

“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”

Zurita J. Pérez L.

joseluizu@yahoo.com

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

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 Robotic Arm to classify cubes in place established.

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 Robotic Arm para clasificar los cubos en su lugar establecido.

Palabras claves— Automatización, DAQ, RGB, Sensor de color, Servomotor.

I. INTRODUCCIÓN

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.

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 fue el rojo de la sangre y el color negro del carbón que quedaba de las hogueras.

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.

La palabra robot fue introducida en 1917 por Karel Capek en su cuento Opilec. “Robota” es la palabra checoslovaca para labor monótona o trabajos forzados, pero la historia de los verdaderos robots comienza en 1954 cuando George Devol registró la patente Programmed Article Transfer (Transferencia Automática de Artículos). Esta patente condujo al primer robot industrial, fabricado en 1962 por Unimation.

II. DESARROLLO

2.1. Descripción de los Elementos

A. Servomotor de modelismo Hitec HS-311

Para el impulso de la cinta transportadora se utiliza un Servomotor Hitec HS-311 Standar (Figura 1) 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.



Fig.1. Servomotor Hitec HS-311 Standar.

En la Tabla 1 se muestra las especificaciones básicas y necesarias para la correcta utilización del servomotor Hitec HS-311 Estándar.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVOMOTOR HITEC HS-311

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

B. Sensor de proximidad SICK WL250-S132

El sensor de proximidad SickWL250-S132 (Figura 2) 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.



Fig. 2. Sensor de Proximidad Sick WL250-S132.

En la Tabla 2 se muestra las características generales del Sensor de Proximidad Sick WL250-S132.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SENSOR DE PROXIMIDAD.

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

C. Sensor de color TCS-230

El sensor de color TCS-230 (Figura 3), 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.

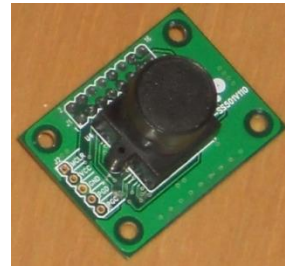


Fig. 3. Sensor de color TCS-230.

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 3 se muestra las características principales del sensor TCS-230.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SENSOR DE COLOR TCS-230

Características	
Voltaje de Alimentación	3.3V-5V
Tiempo de Respuesta	500ms
Lente	6mm
Salida	Analógica y Digital
Salida Analógica	Salida Voltaje Lineal
Rango de Color	350-750nm

D. Servomotor AX-12A Smart Robotic Arm

El servomotor Dynamixel AX-12A (Figura 4) 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.



Fig. 4. Servomotor Dynamixel AX-12A

En la Tabla 4 se muestra las características generales del servomotor Dynamixel AX-12A.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVOMOTOR DYNAMIXEL
AX-12A.

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

E. Controlador USB2Dynamixel

El controlador USB2Dynamixel (Figura 5) es un dispositivo que controla directamente los servomotores Dynamixel ya sea de la serie AX, DX y RX con la PC.



Fig. 5. Controlador USB2Dynamixel.

2.2. Diseño del Hardware

A. Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm

El Ax12-A Smart Robotic Arm es un brazo robótico inteligente 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 para su control con programas como MatLab, LabView, etc,

Para el ensamblaje del brazo robótico se procede a realizar los siguientes pasos:

- En la base del brazo robótico se instala el servomotor 1.
- Colocar los rulimanes en los agujeros de la base.
- Unir el disco de aluminio con las piezas en forma de u que servirán de soporte de los servomotores 2 y 3.
- Sujetar los servomotores 2 y 3.
- Atornillar la pieza de aluminio en forma de doble T a los servomotores 2 y 3.
- Atornillar los servomotores 4 y 5 a la pieza de aluminio en forma de doble T.
- Instalar el servomotor 6 a los servomotores 4 y 5.

- Instalar el servomotor 7 para la apertura y cierre del gripper.
- Armar el gripper colocando las ruedas con engranes sobre el servomotor 7 y sujetando las demás piezas de aluminio que forma parte del gripper.

En la figura 6 se muestra el brazo robótico AX-12A Smart Robotic Arm completamente ensamblado.



Fig. 6. Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm ensamblado.

B. 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 estructura se ha utilizado Autocad (Figura 7). La estructura consta de una cinta transportadora, una caja para las fuentes de alimentación, la caja de control y el sitio de almacenamiento por color.

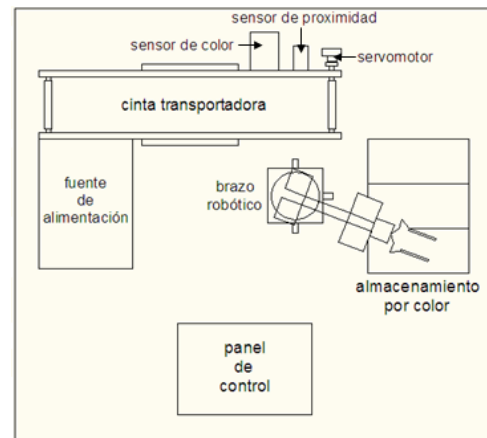


Fig. 7. Esquema General de los elementos del Sistema.

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.



Fig. 8. Fotografía de todo el Sistema Implementado.

2.3. Diseño del Software

A. 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. En la figura 9 se muestra la DAQ NIUSB6008 de National Instrument.



Fig. 9. Tarjeta de Adquisición de Datos NIUSB6008

B. 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 indica el valor en voltaje para cada color que detecte.

C. 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.

D. 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 mediante la utilización de las librerías de Dynamixel SDK para un fácil control del brazo robótico.

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 10).

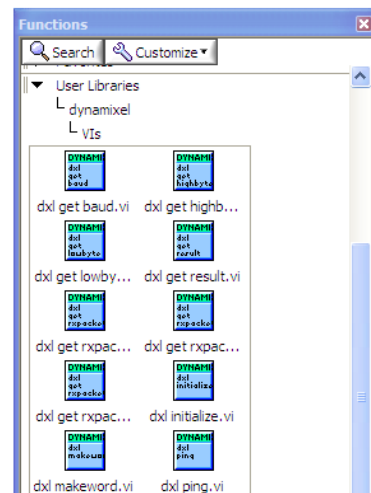


Fig. 10. Localización de las librerías Dynamixel en el Diagrama de Bloques.

➤ Control Individual de las Articulaciones del Brazo Robótico

El programa 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 varía 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° .

➤ Control de Movimientos del Brazo Robótico

En el programa 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 desee 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.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. Prueba del Generador de Pulsos

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 5 se muestra los valores de las resistencias tomados de la prueba.

TABLA V
VALORES DE R1 Y R2 EN LA PRUEBA DEL GENERADOR DE PULSOS

R1 (K Ω)	R2 (K Ω)	Ancho de Pulso (ms)
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

Para el control del servomotor Hitec HS-311 es necesario que $t1 < t2$. Para invertir la señal se lo realiza mediante un transistor NPN en configuración de emisor común.

En la tabla 6 se muestran los valores de la prueba del ancho de pulso para el control del servomotor.

TABLA VI
PRUEBAS DEL ANCHO DE PULSO PARA EL CONTROL DEL SERVOMOTOR.

R1 (K Ω)	R2 (K Ω)	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 11, 12 y 13 se muestra las señales del ancho de pulso de 1ms, 1.5ms y 2ms respectivamente para el control del servomotor Hitec HS-311.

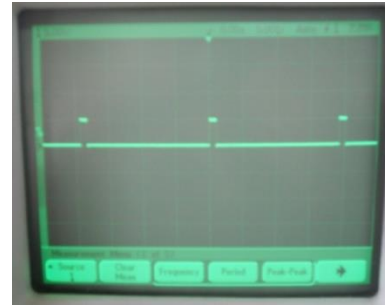


Fig. 11. Señal de Ancho de Pulso de 1ms.

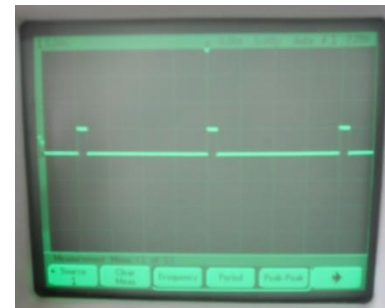


Fig. 12. Señal de Ancho de Pulso de 1.5ms.

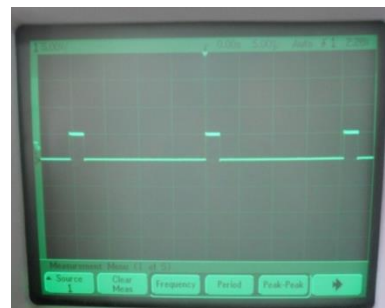


Fig. 13. Señal de Ancho de Pulso de 2ms.

3.2. Prueba del control de posición del servomotor Hitec HS-211 Estándar

En la tabla 7 se muestra los valores de la posición que toma el servomotor con diferente ancho de pulso.

TABLA VII
VALORES DE LOS GRADOS DE POSICIÓN DEL SERVOMOTOR.

Ancho de Pulso (ms)	Posición Servomotor ($^\circ$)
1	0
1.3	50
1.5	95
1.7	140
2	190

3.3. Prueba de la Modificación del Servomotor Hitec HS-311

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 8 se muestra los valores de las distancia de detección del sensor de proximidad con diferentes niveles de sensibilidad.

TABLA VIII
DISTANCIAS DE DETECCIÓN DEL SENSOR DE PROXIMIDAD CON DIFERENTES SENSIBILIDADES.

Sensibilidad	Distancia (m)
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

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.

3.5. Pruebas del Sensor de Color TCS-230

En la tabla 9 se muestran los valores del voltaje de salida para los colores rojo, verde y azul con diferentes niveles de luz natural.

TABLA IX
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

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.

Posteriormente se realiza la prueba del sensor colocado el objeto a diferentes distancias del sensor. En la tabla 10 se muestran los resultados del voltaje de salida.

TABLA X
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.

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

En la tabla 11 se muestran los valores que se tomaron de la salida UART.

TABLA XI
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

Para evitar las variaciones de la señal de salida es necesario colocar una luz externa dirigida al objeto para que la luz que incide sobre el objeto sea siempre la misma y la zona de detección aislar de la luz ambiente.

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 RoboticArm

La prueba de movimientos individuales del brazo robótico permite determinar el área de trabajo del brazo robótico. En la tabla 12 se muestra los valores del área de trabajo del brazo robótico, el alto, distancia y ángulo de giro.

TABLA XII
VALORES DEL ÁREA DE TRABAJO DEL BRAZO ROBÓTICO.

Magnitudes	Medida
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 13 se muestra los valores del ángulo de giro de cada articulación y la distancia de apertura del gripper.

TABLA XIII
ÁNGULO DE GIRO DE LAS ARTICULACIONES Y DISTANCIA DE APERTURA DEL GRIPPER.

Articulaciones	Medida
Articulación 1	300°
Articulación 2	260°
Articulación 3	260°
Articulación 4	300°
Gripper	6cm

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 14 se muestran los valores del error del brazo robótico.

TABLA XIV
CÁLCULO DEL ERROR DEL BRAZO ROBÓTICO.

Número de prueba	Valor real (°)	Valor medido (°)	Error (%)
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
Promedio			0.9

Para conocer la capacidad de carga del brazo robótico se realizó la prueba con varios pesos. En la tabla 15 se muestran los valores de peso que se aplicó al brazo robótico.

TABLA XV
VALORES DE PESO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL BRAZO ROBÓTICO.

Número de Carga	Peso (g)
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.

IV. 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.

V. 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.

- [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.
- [14] Robots Móviles y Robots Suspendidos: <http://www.directindustry.es>
- [15] El Color: <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>
- [16] Propiedades del Color: <http://www.fotonostra.com/grafico/teoriacolor.htm>
- [17] Sensores de Proximidad: Universidad Autónoma de San Luís Potosí <http://galia.fc.uaslp.mx>
- [18] Sensor de Proximidad Sick : <http://www.lpc-uk.com/sick/W250.pdf>
- [19] Sensores Fotoeléctricos: <http://conociendotemporizadores.blogspot.com>
- [20] Sensores de Proximidad: <http://sensoresdeproximidad.blogspot.com>
- [21] Sensor de Color: <http://www.microcomsolutions.com>
<http://www.sick.com>
<http://www.keyence.com.mx>
- [22] Servomotor: <http://www.hitecrd.com>
- [23] Bus de Sensores y Actuadores: <http://www.uhu.es/antonio.barragan/book/export/html/125>

VI. REFERENCIAS

- [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.