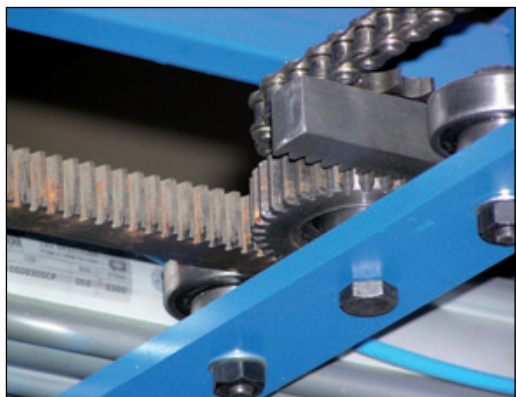


DETECCIÓN VISUAL en tiempo real de riesgos asociados a maquinaria industrial



Juan Álvaro Fernández-Muñoz
María Dolores Moreno-Rabel

Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniera Técnica Industrial

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. Dpto. Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática.
Av. Elvas, s/n – 06006 Badajoz. Tfno: +34 924 289300 . jalvarof@unex.es

Recibido: 17/01/2012 • Aceptado: 04/07/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4580>

REAL-TIME VISUAL DETECTION OF RISKS ASSOCIATED WITH INDUSTRIAL MACHINERY

ABSTRACT

- One reason for the high number of accidents that occur each year in the industrial sector is the lack of effectiveness in the prevention of accidents of currently available Passive Safety Features (PSF) in the industrial safety market.

Taking as reference the success of effectiveness improvement of several active safety devices developed in recent years in the automotive sector, this paper presents a novel acting protocol for industrial machinery for active safety purposes. Based on image analysis as recorded by a Computer Vision System (CVS), this protocol allows real-time detection of occupational hazards in the industrial machine environment.

In order to demonstrate its proper operation, we provide a test on a combined plasma/oxy-fuel cutting machine. By using appropriate switches and actuators, this protocol is able to avoid occupational accidents such as entrapment, cut or burn, which could cause death to the user of this type of industrial machinery.

- **Keywords:** active safety, risk assessment, industrial cutting machinery, Computer Vision System (CVS), acting protocol.

RESUMEN

Una de las causas del elevado número de accidentes laborales que ocurren cada año en el sector industrial es la falta de eficacia en materia de prevención de accidentes de los Elementos de Seguridad Pasiva (ESP) existentes en el mercado de seguridad industrial.

Tomando como referencia el éxito obtenido en la mejora de dicha eficacia con los dispositivos de seguridad activa desarrollados en los últimos años en el sector del automóvil, se presenta en este trabajo un novedoso protocolo de actuación para maquinaria industrial con fines de seguridad activa.

Este protocolo, basado en el análisis de las imágenes captadas por un Sistema de Visión Artificial (SVA), permite realizar una detección en tiempo real de los riesgos laborales del entorno de la máquina.

Para demostrar su correcto funcionamiento, se presenta una prueba sobre una maquinaria in-

dustrial de corte combinado plasma / oxigás. Mediante el uso de los actuadores e interruptores adecuados, este protocolo evita que ocurra un accidente por atrapamiento, corte o quemadura, entre otros; accidentes que podrían provocar incluso la muerte del usuario de la máquina.

Palabras clave: seguridad activa, evaluación de riesgos, maquinaria de corte industrial, Sistema de Visión Artificial (SVA), protocolo de actuación.

1. INTRODUCCIÓN

Como se refleja en los Informes Anuales de Accidentes de Trabajo en España, publicados de forma periódica por el *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* (INSHT) [1], los accidentes laborales ocurridos como consecuencia del manejo de máquinas industriales oscilan en torno al millón cada año, accidentes

que pueden provocar incluso la muerte del operario; aunque durante el año 2010 fueron inferiores tanto en número como en índice de incidencia que los ocurridos en 2009 [2], hubo un mayor índice de mortandad por electrocutamiento, aplastamiento y golpe contra objeto, colisión.

En el sector industrial, el índice de incidencia del año 2010 fue de 6.302,3 accidentes de trabajo con baja en jornada laboral por cada 100.000 trabajadores, un 4,1% inferior que los producidos durante 2009, superando en casi el doble la media de los índices sectoriales; accidentes ocurridos en su mayoría en la manipulación del objeto o material, tanto antes como durante y después del funcionamiento de la máquina industrial, con un índice de mortandad de 5,5% frente al 5,7% de 2009 [1,2]. Los accidentes mortales más frecuentes dentro de este sector son: aplastamiento o amputación (23,9%, también en 2009), choque o golpe contra un objeto en movimiento, colisión (19,5% frente a 19% en 2009), aplastamiento sobre o contra un objeto inmóvil (12,4% frente a 9,6% en 2009) y contacto con corriente eléctrica (10,6% frente a 4,4% en 2009).

Estos datos ponen de manifiesto la falta de eficacia de los elementos de seguridad pasiva (ESP) [3] existentes en el mercado actual en prevención de riesgos laborales. Esta ineficacia tiene su origen en que los ESP tienen como finalidad atenuar las consecuencias producidas por un accidente laboral, no evitar que este suceda. Son los elementos o sistemas de seguridad activa (SSA), ahora comunes en el sector automovilístico, los que tratan de evitar, en la medida de lo posible, que el accidente tenga lugar [5]. Quizás el ejemplo más característico de este tipo de elementos sea el conocido sistema de frenado antibloqueo (ABS), capaz de reducir la distancia de frenado mediante una actuación inteligente sobre el sistema de frenado del vehículo, evitando el bloqueo de la dirección [6].

Sin embargo, los grandes avances en seguridad logrados mediante SSA en el sector del automóvil están muy lejos de ser equiparables a los implantados en el resto de sectores industriales, donde la innovación tecnológica en seguridad se ve relegada habitualmente a un plano secundario, frente a las predominantes mejoras de productividad y rendimiento, que determinan el complejo y competitivo mercado de las empresas fabricantes de maquinaria industrial [7].

Entre los ESP típicos del sector industrial, los de protección personal (EPP) más utilizados son cascos, gafas, máscaras protectoras, orejeras, mascarillas, guantes, botas de seguridad y monos o mandiles de protección, entre otros, cuya misión es proteger cabeza, ojos, cara, oídos, vías respiratorias, manos y brazos, pies y cuerpo, respectivamente [4]. Otros ESP comunes son las alfombras de protección, que protegen al usuario ante descargas eléctricas, y las barreras de seguridad, que impiden el acceso a una determinada zona durante el funcionamiento de la maquinaria en cuestión, entre otros [3].

Entre las máquinas existentes en el sector industrial actual, las que presentan mayor riesgo de provocar un accidente laboral, junto a las máquinas manuales, son las máquinas

de funcionamiento automático [8]. Este tipo de máquinas se caracteriza por su gran tamaño, ocupando generalmente un volumen mínimo de 1 m³, donde se contiene también la mesa o banco de trabajo adecuado a la tarea a realizar, tarea cuyas características son previamente seleccionadas por el operario mediante el centro de control numérico computerizado (CNC) de la máquina, cuadro de mando o similar. Ejemplos de este tipo de máquinas son las de electroerosión, las rectificadoras, las soldadoras, las máquinas de coser industriales y las máquinas de corte, entre otras [3].

Debido a sus características de diseño, la mayoría de los accidentes laborales asociados a este tipo de maquinaria ocurren en la mesa o banco de trabajo, o en el entorno inmediato circundante a la misma [1,2], región a la que debe acceder el operario a lo largo de su jornada de trabajo para colocar o retirar el material a manipular por la máquina industrial en cuestión [3,8].

Teniendo en cuenta estos antecedentes, y con el objetivo de reducir el elevado índice de siniestralidad propio del sector, se presenta en este trabajo un protocolo de actuación basado en visión artificial que, mediante análisis de imagen, permite realizar una prevención activa e inmediata de riesgos en maquinaria industrial. Con el objeto de verificar su correcto funcionamiento, el protocolo se ha probado sobre una máquina de corte combinado plasma/oxigás. Esta máquina, que permite el corte de planchas de acero, ha sido elegida para este trabajo por tener asociados los principales riesgos que provocan un accidente laboral en este sector, mencionados anteriormente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ENTORNO INDUSTRIAL Y RIESGOS ASOCIADOS

La metodología experimental propuesta se basa en la detección en tiempo real de riesgos asociados a maquinaria industrial mediante visión artificial. Para ello, una vez elegido el tipo de maquinaria sobre la que realizar el experimento, se elige un entorno de trabajo real donde existe una máquina de este tipo. Este entorno, de dimensiones 685 x 650 x 400 cm (largo x ancho x alto), cuya distribución en planta se muestra en la Fig. 1, posee las luminarias suficientes para proporcionar al menos los 300 lux obligatorios para entornos de trabajo industrial, según la norma ISO 8995 [9].

El sistema de corte existente en el entorno industrial está formado por una máquina de corte combinado plasma/oxigás marca *Praxair* modelo *Avant 30* [10] (véase Fig. 2), controlada por el CNC *C-Praxair 1000-3*, sobre una mesa de aspiración de humos modelo MCP-1000 conectada a un extractor de humos marca *Kemper* modelo *System 8000* [11] y un equipo de corte por plasma manual marca *Hypertherm* modelo *Powermax 1000* serie G3 [12].

Una vez descritas las características más relevantes del entorno de trabajo donde se va a realizar la prueba, y con el objeto de tener una valoración inicial de los riesgos asocia-

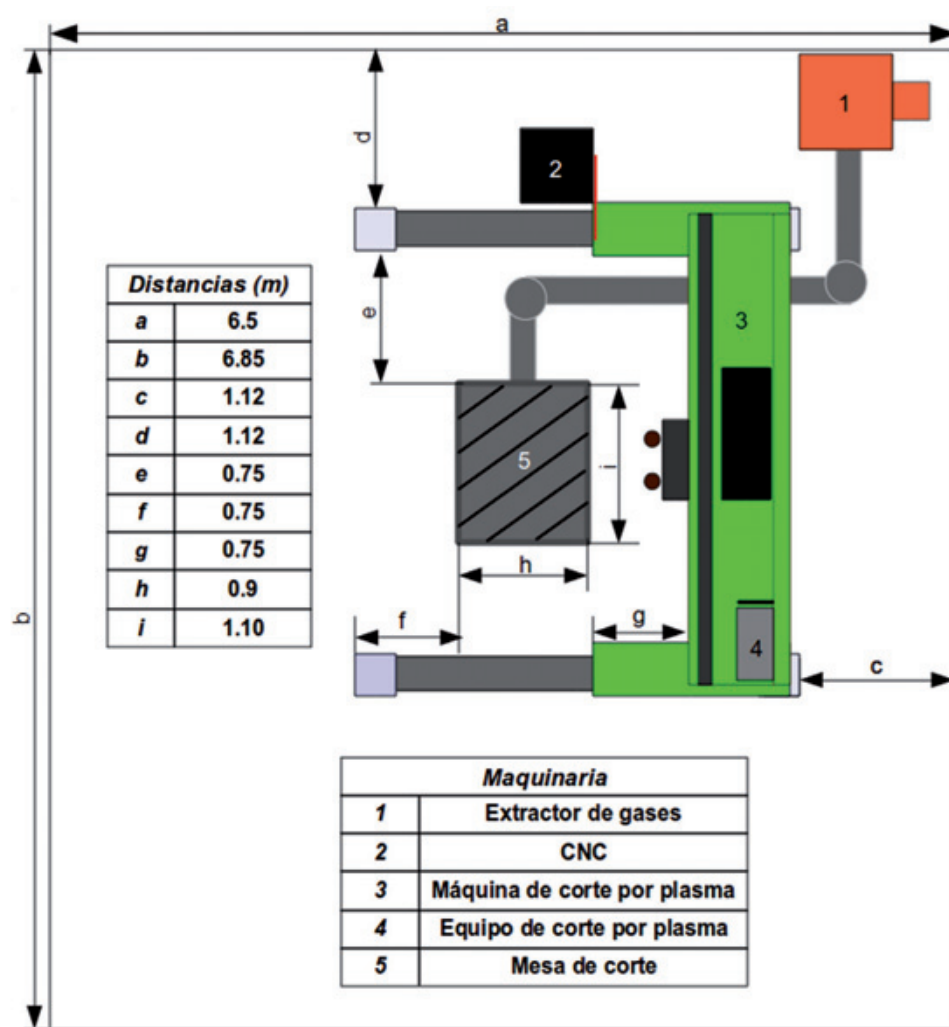


Fig. 1: Distribución en planta del entorno de prueba (máquina en posición de reposo)

dos al sistema de corte presente en el entorno, se realiza una evaluación de riesgos conforme a las instrucciones de seguridad para equipos de soldadura y corte proporcionadas por el fabricante, a la norma ISO 14121 [13] y a las características del entorno. El resultado de este análisis es que los principales riesgos derivados del proceso de corte son: eléctrico, quemaduras por contacto, radiaciones infrarrojas y ultravioletas, cortes con aristas cortantes y caídas, atrapamiento, incendio, explosión, proyección de partículas a los ojos, humos y gases desprendidos durante el corte, ergonómico y ruido.

Estos riesgos pueden dividirse en dos tipos: los que producen daño inmediato (accidentes del trabajo) como quemaduras, cortes, caídas y atrapamientos, y los que producen daños futuros (enfermedades profesionales) como gases y humos.

De acuerdo con los 11 riesgos presentados anteriormente y teniendo en cuenta los factores a considerar en la estimación de riesgos [13] para esta máquina industrial, se tiene que:

1. Los mayores riesgos de funcionamiento del sistema son atrapamiento y electrocutamiento, que pueden provocar incluso la muerte del operario. En base a ello y a la clasificación de la gravedad de una lesión, se asignan 10 puntos a este factor.
2. Considerando ahora que el operario está expuesto continuamente a peligro al ser el responsable de dicha máquina y, por esta razón, tener que intervenir en el entorno varias veces al día, se asignan 4 puntos al apartado de frecuencia de exposición.
3. Examinando la probabilidad de que se produzca una lesión durante el funcionamiento de dicha máquina y, dado que esta circunstancia es probable, se asignan 4 puntos al factor de probabilidad de una lesión.

Por tanto, sumando las tres puntuaciones anteriores, se obtiene un total de 18 puntos, lo cual indica, de acuerdo con lo indicado en la norma ISO

14121 [13], que la máquina posee riesgos potencialmente peligrosos derivados de su funcionamiento.

Por otro lado, considerando los riesgos principales en función de su índice de ocurrencia [1], se tiene que los principales riesgos asociados a este tipo de máquinas son: atra-



Fig. 2: Máquina de corte por plasma / oxigás utilizada en la prueba.

pamiento, aplastamiento, quemaduras y cortes. Estos riesgos pueden provocar la amputación, la pérdida de la visión o incluso la muerte del operario. Por tanto, son estos riesgos los que primero se deberán tratar de eliminar para reducir el nivel de riesgo asociado a cualquier máquina de este tipo.

2.2. SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL (SVA)

El presente trabajo toma como punto de partida los buenos resultados obtenidos en prevención de riesgos mediante SSA en el sector automovilístico. Algunos de ellos están basados en un sistema de visión artificial (SVA): sistemas y dispositivos para activación y regulación automática de iluminación de faros, detección de señales de tráfico y detección de obstáculos (incluyendo peatones) en la trayectoria del vehículo, entre otros [5].

Aplicado al entorno industrial descrito en la Sección 2.1, se propone un SVA diseñado para realizar una monitorización continua del entorno de trabajo que, a partir de un protocolo de actuación desarrollado por los autores, permite una detección activa e inmediata de los peligros existentes en el entorno y genera las correspondientes señales de alarma para que, mediante la implementación *hardware* adecuada a la máquina en cuestión, se detenga la máquina, evitando así que ocurra el accidente laboral.

El SVA, que se fija al techo del escenario de prueba a 3,9 m del suelo y se posiciona perpendicularmente al centro de la mesa del sistema de corte, está constituido por una unidad PTZ (*pan tilt zoom*) motorizada que monta una cámara digital GigaEthernet (GE) marca AVT modelo GC1290C [14], dotada con un sensor CCD Sony de 1/3", a la cual se acopla un objetivo ZIF (*zoom iris focus*) motorizado con margen de *zoom* entre 8 y 48 mm, marca Goyo Optical modelo GAZ8048010M [15]. Para el posicionamiento de la cámara, se utiliza el procedimiento de calibración descrito en [16] para esta misma maquinaria. Las dimensiones del área visualizada (*FOV*) por el sensor CCD que incorpora la cámara vienen determinadas por la expresión:

$$FOV = FOV_H \times FOV_V = \frac{D \cdot b_s}{f} \times \frac{D \cdot h_s}{f} \quad (1)$$

donde D es la altura a la que se encuentra la cámara del suelo, f es la distancia focal de la lente, la cual ha sido fijada a la mínima distancia para realizar la prueba (8 mm) y $b_s \times h_s$ es el área (ancho x alto) del sensor CCD de 1/3", respectivamente.

En nuestro caso, teniendo en cuenta tanto la zona de acceso a la máquina, como que los principales riesgos asociados a esta, de acuerdo con las características del entorno elegido, se producen alrededor y sobre la propia mesa de trabajo (zona de actuación del operario), se tiene que el *FOV* visualizado por la cámara calibrada, 2,34 x 1,75 m, es suficiente para cubrir visualmente la mesa de trabajo y un área alrededor de la misma, denominada zona de peligro, área donde se incumple la distancia de seguridad exigida en

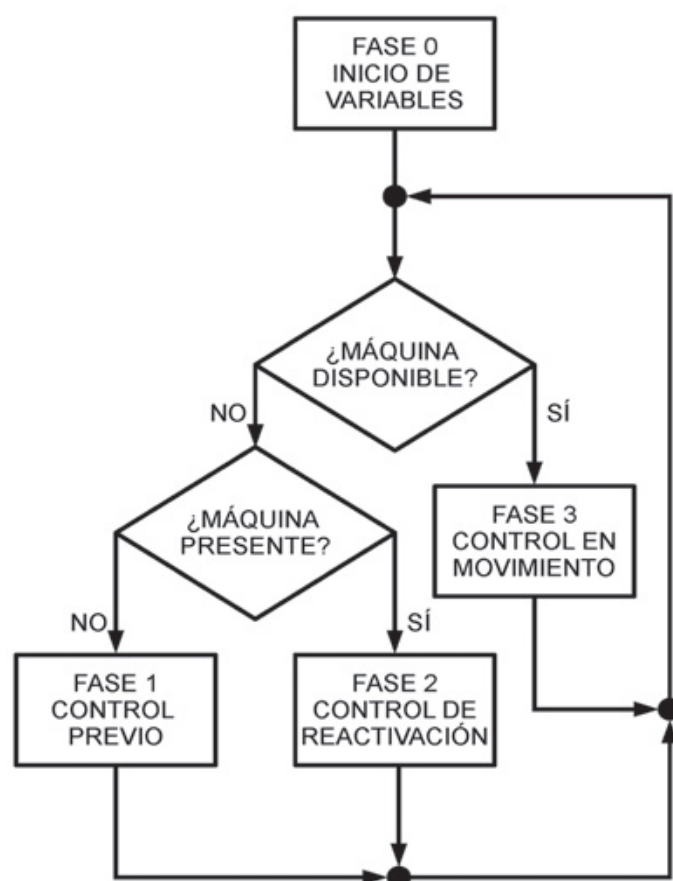


Fig. 3: Diagrama esquemático de funcionamiento del protocolo de actuación

la norma ISO 13857 [17] respecto a la mesa de trabajo y a la máquina. Además, se considera una zona de advertencia, alrededor de dicha zona de peligro, en la cual se cumple la distancia de seguridad y que está asociada con la zona de acceso a la mesa de trabajo.

2.3. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

El SVA descrito en la Sección 2.2 está gestionado por un ordenador portátil, que permite monitorizar las imágenes captadas por dicho SVA en tiempo real y tiene implementado

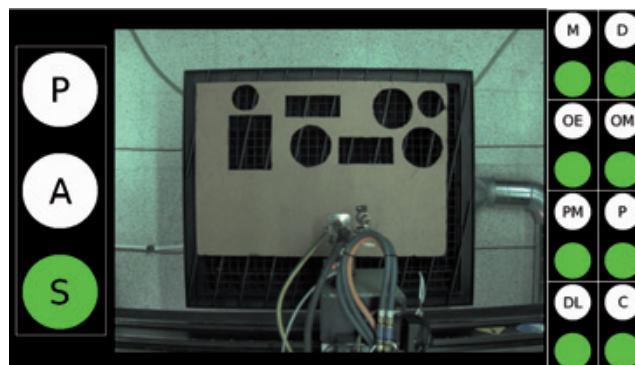


Fig. 4: Interfaz visual de seguridad para detección de riesgos en máquina de corte

un protocolo de actuación con fines de seguridad activa, desarrollado por los autores, para realizar la prueba [18]. Este protocolo de actuación de funcionamiento cíclico, cuyo diagrama de flujo principal se ilustra en la Fig. 3, está basado en el análisis de la secuencia de imágenes captadas por el SVA, y se caracteriza por:

- Realizar una primera etapa (Fase 0), de inicialización de variables, que permite cargar desde memoria los datos necesarios para el correcto funcionamiento del protocolo, por ejemplo las características visuales que deben tener las planchas de acero a cortar.
- Actualizar la información audiovisual que señala si el entorno visualizado es peligroso, si existe má-

quina, si la máquina está disponible, si existe plancha de acero con las características adecuadas sobre la mesa, si la plancha está posicionada dentro de los límites de la mesa, si está calibrada respecto a su origen de referencias, si existen objetos desconocidos en el entorno circundante de la mesa o si existen objetos desconocidos sobre la mesa, cada vez que se procede al análisis de una nueva imagen.

- Dividir el funcionamiento de dicho protocolo en tres fases principales:

Cuando la máquina se encuentra parada, a la espera de que se verifiquen las condiciones pertinentes para su activación, se pueden dar dos fases:

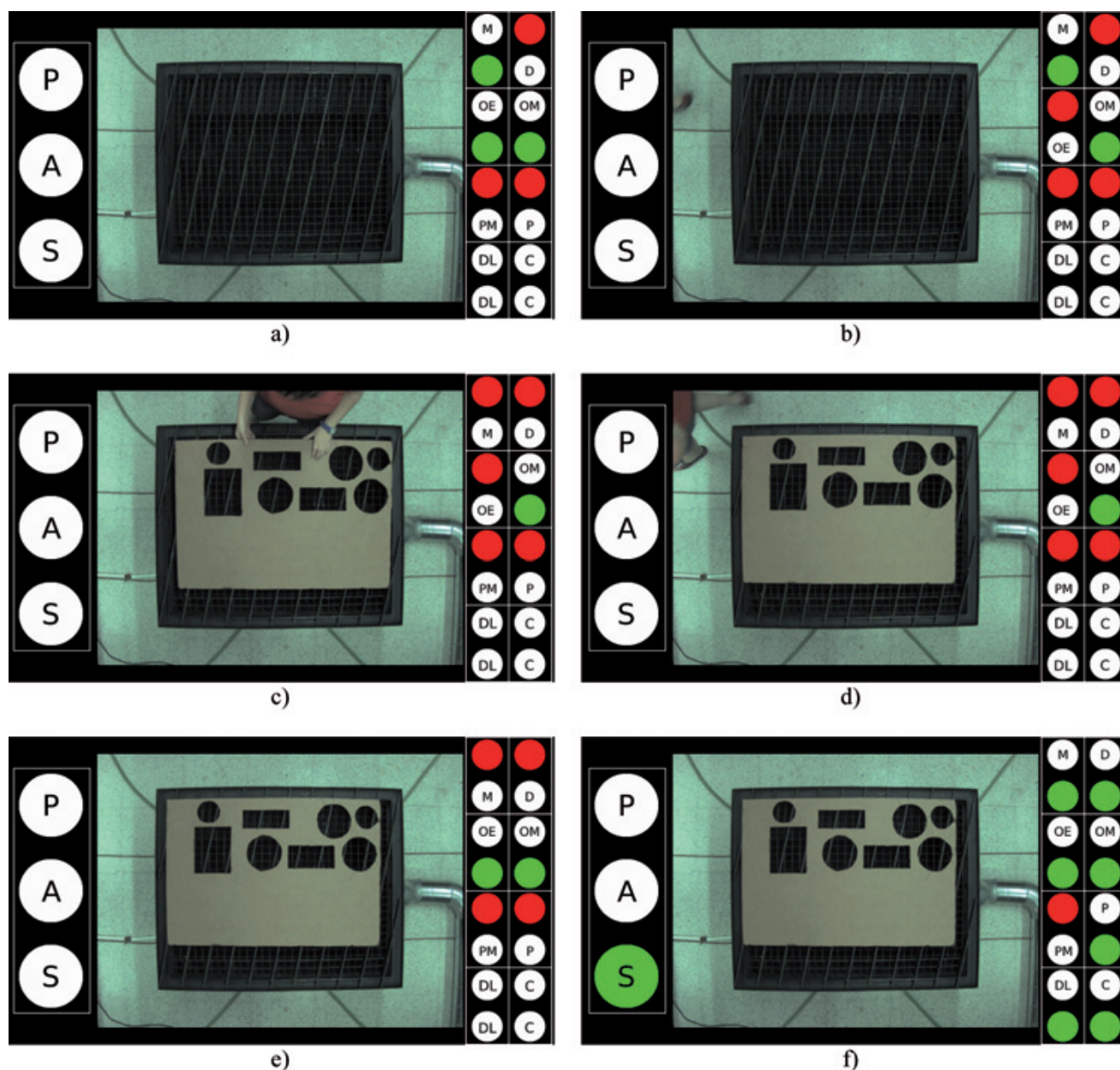


Fig. 5: Detección de riesgos en secuencia de colocación de una plancha en la máquina de corte

Fase 1 – Control previo: se corresponde con la etapa del procedimiento cíclico del protocolo en el que se comprueban continuamente las características de la mesa de trabajo y su entorno circundante, a la espera de que se verifiquen las condiciones pertinentes para que la máquina se ponga en estado no disponible y comience a realizar la tarea que encomendada a través de su CNC.

Fase 2 – Control de reactivación: esta fase, similar a la Fase 1, se caracteriza porque en ella la máquina se encuentra fuera de su punto de reposo, lo que indica que, antes de llegar a esta etapa, hubo una parada intempestiva de la máquina provocada por la presencia de algún objeto desconocido en el entorno de operación de la misma. En esta etapa, el objetivo del procedimiento cíclico es determinar en qué momento el entorno de operación vuelve a ser seguro, es decir, que no hay presencia de objetos desconocidos ni movimiento, que puedan provocar un accidente laboral.

Fase 3 – Control en movimiento: caracterizada porque en esta etapa de funcionamiento del protocolo de actuación desarrollado, la máquina se encuentra en movimiento, realizando su labor.

Considerando las características principales de funcionamiento del protocolo de actuación, puede decirse que éste posibilita:

- La puesta en marcha de la máquina segura, ya que no se permite su activación hasta que no esté nada en el entorno circundante de la mesa, salvo una plancha de acero de características apropiadas y que, además, se halle dentro de los límites de la mesa, (determinándose adicionalmente los parámetros necesarios para su correcto posicionamiento en la referencia elegida).
- La detección inmediata de la presencia de peligros (objetos desconocidos) en la mesa de trabajo o en su entorno circundante, tanto antes como durante el funcionamiento de la máquina.
- La parada intempestiva de la máquina, materializada en la detención de su movimiento, cuando durante su funcionamiento se detecte la presencia de algún peligro que pueda poner en riesgo la vida del operario.
- La reactivación segura de la máquina tras una parada intempestiva, ya que solamente se permite su reactivación cuando el entorno circundante a la máquina vuelve a ser seguro de nuevo, esto es, cuando dicho entorno está libre de perturbaciones que puedan provocar un accidente laboral.

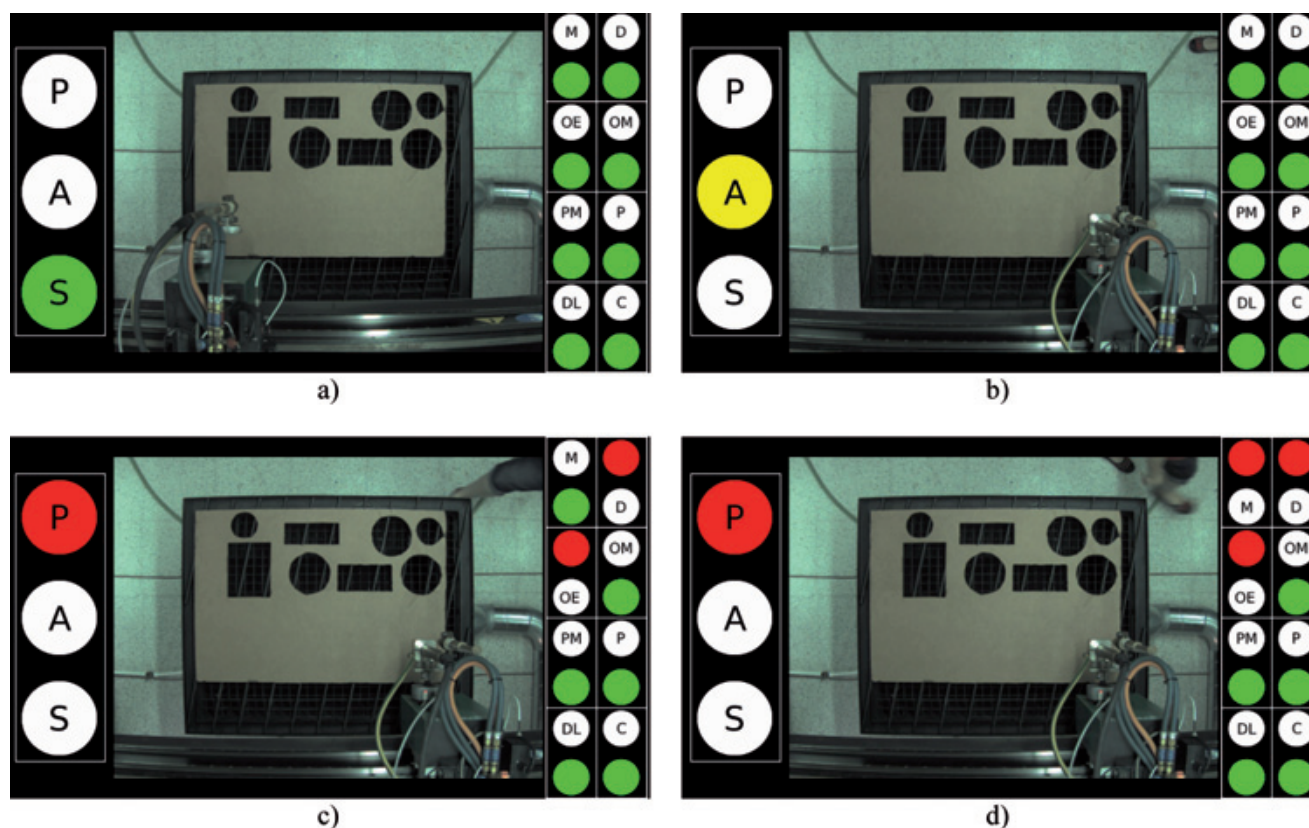


Fig. 6: Detección de riesgos en secuencia de funcionamiento de la máquina de corte

Los riesgos que desaparecen total o parcialmente tras la aplicación del protocolo de actuación propuesto son: atrapamiento, cortes con aristas salientes, quemaduras por contacto, proyección de partículas a los ojos, radiaciones ultravioletas y humos y gases desprendidos durante el corte.

2.4. INTERFAZ VISUAL DE SEGURIDAD (HMI)

En la Fig. 4 se muestra la interfaz hombre máquina (HMI) diseñada para evaluar el funcionamiento del protocolo de actuación con fines de seguridad activa descrito en la Sección 2.3. Se trata de un informador visual que combina la imagen de vídeo digital proveniente del SVA con una serie de iconos tipo semáforo, colocados a ambos lados de dicha imagen, que señalizan la existencia o ausencia de riesgos en tiempo real detectados en el entorno visualizado.

El semáforo principal, situado a la izquierda, sirve para señalar el nivel de seguridad que posee el entorno. Consta de tres elementos: existe riesgo en la zona de peligro (P, rojo), existe riesgo en la zona de advertencia (A, ámbar) o ausencia de riesgos (S, verde). Este semáforo permanece inactivo mientras no se visualice máquina en el entorno y, además, el sistema se encuentre en estado no disponible.

Los de la derecha, nombrados de arriba abajo y de izquierda a derecha, señalizan mediante semáforos de dos colores (rojo y verde): existencia de movimiento (M, rojo), disponibilidad de la máquina (D, verde), objetos desconocidos en el entorno de operación de la máquina (OE, rojo), objetos desconocidos sobre la mesa (OM, rojo), máquina en el entorno visualizado (PM, verde), plancha sobre la mesa de trabajo (P, verde), plancha dentro de los límites (DL, verde) y plancha correctamente calibrada en su posición de referencia (C, verde). Estos dos últimos semáforos, al ser dependientes de la existencia de plancha sobre la mesa (P, verde), sólo se activan cuando existe plancha sobre la mesa de trabajo.

En el caso de la máquina de prueba, mostrada en la parte central de la interfaz, la zona de advertencia se sitúa en la parte superior de la imagen, zona por la que el operario puede acceder a la mesa. Finalmente, la referencia de calibración (C) se corresponde con la esquina superior izquierda del marco interno de la mesa de corte.

3. RESULTADOS

En el presente apartado, de acuerdo con la metodología descrita en la Sección 2.3, se muestra una prueba realizada en el entorno industrial descrito en la Sección 2.1, conforme a los requisitos establecidos para ello, durante un ciclo de funcionamiento de la máquina de corte. Con esta finalidad,

se recogen instantáneas del HMI descrito en la Sección 2.4 para ilustrar el funcionamiento del detector visual de riesgos en las distintas fases contempladas en la Sección 2.3.

La secuencia de imágenes parte de una situación inicial en la que, como puede apreciarse en la Fig. 5.a, dado que no existe plancha de acero sobre la mesa, la máquina permanece no disponible y el protocolo de actuación opera dentro de la Fase 1, control previo. El HMI informa de dicho estado mediante los semáforos adecuados, donde el semáforo de seguridad principal está apagado, al igual que los específicos de plancha (DL y C). Esta situación se mantiene en la Fig. 5.b, donde en este caso existen objetos desconocidos (el pie del operario), que se indica en el semáforo OE con color rojo. Sin embargo, dado el período de latencia predefinido para el algoritmo de detección de movimiento, con el fin de evitar errores de señalización, el semáforo M sigue en verde.

La secuencia continúa mostrando cómo el operario coloca la plancha en el sitio correcto dentro de los límites de seguridad de la mesa de corte, hasta obtener un estado de disponibilidad segura para la máquina. En la Fig. 5.c y Fig. 5.d se muestra cómo el protocolo de actuación enfoca el análisis de la escena a detectar la presencia de objetos desconocidos en el entorno de la mesa (el operario), detectándose ahora movimiento (M, rojo). Esta característica materializa una prioridad en la detección de riesgos para el operario respecto a la detección de riesgos derivados de los objetos sobre la mesa de trabajo.

Una vez que el operario desaparece de la escena (Fig. 5.e), debido al período de latencia necesario, el sistema espera un cierto tiempo durante el cual no exista movimiento en el entorno, hasta poder cambiar el estado de la máquina a disponible (Fig. 5.f). La disponibilidad ocurre en este fotograma porque, por una parte, no existe movimiento tras el período de latencia fuera de la mesa de corte, ni dentro de la misma, y además existe plancha sobre la mesa y está colocada correctamente dentro de sus límites y en la referencia considerada. Este análisis del contenido de la mesa se realiza solamente tras comprobar que no existe movimiento en el entorno de la mesa de corte. Con todo ello, el semáforo principal indica por primera vez en la secuencia que el entorno de funcionamiento de la máquina es seguro.

Dado que el sistema está ya disponible (D, verde), el siguiente ciclo de análisis nos lleva a la Fase 3 del protocolo

de actuación, control en movimiento. En esta parte de la secuencia, ilustrada en la Fig. 6.a, el CNC toma el control de la máquina de corte, la cual avanza de forma segura desde la parte inferior de la imagen, hasta posicionarse sobre la plancha calibrada para comenzar el proceso de corte.

En un cierto instante de tiempo posterior, puede darse la situación ilustrada en la Fig. 6.b, momento en el que un objeto desconocido (de nuevo el pie del operario) aparece en la parte del entorno de la mesa identificada como zona de advertencia. Al no estar el pie dentro de la zona de peligro respecto a la máquina, esta continúa disponible (D, verde), aunque el semáforo principal de seguridad pasa a estado A, ámbar. Sin embargo, en la Fig. 6.c se observa cómo el pie que provocaba una señal de advertencia en el instante de tiempo inmediatamente anterior, dentro del período de latencia contemplado para el movimiento, ha pasado ahora a la zona de peligro según la norma ISO 13857 [17], provocando la parada de la máquina por presencia de objetos desconocidos en el entorno de seguridad (OE, rojo), evitando así que pueda producirse un accidente. En la Fig. 6.d, la máquina sigue en estado no disponible y, por tanto, detenida, pero además se señala ahora movimiento en el entorno (M, rojo), superado el período de latencia.

Dado que la máquina está no disponible, pero se halla fuera de su posición de reposo, el protocolo de actuación pasa a la Fase 2, control de reactivación. Para que la máquina vuelva a estado disponible, deben dejar de existir objetos desconocidos en el entorno (OE) y/o movimiento (M). En este caso, el movimiento se medirá para toda la escena, es decir, no solamente en el entorno de la mesa sino también en la propia mesa. Por tanto, hasta que no transcurra un cierto período de latencia en el que se mantengan estas condiciones, no se podrá reactivar la máquina (instante ilustrado en la Fig. 4).

Tras la reactivación de la seguridad de la máquina, esta reanuda su actividad, continuando el protocolo de actuación dentro de la Fase 3, control en movimiento. Cuando finalice su tarea, alcanzando su posición de reposo (en la parte inferior de la imagen en esta prueba), la máquina se desactivará, finalizando así el ciclo de funcionamiento, mientras que el protocolo de actuación vuelve a la Fase 1, control previo.

4. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Los resultados de la prueba práctica descrita en la sección anterior demuestran la eficiencia de la metodología experimental llevada a cabo. No obstante, con el objeto de validar el procedimiento, se realiza una nueva evaluación de riesgos, considerando tanto la evaluación inicial realizada en la Sección 2.1, como los riesgos que se eliminan con el procedimiento desarrollado.

Los riesgos que desaparecen total o parcialmente tras la aplicación del protocolo de actuación propuesto son: atra-

pamiento, cortes con aristas salientes, quemaduras por contacto, proyección de partículas a los ojos, radiaciones ultravioletas y humos y gases desprendidos durante el corte. Es decir, de los 11 riesgos iniciales, los riesgos que permanecen inalterados con esta metodología son: eléctrico, incendio, explosión, ergonómico y ruido.

De acuerdo con estos 5 riesgos y teniendo en cuenta los factores a considerar en la estimación de riesgos, se tiene que:

1. El peor riesgo de funcionamiento en estas nuevas condiciones es el de electrocutamiento, que puede provocar una incapacidad permanente a la persona afectada, pero nunca su muerte, dado que el voltaje usado por este sistema es de 230 V. En base a ello y a la clasificación de la gravedad de una lesión potencial, se asignan 6 puntos a este factor.
2. Considerando ahora que el operario está expuesto un par de veces al día al peligro de electrocutamiento, al ser responsable de dicha máquina y, por esta razón, tener que actuar sobre ella para su activación y desactivación de la red eléctrica, se asignan 2 puntos al apartado de frecuencia de exposición.
3. Examinando la probabilidad de que se produzca una lesión durante el funcionamiento de la máquina y, dado que esta circunstancia es ahora improbable, ya que los riesgos principales se eliminan con el procedimiento experimental propuesto, se asigna 1 punto al factor de probabilidad de la lesión.

Por tanto, sumando las tres puntuaciones anteriores, se obtiene un total de 9 puntos, lo cual indica, de acuerdo con lo especificado en la norma ISO 14121 [13], que la máquina ya no posee riesgos potencialmente peligrosos derivados de su funcionamiento y, por tanto, es segura.

En definitiva, el procedimiento experimental propuesto en el presente trabajo permite reducir el número de riesgos asociados a las maquinarias de corte y, consecuentemente, posibilita que éstas pasen de ser potencialmente peligrosas a ser seguras. Además, esta mejora en seguridad de la máquina cumple con las recomendaciones de diseño y operación de este tipo de máquinas recogidas en la norma ISO 10218 [19], de reciente actualización.

A la vista de los resultados obtenidos con el protocolo de seguridad activa presentado en este trabajo, se justifica su aplicación a máquinas industriales de características similares a la de prueba, como las rectificadoras, las sierras automáticas circulares para corte de diverso material (p. e. madera, espuma o acero), las máquinas de electroerosión y las soldadoras, entre otras.

Además, se plantea su expansión y/o adaptación para máquinas que desarrollan su actividad en condiciones ambientales y complementan el transporte del material manipulado mediante una cinta de triaje, como los robots utilizados en la agricultura para la fumigación de las plantas y recolecta del fruto, entre otros.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por la Universidad de Extremadura y la Consejería de Sanidad y Dependencia de la Junta de Extremadura, dentro de la Acción VII del Plan de Iniciación a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2011, con el proyecto titulado: *Implementación de un Sistema Inteligente de Visión Artificial para el Apoyo en Seguridad Activa de Sistemas de Control Numérico Computarizado en Maquinarias de Corte*.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] España. Ministerio de Trabajo e Inmigración (MTIN). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Informe Anual de Accidentes de Trabajo en España 2010*. Agosto 2011 [en línea]. NIPO: 792-11-091-5. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://www.insht.es/Observatorio/Contenidos/InformesPropios/Siniestralidad/Ficheros/INFORME_ANUAL_AT2010.pdf>.
- [2] España. Ministerio de Trabajo e Inmigración (MTIN). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Informe Anual de Accidentes de Trabajo en España 2009*, Agosto 2010 [en línea]. NIPO: 792-11-090-X. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <<http://www.oect.es/Observatorio/Contenidos/InformesPropios/Siniestralidad/Ficheros/Informe%20anual%20de%20Accidentes%20de%20trabajo%20en%20Espana%C3%B1a-2009.pdf>>.
- [3] Rockwell Automation Inc. *Sistemas de Seguridad para Maquinaria Industrial. Principios, Normas e Implementación*. Marzo de 2011 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/safebk-rm002_-es-p.pdf>.
- [4] USA. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). *Equipo de Protección Personal*. Julio de 2010 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/ppe-factsheet-spanish.pdf>.
- [5] Brown A (ed), *Active Safety and the Mobility Industry*, Warrendale, PA, USA: SAE International, 2011. ISBN 978-0-7680-4766-0.
- [6] The Maintenance Council of the American Trucking Associations. *Technician Guidelines for Antilock Braking Systems*. March 1998. Rep. no. FHWA-MC-98-008 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <<http://www.fmcsa.dot.gov/documents/fhwa-abs.pdf>>.
- [7] Jonsson P, Lesshammar M. "Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE", *International Journal of Operations & Production Management*. January 1999. Vol.19-1, p.55-78. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579910244223>
- [8] EU. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). *The human machine interface as an emerging risk*. October 2009, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union. ISBN: 978-92-9191-300-8. DOI: 10.2802/21813.
- [9] ISO. *Lightning of work places*. ISO 8995. ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
- [10] Praxair España S. L. Productos y servicios 2009. *Sistemas de corte*. Mayo 2009 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <[http://www.praxair.es/eu/es/esp.nsf/0/466B64C6D558276A8525724200330238/\\$file/9-2009-Sistemas_de_Corte.pdf](http://www.praxair.es/eu/es/esp.nsf/0/466B64C6D558276A8525724200330238/$file/9-2009-Sistemas_de_Corte.pdf)>.
- [11] Kemper GmbH. *Extraction tables*. Octubre 2010 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://static.kemper.eu/uploads/tx_abdownloads/files/absaugtische_2010_en_mail_08.pdf>.
- [12] Hypertherm Inc. *Hypertherm PowerMax 1000 G3 series Datasheet*. Junio de 2008 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://ing-instalar.com.ar/pdf/folletos_plasmas_manuales/PowerMax%201000.pdf>.
- [13] ISO. *Safety of machinery - Risk assessment*. ISO 14121. ISO: Geneva, Switzerland, 2007.
- [14] Allied Vision Technologies (AVT) Canada Inc. *GC1290 / GC1290C Technical manual*. August 2010 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <http://www.alliedvisiontec.com/fileadmin/content/PDF/Products/Technical_Manual/GC_Series/700036A_-_GC1290_User_Manual.pdf>.
- [15] Goyo Optical Inc. *GAZ8048010M Datasheet*. January 2006 [en línea]. Disponible en web [Consulta: 27/03/2012]: <<http://www.goyooptical.com/products/industrial/GAZ8048010M.pdf>>.
- [16] Moreno MD, Fernández JA. "Calibración de Cámara Cenital en Aplicaciones de Visión Artificial para Sistemas de Corte". En: *Actas SAAEI 2011, (Badajoz, España, 5-8 Julio 2011)*. P.825-830. ISBN: 978-84-933682-3-4.
- [17] ISO. *Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*. ISO 13857. ISO: Geneva, Switzerland, 2008.
- [18] Universidad de Extremadura. *Sistema con fines de detección y prevención activa e inmediata de riesgos en maquinaria industrial*. Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). Solicitud de patente española nº P201132098 (23/12/2011).
- [19] ISO. *Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots*. ISO 10218. ISO: Geneva, Switzerland, 2011.