

Aplicación del CI TCS3200 como sensor de bajo costo para el mejoramiento de Procesos Industriales Robotizados.

LÓPEZ TOLEDANO MIGUEL AGUSTÍN.

Resumen—En éste trabajo se presenta el funcionamiento de un módulo de detección de colores usando un circuito integrado (TCS3200) el cual será controlado por medio de un microcontrolador, con el fin de aplicarlo en la rama de la robótica industrial. Las pruebas experimentales se realizaron de manera exitosa por lo que éste módulo resulta bastante económico y viable para su implementación a diferencia de otros múltiples módulos de visión artificial existentes en el mercado.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la robótica juega un papel fundamental en las líneas de producción, la robótica industrial actual a diferencia de aquella que se llevaba a cabo hace 30 años, requiere ser más precisa y satisfacer las demandas de calidad y desempeño que las empresas actuales deben cumplir para lograr una mejor posición en el mercado.

Un robot industrial es un manipulador multifuncional, reprogramable, de configuración cinemática apropiada para llevar a cabo tareas diversas como la sujeción y el traslado de piezas, herramientas o dispositivos especiales siguiendo una o múltiples trayectorias previamente programadas [1].

Partiendo de la premisa de que el estudio de la robótica ha buscado emular las condiciones de los seres vivos¹ en dispositivos electrónicos y mecánicos, es necesario que los robots recaben amplia información sobre su ambiente a fin de funcionar de manera efectiva. En este documento se hace énfasis al sistema de visión o reconocimiento, para ello se establecen las dos formas de visión: la visión simple y la visión compleja. En el caso de la visión simple, que será el tema de estudio de este proyecto, se trata de la detección de bordes, cambios de color, esquinas, etc. Para el caso de la visión compleja, se trata del reconocimiento de formas.

Los sistemas de visión se utilizan exitosamente con robots para permitir que miren a su alrededor y encuentren las piezas que van a recoger para colocarlas en los lugares apropiados. Además, estos sistemas proporcionan información que es difícil o imposible de obtener de otra manera; su configuración varía dependiendo de las necesidades y el diseño del sistema [2].

En los sistemas de visión compleja, el componente principal de visión es una cámara completa, además de un equipo sensor, la electrónica asociada, el formato de señales de salida y un lente. Tan sólo al mencionar el equipo

necesario para implementar un sistema de visión compleja se puede argumentar sin equivocación alguna que un sistema de registro visual de este tipo resulta ser bastante complejo y costoso, es por ello que esta investigación sugiere usar el dispositivo convertidor de luz a frecuencia TCS3200 como una alternativa para ser empleado en los sistemas robotizados industriales de forma efectiva y significativamente menos costosa.

A continuación, se explicará un proceso robotizado convencional en el que un sistema de visión simple puede acoplarse y, sin duda alguna, la aplicación de este dispositivo resulta pertinente: el paletizado.

Se puede definir la paletización como la acción de agrupar sobre una estiba una cierta cantidad de objetos que individualmente sean poco manejables, pesados y/o voluminosos. En la actualidad, los robots con tecnología de paletizado robotizado han sido desarrollados y mejorados por las más importantes empresas líderes en robótica industrial como lo son KUKA, ABB y FANUC, como una respuesta a la demanda de automatización en varios procesos que generan problemas de salud profesional ocasionados por la manipulación de carga. En países latinoamericanos, como es el caso de México, hay más de 60 robots con este sistema en las industrias del sector automotriz, construcción, estantería, logística y agroindustria [3].

La implementación del paletizado robotizado en las industrias mexicanas ha ganado aceptación; por tanto, resulta pertinente el acople de un sistema de visión económico que permita mejorar el desempeño de éste y muchos otros procesos de la industria robotizada.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar el sensor TCS3200 como dispositivo identificador de colores utilizando para su control un microcontrolador.

Objetivos Específicos

- Describir el funcionamiento del sensor TCS3200 y el principio de transducción que permite la interpretación de señales de color.
- Programar un algoritmo simple para identificar los tres colores primarios de la escala cromática RGB.
- Describir y programar un algoritmo que permita la comunicación serial entre dos microcontroladores con base en las lecturas obtenidas del sensor y la interpretación obtenida del algoritmo de reconocimiento.

MIGUEL LÓPEZ TOLEDANO pertenece a la carrera de INGENIERÍA MECATRÓNICA de la Facultad de Ingeniería y realizó el proyecto dentro del curso: ROBÓTICA 1 (Email: mick.lopezzz@gmail.com). El proyecto fue asesorado por Dra. ZIZILIA ZAMUDIO BELTRÁN.

¹(Barrientos Cruz, 1997)

III. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se mencionarán los avances más significativos y recientes en el software que permite el control de los sistemas robotizados selectivos; éste breve análisis se concentra en los avances de FANUC, que es una empresa japonesa líder en el giro de la robótica industrial y sistemas de control de calidad robotizada.

- iRVision de FANUC.

Se trata de un software anexo a un sistema de detección visual. Se ha diseñado para ser de fácil instalación, uso y de ser muy flexible, ya que es compatible con los múltiples modelos de robots serie de FANUC. Puede ejercer control selectivo de acuerdo al color. Este software permite aumentar la productividad y reducir errores de programación [4].

- Software Handling Tool Application de FANUC.

Una de las características más importantes de este software es que contiene una interfaz intuitiva que permite al usuario probar una aplicación y ejecutar la producción, aunque este usuario no tenga la capacitación necesaria ni la experiencia suficiente en el ámbito de la programación [5].

- Random Order Pallet Tool de FANUC.

FANUC América diseñó este software con el objetivo de automatizar los procesos de paletizado. Este software resulta ser un buen ejemplo para el punto de partida del proyecto, ya que se pretende demostrar que un sistema sensorial exteroceptivo (es decir, cuyo sistema sensorial está físicamente fuera del manipulador, pero está sincronizado mediante algún tipo de comunicación serial) puede resultar óptimo y económicamente viable al igual que el sistema de visión artificial integrado que proporciona la compañía en sus productos orientados a esta aplicación [6].

IV. DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO TCS3200

El circuito integrado TCS3200 es un convertidor programable de luz de color a frecuencia fabricado por Texas Advanced Optoelectronic Solutions, el cual combina fotodiodos de silicio y convertidores de corriente a frecuencia en un encapsulado CMOS. La salida que ofrece este circuito integrado es una señal cuadrada con un ciclo de trabajo del 50% y una frecuencia directamente proporcional a la intensidad de la luz.

Las entradas y las salidas digitales permiten el flujo de datos a un circuito de control lógico. También consta de una salida en estado de alta impedancia cuyo fin es compartir el flujo de datos a múltiples líneas de entrada para microcontroladores [7].

De las características del dispositivo, destacan por su importancia las siguientes: alta resolución de conversión de luz, es programable al color y a la escala total deseados, se comunica directamente con un microcontrolador, cuenta con alimentación única para operar (2.7 V a 5.5 V), su error de no linealidad es típicamente de 0.2% a 50 kHz, montaje superficial, entre otras características.

V. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Para la conversión de luz a frecuencia, el circuito integrado TCS3200 registra mediante un arreglo de 8 x 8 fotodiodos. 16 fotodiodos tienen filtros azules; 16 fotodiodos, filtros verdes; 16 fotodiodos, filtros rojos y 16 fotodiodos son claros, es decir, sin ningún filtro. Los cuatro tipos de filtros de arreglos de fotodiodos son integrados con el objetivo de minimizar el efecto de “no-uniformidad” en la incidencia de fotones (ver Figura 1). Todos los fotodiodos del mismo color están conectados en paralelo.

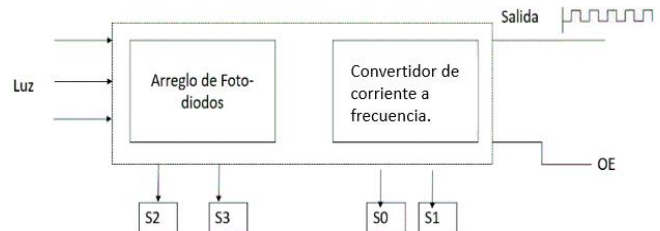


Figura 1. Diagrama de Bloques Funcional.

Antes de explicar cómo este circuito integrado fue acoplado al sistema robotizado, se considera pertinente identificar los valores selectivos y la lógica del filtrado.

Para poder identificar algún color base de la escala RGB (por sus siglas en inglés Red-Green-Blue), es importante activar los filtros anteriormente mencionados; de acuerdo con la tabla de opciones selectivas de la hoja técnica del CI TCS3200[7], en las terminales S2 y S3, se pueden activar mediante combinaciones lógicas de niveles altos y bajos los filtros verde, azul, rojo, o bien el claro (sin filtro de color); para ello, se deberán conectar estas terminales a cualquier puerto del microcontrolador configurado como salida. Otra opción selectiva por medio de niveles lógicos es el valor de escala de frecuencia (mediante las terminales S0 y S1), el cual se recomienda configurar al 100% para obtener un filtrado óptimo.

La salida del sensor es una onda cuadrada con ancho de pulso (o bien, duración de ciclo de trabajo) directamente proporcional a la intensidad del color que incide sobre los fotodiodos. Para la determinación del color, es necesario activar cada uno de los filtros y registrar cada ancho de pulso en la terminal de salida del sensor; cada uno de los tiempos registrados se compara resultando el color del objeto detectado el color del filtro en el que se obtuvo un ancho de pulso mayor. A partir de esta explicación, se determina que la terminal de salida del CI TCS3200 se debe conectar a algún puerto con módulo CCP (capture, compare, PWM) de un microcontrolador; ya que es la forma más sencilla de añadir una interrupción en el programa para medir el ancho de los pulsos del tren de pulsos proporcionado en la terminal de salida del CI.

Una forma sencilla de obtener el tiempo de medio ciclo de trabajo del tren de pulsos cuadrados es por medio de una interrupción externa con un módulo Arduino que nos permite insertar la instrucción: “pulseIn”. El sensor convierte la luz captada a pulsos de luz RGB; mediante la combinación de los colores primarios se obtienen los colores verde, naranja y violeta, los cuales permiten obtener un amplio rango cromático.

Para lograr la obtención de todas las tonalidades de color del círculo cromático es necesario realizar la conversión de TSL (tono, saturación, luminancia) a RGB según los cálculos del modelo de color [8]. En la Figura 2 se observan las diferentes tonalidades de color que se obtienen a lo largo de los 360 grados del círculo cromático.

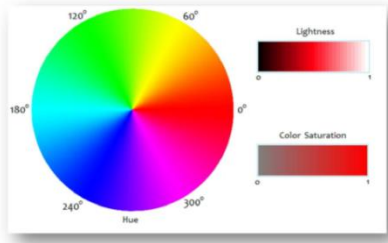


Figura 2. Círculo cromático.

VI. APLICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Como primer punto, se deben procurar condiciones propicias para la operación del sensor; para ello es pertinente adaptar un módulo para que el circuito integrado pueda llevar a cabo el registro de colores como el que se muestra en la Figura 3.

El módulo puede adaptarse con salidas a pines para cualquier dispositivo de control, en este caso es necesario que tenga pines de salida para Arduino. Afortunadamente, este módulo es comercialmente existente y se encuentra como módulo GY-31, con un costo de \$7 USD [9].

Una vez que se tiene un módulo adaptado para empezar la operación, se tienen que llevar a cabo las conexiones pertinentes y probar el reconocimiento instantáneo de colores mediante el Algoritmo 1.



Figura 3. Módulo de reconocimiento de colores GY-31 con circuito integrado TCS3200.

Como se puede leer en el Algoritmo 1, diseñado para la interfaz Arduino, el filtrado de color se lleva a cabo con un simple accionamiento de combinaciones lógicas para la activación de los tres filtros (arreglos de fotodiodos). Como lo muestra la Figura 7, la terminal a la salida del módulo está conectada a un puerto CCP del microcontrolador ATMEGA328² lo cual permite detectar cuando se encuentre un nivel alto o bajo en el tren de pulsos a la salida del módulo y, de esta forma, capturar el tiempo transcurrido hasta que se dé un cambio en el nivel del pulso. Los valores de ancho de pulso se almacenan en las variables globales que corresponden a los tres colores básicos de la escala RGB.

Es interesante observar cómo del Algoritmo 1 en conjunto con el diagrama de flujo de la Figura 4, se obtienen respuestas satisfactorias; sin embargo, de nada sirve tener un registro de una magnitud física sin comunicar a un sistema activo. Por

ello, se propuso establecer una comunicación entre dos placas Arduino Uno, una para tener un elemento transmisor (de la información obtenida del módulo GY-31) y otra que funciona como receptor que llevará a cabo una acción (manipulador articulado que toma la decisión con base en el color).

Algoritmo 1. Filtrado de colores, lectura y registro de ancho de pulsos.

```

real rojo azul verde
nada funcion_filtrado_color ()
inicio
s2 <- 0
s3 <- 0
leer out
si (out==0)
  inicio
    rojo <- tiempo desde out =1 hasta out=0
  fin
sino
  inicio
    rojo <- tiempo desde out=0 hasta out=1
  fin
s3 <- 1
leer out
si (out==0)
  inicio
    azul <- tiempo desde out =1 hasta out=0
  fin
sino
  inicio
    azul <- tiempo desde out=0 hasta out=1
  fin
s2 <- 1
leer out
si (out==0)
  inicio
    verde <- tiempo desde out =1 hasta out=0
  fin
sino
  inicio
    verde <- tiempo desde out=0 hasta out=1
  fin
fin
  
```

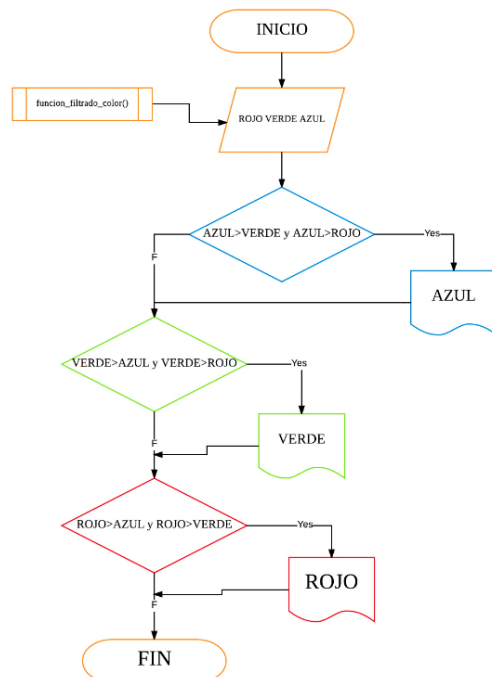


Figura 4. Diagrama de flujo para determinación de color.

²El microcontrolador ATMEGA328 es el microcontrolador empleado en las placas Arduino UNO.

A partir de la investigación y de constantes pruebas de ensayo y error, se decidió implementar una librería prediseñada para la transferencia serial de estructuras; ésta

librería, mediante simples funciones miembro de envío y recepción de datos, permitirá establecer una comunicación serial entre ambas placas de Arduino Uno [10]. El Algoritmo 2 muestra cómo se envía la información sobre el color. Las variables rojo, azul y verde contienen el tamaño del ancho de pulso, mientras que las variables booleanas *red*, *green* y *blue* son variables a las que se les asigna un 1 lógico, en caso de ser el color obtenido por el módulo, y en las demás, se asigna un valor de 0 lógico cuando no es el color obtenido por la función selectiva de color, mostrada en el diagrama de flujo de la Figura 4.

```

Algoritmo 2. Establecer valores numéricos de tipo enteros a cada color detectado para enviar dicha información a un sistema de accionamiento; para ello se invoca la librería Easy Transfer que permite la comunicación serial.
real rojo azul verde
bool red green blue
registro serialcom
inicio
    entero posicion
fin
serialcom color_data
nada envio_datos(bool red bool green bool blue)
inicio
    funcion_filtrado_color ()
    si (red)
        color_data.posicion <- 1
    si (green)
        color_data.posicion <- 2
    si (blue)
        color_data.posicion <- 3
    EasyTransfer.ENVIA(serialcom)
fin
    
```

Para la recepción de datos no basta con solamente desplegar en pantalla los resultados; sino, también, probar con la respuesta de un sistema mecánico. Por ello, se implementó en el receptor un algoritmo de prueba que al momento de recibir una señal active un servomotor y lleve a cabo alguna acción, tal como se muestra en el Cuadro 1.

CUADRO I
PRUEBA DE RECEPCIÓN DE DATOS ACOPLADA A UN DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO ANTES DE SER ACOPLADO A MANIPULADOR.

Color		Acción de Servomotor.
Azul	Mantener posición neutral.	
Verde	Giro de 90° a la izquierda.	
Rojo	Giro de 90° a la derecha.	

A continuación, se muestra en la Figura 5 el diagrama de bloques del Arduino que funciona como receptor. El proceso descrito en el diagrama de flujo permite la recepción de datos y, de igual forma, funciona con base en la librería *EasyTransfer.h*. En este diagrama de flujo, la entrada de datos proviene del registro *serialcom* recibido por el dispositivo emisor cuya programación se describe en el Algoritmo 2; es importante que en el dispositivo receptor se declare la estructura con los mismos tipos de variables locales y los mismos nombres; para la conexión física entre el Arduino

emisor y el Arduino receptor es importante conectar ambas terminales de tierra entre ellas.

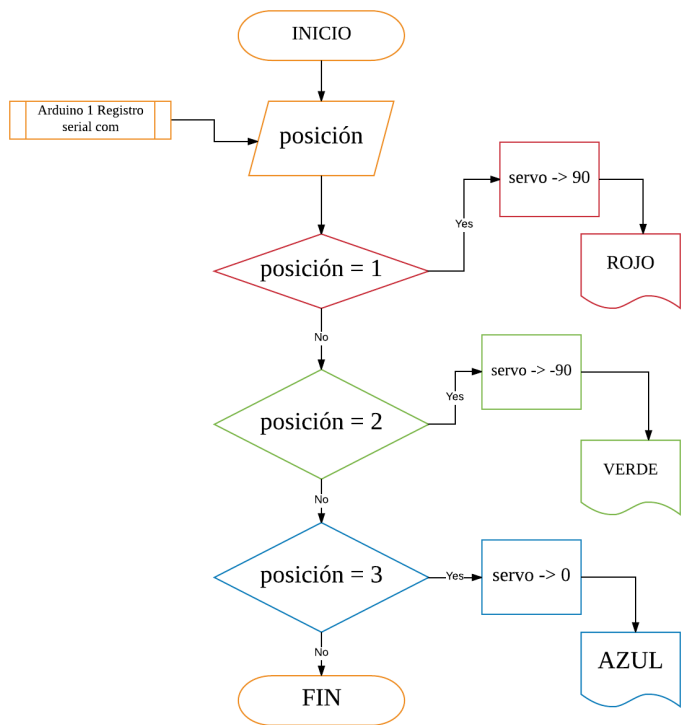


Figura 5. Diagrama de flujo para recepción de datos de color y accionamiento experimental de un servomotor.

Una vez que se han llevado a cabo estas pruebas, se puede acoplar el dispositivo a un sistema robotizado que, aplicado a la industria, puede ser un proceso de paletizado.

VII. DIAGRAMA DE CONEXIONES

El módulo de reconocimiento de colores GY-31 está configurado como se visualiza en el esquemático de la Figura 6; nótese que la configuración es simple, ya que sólo consta de un transistor BJT con una conexión de emisor a base con una resistencia de 10 kΩ, un conjunto de resistencias que permiten la polarización de luces LED blancas de alta intensidad para generar luz y una mejor detección de colores; asimismo, se puede observar que hay un capacitor que permite limpiar el ruido generado por el voltaje de alimentación V_{DD}.

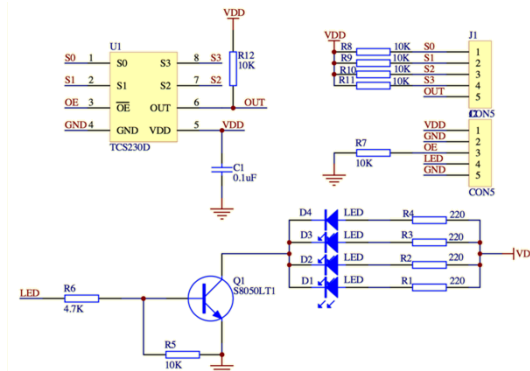


Figura 6. Esquemático del módulo GY-31 con el circuito integrado TCS 3200.

Otra característica importante, son las resistencias de seguridad de 10 kΩ en las entradas ajustables, así como entre la salida y V_{DD}, que impide las corrientes parásitas en la lectura. En la Figura 7, se muestra el diagrama de conexiones para el módulo de sensor de color en comunicación con el Arduino, el cual se necesitará para el primer y segundo algoritmo. En la Figura 8 se presentan las conexiones para la comunicación serial entre el transmisor (que deberá contemplar el sensor y todas las conexiones de la Figura 7) y el receptor que acopla un servomotor para poder llevar a cabo la acción de control del algoritmo.

Esta conexión se debe considerar para el Algoritmo 2 y el diagrama de flujo de la Figura 5 tal como se explicó anteriormente, ya que se requiere comunicación serial entre ambas placas.

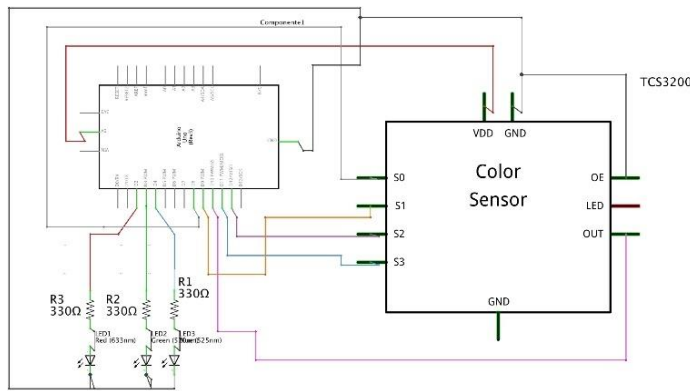


Figura 7. Diagrama de conexiones para filtrado.

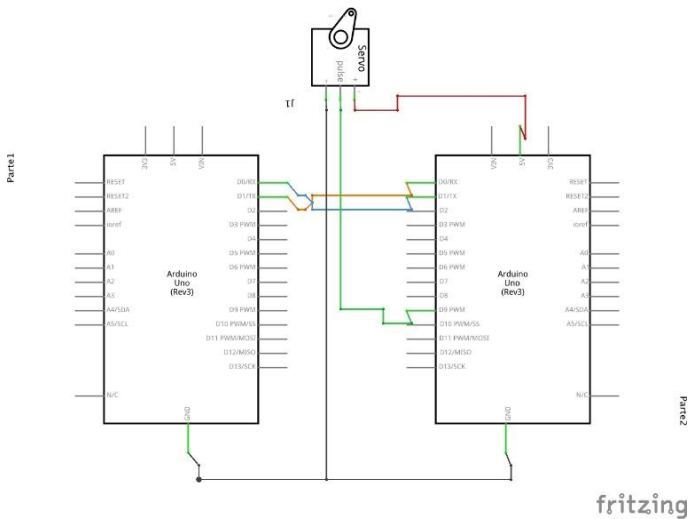
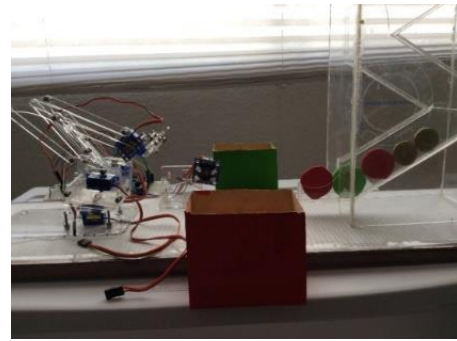


Figura 8. Diagrama de conexiones para la comunicación serial.

VIII. ACOPLE EN SISTEMA ROBOTIZADO

Una vez que el sistema de reconocimiento de color está enlazado con un sistema de recepción de datos, es más sencillo acoplarlo a un sistema robotizado que tenga una aplicación industrial. Para fines prácticos y para demostrar la aplicación del circuito integrado TCS3200, se construyó un modelo a escala de un brazo industrial antropomórfico que



colocará piezas de color aleatorias (verde o rojo) y las colocará en su contenedor respectivo, ver Figuras 9 y 10.

Figura 9. Modelo a escala de un proceso de paletizado robotizado.

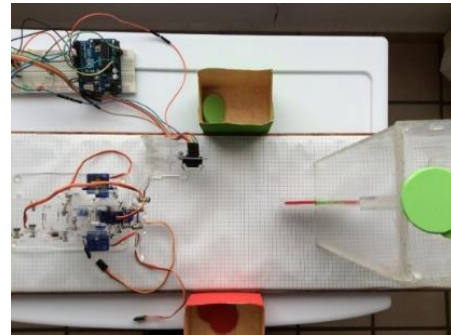


Figura 10. Vista superior del sistema de reconocimiento de color con robot antropomórfico industrial a escala.

IX. RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de la puesta en marcha de los algoritmos y el módulo de sensor de color en operación.

La Figura 11 muestra como ocurre la conversión de color a frecuencia. La punta del osciloscopio se sitúa a la salida del TCS3200 desplegando un tren de pulsos cuadrados con una mínima cantidad de ruido cuando en el arreglo de fotodiodos está incidiendo la luz roja. Mientras que en la Figura 12, se muestra cómo el primer algoritmo proporciona como señal el encendido de una luz roja cuando se detecta el color rojo en el módulo GY – 31.

Posteriormente, la comunicación serial de las lecturas obtenidas con el circuito integrado TCS3200 y la placa Arduino Uno que manipula un servomotor *turnigytower pro sg90* de 5 volts de alimentación (suficiente alimentación provista por una fuente de energía pequeña como la de una computadora) fue exitosa.

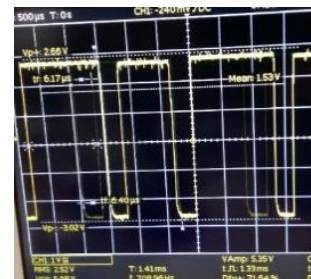


Figura 11. Repuesta: tren de pulsos cuadrados.

Finalmente, en la Figura13 se presenta la respuesta de la conexión de la Figura 7 en conjunto con la conexión de la Figura 8, esto cuando se implementan los algoritmos de envío y recepción de la señal. La Tabla 2, indica ventajas y desventajas en la aplicación del módulo de detección de color.

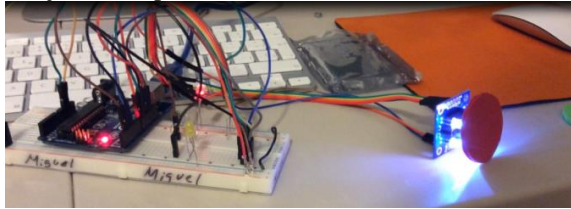


Figura 12. Respuesta física del primer algoritmo.

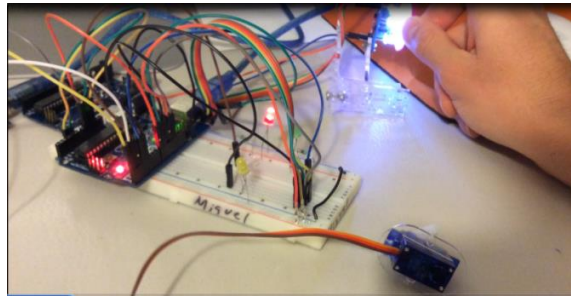


Figura 13. Respuesta de la conexión (Fig. 7 y 8).

CUADRO I
Ventajas y desventajas del CI TCS3200.

Ventajas.	Desventajas.
Facilidad de mantenimiento correctivo a nivel de software y de hardware cuando es montado en un módulo como el GY-31.	Requiere iluminación blanca proporcionada por leds de alta intensidad para tener una identificación más precisa de color.
Lectura de color obtenida en 3.3 milisegundos con acondicionamiento de señal simple.	2% de error en la medición bajo condiciones de rayos UV.
A diferencia de otros sensores de aplicación industrial como los sensores inductivos o capacitivos, este CI no depende del material ni de su contacto con el objeto en cuestión para detectar. Siendo 37 mm la distancia máxima para el reconocimiento de color.	Para la detección correcta del color, la superficie que se va a aproximar al sensor deberá ser igual o mayor a 28 mm ² (tamaño del arreglo de fotodiodos).

Conclusiones

En éste trabajo se logró implementar el sensor TCS3200 como dispositivo identificador de colores utilizando para su control un microcontrolador. Además, a partir de las múltiples pruebas y, sobre todo, del acople al sistema robotizado de paletizado a escala, se pueden obtener múltiples conclusiones:

- Un sistema de visión simple puede ser la mejor solución para sistemas automatizados que requieran una sencilla forma de distinción entre objetos manipulados; por otra parte, un sistema de visión complejo posee tecnología madura y disponible; sin embargo, es costoso y sobrado

para un proceso automatizado que requiere reconocimiento simple.

- Las adaptaciones pertinentes pueden llevarse a cabo con componentes estandarizados, por lo tanto, no hay dificultad en su aplicación en cualquier otro mercado o región.
- El reconocimiento de color por medio de control de niveles lógicos altos y bajos en un algoritmo es una actividad relativamente sencilla en comparación con un acople de elementos discretos analógicos; por lo tanto, es una propuesta reducida en tiempo de aplicación y en cuanto a los ajustes necesarios para encontrar el filtrado de color deseado.
- En caso de un error en sistemas robotizados de grandes líneas de producción que no requieren estricto sistema de visión compleja, el circuito integrado TCS3200 puede fungir como un sistema auxiliar capaz de continuar con el proceso sin detener una línea de producción y provocar grandes pérdidas económicas.

X. TRABAJO FUTURO

Este trabajo de investigación permite nuevas posibilidades de aplicación en el ámbito de la industria robotizada. A continuación, se enlistan algunos de ellos:

- Un robot manipulador antropomórfico con un elemento terminal adaptado como módulo de recepción de color (que incluye el TCS3200) que funcione como un robot de reconocimiento, cuya única tarea sea analizar que un proceso de pintura (automotriz, por ejemplo) se haya realizado de manera correcta; esto no sólo mejora el desempeño del proceso, sino también mejora la calidad del producto terminal.
- Desarrollar un algoritmo de filtrado de color basado en lógica difusa que permita reconocer mayor variedad de colores y tonalidades de manera óptima sin comprometer el tiempo de respuesta.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Doctora Zizilia Zamudio Beltrán por la asesoría recibida, los consejos y las revisiones; pero, sobre todo, se agradecen los conocimientos compartidos que permiten el aprendizaje de la robótica y, con ello, el entusiasmo para desarrollar excelentes proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Barrientos Cruz, A. (Ed.). (1997). Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España. Morfología del robot. Páginas 37-46.
- [2] Saha, S. K. (2010). Introducción a la robótica. México [etc: McGraw Hill. Retrieved from <http://site.ebrary.com/id/10515179>. Sensores, sistemas de visión páginas 72 a 75.
- [3] JH Robotics, "Packing and Palletizing". Extraído el día 2 de octubre de 2015 desde <http://www.jhrobotics.com/pdfs/Packaging%20and%20Palletizing.pdf>
- [4] Fanuc America, FANUC iRVision Customer-Data. Extraído el 2 de noviembre de 2015 desde <http://www.fanuc.eu/es/en/robots/accessories/vision>
- [5] Fanuc America. FANUC Software Handling Tool Application Customer Electronic Brochure. Extraído el día 2 de noviembre de 2015 desde <http://robot.fanucamerica.com/products/vision-software/robot-controller-software.aspx>
- [6] Fanuc America. FANUC Random Order Pallet Tool Customer Electronic Brochure. Extraído el 2 de noviembre de 2015 desde http://robot.fanucamerica.com/robotics-articles/warehouse_and_distribution_solutions.aspx
- [7] Texas Advanced Optoelectronic Solutions @ TCS3200 Datasheet. Extraído el 2 de noviembre de 2015 desde <http://www.mouser.com/catalog/specsheets/TCS3200-E11.pdf>
- [8] Arnaez Braschi, E. L. (2006). Enfoque práctico de la teoría de robots: con aplicaciones de Matlab. Retrieved from

<http://site.ebrary.com/lib/bibliotecaupsasp/Doc?id=11127145>. Planificación de trayectorias, pags 45-50.

- [9] Hoja técnica del módulo GY-31 con sensor TC3200 integrado. Disponible en: <http://www.oomipood.ee/kasutusjuhend/color-sensor-module.pdf>
- [10] Reyes Cortés, F., & Cid Monjaraz, J. (2015). Arduino: aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías. México: Alfaomega. Librerías para Comunicación Serial, Paginas 341 a 345. Servos, páginas 191 a 215.