

## Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad

PADILLA-MAGAÑA, J\*†, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P.

Recibido Julio18, 2016; Aceptado Septiembre 23, 2016

### Resumen

La selección de productos en la industria regional es una de las principales actividades económicas, en la mayor parte de las mismas se realiza de forma manual por lo que el operador realiza tareas repetitivas creando fatiga de los trabajadores dentro de las líneas de producción lo cual resulta en todo un reto para mantener el desempeño y asegurar la calidad del producto. La Automatización de tareas dentro de la industria ayuda a mejorar la eficiencia y eficacia de un sistema de manufactura. Actualmente existen distintas máquinas automáticas de Sistemas de visión, uno de los problemas identificados es el de su alto costo, por lo tanto, no son muy accesibles para las PYMES de la región, es por eso que el diseño y control automático de la maquina propuesta trata de optimizar el proceso de selección. El control automatizado propuesto consiste en cuatro partes principales: Banda transportadora, Sensor de visión de color PixyCam CMUCAM5, Controlador y un actuador. Las salidas y entradas son procesadas por un Arduino Mega y un servomotor que realiza el proceso de clasificación. El objetivo de este proyecto es brindar máquinas de selección por medio de sensores de color para el aseguramiento de la calidad, de un costo accesible para los pequeños productores de la región.

**Arduino Mega, PixyCam CMUCAM5 sensor de color, Selección por color, Control Automático**

### Abstract

The sort of products in the regional industries is one of the main economic activities, in most of them the sort is made in a manual way. For this reason, the operator does the same activities repetitively creating fatigue inside the line of production, which turns into a challenge to keep the performance and assure the quality of the product. The automation of activities inside of the industry helps to improve the efficiency and efficacy in a manufacturing system. Nowadays there are a lot of different automatic machines with Vision Systems, one of the issues identified is the high expense, therefore, they're not quite easy to afford for the PYMES of the region, that's why the design and automatic control of the machine tries to optimize the sort process. The automatic control proposed consists in four main parts: conveyor, color vision sensor pixyCam CMUCAM5, Controller and actuator. The outputs and inputs are processed by an Arduino mega and a servomotor which makes the process of classification. The objective of this project is to give quality sorting machines, through color sensors to assure the quality, of an easy-to-afford price for the small producers of the region.

**Arduino Mega, PixyCam CMUCAM5 color sensor, color sorting, Automatic Control**

**Citación:** PADILLA-MAGAÑA, J, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P. Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 35-44

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: fernando.padilla.upu@outlook.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción.

Dado el entorno actual de cambio permanente y mercados cada vez más abiertos y exigentes, en el cual las empresas deben desarrollar su actividad productiva ajustando y adaptando constantemente sus estrategias y decisiones, han surgido nuevas tecnologías y técnicas que pretenden enfocar su aplicación a la satisfacción total del cliente. Entre las filosofías, enfoques y herramientas que se han desarrollado para fortalecer el desempeño organizacional y orientar la gestión hacia el cliente se destacan el Control Total de Calidad, Manufactura Flexible, Logística Integral, Teoría de Restricciones, Benchmarking, Reingeniería e Ingeniería Concurrente, entre otras. El objetivo final es buscar la diferenciación de los productos en cuanto a precios bajos, excelente calidad, tiempo mínimo de respuesta y manejo eficiente y estratégico de los clientes, para lo cual todos los enfoques y herramientas anteriores hacen su aporte[1].

En el estado de Michoacán la agricultura sigue siendo uno de los rubros productivos de mayor importancia en el sostenimiento del desarrollo económico estatal. El suelo agrícola ocupa el tercer lugar de la superficie total del estado con el 20.9 %, le aventajan las actividades forestal y pecuaria con el 28.8% y el 43.2% respectivamente[9].

Uno de los procesos de mayor importancia posterior a la recolección agrícola es el de la clasificación de los productos provenientes del campo, esta tarea sobretodo en pequeñas y medianas industrias suele ser realizada por operadores los cuales realizan la selección de el producto por sus atributos físicos, siendo una tarea exigente ya que al ser repetitiva a lo largo del tiempo suele observarse una fatiga de los mismos, y en consecuencia derivando en errores que pueden poner el riesgo el aseguramiento de la calidad del producto por lo tanto la posible exportación de este y pérdidas económicas para la industria.

En los últimos años la creciente exigencia de consumo de productos de calidad, junto a factores económicos, ha inducido a las empresas del sector agroindustrial a introducir innovaciones tecnológicas en sus instalaciones, por lo tanto, las máquinas seleccionadoras automáticas han tenido una gran demanda dentro de la Agroindustria[2].

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. Los sistemas de visión permiten inspeccionar el proceso de producción sin fatigas ni distracciones, facilitando la cuantificación de las variables de calidad traduciéndose en un mejoramiento continuo[3].

En el pasado, el usuario típico de un sistema de visión era un experto en la materia. Tanto los sistemas de visión como sus aplicaciones estaban orientadas a un perfil muy técnico y con amplios conocimientos tanto en el hardware específico como en el proceso a controlar. Actualmente existen productos de visión que se pueden poner en funcionamiento por usuarios no expertos con una cierta formación respecto al producto. Los interfaces gráficos y la simplicidad en las cámaras han orientado la visión a este tipo de procesos a controlar[4].

Actualmente existen distintas máquinas seleccionadoras automáticas mediante un sistema de visión que realiza la tarea de selección mediante técnicas de procesamiento de imagen. Sin embargo, hasta la fecha solamente unas pocas empresas en la región cuentan con este tipo de máquinas seleccionadoras ya que no tienen un precio accesible.

Es por lo tanto que se tiene el objetivo del desarrollo de un prototipo que mediante un sensor de visión (PixyCam CMUCAM5) realice la clasificación de productos agrícolas por color para lograr el aseguramiento de la calidad del producto para su exportación. Para su posterior desarrollo industrial teniendo como ventaja principal un costo accesible para los pequeños productores de la región.

### Descripción del Prototipo.

#### Vision artificial mediante Pixy CMUCAM5

Se decidió la utilización de este pequeño sensor de imagen ya que la relación de prestaciones-costos son demasiado buenas. A continuación, se detallan las características del equipo.

El Pixy CMUCam 5 es un sensor de imagen con un potente procesador que se puede programar para enviar sólo la información que se está buscando con el fin que el microcontrolador no se sienta abrumado por una gran cantidad de datos. El Pixy CMUCam también exporta su información en una variedad de maneras útiles - serie UART, SPI, I2C, digital, o analógicas a cabo - por lo que su microcontrolador puede comunicarse fácilmente sin dejar de hacer otras tareas[6].

El Pixy CMUCam5 también utiliza el tono y la saturación como su principal medio de detección de imágenes, en lugar de RGB normal. Esto significa que la iluminación o la exposición no afectarán a la detección de la Pixy CMUCam de un elemento, que es un problema frustrante con muchos sensores de imagen.

También puede recordar siete firmas de color diferentes, encontrar cientos de objetos a la vez, y es súper rápido - procesamiento a 50 cuadros por segundo.

Por último, el Pixy CMUCam también es enseñable así que usted puede configurarlo para que sólo le envíe las imágenes que usted ha dicho específicamente que se debe buscar. Es fácil y rápido y tiene una aplicación de código abierto llamado PixyMon.

Cada Pixy CMUCam5 sensor viene con un cable de 6 pines a 10 pines IDC y lengüetas de montaje y tornillos[5].

#### Especificaciones:

-Dimensiones (sin cable IDC, sin tornillos): 50 mm x 54 mm x 2 mm / 2 "x 2.1" x 0.08 "

-Altura de la cámara: 25 mm / 1 "

-Enfrente dos orificios de los tornillos: 19mm aparte / 0.75 "

-Atras dos orificios de los tornillos: 47mm aparte / 1.85 "

-Peso (sin cable de IDC, sin tornillos): 25,5 g

El software que maneja este sensor se llama PixyMon cuenta con diferentes menús y configuraciones que ayudan a minimizar el ruido generado en el ambiente donde opera, ajustando parámetros como iluminación, colores, escalas de grises, áreas de detección y muchos otros [7].

PixyMon es la herramienta de configuración para Pixy, con PixyMon se puede:

- Enseñar los objetos a detectar.
- Cambiar brillo contraste y otros parámetros de la imagen.
- Configurar el número máximo de objetos totales y del mismo tipo a detectar.

- Cambiar el tipo de interfaz de salida.

Se realizaron las pruebas correspondientes del funcionamiento de la banda seleccionadora propuesta a través de la selección de limones, la lectura que realizó la Pixy CMUCam5 se determinó por el color del fruto, en base a un muestreo se determinaron los tres colores principales: Amarillo, Verde claro, Verde fuerte.



**Figura 1** Frutos a Seleccionar.

#### Configuración:

Se realizó la grabación de los objetos a detectar y se configuró el brillo de la cámara para que la captura fuera óptima, esto con el fin de evitar en la medida de lo posible las falsas detecciones, y finalmente se cambió la interfaz de salida I2C, debido a que la salida SPI interfería en la comunicación entre el PC y el Arduino.

La Pixy CMUCam5 nos otorga la posibilidad de memorizar hasta siete diferentes colores, por lo que se determinó que fueran memorizados solo tres, para su posterior procesamiento, quedando en el siguiente orden.

1. Amarillo.

2. Verde Claro.

3. Verde Oscuro.

#### Controlador Arduino Mega

El procesamiento de las señales adquiridas por la Pixy CMUCam5 se realizó a través de un Arduino Mega, para después de procesarlas realizar la selección del lugar adecuado, las prestaciones del Arduino Mega son las siguientes:

Microcontrolador: ATmega2560

Voltaje Operativo: 5V

Voltaje de Entrada: 7-12V

Voltaje de Entrada(límites): 6-20V

Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)

Pines analógicos de entrada: 16

Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA

Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

Clock Speed: 16 MHz

La comunicación de la cámara I2C con el Arduino se realizó mediante las siguientes conexiones[8]

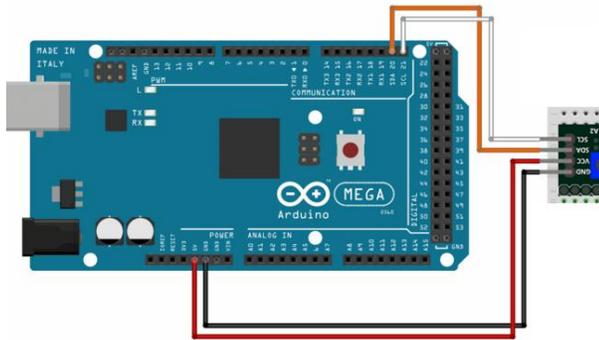


Figura 2 Diagrama de conexión I2C.

A continuación, se muestra parte del código escrito para la realización de la interfaz entre la Pixy CMUCam5 y el Arduino Mega utilizando la comunicación I2C.

```
#include <Wire.h> // Utilización del I2C de Arduino.
#include <PixyI2C.h> // Comunicación con la cámara.

PixyI2C pixy;
// PixyI2C pixy(0x55); // You can set the I2C address through PixyI2C object

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inicializar comunicación serie
  Serial.print("Starting...\n");

  pixy.init(); //inicializar la cámara
}
<
```

Figura 3 Programa Interfaz I2C.

El siguiente bloque del programa sirve para la lectura de las señales de la cámara, cada objeto reconocido es salvado en un arreglo de bloques. La función *pixy.blocks[j].print()* nos permite acceder a toda la información. Por lo que podremos saber las dimensiones x, y, ancho, alto, largo y el color. El último atributo contiene el número del objeto identificado, dependiendo del orden en el que el objeto fue memorizado.

Por lo que se analizan en el algoritmo los primeros tres objetos memorizados.

```
File Edit Sketch Tools Help
Upload
i2c
void loop()
{
  static int i = 0;
  int j;
  uint16_t blocks;
  char buf[32];

  blocks = pixy.getBlocks();

  if (blocks)
  {
    i++;

    // do this (print) every 50 frames because printing every
    // frame would bog down the Arduino
    if (i%50==0)
    {
      sprintf(buf, "Detected %d:\n", blocks);
      Serial.print(buf);
      for (j=0; j<blocks; j++)
      {
        sprintf(buf, " block %d: ", j);
        Serial.print(buf);
        pixy.blocks[j].print();
      }
    }
  }
}
```

Figura 4 Programa para Guardar Variables.

## Servomotores

Los actuadores encargados de realizar la separación del producto en distintas posiciones son un par de servomotores, que en conjunto a un par de paletas mecánicas, nos darán la posibilidad de separar los frutos dependiendo del color.

Los servos son también motores de corriente continua, pero en lugar de diseñarse para obtener un giro continuo que podamos aprovechar (para mover una rueda, por ejemplo), se diseñan para que se muevan un ángulo fijo en respuesta a una señal de control, y se mantengan fijos en esa posición.

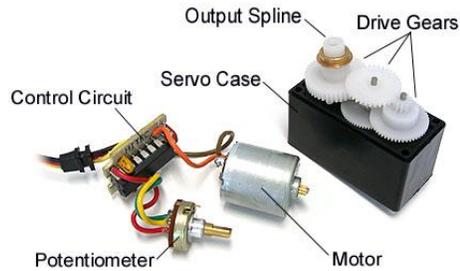


Figura 5 Partes del Servomotor.

Estos pequeños servos funcionan con 5V y el control se realiza mediante una señal de control PWM, en la que el ancho del pulso indica el ángulo que deseamos adoptar el eje.

Un servo tiene un conector de 3 hilos, 5V (rojo), GND (negro o marrón) y el otro Control (amarillo o blanco).

Estos servomotores están conectados a las salidas PWM del Arduino Mega por lo que dependiendo del color detectado mediante la cámara y almacenado en una variable del programa, se accionaran dependiendo del caso necesario[8].

### Diseño mecánico del prototipo

El diseño completo del prototipo se realizó en SolidWorks en 2D con licencia estudiantil y se exportaron a un formato .DXF que reconoce el programa RDWords, un software especializado para maquinar objetos 2D en un CNC laser que se utilizó para una mayor precisión en el corte de las placas.

Las piezas que conforman el diseño son las siguientes:

**Perfil:** Esta consta de una sección donde irán los rodillos, orificios para colocar dos pies con tornillos de 3/16 y un tercer pie con tornillo de 1/4, esto con el fin de que los ensambles sean más exactos.



Figura 6 Perfil.

**Tres pies:** La banda tendrá 25 cm de alta así que después del perfil los pies suben 5 cm y en la parte de arriba lleva ensambles para mantener el espacio que necesita la banda.

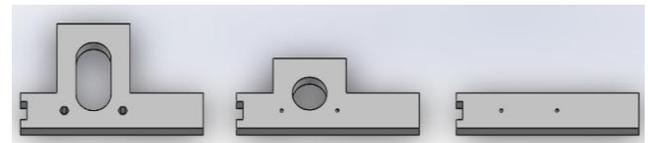


Figura 7 Tres Pies.

**Poleas:** Estas poleas son para transmitir directamente el giro del motor a la banda. Dos de ellas van al eje del motor y una al rodillo de la banda.

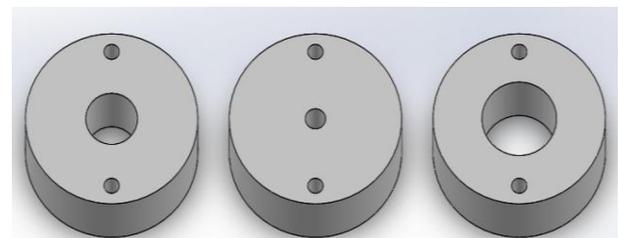


Figura 8 Poleas

**Ensamble de arriba para paleta y servomotor:** Esta se le coloca en la parte de arriba de los pies, aquí se ensambla el servomotor y un extremo de la bisagra que va a la paleta, con un tornillo de 3/16 por 3/4.

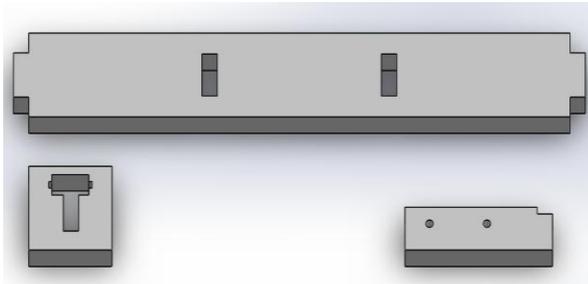


Figura 9 Ensamble para Paleta y Servomotores.

**Paleta:** Esta se maquina en MDF de 3 mm de espesor, se le colocaron orificios para broches y mediante un sujetador se asegura al servomotor, y con tornillos de 3/16 por 1/2 se asegura al otro extremo de la bisagra.



Figura 10 Paleta.

**Ajuste de motor:** Se utiliza para asegurar que motor de CA no se mueva de su posición al momento de funcionar en conjunto con la banda.

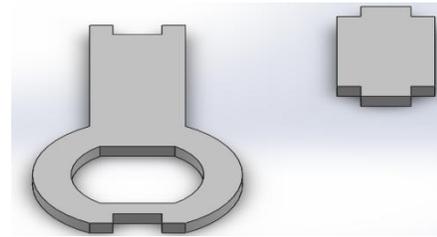


Figura 11 Ajuste de Motor.

**Ajuste de rodillo con cojinete:** Para poder tensar la banda se diseñaron un conjunto de piezas que tuviera la función de una chumacera con movimiento en un solo eje la cual es empujada por una varilla roscada de 1/4.

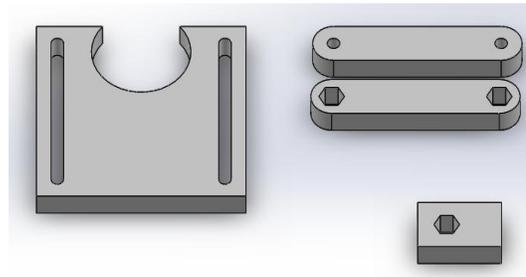


Figura 12 Ajuste de rodillo con cojinete.

En la Fig. 13 se muestra el prototipo final ensamblado.



Figura 13 Prototipo final ensamblado.

## Resultados

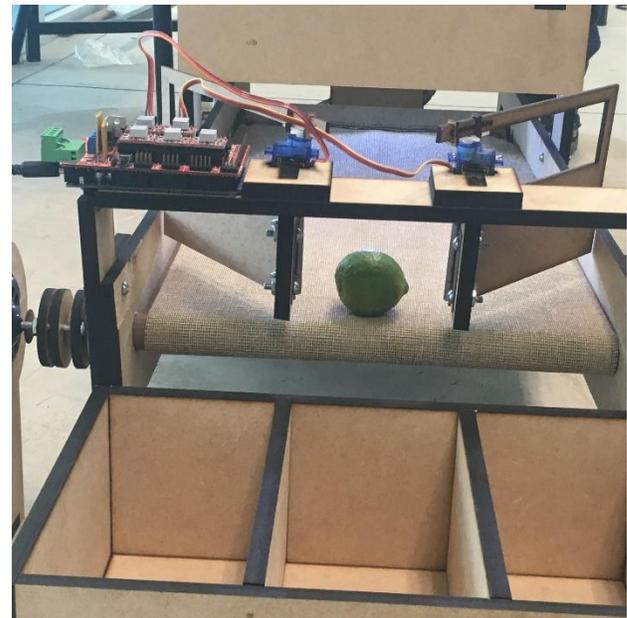
Para que la maquina seleccionadora empezara a funcionar, se ajusto la velocidad de el motor para que la banda tuviera un movimiento lineal uniforme. Mediante una lámpara de leds, se acondiciono la luz incidente en las frutas para obtener una correcta toma de lectura de colores de la PixyCam. Como se muestra en la Fig. 14



**Figura 14** Prototipo funcionando con limones con distintos estados de madurez.

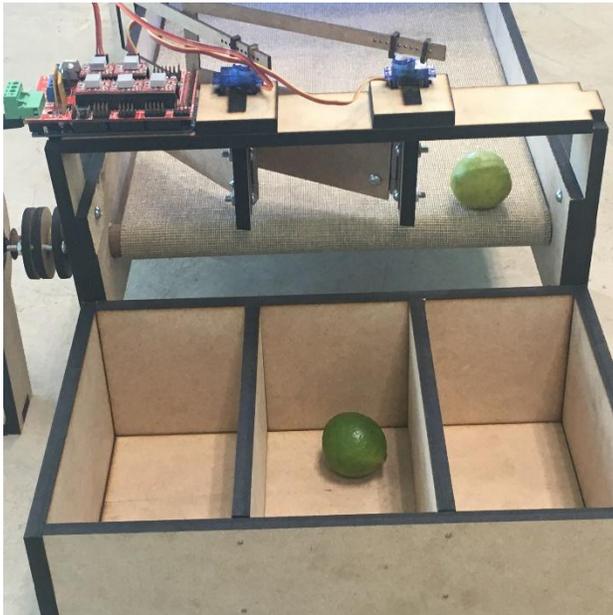
Estos son los tres posibles casos de selección que están marcados como camino “a”, camino “b” y camino “c” para activar cada uno de ellos es con un valor booleano. La condición es una compuerta “and” de tres entradas que al cumplirse, los servos giran de modo que la fruta tenga un solo camino dependiendo del color establecido para ella. La fruta se direcciona por una rampa con separadores y cae en un contenedor con tres espacios. Por ejemplo, una selección valida, para el limón, seria establecer que el camino “a” sea para los verdes claros, el camino “b” para los verdes fuertes y el camino “c” para los amarillos.

En la pixy cam debe ser grabados estos colores para que al detectar un color de los establecidos en el ejemplo, pueda enviar al controlador los parámetros adecuados y esté, pueda enviar las señales de control a los servomotores para la correcta separación de los frutos.

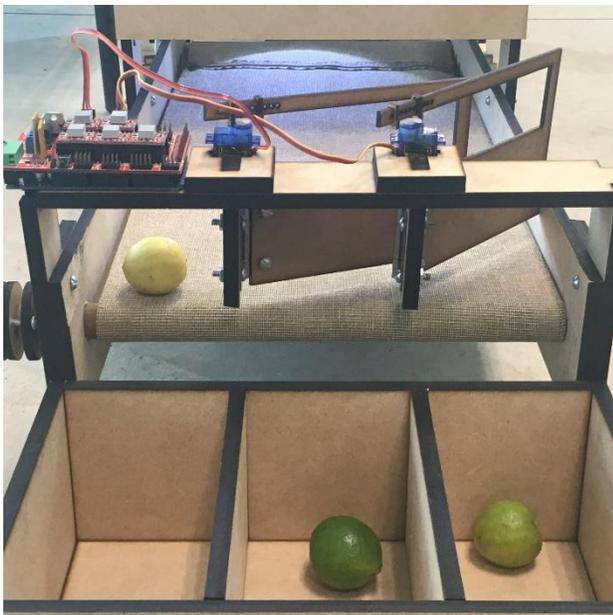


**Figura 15** Selección de un limón de color verde oscuro

En las Fig. 15, Fig. 16 y Fig. 17, se muestra la operación de la maquina seleccionadora con los parametros planteados en el ejemplo.



**Figura 16.** Selección de un limón de color verde claro  
Fuente: Laboratorio de Manufactura UPOLU



**Figura 17** Selección de un limón de color amarillo.

## Conclusiones

El proceso de clasificación de frutas usando la máquina diseñada es más eficiente que la clasificación mediante la vista y el tacto.

El diseño de la máquina, fue calculado con las normas existentes para garantizar que la selección de los materiales fueran adecuados para este tipo de procesos, así como también asegurar una alta eficiencia de las máquinas. El acabado de la máquina es muy preciso debido a la utilización de un equipo de corte CNC laser.

Se logró que el prototipo tuviera un enfoque multidisciplinario, involucrando a clientes y proveedores como participantes directos en el desarrollo del producto, con lo cual se lograron mejores resultados en el prototipo final.

Mediante el empleo de modelos estadísticos multivariantes es posible identificar qué tipo de parámetros requiere la maquina, por lo que se pueden adaptar automáticamente los parámetros de configuración para detectar cualquier defecto relacionado con el color.

Para mejorar el proceso de selección, seguiremos innovando en esta línea, incluyendo nuevos algoritmos para la selección de frutas, así como también la inclusión de sistemas de control difuso para lograr la selección de productos con calidad de exportación.

## Referencias

- [1] Carmen R. Berdugo Correa, Carmenza Luna Amaya. (2002). *QFD y logística integral: La voz del cliente es el primer eslabón de la cadena*. Ingeniería & Desarrollo, 11, 99-106.
- [2] Kunhimohammed C. K, Muhammed Saifudeen K. K, Sahna S, Gokul M. S and Shaez Usman Abdulla, *Automatic Color Sorting Machine Using TCS230 Color Sensor And PIC Microcontroller*. International Journal of Research and Innovations in Science and Technology Volume 2 : Issue 2 : 2015
- [3] Bruce G. Batchelor, Paul F. Whelan. (2012) *Intelligent Vision Systems for Industry*. E.U: Springer Science & Business Media.
- [4] Vision Artificial. (2011). Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Fondo Social Europeo. Union Europea. Recuperado de [http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf)
- [5] Open Electronics. (2016). Source Electronic Product. E.U. Futura Group srl. Recuperado de <http://www.open-electronics.org/pixy-camera-detect-the-colour-of-the-objects-and-track-their-position/>
- [6] OpenCV. (2016). Open Source Computer Vision. E.U. Itseez. Recuperado de <http://opencv.org/>
- [7] CMUcam. (2016) Open Source Programmable Embedded Color Vision Sensors. E.U. Redmine. Recuperado de <http://www.cmucam.org/>
- [8] Arduino. (2016). Arduino. Italy. Creative Commons Attribution ShareAlike. Recuperado de <http://www.arduino.cc/>
- [9] Horacio Mercado Vargas, Marisol Palmerín. Cerna. (2010). El estado de michoacán y sus regiones turísticas. España. Eumed.net Enciclopedia Virtual. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2012b/1230/michoacan-caracteristicas.html>