

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CAMPO FOV DE UNA CÁMARA ROBOTIQ Y UNA CÁMARA COGNEX EN CONDICIONES DE DISEÑO NO ESPECÍFICAS

Ramírez Valenzuela Julio César, Bernal Alamea Irvin Norberto, Vázquez Cuevas Ignacio Javier, Ramírez Huerta Oscar
Indalesio, Ochoa Alegría Martín
Tecnológico Nacional de México / I.T. de Nogales,
Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Av. Tecnológico 911, Nogales, Sonora, México
+52(631) 311 1881
julio.rv@nogales.tecnm.mx

RESUMEN.

Este trabajo es sobre la validación de dos cámaras industriales. Para esto, se utiliza un método para determinar el FoV de las cámaras en condiciones de diseño no específicas. Se usarán, la cámara de muñeca Robotiq, instalada en un robot UR3 y la cámara industrial Cognex 5400. Aunque las cámaras no son diseñadas para los mismos fines, sus aplicaciones se relacionan en cierta medida. El propósito de este artículo es probar el funcionamiento de ambas cámaras validando su funcionamiento por medio de la detección y reconocimiento de diferentes figuras geométricas. Para ello, de acuerdo a sus campos de visión, se desarrollan programas que se usarán en las pruebas de validación, necesarias para hacer el análisis de resultados a través de matrices de confusión.

Palabras Clave: Visión de máquina, Visión por computadora, Industria 4.0, Campo de visión, Validación.

ABSTRACT.

This article deals with the validation of two industrial cameras. For this, a method is used to determine the FoV of the cameras in non-specific design conditions. The Robotiq wrist camera, installed on a UR3 robot, and the Cognex 5400 industrial camera will be used. Although the cameras are not designed for the same purposes, their applications are related. The objective of this approach is to test the functionality of both cameras, validating their operation through the detection and recognition of different geometric figures. To reach this objective, a program will be developed in each camera to perform the validation test according their field of view in order to analyze results using confusion matrices.

Keywords: Machine Vision, Computer Vision, Industry 4.0, Field of Vision, Validation.

1. INTRODUCCIÓN

La visión de máquina (*Machine Vision*) es uno de los componentes importantes en la industria 4.0 [1, 2, 3, 9]. En ese sentido, este trabajo colabora aportando conocimientos que resultarán útiles en la puesta en marcha de un proyecto de visión de máquina. El laboratorio de robótica de la carrera de Ingeniería en Electrónica del TecNM campus Nogales, cuenta con algunas cámaras industriales. Se propone validar el desempeño de dos de ellas, no con el propósito de comparar las marcas, sino con el fin de probar cómo funcionan diferente tipo de cámaras industriales, que han sido diseñadas para

aplicaciones un tanto diferentes. La primera, es una cámara de muñeca Robotiq RWC5-OR-kit montada en un robot colaborativo UR3 de Universal Robots. La segunda, es una cámara industrial Cognex 5400, montada en una estructura rígida de aluminio. El problema de este tipo de cámaras es que el fabricante especifica un parámetro llamado “campo de visión” (FoV, *Field of View*) sin especificar el desempeño que se tendrá en la detección de objetos en ese campo de visión. En ese sentido, este trabajo valida la detección de objetos por dos cámaras industriales en sus correspondientes campos de visión, en condiciones de diseño no específicas. Las pruebas a las que se someterán las cámaras, tratan de replicar las tareas a las que se destinarán las cámaras cotidianamente en las estaciones de trabajo. Algunos enfoques que tratan el tema del reconocimiento de objetos son los de Hoseini [4], que se ocupa del reconocimiento de objetos por la cámara de un robot y los de Mateo [5], que trata el reconocimiento de figuras geométricas por el sistema de visión de un robot.

2. VISIÓN DE MÁQUINA

Según la *Automated Imaging Association* (AIA), la visión de máquina, engloba todas las aplicaciones industriales y no industriales, en las que una combinación de hardware y software, proporcionan una guía operativa a los dispositivos, en la ejecución de sus funciones a partir de la captura y procesamiento de imágenes [6]. Aunque la visión por computadora utiliza muchos de los mismos algoritmos y enfoques que las aplicaciones de visión de máquina, las limitaciones son pocas. En cambio, en visión de máquina, el desempeño del reconocimiento de objetos depende de las capacidades de hardware y software que están embebidas en la cámara.

3. SOFTWARE DE VISIÓN DE MÁQUINA

En esta sección se introduce los softwares que se estarán usando para hacer el reconocimiento de patrones de imagen.

3.1 Cámara Robotiq

La cámara Robotiq RWC5-OR-kit ha sido diseñada específicamente para los robots colaborativos de *Universal Robots*, UR3, UR5 y UR10, utilizando el controlador CB3.1 o superior. La interfaz móvil (pantalla táctil) de programación de los robots UR se llama *PolyScope* y su tipo de programación es de árbol; tal y como se muestra en la Fig. 1.

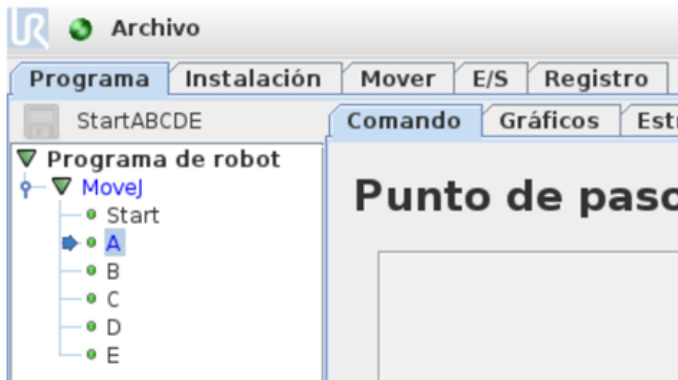


Fig. 1. Programación tipo de árbol en *PolyScope*.

Para poder hacer uso de la cámara, se debe de instalar los paquetes *URCaps* y el *VISION-SERVER-UCC* en *PolyScope*. Una vez instalados estos paquetes, se puede ensamblar la cámara Robotiq en la muñeca del UR3. Primero, se configura la cámara por medio de la opción *URCaps* de *PolyScope*. Antes de iniciar a operar la cámara, se debe de seguir los pasos de calibración de la misma. Después de esto, se está listo para dar inicio a los procedimientos para la detección de objetos.

3.2 Cámara Cognex

El software dado por el fabricante para programar la cámara Cognex recibe el nombre de *In-Sight Explorer*. Se instala en una *PC* y su comunicación con la cámara es vía Ethernet. El tipo de programación es muy sencilla, también forma una estructura de árbol. En la Fig. 2, se muestra la vista principal de este software. Inicialmente se tiene que hacer la conexión de cámara. Una vez reconocida la cámara por el *In-Sight Explorer* se puede dar inicio al desarrollo del programa para el reconocimiento de patrones de imágenes.

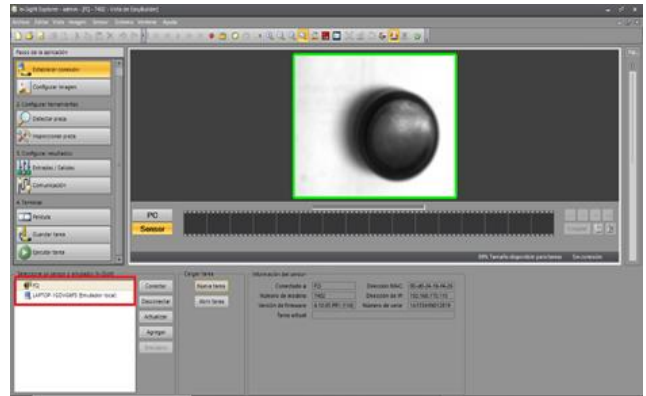


Fig. 2. Vista de *In-Sight Explorer*.

4. VALIDACIÓN DE CÁMARAS

Esta sección trata sobre la configuración de las pruebas necesarias para validar las cámaras, lo que resultó en los programas necesarios para desarrollar la validación.

4.1 Campo de visión de cámara Robotiq

Según las especificaciones [7,11] el máximo campo de visión de la cámara Robotiq montada en la muñeca del UR3 que se muestra en la Fig. 3, es de $360 \times 270 \text{ mm}$ a una altura de 347 mm . La altura a la que se sitúa la cámara depende de la posición instantánea (*snapshot position*) elegida en la calibración de la cámara. Para esta validación la posición instantánea fue de 320 mm , por lo que el campo de visión se redujo a $280 \times 220 \text{ mm}$. En la Fig. 4, se muestra el campo de visión de la cámara Robotiq.

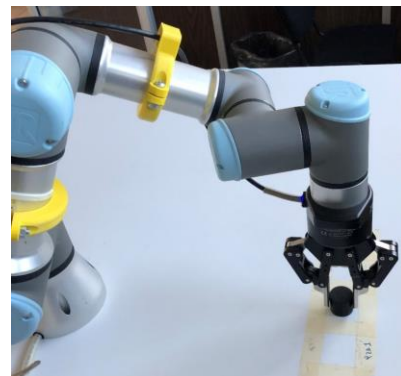


Fig. 3. Cámara Robotiq montada en la muñeca del UR3.

Según se puede observar en la Fig. 4, el campo de visión se dividió en una matriz de cuatro filas y cinco columnas. Cada cuadro tiene un tamaño de 55 mm por lado, suficiente para contener una figura geométrica. Para la validación se usaron tres figuras geométricas diferentes: un cilindro, un cubo y un prisma triangular.

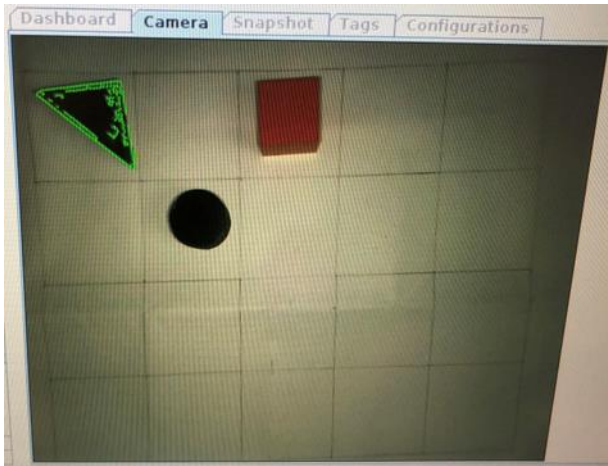


Fig. 4. Campo de visión de la cámara Robotiq.

4.2 Iluminación en cámara Robotiq

La iluminación juega un papel muy importante en el reconocimiento de objetos [10]. Para la evaluación de esta cámara, se usó la iluminación embebida en dos racimos de tres LEDs cada uno, que se encuentran uno a cada lado del lente de la cámara. En las especificaciones de la cámara, no se indican los Luxes que estos seis LEDs de alta luminosidad aportan. Para conocer los índices de luminosidad, se hizo uso de un luxómetro, que se situó en la superficie donde se colocarán los objetos que deben ser detectados. Luego, se colocó la cámara Robotiq con los LEDs encendidos, a la altura de reconocimiento de objetos, (*snapshot position*) y se hizo la lectura, arrojando un valor de 1300 Luxes.

4.3 Enseñanza de figuras en cámara Robotiq

Primero se tiene que enseñar a la cámara el reconocimiento de cada uno de los objetos. Para esto, existe un asistente (*magic wand*) que presta ayuda en esta tarea, de modo que sea más sencillo el reconocimiento de patrones. Antes de eso, se tiene que ir a la opción “*command*” en *PolyScope* y seleccionar “*Teach Objet*” (ver Fig. 5).

Una vez seleccionado el botón enseñar objeto, se abre la ventana que aparece en la Fig. 6, donde se escoge el método automático. Una vez ahí, por defecto se inicializa el asistente (*magic wand*), que facilitará el reconocimiento de la figura.

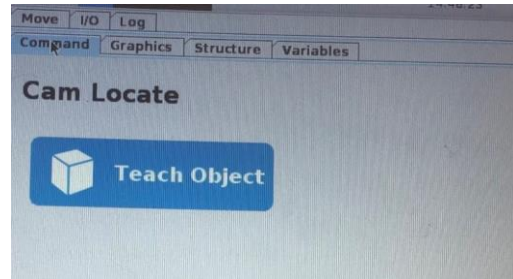


Fig. 5. Comando para enseñar objeto.

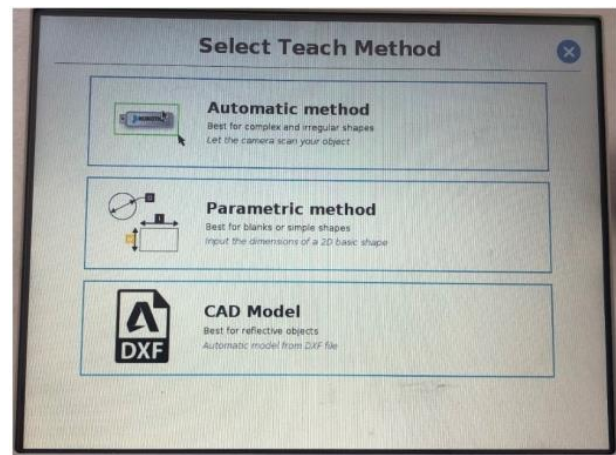


Fig. 6. Ventana de selección de métodos de enseñanza.

Después que se detectó el objeto en forma automática, como se observa en la Fig. 7, se puede pulsar el botón de verificación que se encuentra en la esquina inferior derecha; con esto, se acepta el aprendizaje del objeto como bueno. Seguidamente, aparece una opción que ofrece refinar el modelo. El objetivo de este paso, es eliminar los efectos de sombra asociados a los bordes del objeto para mejorar el modelo.

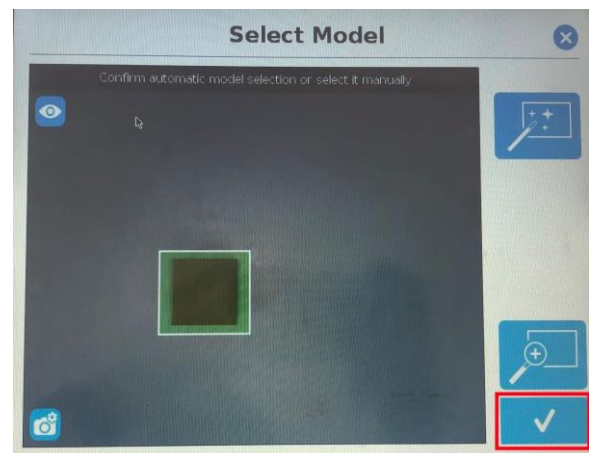


Fig. 7. Selección automática de objetos por el asistente.

Una vez refinado el modelo satisfactoriamente, es posible poder programar la localización y detección del objeto. En el Listado 1, se muestra un programa de robot *pick and place* sencillo, donde se incluyen las tareas de localización, detección, carga y descarga de una figura geométrica. Este programa se desarrolló en el *PolyScope* del UR3.

Listado 1. Programa para localización de figura.

```
Program
Robot Program
MoveJ
  home
  Gripper Open (1)
Cam Locate
  For object(s) found
    MoveL
      pre_carga
      take
      Gripper Close (1)
      pre_carga_1
    MoveJ
      pre_descarga
      baja
      Gripper Open (1)
      pre_descarga
      pre_carga_2
  If no object found
    MoveJ
      home
```

4.4 Campo de visión de cámara Cognex

Las especificaciones de la cámara Cognex 5400 [8] se basan en gráficas del fabricante para determinar el campo de visión. El campo de visión para este caso en particular es de $85 \times 56 \text{ mm}$, a una distancia vertical de 43 mm , a una distancia focal de la lente de 25 mm ; lo que está de acuerdo con las especificaciones de fabricación. En la Fig. 8, se muestra la estructura de aluminio donde se montó la cámara Cognex 5400. Si comparamos esta cámara con la cámara Robotiq, se puede observar que el campo de visión es mucho más pequeño.

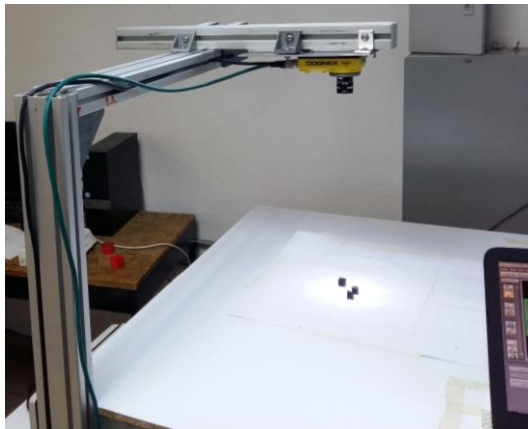


Fig. 8. Estructura de montaje de cámara Cognex 5400.

En la Fig. 9, se aprecia que el campo de visión se dividió en una matriz de dos filas y tres columnas. Esto resulta en que cada cuadro tiene un tamaño de 28 mm por lado.

4.4 Iluminación en cámara Cognex

Para evaluar esta cámara, se usó la iluminación de 16 lámparas *LED* de alta luminosidad, que se encuentran empotradas en forma de anillo alrededor del lente de la cámara. Las especificaciones de esta cámara no incluyen el dato de luminosidad. Al igual que para la cámara Robotiq, se hizo uso de un luxómetro para conocer la luminosidad que estas 16 lámparas *LED* aportan. La medición resultante fue de 1250 Luxes .

4.5 Enseñanza de figuras en cámara Cognex

Esto se hace desarrollando un programa en *In-Sight Explorer*. En la Fig. 9, se muestra en la columna de la izquierda los pasos necesarios para hacer un programa.

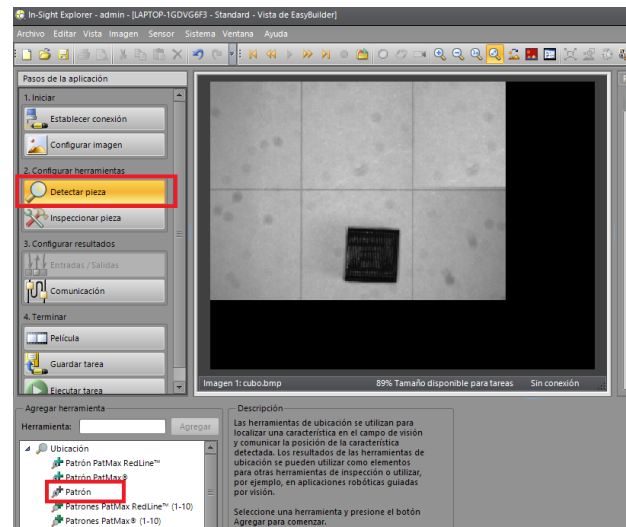


Fig. 9. Pasos para enseñar figura a cámara Cognex.

La programación es visual y consta de cuatro pasos: (1) establecer conexión, (2) configurar herramientas, (3) configurar resultados y (4) terminar. Inicialmente, se tiene que hacer la conexión de cámara. Después de eso, se puede dar inicio a la enseñanza de objetos. Para esto, se selecciona el botón “Detectar pieza”, seguidamente se abre un árbol en la esquina inferior izquierda, donde se selecciona la rama con el nombre de “Patrón” (ver Fig. 9).

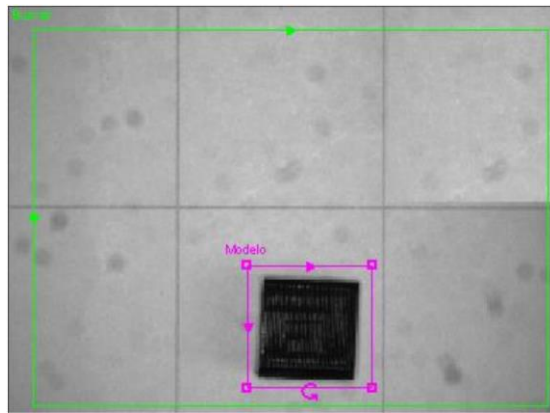


Fig. 10. Detección de patrón.

Al seleccionar “Patrón” en el campo de visión, aparecen dos recuadros envolviendo el objeto que se le dará a enseñar a la cámara (ver Fig. 10). El recuadro más grande (color verde) sirve para delimitar el campo de visión y aparece con la leyenda “Buscar”. El recuadro más interno detecta el objeto y lleva la leyenda “Modelo”. Una vez se haya enseñado el objeto, en el panel “Herramienta de edición”, pestaña “General” (ver Fig. 11), se le da un nombre significativo al patrón identificado. En este caso se le dio el nombre de “Cubo”.



Fig. 11. Panel de herramientas de edición.

En el mismo panel de “Herramientas de edición”, se selecciona la pestaña “Ajustes”, como se muestra en la Fig. 11. Se modifica el parámetro “Aceptar umbral” con un valor de 75. El objetivo de modificar este parámetro, es que cuando la cámara detecte la figura, haga una comparación de la figura detectada con respecto al modelo aprendido. Entonces, si existe un 75% de coincidencia o más entre ambos modelos, la pieza será tomada como aceptable. También, se modifica el parámetro “Tolerancia de rotación”, se ajusta a un valor de 180°. Este es el límite de inclinación tolerable con respecto a la posición de origen del modelo aprendido. De esta manera, se asegura la detección de la figura si se encuentra ligeramente girada.

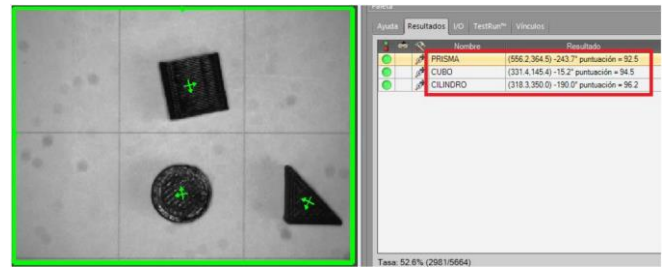


Fig. 12. Programa de detección de figuras geométricas.

Después de estos pasos, se da por terminado el aprendizaje del objeto. Una vez aprendidas las figuras restantes por el mismo procedimiento, se da clic sobre el botón “Ejecutar tarea”. Según se observa en la Fig. 12, aparece una flecha verde sobre el centroide del objeto detectado. También en el panel “Paleta” que aparece a la derecha en la Fig. 12 (ver recuadro rojo), se aprecia que las tres figuras geométricas en esta prueba, fueron localizadas y reconocidas con éxito. El porcentaje de coincidencia fue mayor al 92 % para las tres.

5. RESULTADOS

En la sección anterior se desarrollaron los programas para llevar a cabo las validaciones de ambas cámaras. En esta sección, se muestran los resultados que arrojaron las pruebas de validación.

5.1 Resultados de cámara Robotiq

Para llevar a cabo la validación de la cámara Robotiq, se hicieron veinte combinaciones posibles de las diferentes figuras geométricas. Según se vio en la Fig. 4, el campo de visión de la cámara Robotiq se dividió en una matriz de cuatro filas por cinco columnas. Un ejemplo de una posible combinación es: cilindro en celda (1,1), cubo en celda (1,2), prisma en celda (2,1). Aunque las combinaciones no fueron exhaustivas, lo que nos hubiera arrojado un problema de complejidad $O(n)$, se usaron las combinaciones más significativas. De este modo, se cubrió el campo de visión de la cámara de forma suficiente.

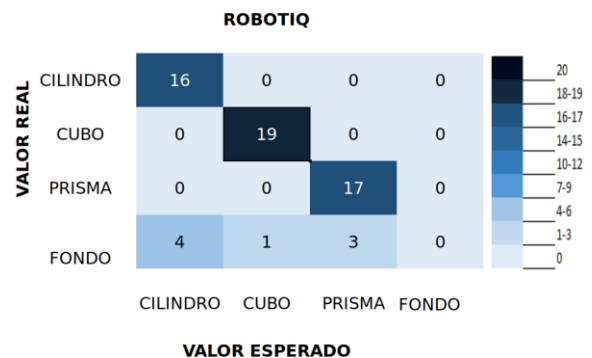


Fig. 13. Matriz de confusión para cámara Robotiq.

En la Fig. 13, se muestra la matriz de confusión de las pruebas de validación hechas para la cámara Robotiq. En la escala de la derecha, se muestra el código de colores que depende de la cantidad de piezas. Así, el color más oscuro relaciona a la máxima cantidad de piezas (20), mientras que el más claro, se corresponde con la mínima cantidad de piezas (0). El análisis de los resultados deja ver que la detección de pieza que menos falló fue el cubo, con 19 aciertos y 1 fallo. El fallo es que, en vez de seleccionar una pieza, en este caso, el cubo, el apuntador de selección apuntó hacia el área de trabajo (mesa), donde se colocaron las figuras geométricas.

El prisma se detectó correctamente 17 veces y 3 veces de forma incorrecta. El cilindro se detectó correctamente 16 veces y observó 4 fallos, siendo esta la figura que observó el mayor número de fallos. El programa de detección no confundió ninguna pieza por otra. Sin embargo, en ocasiones confundió el suelo con una pieza. En la Fig. 14, se muestra la matriz de evaluación de la cámara Robotiq. En esta matriz se hace una visualización del campo de visión de la cámara Robotiq.



Fig. 14. Matriz de evaluación de cámara Robotiq.

En la matriz se observa que las incidencias de los fallos se presentan en las periferias y esquinas del campo de visión de cámara. Así, el campo de visión efectivo se reduce a una matriz de dos filas y tres columnas; que son las celdas centrales de color verde oscuro. De esta forma, se valida que el campo de visión con un cien por ciento de garantía de detección, es de aproximadamente 165 x 110 mm.

5.2 Resultados de la cámara Cognex

En la Fig. 15, se observa la matriz de confusión de la cámara Cognex 5400. En este caso, se hicieron un total de diez combinaciones posibles. Estas combinaciones al igual que para la cámara Robotiq, se hicieron en forma aleatoria pero conveniente, de forma que se cubrió suficientemente el campo de visión de cámara, que es de dos filas por tres columnas. En la matriz de la Fig. 15, se observa que no se tuvo ningún fallo. Todas las figuras fueron detectadas correctamente. Por lo tanto, se valida que el campo de visión de esta cámara, con garantía de detección efectiva, corresponde al cien por ciento

del campo de visión especificado por el fabricante; que es de 85 x 56 mm en este caso.

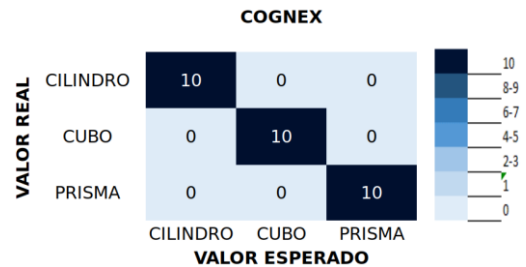


Fig. 15. Matriz de confusión para cámara Cognex

6. CONCLUSIONES

En este trabajo, se logró validar las cámaras Robotiq y Cognex.

Con el método propuesto, se obtuvieron datos sobre el desempeño en el reconocimiento de objetos, en el campo de visión de ambas cámaras. Con estos datos, será posible diseñar con mayor certidumbre las tareas de reconocimiento de objetos en las estaciones de trabajo, en las que las cámaras estarán operando. Un área de oportunidad en trabajos futuros, es mejorar la iluminación de la cámara Robotiq, esto con el fin de mejorar su desempeño en el reconocimiento de objetos.

7. REFERENCIAS

- [1] Alonso, Victor, et al. "Industry 4.0 implications in machine vision metrology: an overview." *Procedia manufacturing* 41 (2019): 359-366.
- [2] Benbarrad, Tajeddine, et al. "Intelligent machine vision model for defective product inspection based on machine learning." *Journal of Sensor and Actuator Networks* 10.1 (2021): 7.
- [3] Pérez, Luis, et al. "Robot guidance using machine vision techniques in industrial environments: A comparative review." *Sensors* 16.3 (2016): 335.
- [4] Hoseini, Pourya, et al. "Active eye-in-hand data management to improve the robotic object detection performance." *Computers* 8.4 (2019): 71.
- [5] Mateo, C. M., P. Gil, and F. Torres. "Visual perception for the 3D recognition of geometric pieces in robotic manipulation." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 83.9 (2016): 1999-2013.
- [6] Lewis, John. "Introduction to machine vision." *Cognex Corporation* (2020).
- [7] Robotiq Wrist Camera for Universal Robots instruction manual. ROBOTIQ (2021).
- [8] In-Sight Vision Sensors, Product Specification and Drawing 2006-1, COGNEX (2006).
- [9] Alegre Gutiérrez, Enrique, Gonzalo Pajares Martinsanz, and Arturo de la Escalera Hueso. "Conceptos y Métodos en Visión por computador." *Espanya, Juny* (2016).
- [10] Dansereau, Donald G., et al. "A wide-field-of-view monocentric light field camera." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2017.