

Ventana de Infrarrojos

RESUMEN / ABSTRACT

La mayoría de riesgos mecánicos se relaciona con la posibilidad de contacto entre una extremidad del operario con la parte móvil de una máquina cuyas consecuencias pueden ser variadas pero en cualquier caso nocivas para el trabajador. Esas partes móviles a las que no debe acceder la extremidad pueden tener que ser accesibles al material con el que se trabaja, de modo que, en ocasiones, cuando se produce un descuido del operario es posible que se permita el acceso casi siempre de las manos a esos lugares pudiéndose producir accidentes (cortes, atrapamientos, aplastamientos...) Para reducir la siniestralidad en estos entornos industriales donde se trabaja con máquinas-herramientas se desarrolló y se publicó en el pasado ORP 2014 un proyecto piloto basado en el uso de una cámara termográfica capaz de discernir por diferencia de temperatura entre la citada extremidad o el material. Sin embargo, el excesivo coste de este tipo de cámaras respecto al de la propia máquina herramienta haría poco viable su utilización en multitud de situaciones.

Para salvar esta dificultad y con el fin de hacer una propuesta fácilmente asimilable en cualquier industria, se ha desarrollado un dispositivo de seguridad adaptable a cada situación al que se le ha dado el nombre de ventana de infrarrojos. La citada ventana cubre el perímetro necesario en cada situación que se corresponde con los lugares por los que se podría tener acceso a la parte móvil de la máquina, se basa en el empleo simultáneo de varios sensores de termografía infrarroja de muy bajo coste que se sitúan como vigilantes en el perímetro de la ventana y que permiten comprobar constantemente que no se produzca el paso de la extremidad del operario a través de la misma. El número de sensores es el suficiente para cubrir el área que se quiere vigilar. Existe un algoritmo que permite tomar las decisiones en función de la lectura de todos los sensores para activar el protocolo de seguridad. Obviamente, el paso a través de la misma del material con el que se está trabajando no altera el procedimiento de trabajo. La ventana actúa en caso de necesidad antes de que se produzca el accidente, emitiendo una señal acústica de peligro y parando la máquina si llega a invadirse un espacio no tolerable.

Para la realización de los ensayos de validación del dispositivo se ha utilizado una prótesis que simula una mano humana con el fin de realizarlos sin peligro para la integridad física de los investigadores. Se ha estudiado el rango de temperaturas cuerpo-ambiente en el que es de utilidad este dispositivo.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

Seguridad; Máquina-herramienta; termografía; infrarrojos

AUTORES / AUTHORS

Isidro J Ibarra Berrocal

Universidad Politécnica de Cartagena
isidro.ibarra@sait.upct.es

Dolores Ojados González

Universidad Politécnica de Cartagena
lola.ojados@sait.upct.es

Beatriz Miguel Hernández

Universidad Politécnica de Cartagena
beatriz.miguel@upct.es

Bernardo Martín Górriz

Universidad Politécnica de Cartagena
b.martin@upct.es

Pedro Morales Sánchez

Universidad Politécnica de Cartagena
pedromoralessanchez5@gmail.com

Francisco Caro Garcia

Universidad Politécnica de Cartagena
francisco.caro.garcia@gmail.com

Introducción

Objeto y definición del problema

Según la legislación vigente española, las máquinas no portátiles accionadas con motor deben cumplir unos requisitos legales detallados en el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las “normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas”, que traspone la directiva 2006/42/CE, y el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las “disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo”. Estos requisitos son necesarios para poder asegurar la integridad física de los trabajadores usuarios de las mismas.

Entre los órganos y elementos de seguridad que incluyen las máquinas se encuentran los de parada. Respecto a estos, además de órganos para "parada general" y para "parada desde el puesto de trabajo", deben de disponer de "parada de emergencia". La colocación de un dispositivo de parada de emergencia sólo tiene sentido en el caso de que el tiempo de parada que permite obtener sea netamente más corto que el obtenido con la parada normal o cuando el acceso a la parada normal está imposibilitado, lo que requiere una detección prematura y un frenado posterior eficaz.

Complementariamente a los elementos de parada anteriores, todos de tipo manual, existen otros de tipo automático. Entre estos existen diversas tecnologías y sistemas, como células fotoeléctricas, sensores de ultrasonidos, alfombras sensibles, etc. Generalmente consisten en un elemento sensor que detecta la presencia de una persona o parte de su cuerpo en una zona donde no debe estar y que generan una situación de alarma y/o parada automática del equipo.

A pesar de los sistemas descritos anteriormente, sigue siendo muy elevado el número de accidentes que se producen en este tipo de máquinas, por lo que es necesaria la investigación y desarrollo de estas nuevas tecnologías que ayuden a reducir la siniestralidad laboral.

Objetivo

El objetivo principal del presente trabajo, es la aplicación de tecnología infrarroja como dispositivo de seguridad en máquinas, el desarrollo de una ventana de sensores infrarrojos como prototipo y la posterior ejecución de pruebas de funcionamiento que detecten, en la zona no segura, la presencia de cuerpos extraños, discerniendo si corresponden o no a partes del cuerpo humano para, en caso de que lo sean, ejecutar funciones automáticas de alarma (led) y parada inmediata de la máquina. Se entiende por zona no segura aquella de cualquier máquina en la que se encuentran partes en movimiento que implican riesgos mecánicos si entran en contacto con el trabajador, a la que no debe acceder por tanto, pero donde sin embargo sí deben estar presentes normalmente materias primas, materiales o productos a trabajar.

Se considera como campo de aplicación para este dispositivo todo tipo de máquinas y herramientas accionadas por una fuente de energía distinta de la humana siempre que incorporen una herramienta móvil, por ejemplo brocas, sierras, etc., que generen un riesgo mecánico cuando el operario introduce una parte de su cuerpo en la zona de trabajo peligrosa de la máquina.

El dispositivo deberá actuar de forma remota, a distancia y sin interferir en el desarrollo normal del proceso de trabajo en la máquina. Adicionalmente reconocerá los cuerpos introducidos en la zona no segura distinguiendo los miembros humanos del resto de elementos, evitando así la parada de la máquina cuando por dicha zona circulen materiales o productos que sí deben estar ahí durante el proceso normal.

La razón por la que se ha optado por sensores infrarrojos es su utilidad para medir la temperatura. La temperatura del cuerpo humano es un parámetro muy característico y que habitualmente sufre variaciones muy pequeñas (entre 36-37°C) y que suele ser diferente de la temperatura de los objetos del entorno. Lo anterior lleva a pensar que una tecnología capaz de medir temperatura, como la tecnología infrarroja, y que pueda hacerlo sin entrar en contacto con el objeto, puede satisfacer todos los requisitos exigidos y cumplir correctamente con la función asignada.

En trabajos presentados anteriormente se empleó y verificó la utilidad de una cámara termográfica para resolver este problema, pero debido a los altos costes de esa tecnología, se propone en este trabajo utilizar sensores infrarrojos que realicen la misma función a un precio considerablemente más bajo.

Metodología

Tras una revisión bibliográfica previa, se han observado diferentes técnicas de identificación de humanos. Algunas de ellas son aplicables sólo cuando la temperatura del resto de objetos difiere de la del cuerpo humano, existen técnicas que discriminan sólo en función de los valores de temperatura. La técnica consistente en la consideración de que el cuerpo humano se encuentra entre dos regiones de temperatura umbrales. A partir de ellos se establece una región de temperaturas tal que si el dispositivo de seguridad mide una temperatura dentro de ella, la máquina detendría la operación peligrosa que está realizando. Estos valores umbrales son dinámicos ya que ambos pueden variar y dependen de las condiciones meteorológicas, la temperatura y la humedad del ambiente y la temperatura de los objetos.

En principio, entonces, se recurrirá a una técnica basada exclusivamente en valores de temperatura, y que pueda por consiguiente reconocer cualquier parte del cuerpo humano independientemente de su morfología. Se miden continuamente los valores de temperatura y cuando algún miembro humano acceda al área no segura, los sensores infrarrojos registrarán un valor de temperatura que se encuentre en el umbral o rango de temperatura seleccionado. Su principal inconveniente es que se puede presentar una alta tasa de falsos positivos, los cuales se deberán reducir.

Antes de realizar el montaje de la ventana de sensores infrarrojos, se realizaran estudios con sensores infrarrojos en un banco de pruebas y ensayos donde se verificara el funcionamiento y características de los sensores a utilizar.

Ensayo sobre sensores de temperatura MLX90614

Con este ensayo se pretende obtener las características que ofrece el sensor de temperatura MLX90614 (Fig. 1). Este tipo de sensor de temperatura MLX90614 de Melexis mide temperaturas de entre -70 a +380 Cº sin contacto. Presenta un tamaño muy reducido para las buenas características que ofrece.



Figura 1. Sensor infrarrojo de temperatura. MLX90614 de Melexis

Con el fin de usar este tipo de sensores como sistema de seguridad en máquinas herramienta se quiere conocer el “campo de visión” que ofrece este sensor, solo y con diferentes elementos que hagan que se concentre o amplíe dicho campo. A estos elementos se les llamará “capuchón/es” en adelante.

Para la medida del alcance de los sensores se ha construido una plataforma con un plato metálico, lo más isoterma posible y con altura regulable (Fig. 2).



Figura 2. – Instrumento medida de cono de temperatura.

La metodología a emplear será poner cada una de las configuraciones consideradas sobre el sensor de manera que el sensor esté alineado con la pieza metálica de temperatura conocida, devolviéndolo mediante el software “MlxCIrT” la temperatura que está captando el sensor en cada momento. La pieza metálica, de dimensiones conocidas, se irá alejando del sensor cada vez más, viendo cómo evoluciona la captación de temperaturas.

En la figura 3 se pueden ver todas las configuraciones que se han considerado para realizar el estudio.

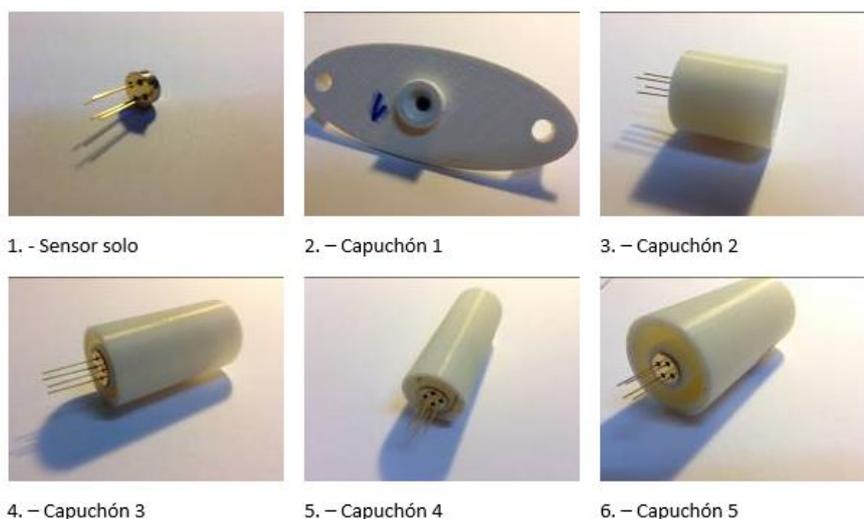


Figura 3.-Diferentes configuraciones.

La forma de colocar cada capuchón se muestra en la Figura 4.

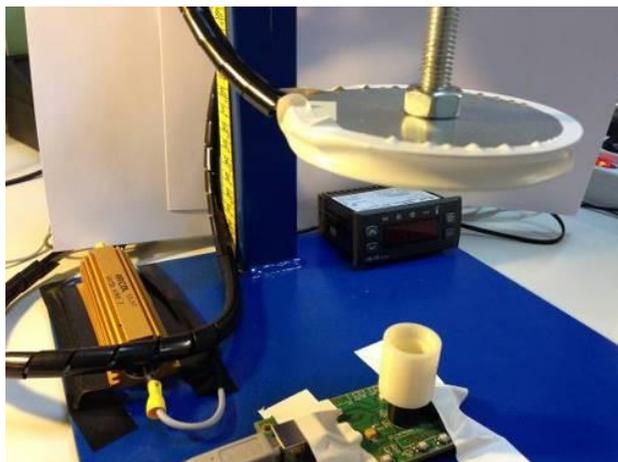


Figura 4.- Ejemplo de montaje.

Para cada uno de los capuchones se procedió del mismo modo, alejando el disco isotermo en saltos de 5 a 10 mm, dependiendo de la evolución de temperaturas que se observe y hasta la distancia que se observe que es significativa para dar por finalizado el ensayo.

6.2.- Material utilizado

Los diferentes elementos que se han usado para el ensayo se describen brevemente a continuación:

- Regulador de temperatura: Para poder establecer una temperatura del disco isotermo, se utiliza un termostato regulable, que permite mantener un rango aceptable de temperaturas de manera sencilla (Fig. 5).



Figura 5.- Regulador de temperatura

- Resistencia: El elemento que transformará la energía eléctrica en calor será la resistencia flexible, su flexibilidad es necesaria para poder adaptarla a distintas formas y configuraciones (Fig. 6).



Figura 6.- Resistencia flexible.

- Disco isotermo: El elemento que ofrecerá una superficie con una distribución de temperaturas lo más uniforme posible. Es de área conocida, de 60 cm², y dentro contiene la resistencia flexible, distribuida de manera uniforme, y el sensor de temperatura analógico del termostato. (Fig. 7).

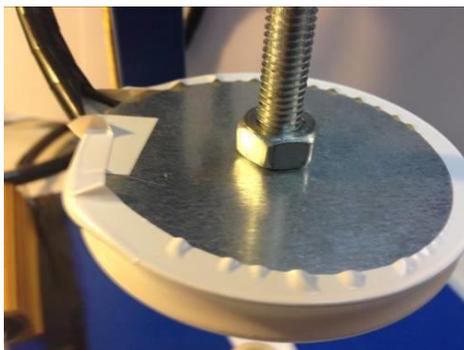


Figura 7.- Disco isoterma

- Placa de pruebas de sensores: esta placa ofrecida por el fabricante (Melexis “EVB90614”) para probar los sensores de temperatura, combinada con el software correspondiente “MlxCIrT”, permite conectar diferentes sensores y obtener una lectura de temperatura de ellos de manera muy sencilla. El software también permite configurar diferentes parámetros de cada sensor, calibrarlos y ajustarlos dependiendo del material que se quiera “observar” (Fig. 8).

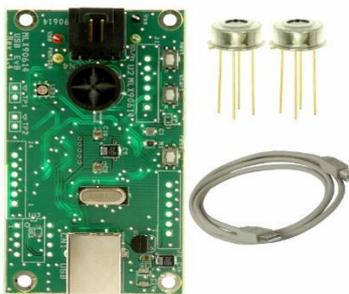
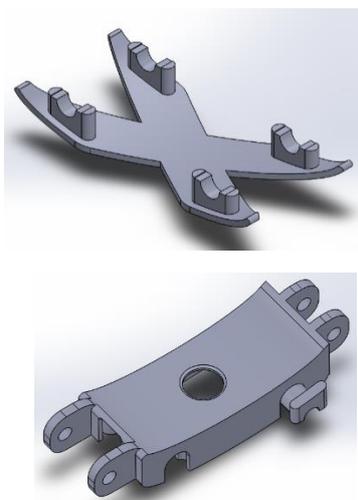


Figura 8.- Placa de pruebas Melexis EVB90614

Diseño 3D y fabricación de ventana de infrarrojos

El diseño CAD de los componentes de la ventana de sensores infrarrojos se realiza con el software SOLIDWORK donde se modelaron las diferentes piezas y ensamblaje de la ventana que se muestran en la Figura 9.



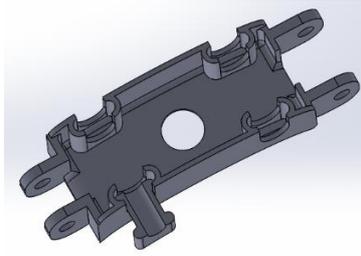


Figura 9. Diseño CAD piezas mecánicas de ventana

Al estar finalizado el diseño de las piezas en Solidwork, seguidamente se procede a la fabricación e impresión, mediante una impresora 3D utilizando ABS como material base (Fig. 10).

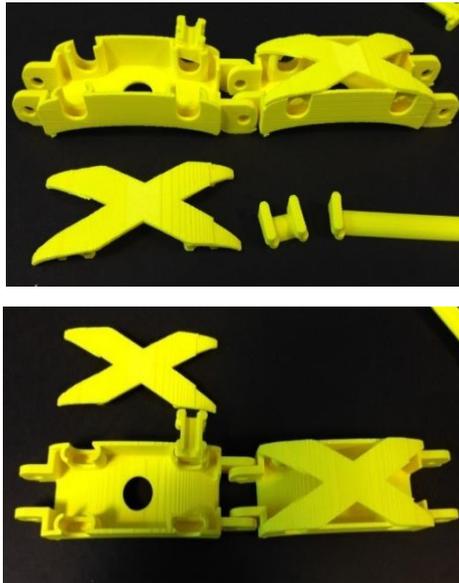


Figura 10. Impresión 3D ABS de piezas mecánicas de ventana

Diseño electrónico

El dispositivo que se propone ensayar cuenta con una ventana de 6 sensores activos, podrían ser más en caso de que el área a cubrir fuese mayor, los cuales trabajan bajo las directrices del circuito integrado en la caja. El circuito tiene integrado el programa para el funcionamiento con los 6 sensores y la activación de un LED cuando se cumplen las condiciones dadas. Al estar este programa cargado ya puede funcionar con pila de manera autónoma. La programación y control del circuito electrónico se ha realizado con Arduino. Se ha utilizado comunicación tipo I2C (4 hilos) entre los sensores y el Arduino.

Cada sensor tiene una dirección de memoria para nombrarlo durante la programación. Y está marcado a una emisividad del objeto observado de 0,25, que es la emisividad del acero zincado. Para una lectura más realista de la temperatura se ha ajustado la resolución de 0.02 a 0.02015 obteniendo de esta manera una lectura más cercana a la real.

Para una mejor funcionalidad y modularidad, se ha pensado en hacer cada eslabón de la cadena de sensores independiente de manera que integre un pequeño circuito que contenga el sensor y dos conectores uno macho por un lado y uno hembra por otro . El conector hembra irá cableado y será el que se una al macho que estará unido a la placa con el sensor en el siguiente eslabón como se ve en la Figura 11.

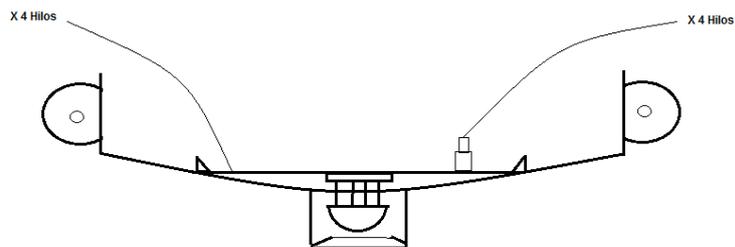


Figura 11. Cableado sensor en eslabones

A la derecha de la citada figura se ve como el conector macho está soldado a la placa y a la izquierda se aprecia como el conector hembra estaría al final de los 4 hilos que nacen de la placa.

Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos utilizados para completar el montaje fueron, una caja de control electrónico (Fig. 12), una placa Arduino Nano V3.1 Atmel Atmega 328 MCU (Fig. 13), un módulo Relay TinkerKit (Fig. 14), Placa electrónica (Fig. 15) y la ventana de sensores de infrarrojos (Fig. 16).



Figura 12. Caja Control Electrónico

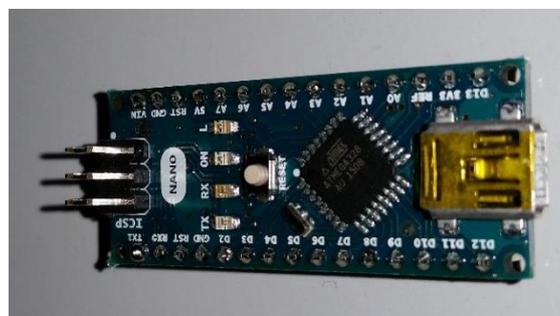


Figura 13. Arduino Nano V3.1 Atmel Atmega 328 MCU



Figura 14. Modulo Relay TinkerKit

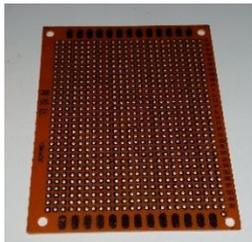


Figura 15. Placa Electronica

Finalmente se ensamblan todas las piezas mecánicas (eslabones y sistema de sujeción) y electrónicas (sensores infrarrojos, cableado, caja de control) del sistema de ventana de sensores infrarrojos, como se muestra en la Figura 15.

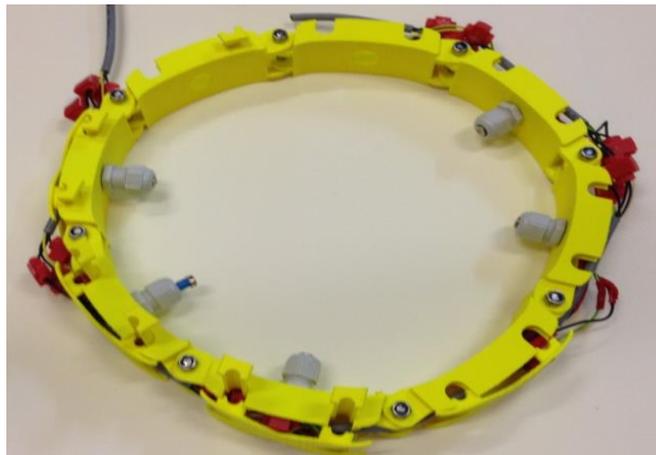


Figura 16. Ventana sensores infrarrojos

Resultados

Resultados del ensayo sobre sensores de temperatura MLX90614

Para hacer los ensayos se ha establecido una temperatura del disco de 40°C, que con las oscilaciones propias de la interpretación de temperaturas del sensor y el rápido calentamiento de la resistencia hace que la temperatura real oscile entre los 39,4 y 42,4°C, de manera que lo que se decidió fue tomar la temperatura siempre que el marcador del termostato marcara los 42,3°C.

En las Figuras 17 a 22 se muestran las gráficas elaboradas con los datos obtenidos, directamente con el sensor y para los distintos capuchones diseñados para el presente trabajo.

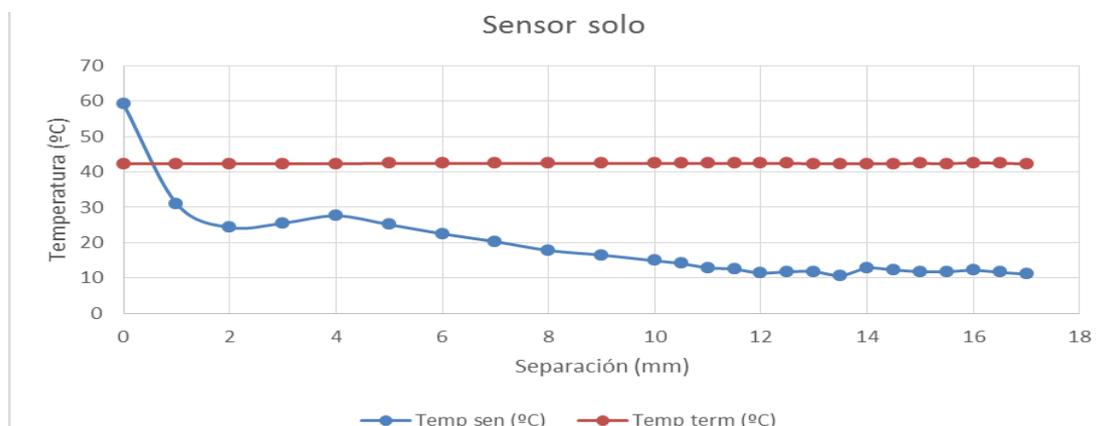


Figura 17. Resultado del ensayo con el sensor sólo.

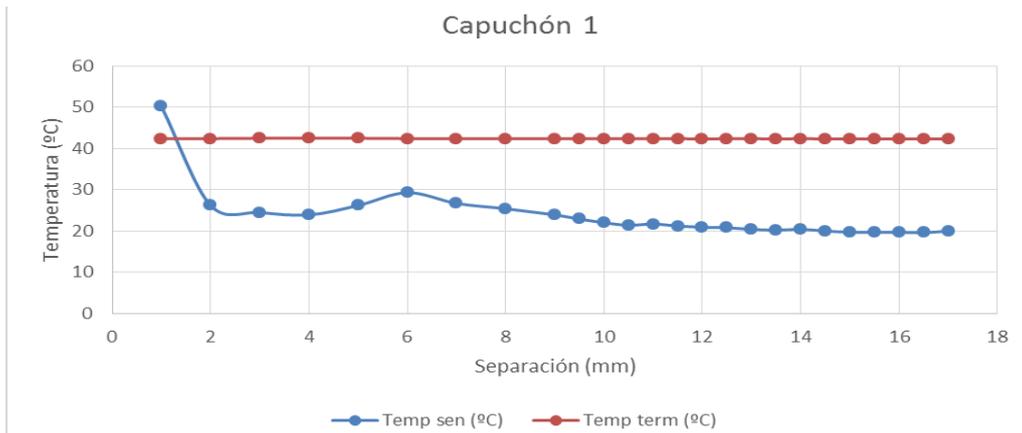


Figura 18. Resultado del ensayo con el capuchón 1.

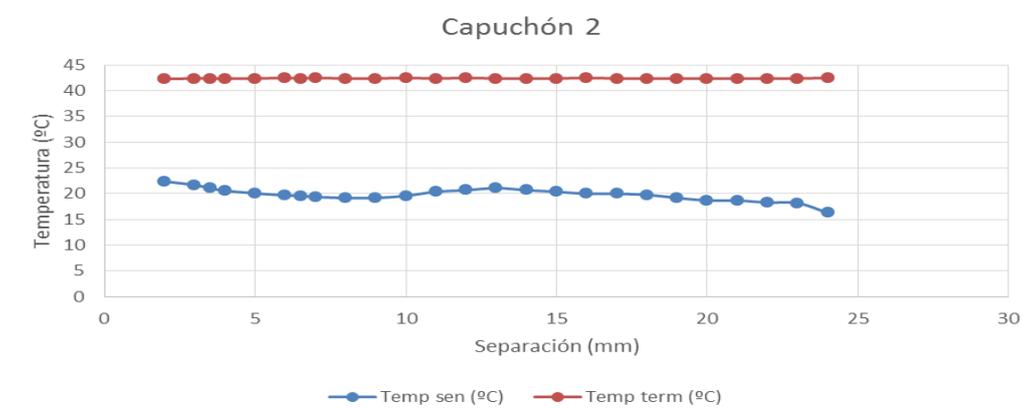


Figura 19. Resultado del ensayo con el capuchón 2.

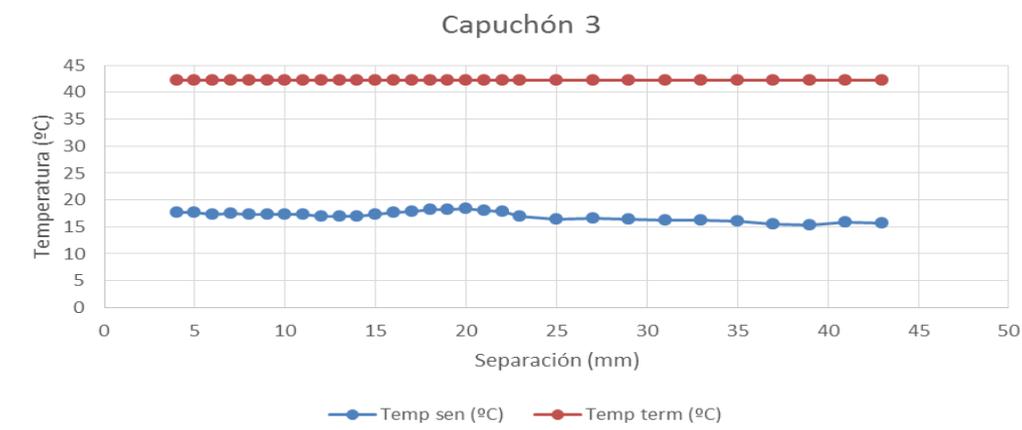


Figura 20. Resultado del ensayo con el capuchón 3.

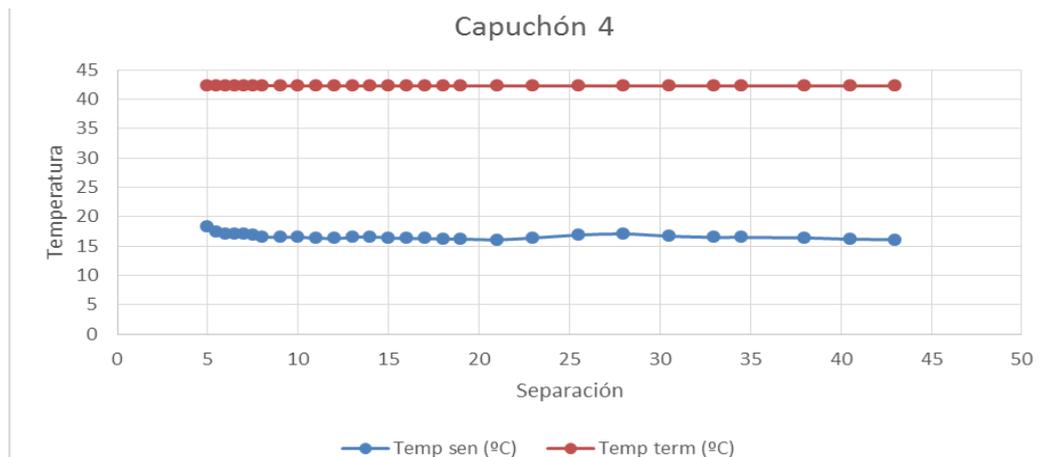


Figura 21. Resultado del ensayo con el capuchón 4.

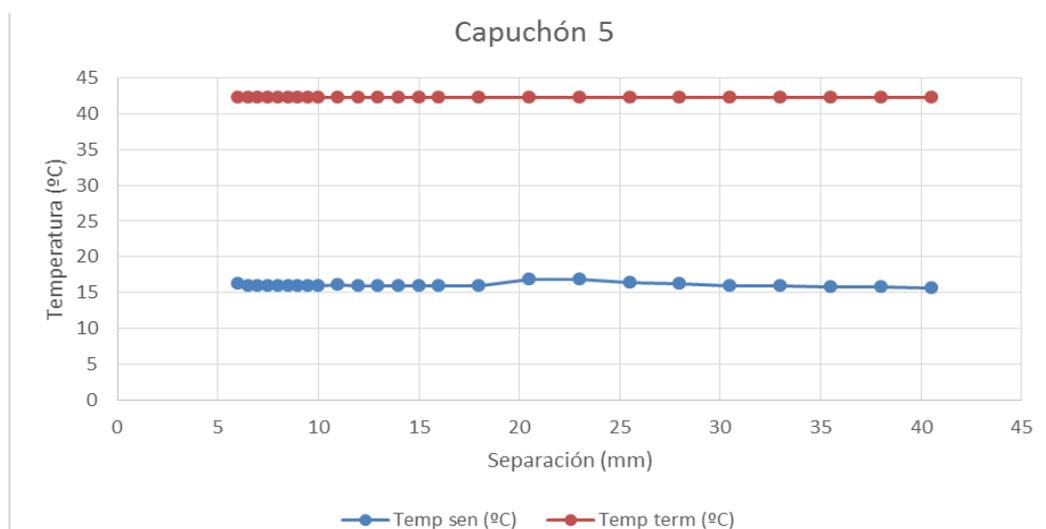


Figura 22. Resultado del ensayo con el capuchón 5.

Las diferencias entre la temperatura leída y la programada se deben a la baja emisividad del acero galvanizado. Estos valores de temperatura pueden hacerse coincidir recalibrando la lectura de los sensores pero este no era el objeto del experimento.

Como se puede observar, las graficas muestran adecuadamente el objeto del experimentos que no es otro que comprobar el comportamiento con el aumento de la distancia del disco isoterma, pudiendo identificar de una manera clara el “cono de visión” del sensor de temperatura.

Cálculos

Teniendo como vértice del cono que se quiere obtener el “ojo” del sensor y como base el disco, de dimensiones conocidas (Área = 60cm² y Radio = 4,37cm) y siendo la altura a la que se quiere obtener el cono conocida se pudo calcular el ángulo que forman el eje y la generatriz del cono. (Fig. 23)

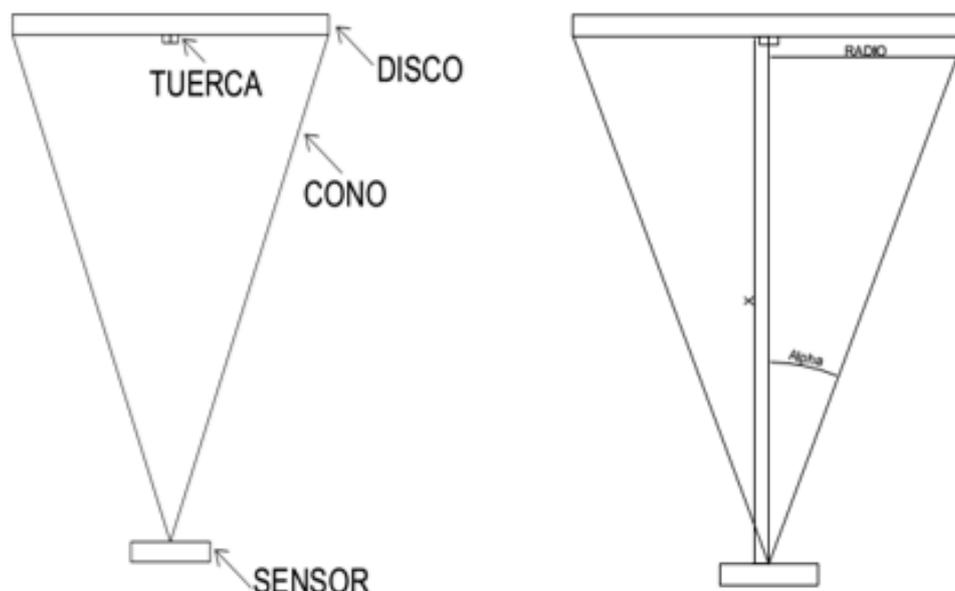


Figura 23. Geometría proyección de señal infrarroja

La tuerca que sujeta el disco influye en las medidas de temperatura y se creyó oportuno aprovechar esta influencia tan clara para el propósito principal de este ensayo, la estimación del cono de visión del sensor. Esto se hizo estimando un círculo equivalente al hexágono que forma la tuerca.

Al ser una tuerca estándar de métrica 10 se dispone de todas sus dimensiones, tiene un área de $248,75\text{mm}^2$. Un círculo con idénticas dimensiones tendría un diámetro de $17,8\text{mm}$. Con estos nuevos datos se avanzó en los cálculos (Área = 248.75mm^2 y Radio = 8.9mm)

Para tener la altura en cada caso estudiado se elige el punto en el que la temperatura deja de bajar y tiene un valor mayor al anterior. En ese punto se sabe que es cuando el sensor ha dejado de captar solamente la temperatura de la tuerca y ha empezado a “ver” la del disco también. En la Tabla 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos con los distintos capuchones ensayados.

Configuración	Distancia X (mm)	Ángulo Alpha ($^{\circ}$)	Ángulo del cono ($^{\circ}$)
Sensor sólo	2,5	19,5957295	39,191459
Capuchón 1	5	10,09293983	20,18587966
Capuchón 2	11	4,625673341	9,251346682
Capuchón 3	15	3,395568681	6,791137363
Capuchón 4	25,5	1,998923652	3,997847305
Capuchón 5	20,5	2,485914248	4,971828495

Tabla 1. Resultados de los parámetros de la zona de captación.

Discusión de resultados

Se llevará al congreso el prototipo de la ventana para mostrar su eficaz funcionamiento.

Como era de esperar el ángulo que se ha obtenido ha ido disminuyendo conforme aumentaba la longitud del capuchón (los capuchones 4 y 5 son de la misma longitud pero de diámetros diferentes). Los resultados del ensayo concluyen que este tipo de sensores no dan una medida de temperatura real del objeto observado, aunque pueden ser recalibrados en

función de la medida o reconsiderando el valor de emisividad inicial. Esta diferencia de temperatura está influenciada por la baja emisividad del acero galvanizado que es el material con el que está fabricado el disco del ensayo. Cambiando este material por otro con mayor emisividad, como el plástico o la piel humana es previsible que se consiga que el valor de temperatura leído sea coherente con el valor real programado.

Se ha comprobado que con diferentes configuraciones de capuchones se puede concentrar el cono de temperaturas de manera que enfoque a un objeto concreto que se quiera observar o abrir el campo de visión del sensor variando estos elementos.

En otro orden, se ha comprobado que pese a que se tiene una lectura de temperatura veraz de lo que se está observando, sí que se obtiene la necesaria variación de temperaturas al interponer un objeto cualquiera a diferente temperatura en el campo de visión del sensor, de manera que se puede aprovechar este cambio para el fin que se pretende, que no es otro que identificar una extremidad humana.

Gracias al software utilizado se pueden variar algunos parámetros del sensor, observándose que cuando se baja la emisividad del objeto que se va a observar, por ejemplo, se introduce la emisividad del acero galvanizado ($\epsilon = 0,28$), cuando se introduce un miembro del cuerpo humano en el campo de visión del sensor el cambio de temperaturas observado es mucho mayor que si se introduce el valor de emisividad de la piel humana ($\epsilon = 0,98$). Este efecto se podría aprovechar para el propósito de este trabajo en el caso de que con diferentes materiales no produzca el mismo efecto que con el cuerpo humano, lo cual daría falsos positivos.

Conclusiones

Como conclusión se ha obtenido un dispositivo de seguridad que cumple los objetivos fijados al inicio del proyecto como son la parada autónoma del equipo sin la intervención de ninguna persona y la distinción midiendo temperaturas de extremidades del cuerpo humano y el resto de objetos.

El sistema de ventana, basado en el uso de este tipo de sensores reduce en más de dos órdenes de magnitud el coste inicial del sistema basado en el uso de una cámara termográfica, del orden de algo más de una decena de miles de euros que costó el primer diseño a unas pocas centenas que costaría este nuevo diseño.

Actualmente se están realizando ensayos para optimizar el número de sensores y su distribución necesario para cubrir cualquier zona de peligro.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación y el apoyo de la Dirección General de Trabajo y el Instituto de Seguridad y Salud de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia