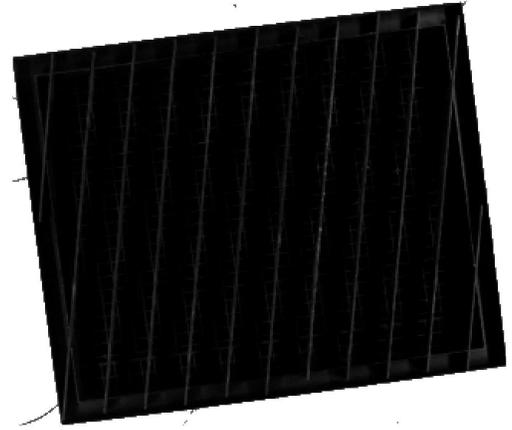
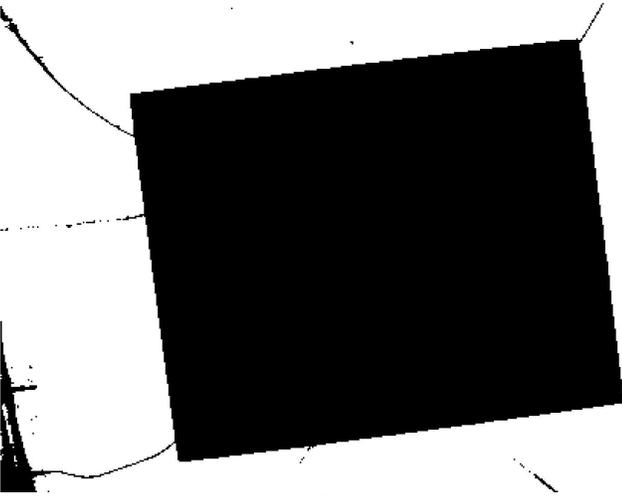


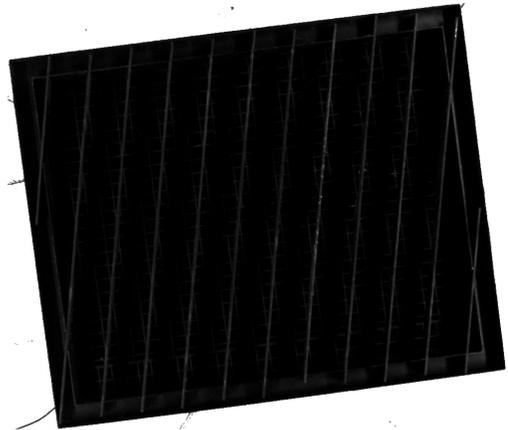
(a)



(a)



(b)



(b)

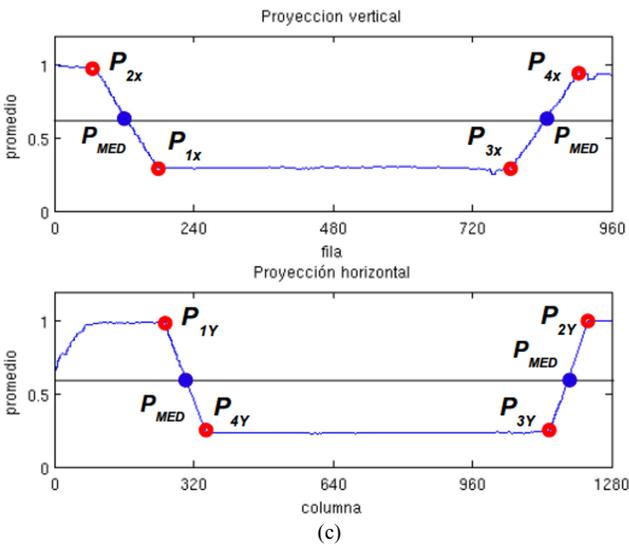
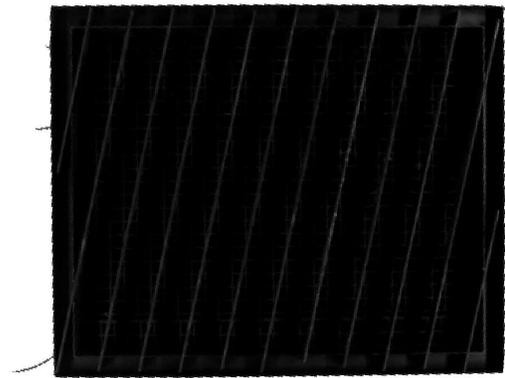


Fig. 5. Prueba del algoritmo sobre una imagen real (parte I): (a) imagen de entrada, (b) imagen binaria, (c) vectores de proyección vertical y horizontal.



(c)

Fig. 6. Prueba del algoritmo sobre una imagen real (parte II): (a) recorte de la mesa de trabajo, (b) corrección de la traslación por método de las proyecciones, (c) imagen final (por ambos métodos).

necesario destacar que la imagen de entrada (Fig. 5.a) puede ser mejorada en contraste, dado que las condiciones de iluminación no son las más apropiadas para la aplicación. Sin embargo, puede considerarse este hecho como una medida de la robustez del método propuesto.

Una vez realizada la binarización de la versión en escala de grises de la imagen de entrada (umbral = 117) (Fig. 5.b), se calculan las proyecciones tanto horizontal como vertical de la imagen binaria, así como los puntos característicos de cada una de ellas (véase Fig. 5.c). Estos puntos característicos son, para la proyección vertical  $y = [69, 177, 790, 901]$ , y para la horizontal  $x = [255, 351, 1134, 1222]$ .

A partir de estos y, teniendo en cuenta el sentido de rotación que posee la imagen de entrada, se determinan las posiciones aproximadas donde se ubican las esquinas para, en un entorno de 20 píxeles alrededor de cada una de ellas, aplicar el detector de Harris [13] con el fin de evaluar el resultado obtenido por el método de proyección. En este ejemplo, los puntos esquina de Harris son:  $P_1 = (179, 255)$ ,  $P_2 = (71, 1134)$ ,  $P_3 = (786, 1124)$  y  $P_4 = (897, 350)$ .

Antes de continuar el proceso de calibración, y aunque no tendrá efecto sobre el cálculo de los valores de rotación y traslación por cada uno de los dos métodos expuestos en la sección anterior, se recorta la imagen de entrada, de forma que, en la nueva imagen (Fig. 6.a) sólo se visualicen aquellos píxeles que estén en el área determinada por los máximos y mínimos de las proyecciones y estén a 0 (negro) en la imagen binarizada, es decir, que pertenezcan a la mesa de trabajo, dado que el suelo no aporta ninguna información necesaria para el software de calibración.

En este punto comienza la calibración geométrica de la cámara en el entorno elegido a partir de la imagen capturada. Para el método de las proyecciones, se obtiene que la traslación en píxeles es  $T = (-99, 5)$  siendo el obtenido a partir del método de Harris  $T = (-101, 3)$ . La diferencia entre ambos resultados es mínima 2 píxeles (equivalentes a 2.52 mm).

En cuanto a la rotación, a partir de las proyecciones se obtiene un ángulo de rotación para la cámara  $\theta = -7.0046^\circ$ , siendo  $\theta = -7.0025^\circ$  por el método de Harris. Este error es despreciable, a efectos prácticos.

Finalmente se corrige la imagen de entrada de acuerdo con los resultados numéricos obtenidos mediante una transformación afín combinada [7], obteniéndose los resultados de la Fig. 6.b y 6.c).

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La conclusión principal de los procedimientos de calibración de cámaras cenitales en aplicaciones de Visión Artificial sobre sistemas de corte desarrollados en este trabajo es que ambos métodos (proyecciones y Harris) llevan al mismo resultado y además son robustos ante la variación de iluminación.

No obstante, comparándolos en función del tiempo que tardan en dar los parámetros necesarios para la correcta

calibración del SVA el método de las proyecciones resulta ser tres veces más rápido por el hecho de no recurrir al método de detección de esquinas de Harris (5 y 15 segundos respectivamente).

En próximos trabajos el objetivo será el reconocimiento de objetos en las zonas que rodean la mesa de trabajo con el fin de evitar accidentes.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado con la financiación de la Universidad de Extremadura y Grupo Santander, en la Acción VII del Plan de Iniciación a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2010 para el proyecto titulado: *Diseño de un Sistema Inteligente de Visión Artificial para Apoyo a Sistemas de Control Numérico Computerizado*.

## REFERENCIAS

- [1] Sistemas de Corte para la Industria, en sitio web *DirectIndustry, Salón Virtual de la Industria*: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/maquina-corte-69389.html>
- [2] R. D. 1644/2008, de 10 de octubre, Normas para la Comercialización y Puesta en Servicio de las Máquinas, BOE n°246, 11/10/2008, pp. 40095-40130.
- [3] J. González, *Visión por Computador*, Paraninfo, Madrid, España, 2000.
- [4] Guía de Recursos de Imagen Electrónica, en sitio web de Edmund Optics Ltd.: <http://www.edmundoptics.com>
- [5] La cámara y sus partes, en sitio web Textos Científicos: <http://www.textoscientificos.com/fotografia/camara>.
- [6] M. Constant, *The Principles and Practice of CCTV*, 3ª ed., 2005, disponible en línea en CCTV Information: [http://www.cctv-information.co.uk/i/The\\_Principles\\_%26\\_Practice\\_of\\_CCTV](http://www.cctv-information.co.uk/i/The_Principles_%26_Practice_of_CCTV)
- [7] R. C. González y R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3ª ed. Prentice-Hall, Nueva York, 2008.
- [8] Trabocchi, O. y Sanfilippo, F., *Iluminación para las Aplicaciones de Visión Artificial*, Universidad Nacional de Quilmes, Quilmes (Argentina), 2005, disponible en: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision>
- [9] MATLAB website: <http://www.mathworks.com/products/matlab>
- [10] The Imaging Source website, Cámara color USB CCD, modelo DFK41BU02H, disponible en: <http://www.theimagingsource.com/>
- [11] Catálogo de Sistemas de Corte, en página web de Praxair España, disponible en: <http://www.praxair.com/>
- [12] Catálogo de Equipos, Organización y Mejora de Medio Ambiente del Taller, en página web de Praxair España, disponible en: <http://www.praxair.com/>
- [13] C. Harris y M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector", Proc. 4th Alvey Vision Conf. (AVC88), 1988, pp. 147-151.
- [14] Rockwell Automatization, *Sistemas de seguridad para maquinaria industrial*, Allen Bradley, Madrid, España, 2010.