 8m, pero en la prueba se midió que la distancia máxima es de 11.5m aunque en distancias mayores a los 8m en diferentes pruebas que se realizó no detectaba el objeto, por lo que el mejor rango de detección y el recomendado es de 8m.

**Tabla 3.4:** *Distancias de Detección del Sensor de Proximidad con Diferentes Sensibilidades.*

<b>Sensibilidad</b>	<b>Distancia (m)</b>
Sensibilidad 1	3.5
Sensibilidad 2	4.8
Sensibilidad 3	5.4
Sensibilidad 4	7.6
Sensibilidad 5	8.5
Sensibilidad 6	9.8
Sensibilidad 7	11.5

La sensibilidad es la capacidad de variación que tiene el sensor de proximidad para detectar objetos a diferentes distancias.

En la prueba de detección con objetos de diferente color, no hubo diferencias, en las distancias de detección; además con diferentes niveles de luz no afectó a la detección de los objetos por lo que el sensor de proximidad SICK WL250-S132 se puede utilizar en cualquier condición de luz y con cualquier color.

### **3.5 Pruebas del Sensor de Color TCS-230**

El voltaje de salida del sensor dado por el fabricante está entre 0 a 5Vdc. La primera prueba es determinar los valores de voltaje de salida del sensor para los colores del modelo RGB con luz natural.

En la tabla 3.5 se muestran los valores del voltaje de salida para los colores rojo, verde y azul con diferentes niveles de luz natural, en esta prueba se nota que mientras mayor es el nivel de la intensidad luminosa que incide sobre el objeto mayor es el voltaje de salida.

**Tabla 3.5:** *Voltaje de Salida del Sensor de Color para los Colores Rojo, Verde y Azul con luz natural.*

Colores	Voltaje de Salida (V)		
	Nivel de Luz		
	Alto	Medio	Bajo
Rojo	1.8	1.3	0.854
Verde	0.472	0.368	0.159
Azul	0.348	0.246	0.057

Posteriormente se realiza la prueba del sensor colocado el objeto a diferentes distancias del sensor. En la tabla 3.6 se muestran los resultados del voltaje de salida.

**Tabla 3.6:** *Voltaje de Salida para los colores Rojo, Verde y Azul a diferentes distancias.*

Colores	Distancias				
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
Rojo	0.228V	1.2V	1.6V	1.9V	2.8V
Verde	0.026V	0.252V	0.433V	0.777V	1.7V
Azul	0.013V	0.150V	0.348V	0.658V	1.3V

De igual manera los valores de voltaje de salida varían dependiendo de la distancia a la que se encuentra el objeto, ya que mientras el objeto se encuentra más alejado del sensor, recibe más luz y por ende el valor del voltaje de salida es mayor.

En la prueba lo que se logró notar es que a una distancia mayor a 5cm el sensor de color ya no detecta el color del objeto sino la luz ambiente.

Para evitar las variaciones del voltaje de salida realizadas en las pruebas anteriores, lo que se realizó es colocar una luz externa dirigida al objeto para que la luz que incida sobre el objeto sea siempre la misma y no varié el valor de voltaje de salida.

Las pruebas 1, 2 y 3 se realizaron con luz externa dirigida hacia el objeto. Los valores de estas pruebas se muestran en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7:** *Respuesta del Sensor de Color con Luz externa para los Colores Rojo, Verde y Azul.*

Colores	Voltaje de Salida (V)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Rojo	1.9	1.7	1.6
Verde	0.562	0.498	0.453
Azul	0.490	0.460	0.421

Las tres pruebas con la luz externa también dieron variaciones en los valores de voltaje de salida debido a que la luz externa se combina con las variaciones de la luz ambiente y la incidencia de la luz al objeto no se mantiene constante.

Para esto se debe cubrir la superficie del objeto a detectar para evitar que la luz ambiente entre en contacto con el objeto y que solo incida en el objeto la luz externa, para así conseguir que la luz se mantenga constante dentro de la zona de detección.

Las pruebas 1, 2 y 3 se las realizó con la luz externa incidiendo sobre el objeto y con un armazón que impide el ingreso de luz ambiente.

En la tabla 3.8 se muestran los valores de voltaje de salida con la luz externa y aislada de la luz ambiente.

**Tabla 3.8:** *Respuesta del Sensor de Color con luz Externa, Aislado de Luz Ambiente para los Colores Rojo, Verde y Azul.*

Colores	Voltaje de Salida (V)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Rojo	0.843	0.820	0.790
Verde	0.107	0.102	0.110
Azul	0.60	0.54	0.63

Con esta prueba, los valores de voltaje de salida permanecen dentro de un rango aceptable, no existe una variación considerable con diferentes niveles de luz

ambiente, ya que la cubierta que lo tapa aísla el ingreso de luz ambiente sin importar el nivel de luz que se encuentre en el exterior.

Por otro lado se realiza la prueba del sensor de color TCS-230 utilizando la salida digital UART.

En la tabla 3.9 se muestran los valores que se tomaron de la salida UART.

**Tabla 3.9:** *Valores RGB de los colores Rojo, Verde y Azul.*

Colores	Valores RGB		
	R	G	B
Rojo	029-033	003-004	001-002
Verde	004-008	007-009	003-005
Azul	001-003	005-006	006-009

Por lo que se analizó que la utilización de la salida digital es más segura que la salida analógica.

### **3.6 Pruebas del Brazo Robótico AX-12A Smart Robotic Arm**

El control del brazo robótico se lo realiza mediante LabVIEW. Para el control de posición de cada servomotor se utiliza la librería dxl write Word.vi que cuenta LabVIEW teniendo un margen para el control del servomotor de 0 a 1023.

Para conocer la posición de cada servomotor se utiliza la librería dxl read Word.vi los valores obtenidos varían respecto al tiempo por lo que se utiliza el elapsed time de LabVIEW para dar reset cada segundo.

La prueba de movimientos individuales del brazo robótico permite determinar el área de trabajo del brazo robótico. En la tabla 3.10 se muestra los valores del área de trabajo del brazo robótico, el alto, distancia y ángulo de giro.

**Tabla 3.10:** *Valores del Área de Trabajo del Brazo Robótico.*

<b>Magnitudes</b>	<b>Medida</b>
Alto	58cm
Distancia	40cm
Ángulo de Giro	300°

Con los movimientos individuales de cada articulación del brazo robótico se determina el ángulo de giro de cada articulación y la distancia de apertura del gripper. En la tabla 3.11 se muestra los valores del ángulo de giro de cada articulación y la distancia de apertura del gripper.

**Tabla 3.11:** *Ángulo de Giro de las Articulaciones y distancia de Apertura del Gripper.*

<b>Articulaciones</b>	<b>Medida</b>
Articulación 1	300°
Articulación 2	260°
Articulación 3	260°
Articulación 4	300°
Gripper	6cm

Los ángulos de giro determinados en la prueba permiten al brazo tener un libre movimiento por toda el área de trabajo.

Para determinar la resolución las articulaciones, a cada servomotor se le puede controlar paso a paso. Cada servomotor se controla en 1023 pasos los 300° por lo que su resolución es 0.29°.

Para el cálculo del error del brazo robótico se realizaron diez pruebas tomando un punto de referencia en 0° y se le dio varios movimientos hasta obtener un desplazamiento de 100° y se analizó mediante observación en un plano graduado. En la tabla 3.12 se muestran los valores del error del brazo robótico.

**Tabla 3.12:** *Cálculo del Error del Brazo Robótico.*

<b>Número de prueba</b>	<b>Valor real (°)</b>	<b>Valor medido (°)</b>	<b>Error (%)</b>
Prueba 1	100	100	0
Prueba 2	100	101	1
Prueba 3	100	99	1
Prueba 4	100	101	1
Prueba 5	100	101	1
Prueba 6	100	101	1
Prueba 7	100	102	2
Prueba 8	100	100	0
Prueba 9	100	99	1
Prueba 10	100	101	1
<b>Promedio</b>			<b>0.9</b>

Para la exactitud se tomó los datos de la lectura de la posición en LabVIEW realizando diez movimientos a un punto específico.

**Tabla 3.13:** *Cálculo de la Exactitud del Brazo Robótico.*

<b>Número de prueba</b>	<b>Valor real (°)</b>	<b>Valor medido (°)</b>	<b>Error (%)</b>
Prueba 1	100	100.5	0.5
Prueba 2	100	100	0
Prueba 3	100	99.8	0.2
Prueba 4	100	100	0
Prueba 5	100	101	1
Prueba 6	100	99.8	0.2
Prueba 7	100	102	2
Prueba 8	100	101	1
Prueba 9	100	99	1
Prueba 10	100	100	0
<b>Promedio</b>			<b>0.59</b>

Para conocer la capacidad de carga del brazo robótico se realizó la prueba con varios pesos. En la tabla 3.14 se muestran los valores de peso que se aplicó al brazo robótico.

**Tabla 3.14:** *Valores de Peso de la Capacidad de Carga del Brazo Robótico.*

<b>Número de Carga</b>	<b>Peso (g)</b>
Carga 1	50
Carga 2	100
Carga 3	150
Carga 4	200
Carga 5	250
Carga 6	300
Carga 7	350
Carga 8	400
Carga 9	450
Carga 10	500

En las pruebas realizadas el brazo robótico soportó hasta el peso de 450g pero con dificultad de movimientos. Cuando se aumentó al peso a 500g soportó por unos segundos pero el brazo robótico se vino abajo por lo tanto el peso máximo que soporta sin problemas de movimiento es de 400g.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se ha cumplido con el objetivo principal del proyecto el cual fue el diseño e implementación de un prototipo de una máquina que detecta cubos de color rojo, verde y azul (RGB) mediante un sensor de color y los clasifica en un lugar establecido.
- El control del servomotor Hitec Hs-311 Standar se realiza mediante modulación por Ancho de Pulso (PWM) con el tiempo en nivel de alto desde 1ms hasta 2ms cuyos valores hacen que el ángulo de giro se encuentre entre 0° a 180°.
- El circuito integrado 555 entrega una salida de onda cuadrada o rectangular solo para tiempo en nivel alto mayor que el tiempo en nivel bajo. Por lo que el transistor NPN en su configuración de emisor común permite invertir los tiempos del generador de pulsos y así tener el control de posición del servomotor.
- El servomotor Hitec HS-311 es muy versátil ya que permite trabajar como un servomotor normal con control de posición, y como un motor DC con control de velocidad.
- El sensor de proximidad Sick WL250-S132 es de tipo réflex y permite detectar objetos de cualquier color.
- El sensor de proximidad permite variar la sensibilidad el cual determinan la distancia de detección.
- La máxima distancia de detección del sensor es de 11.5m, pero la distancia máxima recomendada es de 8m ya que para distancias mayores se obtiene errores de detección.
- El sensor de color TCS-230 entrega una salida analógica dependiendo del nivel de luz que se exponga al sensor.

- La salida analógica del sensor de color varía dependiendo si se analiza colores claros u oscuros.
- El sensor de color, analizando el color de un objeto a diferentes distancias, entrega diferentes valores analógicos dependiendo de la distancia, mientras más cerca se encuentre el objeto, menor es la salida analógica y viceversa, mientras más lejos se encuentre el objeto mayor es la salida analógica.
- La máxima distancia que detecta el sensor es 5cm ya que a mayores distancias lo que el sensor detecta es la luz ambiente y no el color del objeto.
- Cuando el sensor se encuentra aislado de la luz ambiente entrega una salida analógica con menos variación ya que la luz en la zona del sensor es constante.
- Los colores oscuros absorben mayor cantidad de luz que los colores claros.
- La salida digital del sensor de color es más segura que la salida analógica ya que en la salida digital se obtiene un error de cero.
- La salida digital UART de igual manera que la salida analógica presenta variación a su salida dependiendo de la cantidad de luz así como de la distancia en la que se encuentre el objeto a detectar.
- Con la utilización de la salida analógica del sensor de color TCS-230 en 100 pasadas de los cubos se obtuvo un error del 20% y con la salida digital UART se obtuvo un error del 0%.
- El servomotor Dynamixel AX-12A se lo controla en un rango 0 a 1023 valores para un control de giro de 0° a 300° cada valor da un giro de 0.29°.
- El controlador USB2Dynamixel permite conectar directamente la PC con los servomotores mediante TTL.
- Los servomotores Dynamixel AX-12A tienen dos conectores de tres pines el cual el primer conector es la entrada y el segundo es la salida estos conectores sirven para poder conectar varios servomotores en cascada.
- El uso de LabVIEW para el control del brazo robótico es una opción excelente, ya que permite usar las librerías para escribir y leer los datos de los servomotores Dynamixel.

## 4.2 Recomendaciones

- Para que el proceso funcione adecuadamente se debe tratar que la luz sea lo más constante posible.
- Antes de realizar cualquier conexión de los dispositivos electrónicos leer las características de cada dispositivo para evitar errores y daños en los dispositivos.
- Al realizar los cálculos tomar en cuenta en las unidades con las que se está trabajando para obtener los valores deseados.
- En el diseño del generador de pulsos tomar en cuenta que el tiempo en alto debe ser mayor que el tiempo en bajo.
- En la modificación del servomotor antes de proceder a retirar los engranajes de la caja reductora fijarse muy bien o en lo posible tomar una foto de los engranajes para el momento de volver a ensamblar el servomotor no tener inconvenientes.
- Cuando se extrae la pestaña limitadora de giro de servomotor tener cuidado de no dañar el engranaje.
- Para la sustitución del potenciómetro del servomotor se debe colocar dos resistencias del mismo valor y que sumadas den el valor del potenciómetro.
- El sensor de color debe estar en un lugar aislado de la luz ambiente para evitar lecturas erróneas.
- Para que la luz en la zona del sensor sea constante se debe colocar una luz externa fijada hacia el objeto a detectar.
- En la lectura de posición del servomotor del brazo robótico en LabVIEW colocar un reset cada segundo para que la lectura de la posición sea la correcta.
- Cuando se escuche un sonido que no es usual en la cinta transportadora verificar que los rodillos no se encuentren descentrados y fuera necesario centrarlos y colocar grasa en el eje.
- Antes de poner en marcha el brazo robótico determinar los límites de los ángulos de las articulaciones.

- Para futuras aplicaciones y mejoras del proyecto, utilizar sensores que no le afecten la luz ambiente para la detección.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Angulo J., Romero S., Angulo I.: “Introducción a la Robótica, Principios Teóricos, Construcción y Programación de un Robot Educativo”. Editorial Thomson, 2005.
- [2] Brusatin M.: “Historia de los Colores”. Ediciones Paidós Ibérica, S.A. Barcelona, España 1987.
- [3] Barrientos A., Peñin L., Balaguer C., Aracil R.: “Fundamentos de Robótica”. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, 2ª Edición, 2007.
- [4] García M.: “Automatización de Procesos Industriales”. Grupo Editor Alfaomega, México D.F., 2001.
- [5] Humphries J., Sheets L.: “Electrónica Industrial, Dispositivos, Equipos y Sistemas para Procesos y Comunicaciones Industriales”. Editorial Paraninfo,S.A., Madrid, España.
- [6] McCloy D., Harris D.: “Robótica una Introducción”. Limusa Noriega Editores.
- [7] Madrigal R., Vidal E.: “Robots Industriales Manipuladores”. Grupo Editor Alfaomega, México D.F., 2004.
- [8] Piedrafita R.: “Ingeniería de la Automatización Industrial”. Grupo Editor Alfaomega, 2ª Edición, México, 2004.
- [9] Pallás R.: “Sensores y Acondicionadores de Señal”. Grupo Editor Alfaomega S.A., 3ª Edición, México, D.F., 2001.
- [10] Rodríguez A.: “Comunicaciones Industriales”. Editorial Marcombo, S.A., 1ª Edición, Barcelona, 2008.
- [11] Somolinos J.: “Avances en Robótica y Visión Artificial”. Ediciones de la Universidad de Castilla, La Mancha, 2002.
- [12] Torres F., Pomares J., Gil P., Aracil R.: “Robots y Sistemas Sensoriales”. Editorial Pearson Educación, S.A., Madrid, 2002.
- [13] Enciclopedia Temática Autoevaluativa “LEXUS”, LEXUS EDITORES, 1999.

## NETGRAFÍA

- [1] Robots Móviles y Robots Suspendidos: <http://www.directindustry.es>
- [2] El Color: <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>
- [3] Propiedades del Color: <http://www.fotonostra.com/grafico/teoriacolor.htm>
- [4] Sensores de Proximidad: Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
<http://galia.fc.uaslp.mx>
- [5] Sensor de Proximidad Sick : <http://www.lpc-uk.com/sick/W250.pdf>
- [6] Sensores Fotoeléctricos: <http://conociendotemporizadores.blogspot.com>
- [7] Sensores de Proximidad: <http://sensoresdeproximidad.blogspot.com>
- [8] Sensor de Color:  
<http://www.microcomsolutions.com>  
<http://www.sick.com>  
<http://www.keyence.com.mx>
- [9] Servomotor: <http://www.hitecrd.com>
- [10] Bus de Sensores y Actuadores:  
<http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125>

## **ANEXOS**

## **ANEXOS**

- ANEXO I: Glosario de términos.
- ANEXO J: Diagrama de bloques control individual de las articulaciones del brazo robótico.
- ANEXO K: Diagrama de bloques del brazo robótico para movimientos preestablecidos.
- ANEXO L: Diagrama de bloques del sistema para la salida analógica del sensor de color TCS-230.
- ANEXO M: Diagrama de bloques del sistema para la salida digital del sensor de color TCS-230.
- ANEXO N: Código de programación del microcontrolador.
- ANEXO O: Hojas de especificaciones técnicas.
- ANEXO P: Guía de instalación.

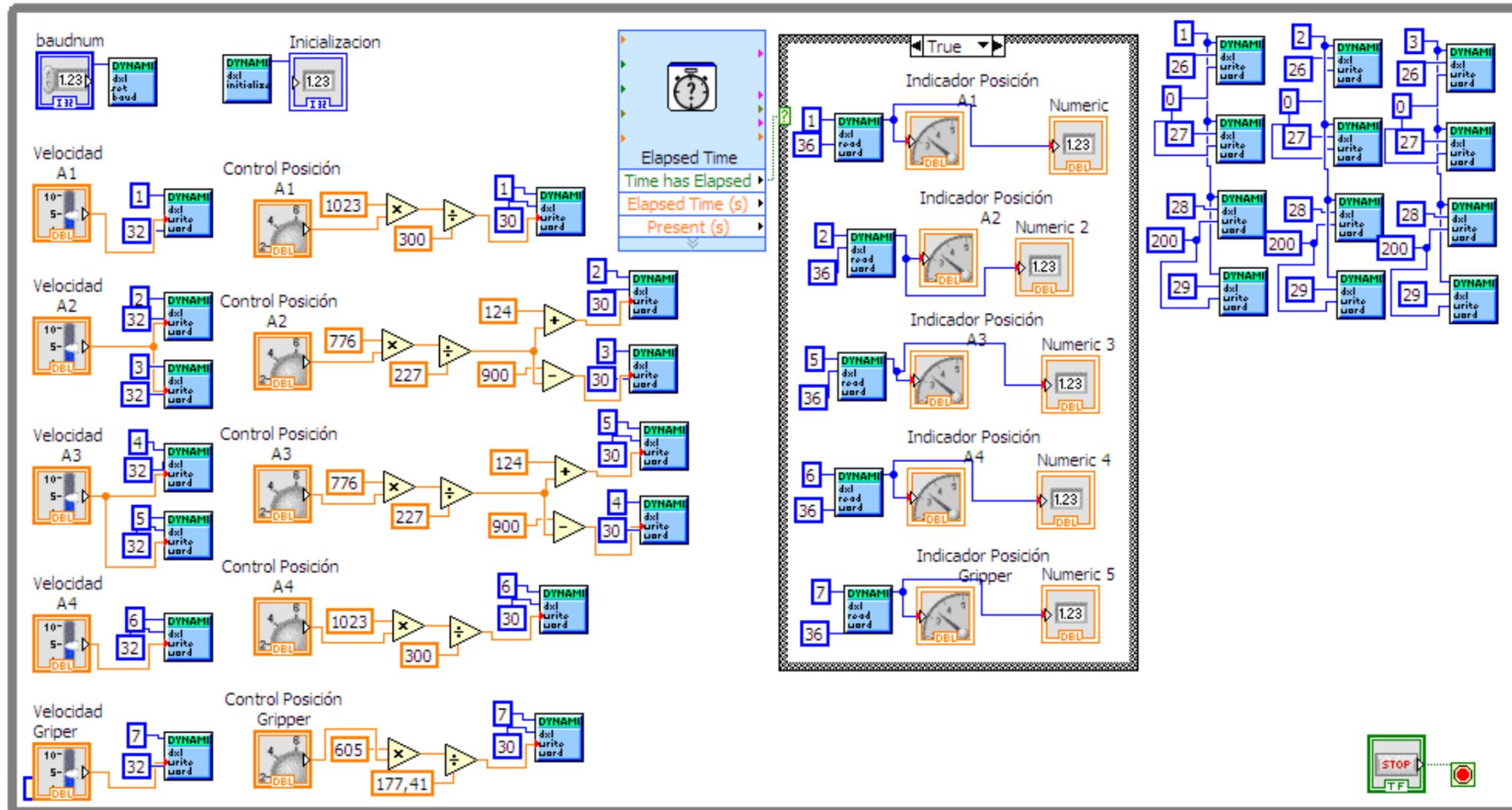
ANEXO A	GLOSARIO DE TÉRMINOS	A-1
<p style="text-align: center;"><b>A</b></p> <p><b>Ac:</b> Corriente alterna.</p> <p><b>Autómata:</b> Máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado.</p> <p><b>Actuador:</b> Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica generalmente en energía mecánica.</p> <p style="text-align: center;"><b>C</b></p> <p><b>Circuito integrado:</b> Es un chip pequeño de material semiconductor sobre la que se fabrican circuitos electrónicos.</p> <p><b>Caja reductora:</b> Es un mecanismo que consiste en un grupo de engranajes el cual transforma gran parte de la velocidad de giro en torsión.</p> <p><b>Circuito:</b> Es un conjunto de conductores eléctricos, constan de resistencias, inductores, condensadores, fuentes e interruptores.</p> <p style="text-align: center;"><b>D</b></p> <p><b>DAQ:</b> (Data Acquisition) es una tarjeta de adquisición de datos actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior.</p> <p><b>Dc:</b> Corriente continua.</p>		

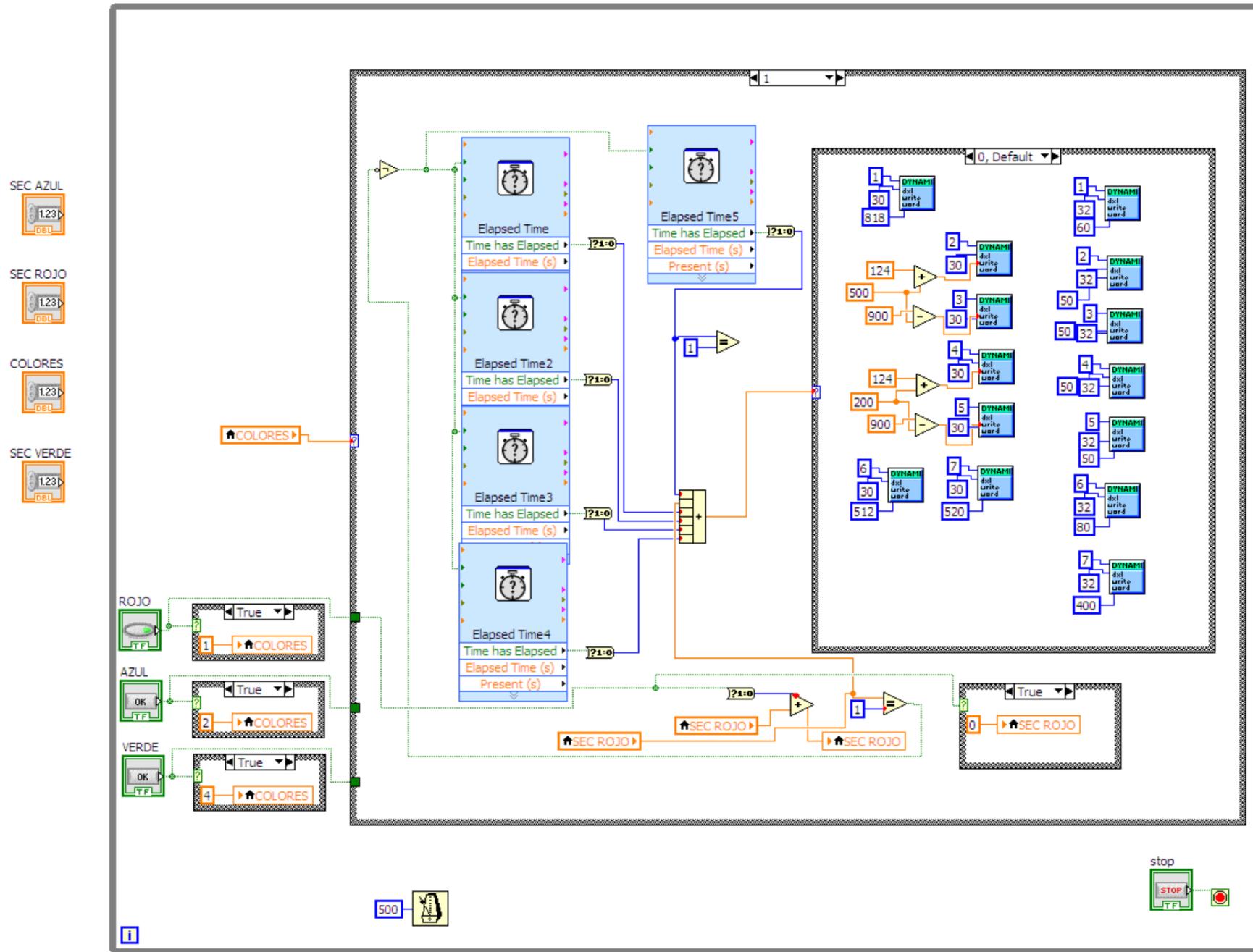
ANEXO A	GLOSARIO DE TÉRMINOS	A-2
<p><b>E</b></p> <p><b>Emisor:</b> el emisor es un conjunto de aparatos que codifica el mensaje y lo transmite por medio de un canal.</p> <p><b>Engranaje:</b>Es un mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina.</p> <p><b>Espectro visible:</b>Es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.</p> <p><b>Espectro electromagnético:</b>Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.</p> <p><b>F</b></p> <p><b>Fotoreceptor:</b> Es un mecanismo capaz de convertir la energía óptica de la luz que incide sobre una superficie en energía eléctrica,</p> <p><b>H</b></p> <p><b>Hidráulico:</b> Es la utilización de la mecánica de fluidos y las propiedades mecánicas de los líquidos.</p>		

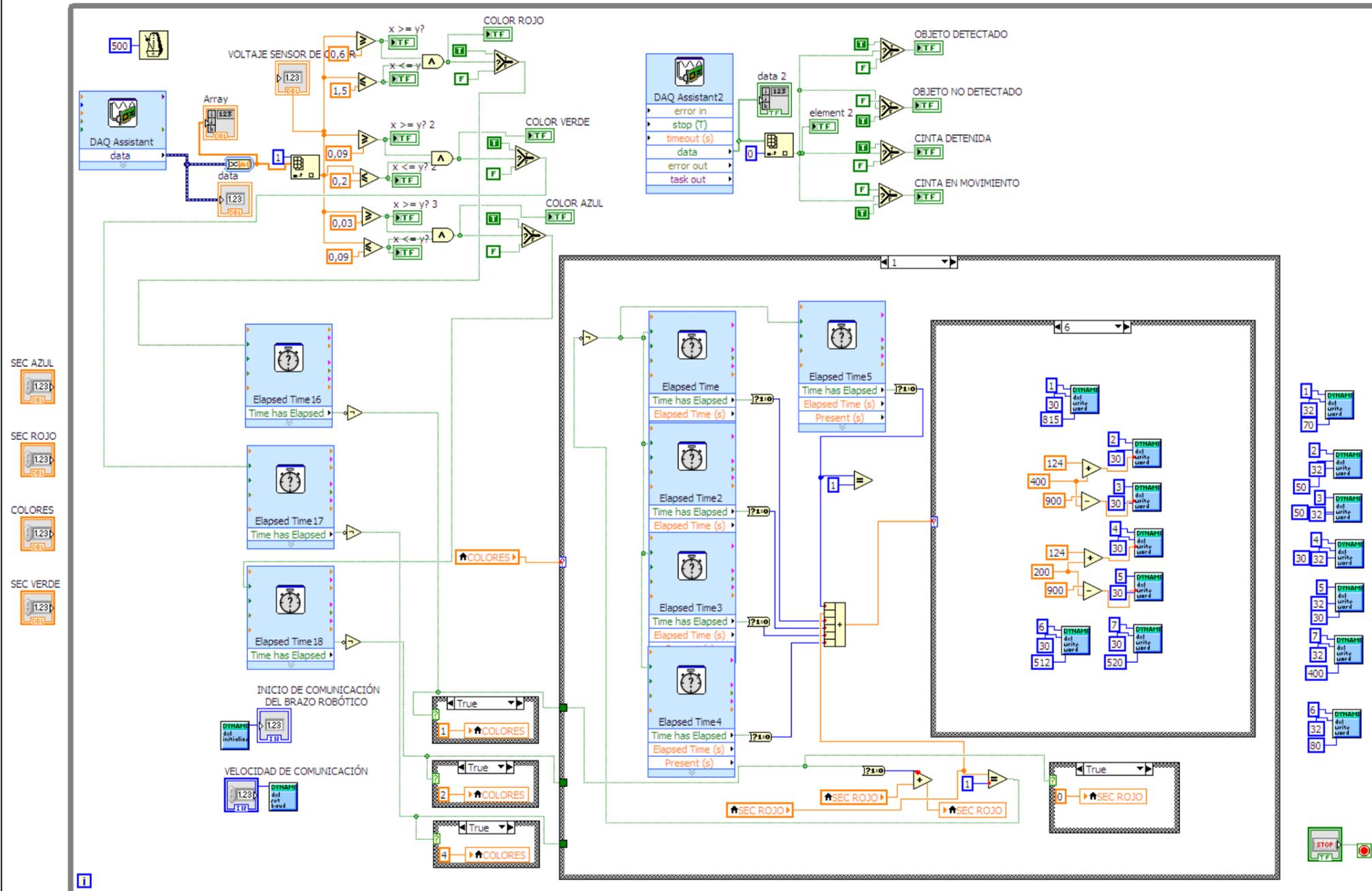
ANEXO A	GLOSARIO DE TÉRMINOS	A-3
<p><b>L</b></p> <p><b>Línea de transmisión:</b> Es el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.</p> <p><b>Longitud de onda:</b> Es la distancia que hay de pulso a pulso.</p> <p><b>M</b></p> <p><b>Microcontrolador:</b> Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.</p> <p><b>Motor Dc:</b> Máquina que produce energía mecánica, cuando se alimenta de una corriente continua.</p> <p><b>N</b></p> <p><b>Neumática:</b> Es la utilización del aire comprimido como modo de transmisión de la energía para hacer funcionar mecanismos.</p> <p><b>P</b></p> <p><b>Potenciómetro:</b> Es un resistor cuyo valor de resistencia es variable.</p> <p><b>PWM:</b> Significa modulación por ancho de pulso y es una técnica para transferir información o energía a un dispositivo con una señal cuadrada.</p>		

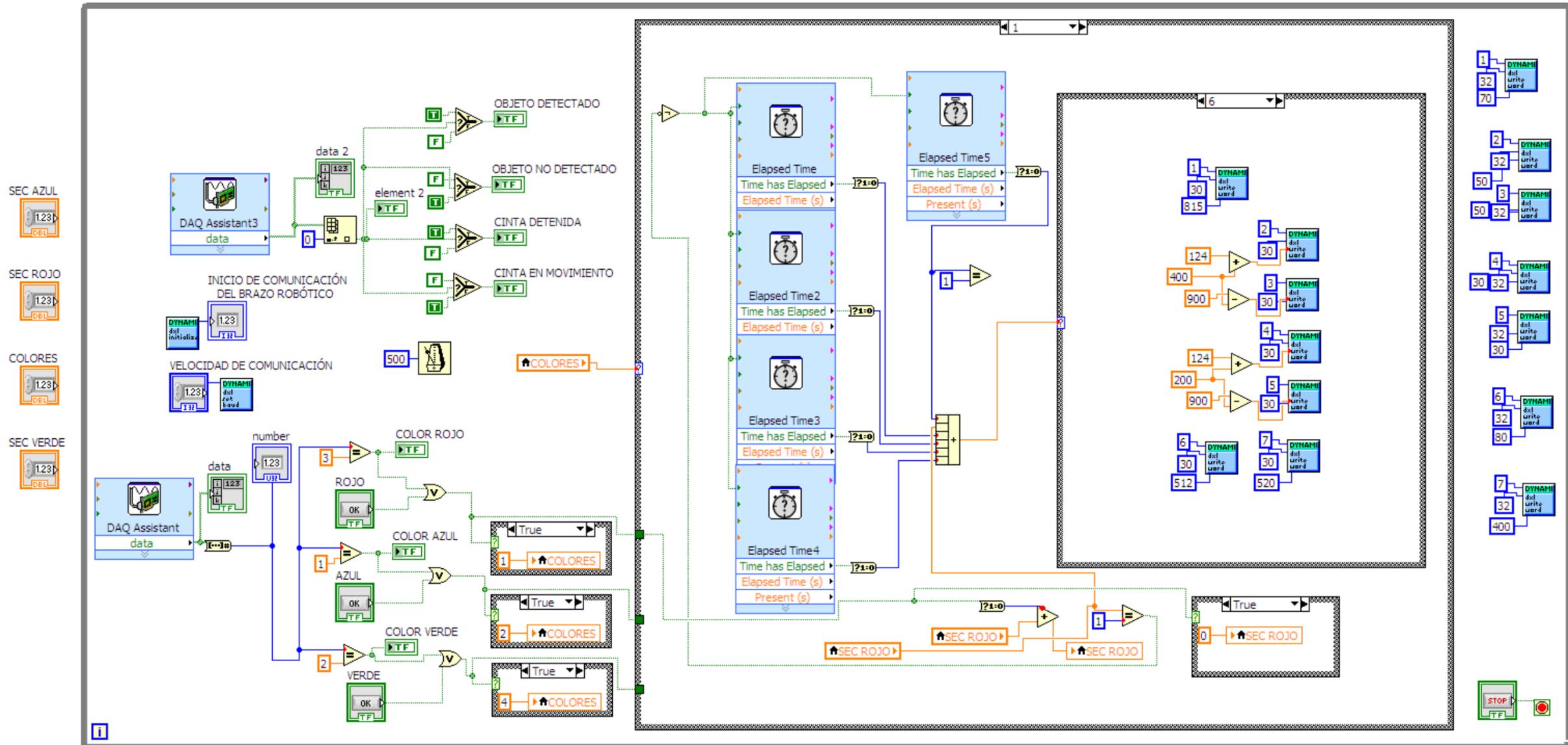
ANEXO A	GLOSARIO DE TÉRMINOS	A-4
<p><b>R</b></p> <p><b>Rango:</b> Conjunto de valores de una variable, se especifica mediante el límite inferior y el superior.</p> <p><b>Reflexión:</b> Es un fenómeno por el cual un rayo de luz que incide sobre una superficie es reflejado.</p> <p><b>Receptor:</b> Capta la información y realiza la decodificación del mensaje enviado por el emisor.</p> <p><b>Robot:</b> Máquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos.</p> <p><b>RGB:</b> (red-green-blue) es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.</p> <p><b>RXD:</b> (Received Data) es el pin por el cual el dato es recibido.</p> <p><b>S</b></p> <p><b>Sensor:</b> Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas.</p> <p><b>Servomotor:</b> Es un actuador que está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, el cual puede ubicarse en cualquier posición dentro de su rango y de mantenerse estable.</p>		

ANEXO A	GLOSARIO DE TÉRMINOS	A-5
<p><b>Software:</b>Es el conjunto de componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas en un sistema informático.</p> <p><b>SPI:</b> (Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados.</p> <p style="text-align: center;"><b>T</b></p> <p><b>Transistor:</b> Es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para producir una señal de salida en respuesta a otra señal de entrada.</p> <p><b>TXD:</b> (Transmitted Data) es el pin por el cual el dato es transmitido.</p> <p style="text-align: center;"><b>U</b></p> <p><b>UART:</b> (Universal AsynchronousReceiver-Transmitter) significa Transistor-Receptor Asíncrono Universal y controla los puertos y dispositivos serie.</p>		









ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-1
<p style="text-align: center;"><b>PIC 16F628A</b></p> <pre> program TX_COLOR main:     UART1_Init(9600)          ' Initialize UART module at 9600 bps     Delay_ms(100)      UART1_Write_Text("\$SURE")     UART1_Write(0x20)     UART1_Write_Text("WB")     UART1_Write(0x0d)     UART1_Write(0x0a)      delay_ms(2500)     While (1)         UART1_Write_Text("\$SURE")         UART1_Write(0x20)         UART1_Write_Text("R")         UART1_Write(0x0d)         UART1_Write(0x0a)      delay_ms(800)  wend end.</pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-2
<pre> @ DEVICE HS_OSC  DEFINE OSC 4  INCLUDE "MODEDEFS.BAS"  DEFINE ADC_BITS 10    ' Set number of bits in result DEFINE ADC_CLOCK 3    ' Set clock source (rc = 3) DEFINE ADC_SAMPLEUS 50  TRISA=%00000001    'declaracion IN sensor ADCON1 = 14    'puerto apagado 1110  dato var byte    'variable rx recibo dato del sensor de color  SHARP VAR WORD    'variable rx recibo dato del sensor de presencia SHARP = 0  cuenta var byte cuenta = 0  trisb=%00000000 portb=0  trisc=%10000000 portc=0  confirma var byte confirma = 0 </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-3
<pre> analogo:  portc.0=0 confirma = 0 ADCON1 = 14 ADCIN 0,SHARP SHARP = SHARP / 128 IF SHARP &gt;= 227 THEN portc.0=0 pause 1900 portc.0=1 goto d1 endif  gotoanalogo  d1: serin portc.7,T9600,dato portb=0 if dato = "R" then d2  cuenta = 0  if dato = "2" then d1  GOTO d1 </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-4
<pre> d2: serin portc.7,T9600,dato if dato = "e" then d3  if dato = "2" then d1  goto d2  d3: serin portc.7,T9600,dato if dato = "d" then d4 if dato = "2" then d1  goto d3  d4: serin portc.7,T9600,dato if dato = "=" then d5 if dato = "2" then d1  goto d4  d5: serin portc.7,T9600,dato if dato = "0" then d6 if dato = "2" then d1  goto d5 </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-5
<pre> d6:  serin portc.7,T9600,dato   if dato = "0" then d7   if dato = "2" then d1        goto d6  d7:  serin portc.7,T9600,dato   if dato = "0" then d8   if dato = "2" then d1  if cuenta&gt;= 200 then d1    gosub contar : goto d7  d8:  serin portc.7,T9600,dato   if dato = "3" then d9   if dato = "2" then d9   if dato = "0" then d10  if cuenta&gt;= 200 then d1    gosubcontar : goto d8 d9:  serin portc.7,T9600,dato   if dato = "0" then     portb=3     portc.0=0     pause 2000     portb=0     gotoanalogo   endif </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-6
<pre> if dato = "1" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "2" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "3" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "4" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-7
<pre> if dato = "5" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "6" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "7" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "8" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-8
<pre> if dato = "9" then   portb=3   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if cuenta&gt;= 200 then d1    gosubcontar : goto d9    d10:    serin portc.7,T9600,dato   'blue   if dato = "0" then     portb=1     portc.0=0     pause 2000     portb=0     gotoanalogo   endif    if dato = "1" then     portb=1     portc.0=0     pause 2000     portb=0     gotoanalogo   endif </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-9
<pre> if dato = "2" then   portb=1   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif 'green if dato = "3" then   confirma = 0   goto d1 endif  if dato = "4" then confirma = confirma + 1   goto d1 endif  if dato = "5" then confirma = confirma + 1   goto d1 endif  if dato = "6" then confirma = confirma + 1   GOTO D1 endif  if confirma&gt;= 2 then   PORTB.0 = 0   PORTB.1 = 1   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif </pre>		

ANEXO F	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	F-10
<pre> if dato = "7" then   portb=2   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  if dato = "8" then   portb=2   portc.0=0   pause 2000   portb=0   gotoanalogo endif  goto d10  contar: cuenta = cuenta + 1 return  END </pre>		

ANEXO G	HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	G-1
<p style="text-align: center;"><b>HS - 311 Standard</b></p> <p><b>Detailed Specifications</b></p> <p><b>Control System:</b> +Pulse Width Control 1500usec Neutral</p> <p><b>Required Pulse:</b> 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave</p> <p><b>Operating Voltage:</b> 4.8-6.0 Volts</p> <p><b>Operating Temperature Range:</b> -20 to +60 °C</p> <p><b>Operating Speed (4.8V):</b> 0.19sec/60° at no load</p> <p><b>Operating Speed (6.0V):</b> 0.15sec/60° at no load</p> <p><b>Stall Torque (4.8V):</b> 42 oz/in (3.0 kg/cm)</p> <p><b>Stall Torque (6.0V):</b> 49 oz/in (4.5 kg/cm)</p> <p><b>Current Drain (4.8V):</b> 7.4mA/idle, 160mA no load operating</p> <p><b>Current Drain (6.0V):</b> 7.7mA/idle, 180mA no load operating</p> <p><b>360 Modifiable:</b> yes</p> <p><b>Weight:</b> 1.52oz (43g)</p> <div style="text-align: center;">  </div>		



**SICK**Sensor Intelligence. **SICK WL250-S132****Technical data**

WL 250-

<b>Scanning range</b> , max. typical/on refl.	0.01...13.5 m / PL 80 A
max. typical/on refl.	0.01...9 m / P 250 (included)
<b>Recommended operating range</b>	0.01...8 m / P 250
<b>Sensitivity</b> , adjustable	Potentiometer, 2 turns, with position indicator
<b>Light source<sup>1)</sup>, light type</b>	LED, visible red light with polarising filter
<b>Light spot diameter</b>	Approx. 400 mm at 8 m
<b>Angle of dispersion</b> , sender	Approx. 2.5°
<b>Supply voltage <math>V_S</math><sup>2)</sup></b>	12...240 V DC 24...240 V AC
<b>Power consumption</b>	≤ 2 VA
<b>Switching outputs</b>	Relay, SPDT, electrically isolated
<b>Switching current <math>I_A</math> max.<sup>3)</sup></b>	3 A / 240 V AC; 3 A / 30 V DC
<b>Light receiver</b> , switching type	Light-switching
<b>Response time</b>	≤ 15 ms
<b>Max. switching frequency<sup>4)</sup></b>	33/s
<b>Connection type</b>	Cable PVC, 2 m <sup>5)</sup> 5 x 0.76 mm <sup>2</sup> , ø 6.3 mm
<b>VDE protection class<sup>6)</sup></b>	□
<b>Circuit protection<sup>7)</sup></b>	A, C
<b>Enclosure rating</b>	IP 67
<b>Ambient temperature <math>T_A</math></b>	Operation - 25 °C...+55 °C Storage - 40 °C...+70 °C
<b>Weight</b>	Approx. 160 g



## SENSOR DE COLOR TCS-230

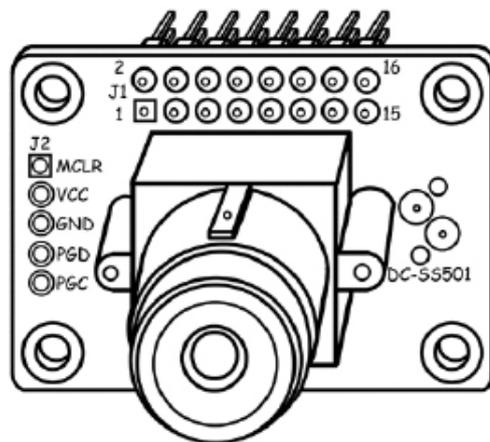
### 1.1 Overview

Welcome to use TCS230 Color Sensor Module by Sure Electronics. Employing TCS230 of TAOS as the signal acquisition chip, this module is quite available in color detection and sorting operations. It is also useful by providing both digital and analog signal outputs.

### 1.2 Features

DC: 3.3V to 5V  
 Fast response time  
 Supplied 6mm lens with an IR filters  
 Analog & digital output  
     Analog: RGB voltage signal linear output  
     Digital: UART half duplex, SPI slave mode  
 DIP-like packaging, which facilitates system integration

FIGURE 1-1 OVERVIEW



### 1.3 Applications

Portable color identification system  
 Color monitor to color printing  
 Process control to printed materials  
 LED testing  
 Other occasions requiring color detection and sorting operations

## 1.4 Pin Descriptions

FIGURE 1-2 BACK VIEW

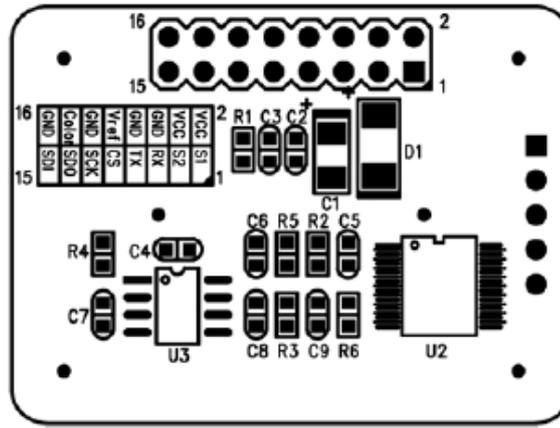


TABLE 1-1 PIN DESCRIPTION

Label	Pin	Function	Label	Pin	Function
S1	1	Analog output control terminal 1	VCC	2	Power input
S2	3	Analog output control terminal 2	VCC	4	Power input
RXD	5	UART Received Data	GND	6	Ground
TXD	7	UART Transmitted Data	GND	8	Ground
/CS	9	SPI enable.	Vref	10	Reference voltage output
SCK	11	SPI clock	GND	12	Ground
SDO	13	SPI data output	Vcolor	14	Color voltage output
SDI	15	SPI data input	GND	16	Ground

**2.1 Absolute Maximum Ratings**

Storage temperature: -20 to 85 °C

Storage humidity range: 0 to 90 % RH

Supply voltage: DC 5.5 V

**2.2 Operating Ratings**

Temperature operating range: -15 to 60 °C

Humidity operating range: 0 to 85% RH

Supply voltage: DC 3.3V to 5V

**2.3 Color Characteristics****TABLE 2-1 COLOR CHARACTERISTICS**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit.
Color measuring range	350	/	750	nm
Luminance range	100	/	/	lux
Response time	/	500	/	ms

Note: You can refer to TCS230 datasheet for more information about Color Characteristics.

**2.4 Interface Characteristics****2.4.1 Digital Interface Characteristics**

D-1. Digital Interface I/O Electrical Characteristics : Vin=3.3V to 5.0V

**TABLE 2-2 DIGITAL INTERFACE CHARACTERISTICS**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
Input low voltage	/	/	0.2Vin	V
Input high voltage	0.8Vin	/	/	V
Output low voltage	/	/	0.6	V
Output high voltage	Vin – 0.9	/	/	V

**D-2. UART Interface:**

DC-SS501 has an UART interface and is able to communicate with any host that has an UART interface.

## ① UART Properties:

Baud rate: 9600bps

Start bit: 1bit

Data bit: 8bits

Parity bit: 0bit

Stop bit: 1bit

## Servomotor Dynamixel AX-12A



## 1-2. Main Specifications

	AX-12	
Weight (g)	55	
Gear Reduction Ratio	1/254	
Input Voltage (V)	at 7V	at 10V
Final Max Holding Torque(kgf.cm)	12	16.5
Sec/60degree	0.269	0.196

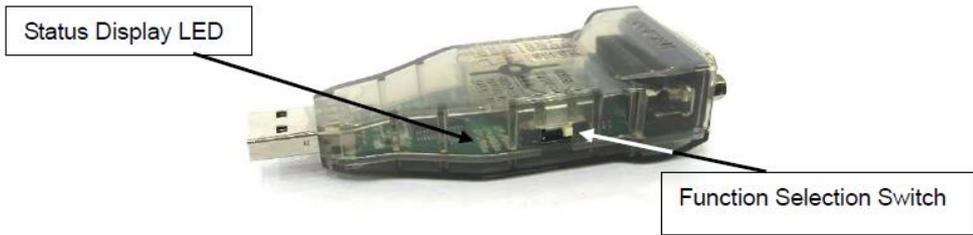
Resolution	0.35°
Operating Angle	300°, Endless Turn
Voltage	7V~10V (Recommended voltage: 9.6V)
Max. Current	900mA
Operate Temperature	-5°C ~ +85°C
Command Signal	Digital Packet
Protocol Type	Half duplex Asynchronous Serial Communication (8bit, 1stop, No Parity)
Link (Physical)	TTL Level Multi Drop (daisy chain type Connector)
ID	254 ID (0~253)
Communication Speed	7343bps ~ 1 Mbps
Feedback	Position, Temperature, Load, Input Voltage, etc.
Material	Engineering Plastic

La información completa se puede encontrar en la página web  
[www.crustcrawler.com](http://www.crustcrawler.com)

<b>ANEXO G</b>	<b>HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<b>G-7</b>
----------------	---	------------

### USB2DYNAMIXEL

- Status Display LED : Displays the status of power supply, TxD (writing data), and RxD (reading data)
- Function Selection Switch : Selects how TTL, RS-485 and RS-232 communicates
- 3P Connector : Connects to AX series dynamixel using TTL network
- 4P Connector : Connects to DX or RX series dynamixel using RS-485 network
- Serial Connector : Transforms a USB port into a serial port using RS-232 network,



La información completa se puede encontrar en la página web [www.crustcrawler.com](http://www.crustcrawler.com)

LABVIEW 2011

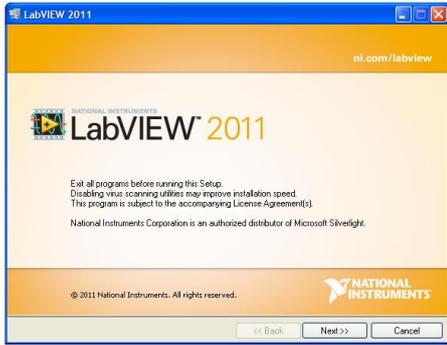


Figura H-1: Instalación LabVIEW paso 1

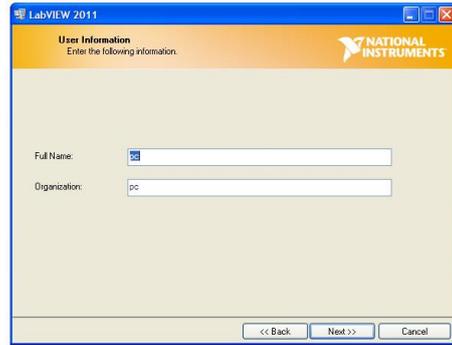


Figura H-2: Instalación LabVIEW paso 2

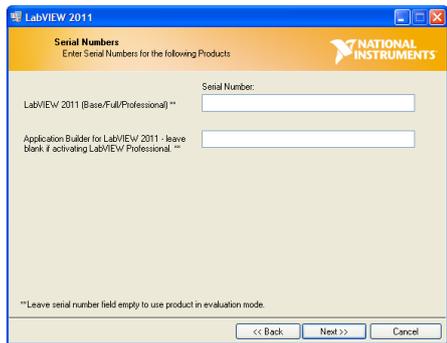


Figura H-3: Instalación LabVIEW paso 3

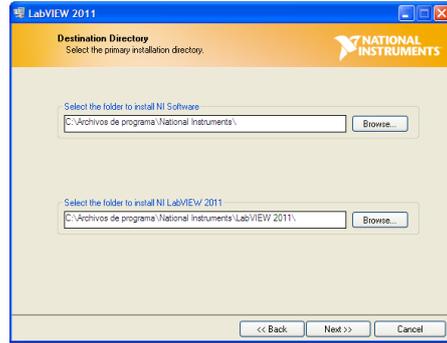


Figura H-4: Instalación LabVIEW paso 4

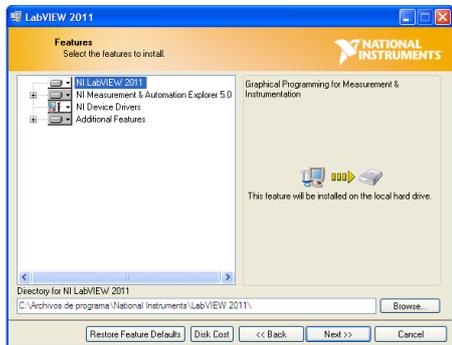


Figura H-5: Instalación LabVIEW paso 5

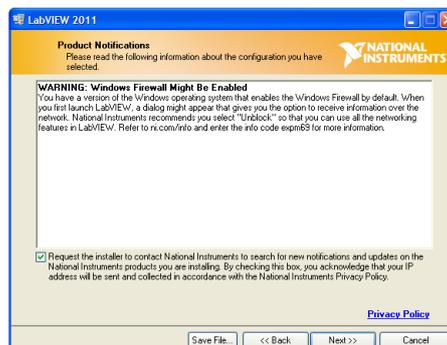


Figura H-6: Instalación LabVIEW paso 6

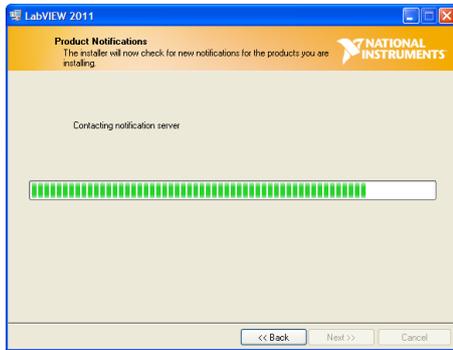


Figura H-7: Instalación LabVIEW paso 7



Figura H-8: Instalación LabVIEW paso 8

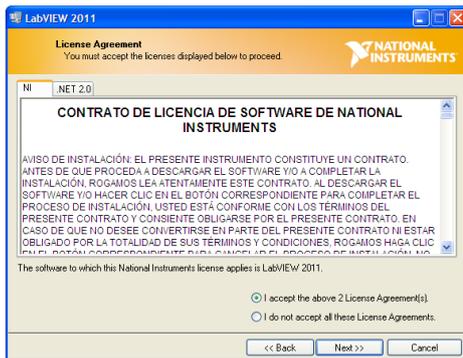


Figura H-9: Instalación LabVIEW paso 9

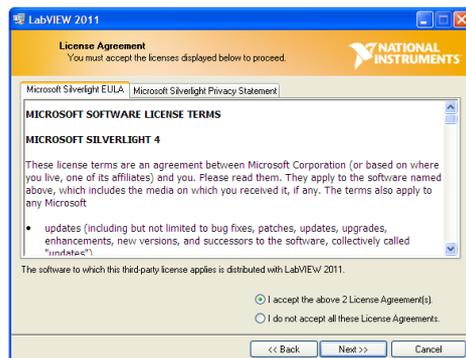


Figura H-10: Instalación LabVIEW paso 10

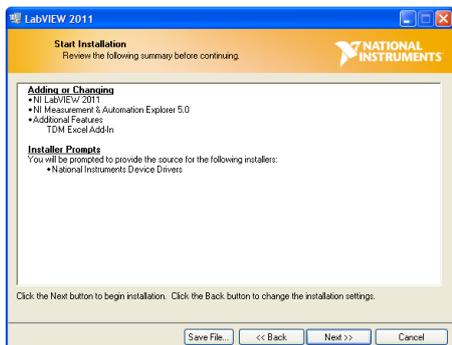


Figura H-11: Instalación LabVIEW paso 11

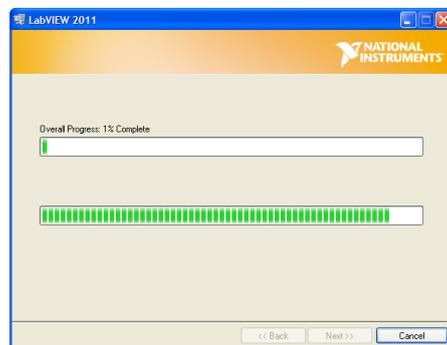


Figura H-12: Instalación LabVIEW paso 12

NIDAQMX 9.3.5

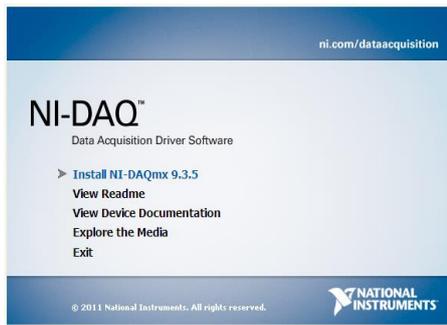


Figura H-13: Instalación NIDAQMX paso 1

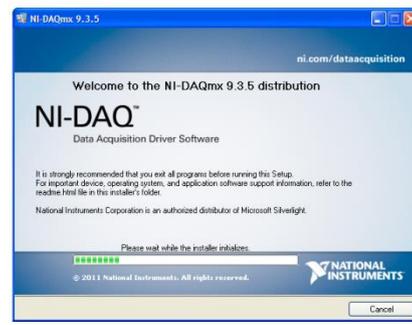


Figura H-14: Instalación NIDAQMX paso 2

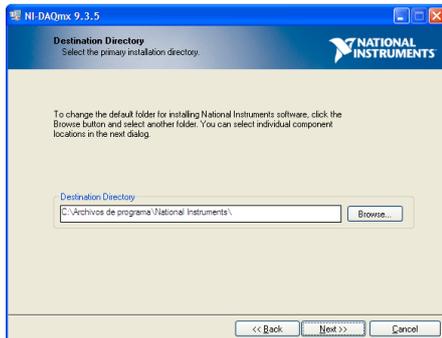


Figura H-15: Instalación NIDAQMX paso 3

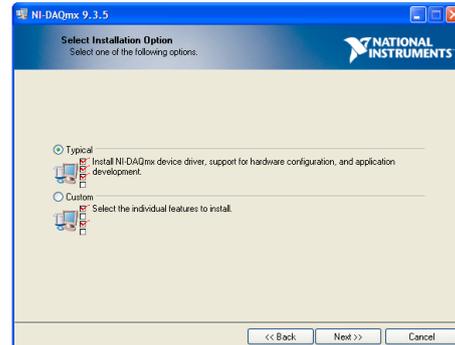


Figura H-16: Instalación NIDAQMX paso 4

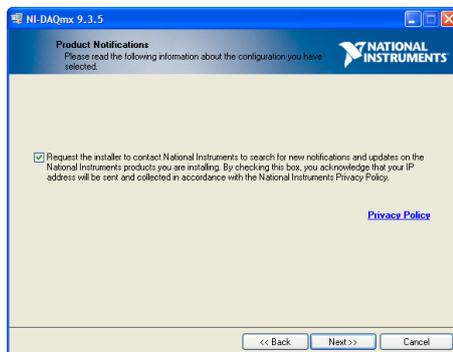


Figura H-17: Instalación NIDAQMX paso 5

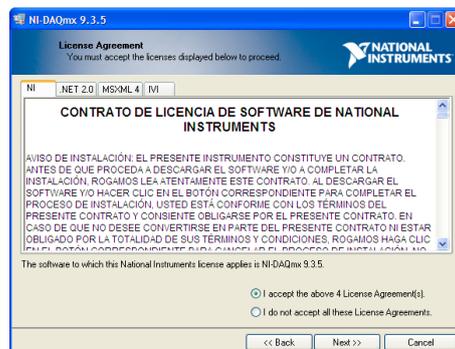


Figura H-18: Instalación NIDAQMX paso 6

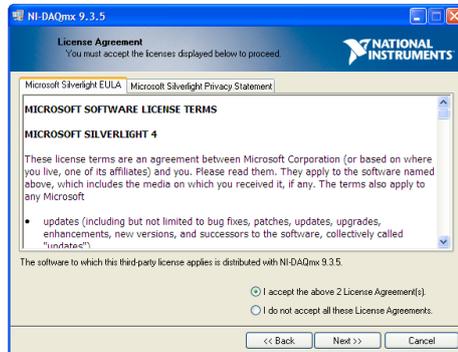


Figura H-19: Instalación NIDAQMX paso 7

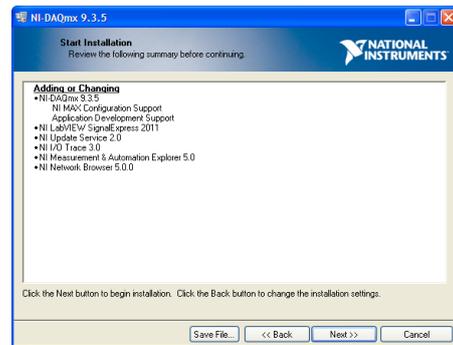


Figura H-20: Instalación NIDAQMX paso 8

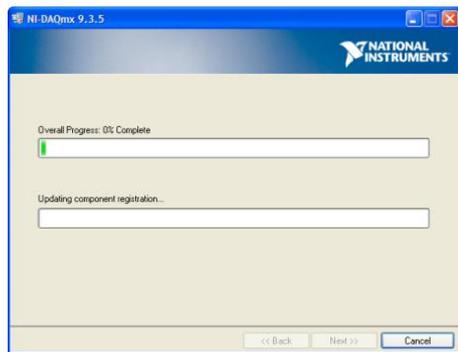


Figura H-21: Instalación NIDAQMX paso 9

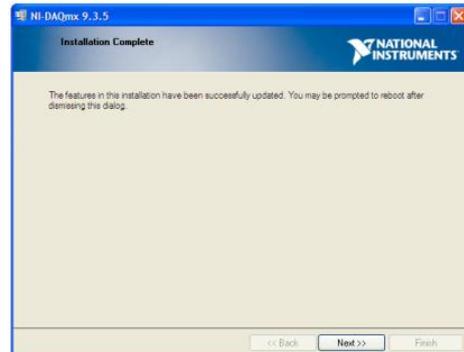


Figura H-22: Instalación NIDAQMX paso 10

DYNAMIXEL DRIVER

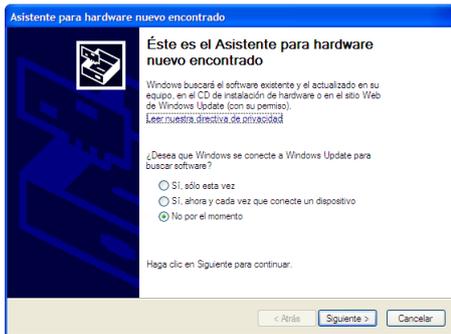


Figura H-23: Instalación Dynamixel paso 1

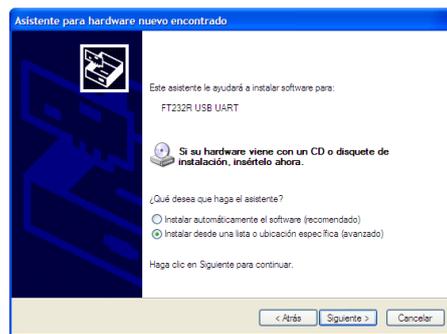


Figura H-24: Instalación Dynamixel paso 2

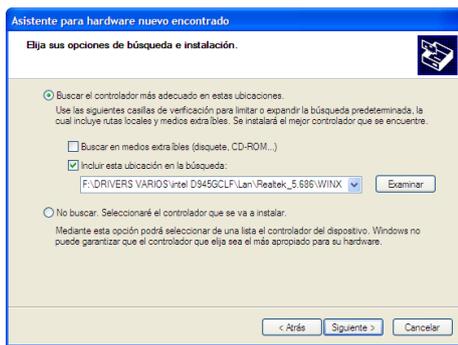


Figura H-25: Instalación Dynamixel paso 3



Figura H-26: Instalación Dynamixel paso 4

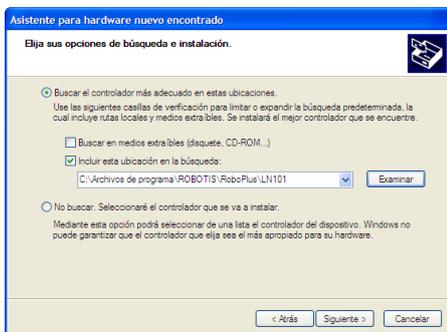


Figura H-27: Instalación Dynamixel paso 5

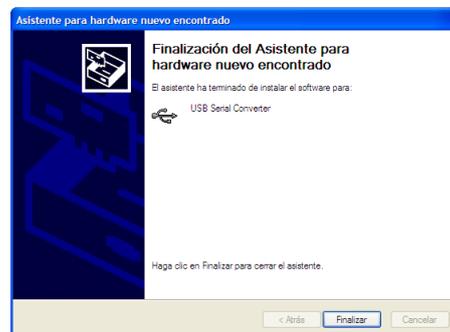


Figura H-28: Instalación Dynamixel paso 6

Latacunga, Enero del 2014

**AUTORÍA**

**ELABORADO POR:**

---

José Luis Zurita Pérez  
C.C: 050326298-2

**APROBADO POR:**

---

Ing. José Bucheli  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO POR:**

---

Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADÉMICO  
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO