

Universidad Politécnica de Cartagena

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EMPRESA

**MASTER INTERUNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES**

MEMORIA DE TRABAJO FIN DE MASTER

**NUEVOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN
MÁQUINAS UTILIZANDO CÁMARAS TERMOGRÁFICAS**

Alumno: Juan Antonio Raja Valverde
DNI: 23026963-F

Directores: Isidro Ibarra Berrocal
Bernardo Martín Górriz

Cartagena, febrero de 2013

RESUMEN

Las máquinas no portátiles accionadas con motor deben cumplir unos requisitos legales para poder asegurar la integridad física de los trabajadores usuarios de las mismas que se recogen en los Reales Decretos 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las “normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas”, y 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”. Entre otros se exige la presencia de dispositivos de seguridad para la parada automática de la máquina en caso de riesgo para el operador basados en diversas tecnologías y sistemas, como células fotoeléctricas, sensores de ultrasonidos, infrarrojos, alfombras sensibles, etc.

En la actualidad se pretende llegar a un nivel de seguridad tan alto como sea posible durante la realización de los trabajos en el ámbito del mundo laboral y, 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 nuevas tecnologías que ayuden a reducir la siniestralidad laboral.

Este trabajo comprendió el desarrollo de un prototipo real de dispositivo de seguridad mediante cámara termográfica capaz de realizar la parada automática de máquinas con herramientas peligrosas que generen riesgos mecánicos para los trabajadores cuando alguna parte del cuerpo del trabajador se aproxima a la zona de influencia de dicho riesgo. Este era capaz de, dentro de una zona no segura definida, detectar la presencia de cuerpos extraños discerniendo si corresponden o no a partes del cuerpo humano, exigencia que inhabilita tecnologías más tradicionales como ultrasonidos o sensores fotoeléctricos, para, en caso de que lo sean, hacer actuar las correspondientes funciones automáticas de alarma en un primer nivel de inseguridad y parada de la máquina en un segundo nivel.

| | |
|--|-----------|
| 1.- INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.1- ANTECEDENTES | 4 |
| 1.2- OBJETO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.3- CONCEPTOS SOBRE SEGURIDAD EN MÁQUINAS..... | 6 |
| 1.3.1- <i>Definición y tipos de riesgos</i> | 6 |
| 1.3.2- <i>Riesgos mecánicos en máquinas</i> | 7 |
| 1.3.3- <i>Dispositivos de seguridad en máquinas</i> | 7 |
| 1.4- CONCEPTOS SOBRE TERMOGRAFÍA | 11 |
| 1.4.1- <i>Historia e introducción a la termografía</i> | 11 |
| 1.4.2- <i>Aplicaciones de la termografía</i> | 15 |
| 1.4.3- <i>Factores de influencia en la termografía</i> | 18 |
| 1.4.3.1- Factores propios del objeto a medir | 18 |
| 1.4.3.2- Factores ambientales | 21 |
| 2.- OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO | 25 |
| 2.1- OBJETIVOS | 25 |
| 2.2- PLAN DE TRABAJO | 27 |
| 2.2.1- <i>Selección de algoritmos de detección</i> | 27 |
| 2.2.2- <i>Diseño y construcción del modelo de máquina</i> | 27 |
| 2.2.3- <i>Instalación y configuración del dispositivo de seguridad</i> | 28 |
| 2.2.4- <i>Realización de ensayos</i> | 28 |
| 2.2.5- <i>Resultados y conclusiones</i> | 29 |
| 3.- MEDIOS MATERIALES | 30 |
| 3.1- INFRAESTRUCTURA Y MEDIOS | 30 |
| 3.2- MODELO DE MÁQUINA | 30 |
| 3.3- EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL | 31 |
| 3.4- CÁMARA Y SOFTWARE DE CONTROL | 32 |
| 4.- METODOLOGÍAS EMPLEADAS | 34 |
| 4.1- TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE PARTES HUMANAS..... | 34 |
| 4.2- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE MÁQUINA | 36 |
| 4.3- CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO DE SEGURIDAD | 37 |
| 4.3.1- <i>Definición de zonas</i> | 37 |
| 4.3.2- <i>Configuración de funciones de seguridad</i> | 39 |
| 4.4- ENSAYOS..... | 42 |
| 5.- RESULTADOS | 43 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 7.- ANEXOS..... | 46 |
| ANEXO I. VALORES TÍPICOS DE EMISIVIDAD..... | 46 |
| ANEXO II. FICHA CARACTERÍSTICAS CÁMARA FLIR A320..... | 51 |
| ANEXO III. ESQUEMA UNIFILAR DEL CUADRO ELÉCTRICO..... | 55 |
| 8.- BIBLIOGRAFÍA | 56 |
| 9.- AGRADECIMIENTOS | 57 |

1.- INTRODUCCIÓN

1.1- ANTECEDENTES

El presente documento se realiza a petición de la Universidad Politécnica de Cartagena con motivo de la realización del Trabajo Final del Máster de Prevención de Riesgos Laborales impartido por la Facultad de Ciencias de la Empresa.

Mediante el mismo se pretende la definición de la problemática que se va a abordar, la declaración de las intenciones y objetivos a alcanzar con este trabajo, la metodología y técnicas empleadas durante el desarrollo de la parte experimental del trabajo final de máster, y los resultados y conclusiones obtenidos finalmente.

1.2- OBJETO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

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, lo que requiere un frenado 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, infrarrojos, 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 nuevas tecnologías que ayuden a reducir la siniestralidad laboral.

En este sentido, se pretende desarrollar un sistema que, basado en el empleo de cámaras termográficas, sea capaz de detectar sobre una determinada región de interés previamente definida, la presencia de una extremidad del operario antes de que se produzca el accidente, y pare automáticamente la máquina.

El objetivo concreto y principal es el desarrollo de un prototipo real y el llevar a cabo con él un estudio sobre la viabilidad del uso de cámaras termográficas para realizar la parada automática de máquinas que incorporan herramientas peligrosas que generan riesgos mecánicos para los trabajadores cuando alguna parte del cuerpo del trabajador se aproxima a la zona de influencia de dicho riesgo.

El campo de interés se circunscribe a máquinas y herramientas no portátiles accionadas por una fuente de energía (distinta de la humana) y que incorporan una herramienta móvil, por ejemplo brocas, sierras circulares o de cinta, punzones, etc., que generan un riesgo mecánico cuando el operario aproxima una parte de su cuerpo a ella.

1.3- CONCEPTOS SOBRE SEGURIDAD EN MÁQUINAS

1.3.1- Definición y tipos de riesgos

La Ley 31/1995 de Prevención de riesgos Laborales define el riesgo como la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. Para calificar un riesgo desde el punto de vista de su gravedad, se valorarán conjuntamente la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo.

Dentro de estos encontramos riesgos de tipo mecánico, definidos como el conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos, y entre los que están:

- Caídas de personas al mismo o a distinto nivel o caída de objetos.
- Pisadas sobre objetos.
- Choques contra objetos inmóviles.
- Golpes y cortes por objetos y herramientas.
- Proyección de fragmentos y partículas.
- Atrapamiento por o entre objetos o por vuelco de máquinas.
- Atropello y golpes por vehículos.

Por otra parte existen otros riesgos de naturaleza no mecánica:

- Exposición a temperaturas ambientales extremas y estrés térmico.
- Contactos térmicos o eléctricos.
- Exposición a sustancias tóxicas.
- Incendios y explosiones.
- Accidentes por seres vivos.
- Ruido, vibraciones y radiaciones.
- Riesgos ergonómicos (Iluminación, fatiga física, sobreesfuerzos, ...).
- Riesgos psicosociales (Fatiga mental, insatisfacción laboral, ...).

1.3.2- Riesgos mecánicos en máquinas

No todos los riesgos de tipo mecánico mencionados en el apartado anterior se presentan en o están producidos por las máquinas, sino que se derivan de las condiciones del entorno y otros elementos que pueden ser fijos o móviles. Los siguientes riesgos mecánicos van asociados a las máquinas.

- Golpes y cortes por objetos y herramientas.
- Atrapamiento por o entre elementos de máquinas.
- Proyección de fragmentos y partículas.

De los anteriores, el tercero de ellos no es objeto del presente trabajo dado que se trata de la proyección de fragmentos y partículas lejos de la zona habitual de trabajo donde estos deben estar presentes, lo que choca con la filosofía del sistema de seguridad a estudio destinado a detectar la presencia de miembros humanos en una zona de trabajo definida.

Se pretende por tanto el estudio y desarrollo de un prototipo de sistema de seguridad que sea eficaz frente a los riesgos de golpes o cortes por objetos o herramientas y de atrapamiento por elementos móviles de máquinas, siempre que unos u otros se encuentren dentro de la zona de trabajo de interés considerada como no adecuada para la presencia de partes del cuerpo humano.

1.3.3- Dispositivos de seguridad en máquinas

En la actualidad se pretende llegar a un nivel de seguridad tan alto como sea posible durante la realización de los trabajos en el ámbito del mundo laboral. Esto implica llevar al máximo posible el nivel de seguridad para los operarios en el uso de las máquinas y equipos de trabajo, para lo cual se deben eliminar o reducir al mínimo los riesgos descritos en los apartados anteriores. Esto se consigue, entre otras cosas, mediante el uso de elementos de protección que podemos clasificar en dos grupos: resguardos y dispositivos sensibles de protección.

Entre los resguardos, definidos como aquel elemento de una máquina utilizado específicamente para garantizar la protección mediante una barrera material, hay algunos destinados a impedir el paso de las personas a determinadas zonas, como rejas, vallas y puertas, y otros destinados a impedir el acceso de miembros a ciertas partes o elementos peligrosos, como cubiertas, compuertas, rejillas, carcasas, pantallas, etc. Se clasifican en:

- Fijo: resguardo que se mantiene en su posición de forma permanente (soldadura) o mediante elementos de fijación (tornillos) que impiden que puedan ser retirados sin auxilio de herramientas.
- Móvil: resguardo generalmente asociado mecánicamente al bastidor de la máquina o a un elemento fijo próximo, mediante bisagras o guías de deslizamiento y que es posible abrir sin uso de herramientas.
- Regulable: resguardo fijo o móvil que es regulable en su totalidad o que incorpora partes regulables.
- Con dispositivo de enclavamiento: resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento de manera que las funciones de seguridad de la máquina cubiertas por el resguardo no puedan desempeñarse hasta que el resguardo esté cerrado, la apertura del resguardo supone la orden de parada, mientras que su cerrado no provoca la puesta en marcha de la máquina.
- Con dispositivo de enclavamiento y bloqueo: resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento y a un dispositivo de bloqueo mecánico. Se diferencia del anterior en que no puede abrirse hasta que desaparece el riesgo de lesión.
- Asociado al mando: resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento o de enclavamiento y bloqueo, de forma que las funciones peligrosas de la máquina no pueden realizarse hasta que el resguardo esté cerrado, mientras que el cierre del resguardo provoca la puesta en marcha de la máquina.

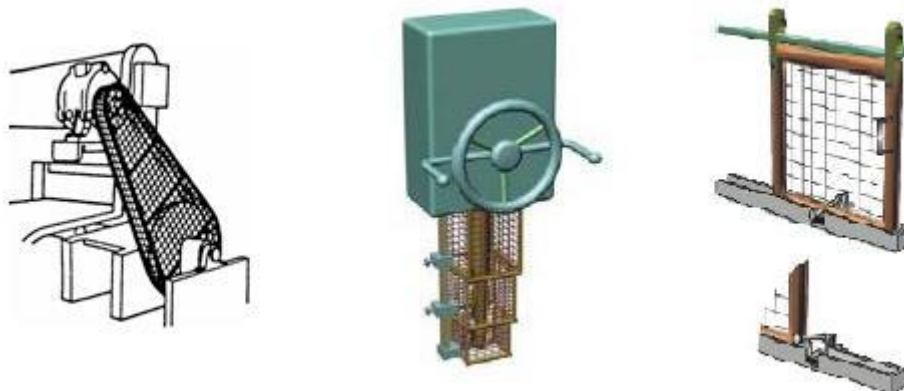


Figura 1. Ejemplos de resguardos. De izquierda a derecha: resguardo fijo, resguardo regulable, resguardo con dispositivo de enclavamiento.

Dispositivos de protección son aquellos, distintos del resguardo, que eliminan o reducen el riesgo, solo o asociado a un mando. Pueden clasificarse en:

- De enclavamiento: dispositivo de protección mecánico, eléctrico o de cualquier otra tecnología, destinado a impedir el funcionamiento de ciertos elementos de una máquina bajo determinadas condiciones (generalmente cuando el resguardo está abierto).
- De validación: dispositivo suplementario de mando, accionado manualmente, utilizado conjuntamente con un órgano de puesta en marcha, que mientras se mantiene accionado, autoriza el funcionamiento de una máquina.
- Sensible: dispositivo que provoca la parada de una máquina o de elementos de una máquina, cuando detecta que una persona o una parte de su cuerpo rebasa un límite de seguridad.
- De retención mecánica: dispositivo cuya función es la de insertar en un mecanismo, un obstáculo mecánico (cuña, pasador, etc.) capaz de oponerse, en base a su resistencia a cualquier movimiento peligroso.
- Limitador: dispositivo que impide que una máquina o elementos de una máquina sobrepasen un límite establecido (limitador de presión, desplazamiento, etc.)

- Disuasorio: cualquier obstáculo material que no impide totalmente el acceso a una zona peligrosa, pero reduce la posibilidad de acceder a ella, por restricción del libre acceso.
- Mando sensitivo: dispositivo de mando que pone y mantiene en marcha los elementos de una máquina solamente mientras el órgano de accionamiento se mantiene accionado. Cuando se suelta retorna a la posición de parada.
- Mando a dos manos: mando sensitivo que requiere como mínimo el accionamiento simultáneo de dos órganos de accionamiento para iniciar y mantener el funcionamiento de una máquina o de un elemento de una máquina, garantizando así la protección de la persona que actúan sobre los órganos de accionamiento.
- Mando de marcha a impulsos: dispositivo de mando cuyo accionamiento permite solamente un desplazamiento limitado de un elemento de una máquina, reduciendo así el riesgo lo más posible. No permite otro movimiento hasta que se suelte y sea accionado de nuevo.
- Parada de emergencia: función destinada a evitar la aparición de peligros o reducir los riesgos existentes que pueden perjudicar a las personas, a la máquina o al trabajo en curso, o a ser desencadenada por una sola acción humana cuando la función de parada normal no es adecuada para este fin.
- Estructura de protección: obstrucción material, al igual que el resguardo, o una parte de la máquina que restringe el movimiento del cuerpo o de una parte de este.

Dentro de la categoría de dispositivos sensibles es donde se encuentra el sistema-prototipo a crear. Esta categoría incluye dispositivos de detección mecánica o de presión, como alfombras sensibles, y no mecánica, ya sea ultrasónica, fotoeléctrica o capacitiva (cortinas fotoeléctricas, células fotoeléctricas, escaneadores láseres de áreas, cámaras de seguridad, etc.).

En nuestro caso se trata de un dispositivo de detección no mecánica pues tratamos de valernos de la detección mediante termografía infrarroja.



Figura 2. Ejemplos de dispositivos sensibles de seguridad. De izquierda a derecha: alfombra sensible, detector de infrarrojos y cortina fotoeléctrica.

Entre las características exigibles a los resguardos y dispositivos de protección podemos señalar:

- Deben ser de construcción robusta.
- No deben ocasionar peligros suplementarios.
- No deben ser fácilmente anulados o puestos fuera de servicio.
- Deben estar situados a una distancia adecuada de la zona peligrosa.
- Deben restringir lo menos posible la observación del ciclo de trabajo.
- Deben permitir las intervenciones indispensables para la colocación y/o sustitución de las herramientas así como para los trabajos de mantenimiento, limitando el acceso exclusivamente al área en la que debe realizarse el trabajo y si es posible sin desmontar el resguardo o el dispositivo de protección.

Los dispositivos de protección deben ser accionados y estar conectados al sistema de mando, de forma que no puedan ser fácilmente neutralizados.

1.4- CONCEPTOS SOBRE TERMOGRAFÍA

1.4.1- Historia e introducción a la termografía

El primer gran avance relativo a este campo fue dado por Sir Frederick William Herschel, nacido en Hannover, Alemania, 1738. Fue muy conocido tanto como músico como en su faceta de astrónomo. En el año 1757 emigró

hacia Inglaterra donde junto con su hija Carolina construyó un Telescopio. Su más famoso descubrimiento fue el del planeta Urano en el año 1781.

En el año 1800, Sir William Herschel hizo otro descubrimiento muy importante. Se interesó en comprobar cuanto calor pasaba por filtros de diferentes colores al ser observados al sol. Se dio cuenta que esos filtros de diferentes colores dejaban pasar diferentes niveles de calor. Continuando con ese experimento, Herschel hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el "arco iris" que se forma cuando se divide a la luz en sus colores componentes).

Haciendo controles de temperatura mediante termómetros de mercurio en los distintos colores de ese espectro verificó que más allá del rojo, fuera de las radiaciones visibles, la temperatura era más elevada. Encontró que esta radiación invisible por encima del rojo se comporta de la misma manera desde el punto de vista de la reflexión, refracción, absorción y transmisión que la luz visible. Era la primera vez que alguien demostraba que había otra forma de iluminación o radiación que era invisible al ojo humano. Esta radiación inicialmente la denominó como rayos caloríficos y posteriormente infrarrojos (infra quiere decir abajo), es decir, por debajo del nivel de energía del rojo.

Cualquier objeto cuya temperatura sea superior al cero absoluto (0 Kelvin = -273.15 °C) emite radiación infrarroja, invisible al ojo humano. Existe una correlación entre la temperatura de un cuerpo y la intensidad de la radiación infrarroja que emite. Una cámara termográfica mide la onda larga de la radiación infrarroja recibida en el campo de visión, a partir de la cual calcula la temperatura del objeto a medir.

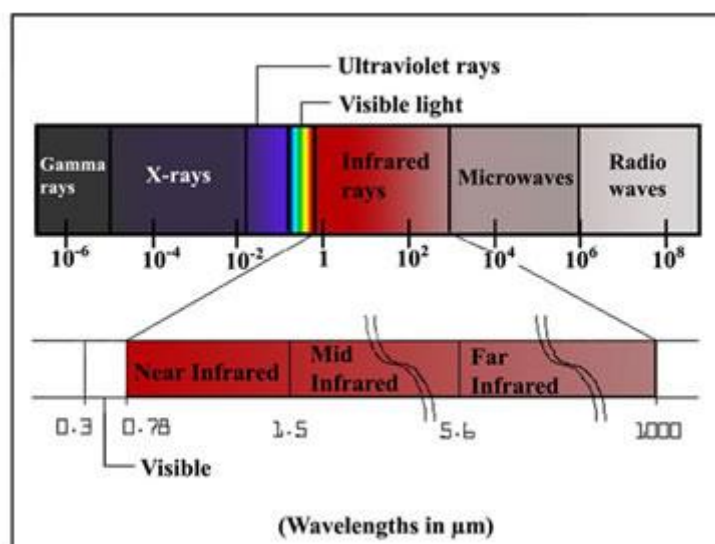


Figura 3. Radiación infrarroja en el espectro.

La termografía es la rama de la teledetección que se ocupa de la medición de la temperatura a partir de la energía radiada por los objetos sin interacción o contacto alguno entre el objeto de estudio y el instrumento de medida. La física permite convertir la radiación emitida por un cuerpo a unidades de temperatura; esto se logra midiendo la radiación emitida en la parte infrarroja del espectro electromagnético (0,7 a 15 micras de longitud de onda) desde la superficie del objeto, y convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores. Esta es función de la temperatura y los procesos de transferencia de calor relacionados al objeto de interés.

La termografía infrarroja produce una imagen visible a partir de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara termográfica genera una imagen en vivo que representa la temperatura de cualquier objeto o superficie a la que se enfoque mediante un código de colores que interpreta el diseño térmico con facilidad. Esta imagen es llamada termografía o termograma, en la que cada uno de los colores corresponde a una temperatura según una escala determinada.



Figura 4. Imagen termográfica o termografía.

La termografía infrarroja es una técnica que permite, a distancia, en tiempo real y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie en objetos con precisión.

La transferencia de calor, definida como la energía en tránsito debido a diferencias de temperatura, provoca el calentamiento o enfriamiento de los cuerpos. La velocidad a que estos fenómenos se producen depende de las propiedades térmicas, estado físico, tamaño y naturaleza del producto, así como el mecanismo de transferencia, que puede ser por conducción, convección, radiación o por sus combinaciones.

La termografía infrarroja o utilización de cámaras térmicas obligan al profesional a evaluar las tres formas de transferencia de calor. La termografía no es simplemente la generación de una imagen con una determinada cámara térmica /infrarroja. La técnica de generación de la imagen y la evaluación de la misma debe ser considerada como un ensayo térmico.

Las cámaras termográficas han sido desarrolladas con tecnología Uncooled Focal Plane Arraydetector (UFPA) consistente de una matriz de dos dimensiones formada por unos detectores conocidos como microbolómetros. Los infrarrojos inciden en el detector como onda electromagnética, la temperatura del detector aumenta por la absorción de la energía de la radiación, la resistencia del detector cambia, y finalmente el cambio de resistencia crea la señal eléctrica.

1.4.2- Aplicaciones de la termografía

A pesar de la comodidad y fiabilidad de las cámaras termográficas, su uso no está demasiado extendido en nuestro país. El año 2000 marca el 200 aniversario del descubrimiento de William Herschel del infrarrojo y este aniversario encuentra a la tecnología infrarroja en plena expansión en todas sus aplicaciones.

La termografía puede tener aplicación en cualquier área siempre y cuando esta tenga que ver con variación de temperatura. Detecta problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo. Minimiza el mantenimiento preventivo y el tiempo en localizar problemas. Puede ser utilizada por compañías de seguros para cerciorarse que el equipo o las instalaciones se encuentran en estado óptimo. Previene incendios y accidentes.

La astronomía, la medicina, la seguridad pública, en el rescate, en la electrónica, en la meteorología, la ingeniería de procesos, el mantenimiento industrial, el análisis de la vegetación, el estudio de las temperaturas de los océanos, por mencionar algunas. No solo se encuentra en plena expansión, sino que también se perfila como una tecnología de uso masivo a medio plazo.

Los campos de aplicación son muy variados y aun a día de hoy se siguen descubriendo formas en que la termografía puede ayudarnos. Así nos encontramos con las siguientes aplicaciones de la termografía en la actualidad:

- **DESARROLLO Y ESTRUCTURA DE EDIFICIOS:** inspección de pérdida de energía térmica, evaluación de la humedad, inspecciones de integridad del hormigón, inspecciones en suelos sobrecalentados, localización de fugas y distribución de temperatura, localización de cables, conductores o tuberías sobrecalentados.

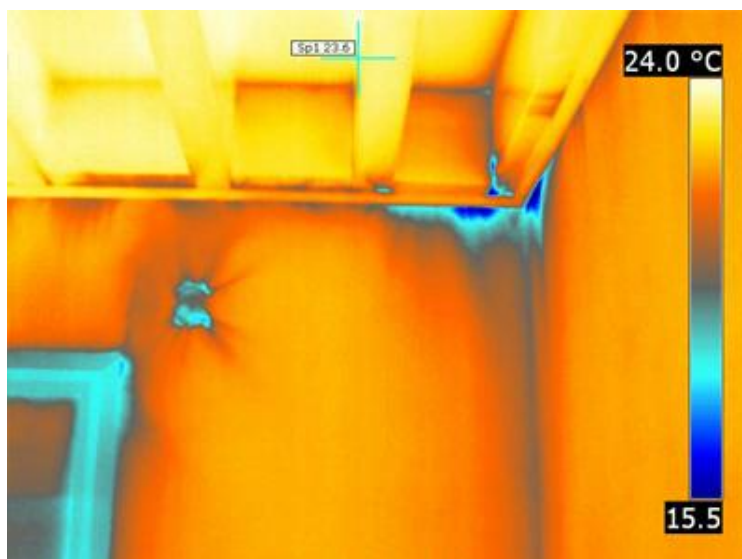


Figura 5. Detección de fugas de agua en edificio.

- SISTEMAS DE TECHADO EN CONSTRUCCIÓN: detección de goteras para edificios y naves industriales, identificación de partes de techos dañadas por el agua.
- SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN: evaluación de equipos de aire acondicionado y calefacción, pérdidas de frío en cuartos fríos, detección de fugas en el aislamiento en equipos de refrigeración, comprobaciones mecánicas en general.

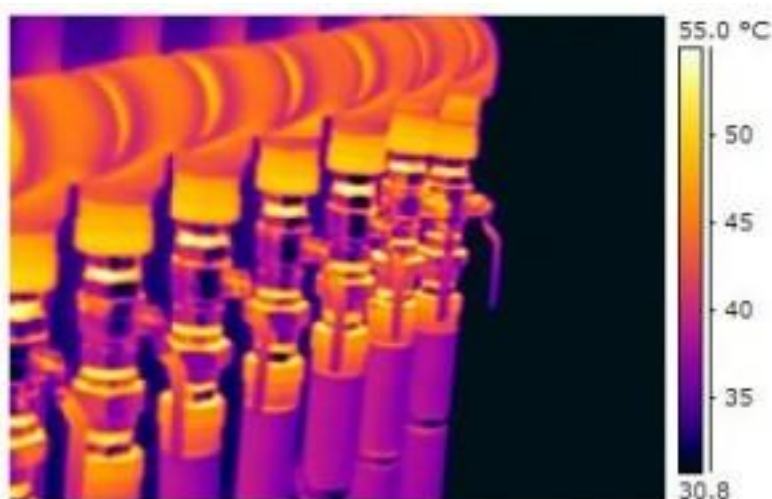


Figura 6. Detección de fallos de aislamiento en sistema de calefacción.

- **APLICACIONES AMBIENTALES:** localización de áreas de acumulación de desechos, localización de tanques bajo tierra en zonas industriales, procesamiento de papel, localización de incendios de baja intensidad en bosques densos.
- **APLICACIONES INDUSTRIALES:** trabajos de conservación y restauración, mantenimiento eléctrico, microelectrónica, control de calidad, mantenimiento preventivo de máquinas, detección de gases fugados, ensayos no destructivos, inspecciones de líneas eléctricas.

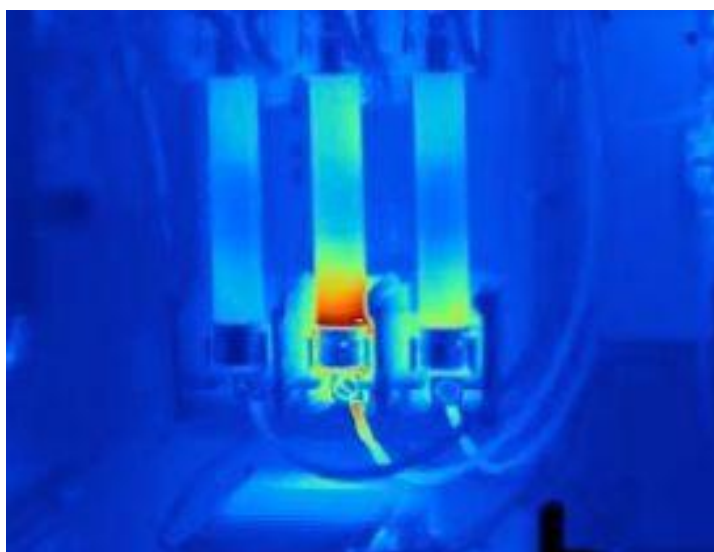


Figura 7. Detección de puntos calientes en equipo eléctrico.

- **MECÁNICA DE FLUIDOS:** transferencia de calor en fluidos, capacidad de radiadores.
- **APLICACIONES VARIAS:** localización de personas perdidas o atrapadas en incendios de edificios así como poder caminar a través del humo, uso en el automóvil para detección de peatones, inspección de obras de arte, aplicaciones en biología y medicina, estudios de imágenes térmicas procedentes de objetos enterrados, huellas térmicas de minas enterradas, etc.

1.4.3- Factores de influencia en la termografía

Existen una serie de factores que influyen en la cantidad de radiación infrarroja que la cámara termográfica detecta y por tanto deben ser considerados ya que conllevan influencia en los resultados de la medida.

1.4.3.1- Factores propios del objeto a medir

A) Emisividad

Se define como la capacidad que tiene un cuerpo para emitir infrarrojos, medida en relación a la de un cuerpo negro perfecto. Es el parámetro más importante y es imprescindible un ajuste preciso.

Está fuertemente influenciada por el tipo de material y estructura y estado de la superficie. La emisividad de esta varía según su estructura, su recubrimiento o su pulcritud. Por lo general, la emisividad en las superficies, lisas, brillantes, reflectantes y/o pulidas es más baja que en las mate, cuarteadas, rugosas, erosionadas y/o rayadas del mismo material.



Figura 8. Influencia de la emisividad. Los diferentes colores vienen de la diferente emisividad de la pintura dorada y negra, aunque las temperaturas son idénticas.

Normalmente los objetos de materiales y tratamientos superficiales habituales presentan emisividades que van aproximadamente de 0,1 a 0,95. Una superficie muy pulida (espejo) está por debajo de 0,1, mientras que una superficie oxidada o pintada tiene una emisividad mucho mayor. Una pintura a base de aceite, independientemente del color en el espectro visible, tiene

emisividad superior 0,9 en el infrarrojo. La piel humana presenta una emisividad cercana a 1. En consecuencia, la emisividad de los metales es baja y sólo se incrementa con la temperatura. Para los no metales, la emisividad tiende a ser alta, y disminuye con la temperatura.

En el anexo I se dan valores de emisividad habituales.

B) Reflectividad especular

Algunos materiales reflejan la radiación térmica del mismo modo que un espejo refleja la luz visible. Entre estos están los metales no oxidados, especialmente si se han pulido. Las reflexiones pueden provocar una interpretación incorrecta de la termografía. Así, por ejemplo, la reflexión de la radiación térmica del propio operador podría indicar falsos puntos calientes. Por lo tanto, el operador debe elegir cuidadosamente el ángulo desde el que la cámara termográfica apunta al objeto, con el fin de evitar dichas reflexiones.

Si el material de la superficie del objeto tiene una baja emisividad, como el metal no oxidado mencionado anteriormente, y existe una gran diferencia de temperatura entre el objeto y la temperatura ambiente, la reflexión de la temperatura ambiente influirá en las lecturas de temperatura de la cámara termográfica. Los metales no oxidados representan un caso extremo de opacidad casi perfecta así como reflectividad especular alta, que además no varía sensiblemente con la longitud de onda.



Figura 9. El cristal de la ventana tiene una alta reflectividad, de modo que puede verse la figura del operador de la cámara.

C) Color

El color de un material no tiene un efecto perceptible en la radiación infrarroja de onda larga emitida. Únicamente influye en la temperatura ya que las superficies oscuras absorben calor más rápido que las claras y estos objetos se calientan antes.

D) Humedad, nieve y escarcha en la superficie

El agua, la nieve y la escarcha tienen unas emisividades relativamente altas (aprox. $0.85 < \epsilon < 0.96$), por lo que la medición a través de estas sustancias se realiza sin problemas normalmente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la temperatura del objeto a medir puede estar distorsionada si hay capas de este tipo. La humedad enfría la superficie del objeto al evaporarse, y la nieve tiene buenas propiedades aislantes. Habitualmente la escarcha no forma una capa aislante, por lo que se deben tener en cuenta las emisividades tanto de la escarcha como la de la superficie bajo ella cuando se efectúa la medición.

E) Suciedad y partículas en la superficie

La suciedad en la superficie del objeto a medir, como polvo, hollín o lubricante normalmente incrementa la emisividad en la misma, por lo que la medición en objetos manchados no presenta problemas en general. No obstante, la cámara termográfica siempre mide la temperatura de la superficie, es decir, la suciedad, y no la temperatura exacta de la superficie del objeto que hay debajo.

F) Distancia y tamaño del objeto

Para obtener una buena medida se requiere un tamaño mínimo del objeto tal que cubra un área de 3x3 píxeles en la cámara. La distancia al objeto se debe tener en cuenta pero no modifica sensiblemente la medida.

1.4.3.2- Factores ambientales

A) Temperatura ambiental

Temperatura ambiente: este parámetro se utiliza para compensar la radiación reflejada en el objeto y la radiación emitida desde la atmósfera entre la cámara y el objeto. Si la emisividad es baja, la distancia es muy larga y la temperatura del objeto relativamente cercana a la del ambiente, entonces es muy importante que se establezca y se compense la temperatura ambiente de forma correcta.

Siempre que haya una gran diferencia de temperatura entre el objeto a medir y la ambiente, es de vital importancia ajustar la emisividad de forma correcta.

B) Lluvia y nieve

La presencia de estos reduce la temperatura del objeto. Una fuerte precipitación (lluvia, nieve) puede distorsionar el resultado de la medición. El agua, el hielo y la nieve tienen una elevada emisividad y por tanto son impermeables a la radiación infrarroja. Además, la medición en objetos mojados es errónea, ya que la temperatura de la superficie del objeto se enfría a medida que se evapora el agua. Se puede llegar a medir siempre que la lluvia y la nieve no sean muy "espesas".

C) Humedad ambiente

La humedad ambiente relativa debe ser lo suficientemente baja para que no haya condensación (neblina) en el aire, o vaho en el objeto a medir, en el filtro de protección o incluso en el objetivo de la cámara. Si este (o el filtro) se ha empañado, parte de la radiación infrarroja que llega a la cámara se pierde porque no puede penetrar a través del agua presente en la lente. Una niebla espesa también afecta a la medición porque el rocío presente en el canal de transmisión bloquea parte de la radiación infrarroja.

D) Viento

Cualquier flujo o corriente de aire afecta a la medición puesto que reduce la temperatura del objeto. Como resultado del intercambio de calor (convección), el aire cercano a la superficie tiene la misma temperatura que el objeto medido. Si hay corrientes de aire, esta capa desaparece sustituida por otra capa cuya temperatura todavía no se ha adaptado a la del objeto. Por medio de la convección, el objeto medido desprende o absorbe calor hasta que la temperatura de su superficie y la del aire se han igualado. El efecto del intercambio de calor se incrementa cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre la superficie del objeto a medir y la temperatura ambiente.

Existen factores de corrección para cuantificar su influencia.

E) Atenuación atmosférica

La atmósfera no es completamente transparente a la radiación infrarroja, que puede ser atenuada al pasar a través de ella y la cual también puede emitir radiación. Para ello existen unos factores de corrección que dependerán de una serie de parámetros, tales como la distancia al objeto, humedad relativa (H₂O), temperatura del aire en grados Centígrados, Fahrenheit o Kelvin dependiendo del tipo de equipo.

F) Radiación de otros cuerpos

Todo objeto con temperatura superior al cero absoluto (0 Kelvin = -273.15 °C) emite radiación infrarroja, por lo que especialmente los objetos con una gran diferencia de temperatura con el objeto a medir pueden alterar la medición por infrarrojos como resultado de su propia radiación. En estos casos, se deben evitar estas fuentes de interferencia en la medida de lo posible. Apantallando estas fuentes (p.ej. con una lona o un cartón) se minimizan estos efectos negativos, pero si aun así no se pueden evitar, hay que tener en cuenta que la temperatura reflejada no se corresponde con la temperatura ambiente.

G) Polución

Algunas materias suspendidas en el aire, como polvo, hollín o humo, por ejemplo, así como algunos vahos, tienen una elevada emisividad y apenas permiten la transmisión. Estas materias pueden falsear la medición, puesto que emiten su propia radiación infrarroja que se recibe en la cámara termográfica.

Además, estas materias dispersan y absorben parte de la radiación infrarroja emitida por el objeto, por lo que ésta no se detecta en su totalidad en la cámara.

H) Luz

Algunas fuentes de luz caliente emiten radiación infrarroja que pueden afectar a la medida, por lo que no se debería medir, por ejemplo, a la luz directa del sol o cerca de una bombilla caliente. Las luces frías, como los LED's o los neones, no tienen este problema ya que convierten la energía usada en luz visible y no en radiación infrarroja.

1) Campos magnéticos

Las corrientes eléctricas pesadas causan fuertes campos magnéticos, los cuales pueden causar una distorsión considerable en la imagen térmica.

2.- OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1- OBJETIVOS

El objetivo global que se persigue es el estudio del uso de cámaras termográficas como dispositivos de seguridad en máquinas y el desarrollo de un prototipo y posterior ejecución de pruebas de funcionamiento del mismo. Este debe ser capaz de, dentro de una zona no segura definida, detectar la presencia de cuerpos extraños discerniendo si corresponden o no a partes del cuerpo humano para, en caso de que lo sean, hacer actuar las correspondientes funciones automáticas de alarma en un primer nivel de inseguridad, y parada de la máquina en un segundo nivel.

En el ámbito de este trabajo, se entiende por zona no segura aquella de cualquier máquina en la que se encuentran herramientas en movimiento que implican riesgos mecánicos si entran en contacto con el trabajador, a la que no debe acceder por tanto ninguna parte de su cuerpo, pero donde sin embargo sí deben estar presentes normalmente materias primas, materiales o productos a trabajar.



Figura 10. Ejemplo de zona no segura en sierra circular.

Se considera como campo de aplicación para este dispositivo a desarrollar todo tipo de máquinas y herramientas no portátiles accionadas por una fuente de energía distinta de la humana siempre que incorporen una herramienta móvil, por ejemplo brocas, sierras, punzones, etc., que generen un riesgo mecánico cuando el operario introduce una parte de su cuerpo en la zona de trabajo de la herramienta.

Uno de los requisitos que deberá cumplir el dispositivo es que pueda actuar de forma remota, a distancia y sin interferir en el desarrollo normal del proceso de trabajo en la máquina.

Otro requisito que se va a exigir al dispositivo es su capacidad para reconocer 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. Esta exigencia implica que se tengan que descartar las tecnologías más habituales en seguridad en máquinas, como sensores de ultrasonidos, fotoeléctricos, infrarrojos, etc.

La razón por la que se ha optado por cámaras termográficas es simple; 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 (usualmente más fríos).

Lo anterior lleva a pensar que una tecnología capaz de medir temperatura, como las cámaras termográficas, y que pueden hacerlo sin entrar en contacto con el objeto, puede satisfacer todos los requisitos exigidos y cumplir correctamente con la función asignada.

Durante el desarrollo del trabajo se intentarán satisfacer una serie de metas específicas detalladas a continuación:

- Diseño de un dispositivo de seguridad automático mediante cámara termográfica y de algoritmo de detección para miembros humanos, a incorporar a una máquina para hacerla más segura frente a los riesgos antes descritos.

- Desarrollo y construcción del modelo de máquina, con cámara termográfica y resto de elementos necesarios.
- Elaboración de ensayos de funcionamiento del mismo.
- Estudio de resultados y obtención de conclusiones sobre la viabilidad del uso de cámaras termográficas como dispositivos de seguridad frente a riesgos mecánicos en máquinas.

2.2- PLAN DE TRABAJO

Los subsiguientes apartados detallan las fases que se sucedieron en el desarrollo del presente estudio.

2.2.1- Selección de algoritmos de detección

La primera fase era de tipo teórico y de revisión de documentación. Se comenzó revisando artículos y bibliografía relativas al uso de cámaras termográficas en aplicaciones concretas, y particularmente en la detección de personas.

Todo con vistas a obtener una panorámica de los diferentes métodos y algoritmos utilizados y experimentados en la detección y reconocimiento de seres humanos mediante cámaras termográficas, para así seleccionar de entre ellos el más adecuado a nuestra aplicación particular.

2.2.2- Diseño y construcción del modelo de máquina

En este segundo paso, de tipo teórico-práctico, se diseñó y construyó el modelo de máquina en el que instalar el dispositivo creado y sobre el cual se realizaron los ensayos.

Este constaba de un elemento motor accionado por energía eléctrica o de otro tipo (pero no manual) y de una herramienta movida por el propio motor y

que era capaz de crear un riesgo mecánico para un hipotético operador de máquina.

Incorporaba los equipos y aparamenta eléctrica necesaria para el control de la puesta en marcha y parada normal del prototipo, al igual que para el control y activación de las funciones de alarma y/o parada automática de la máquina a partir de las medidas de la cámara termográfica.

2.2.3- Instalación y configuración del dispositivo de seguridad

Sobre el dispositivo creado anteriormente se procedió a la instalación de la cámara de seguridad en posición adecuada para enfocar el área de interés e interconexión de esta con los elementos necesarios para el control de las funciones de alarma y parada automática.

Mediante software específico se realizó la definición de zona no segura (en la que no debe entrar un miembro humano) y configuración de las funciones de alarma y parada automática.

2.2.4- Realización de ensayos

Esta es la fase experimental del trabajo. Inicialmente se realizaron unas pruebas básicas de que el prototipo construido marchaba correctamente, con sus funciones habituales de marcha y parada, y que el dispositivo de seguridad se activaba al detectar un miembro humano.

Tras esto se pasó a la verdadera fase de experimentación del prototipo, testando el funcionamiento del dispositivo de seguridad en distintas condiciones de trabajo para comprobar la eficacia y viabilidad del mismo.

2.2.5- Resultados y conclusiones

Finalmente se analizan los resultados obtenidos en la anterior fase para determinar la viabilidad del uso de estos dispositivos en aplicaciones reales como elementos de seguridad en máquinas, otras posibles vías de investigación a abrir, etc.

3.- MEDIOS MATERIALES

3.1- INFRAESTRUCTURA Y MEDIOS

El trabajo se ha llevado a cabo en las instalaciones de la UPCT, concretamente en el Laboratorio de Mecanización Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, contando con las herramientas y equipos propios de su dotación.

3.2- MODELO DE MÁQUINA



Figura 11. Modelo de máquina.

Está compuesto por un motor eléctrico marca CANTONI, modelo Elektrim SKg 63-4A2 con una potencia de 0,12 kw, que puede conectarse trifásicamente a 400 V o, como en este caso, monofásicamente a 230 V conectándolo junto a un condensador.

El eje de salida del motor arrastra una reductora de velocidad que reduce la velocidad de giro de la herramienta (Fig. 11), haciendo así que el riesgo

generado durante las pruebas en caso de entrar en contacto con esta sea menor.

A la salida de la reductora de velocidad, mediante un portabrocas, se instala una broca para madera tipo paleta que hace la función de herramienta que genera el riesgo mecánico para el trabajador.

3.3- EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL

El control del modelo de máquina, tanto en las funciones de puesta en marcha y parada normal como en la de parada automática, se efectúa por medio de un cuadro eléctrico creado para tal fin que recibe las ordenes de parada automática desde la cámara termográfica (Fig. 12).



Figura 12. Cuadro eléctrico de control.

Recibe la alimentación eléctrica, las señales de control de la cámara y actúa sobre el motor del modelo de máquina. Está compuesto por:

- Interruptor magnetotérmico 1P+N intensidad nominal 10 A para protección de equipos.
- Relé de cuatro contactos con bobina 230 V para arranque y parada del motor.

- Relé de dos contactos con bobina 24 V para control de la función de parada automática.
- Pulsador manual color verde con contacto NO para puesta en marcha normal.
- Pulsador manual color rojo con contacto NC para parada normal.

Se requiere además la incorporación de una fuente de tensión en corriente continua exigida por la cámara para la activación de las salidas digitales. Concretamente una fuente Gold Source DF1730SB con tensión ajustable entre 0 y 30 V.



Figura 13. Fuente de alimentación.

3.4- CÁMARA Y SOFTWARE DE CONTROL

Para llevar a cabo el presente trabajo se ha utilizado una cámara termográfica marca FLIR modelo A310.

Es una cámara con unas características adecuadas a esta aplicación y que aporta una funcionalidad muy importante como es la integración de entradas y salidas digitales, ya que estas últimas nos permitirán generar las señales para la parada automática del modelo de máquina.



Figura 14. Cámara termográfica FLIR A310.

La hoja de especificaciones está incluida en el anexo II.

Todas las funciones relativas al manejo y configuración de la cámara, análisis y tratamiento de la imagen térmica, y control de las señales de parada automática se realizan desde un ordenador portátil Acer mediante el software FLIR IR MONITOR versión 1.6.0.0. Sus principales características son:

- Configuración y visualización de hasta nueve cámaras A310 para aplicaciones independientes como monitorización en línea y control.
- Establecimiento de ajustes de alarma y funciones I/O.
- Configuración de análisis ROI's.
- Establecimiento de servicios de e-mail y programación de tareas.
- Configuración de señales sincronizadas para registro de secuencias en ResearchIR.
- Diseño de máscaras para extracción de zonas de la imagen a no considerar en análisis.
- Guardado de imágenes y control de las mismas.
- Sincronización de cámara con servicios de tiempo de internet.

4.- METODOLOGÍAS EMPLEADAS

4.1- TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE PARTES HUMANAS

Tras una revisión bibliográfica, se comprobó que existen diversas técnicas y metodologías desarrolladas para la detección e identificación de partes del cuerpo humano o de su totalidad. Algunas de ellas son aplicables sólo cuando la temperatura del resto de objetos en la imagen térmica difiere de la del cuerpo humano, mientras que otras funcionan incluso cuando las temperaturas coinciden. También existen técnicas que discriminan sólo en función de los valores de temperatura y otras que aparte consideran la distribución espacial de estos valores.

A esta última categoría pertenece la técnica consistente en, considerando que el cuerpo humano se encuentra entre dos regiones de temperatura umbrales, tratar de definir estos valores para establecer una región que una vez detecte el dispositivo de seguridad, la máquina detendría la operación peligrosa que está realizando. Estos valores umbrales son dinámicos ya que ambos valores pueden variar de un fotograma a otro y dependen de las condiciones meteorológicas, la temperatura ambiente y objetos de fondo en la escena.

Una vez definidas estas regiones, y para evitar falsos positivos, se pueden filtrar según las características físicas especificadas del elemento a introducirse en la zona de peligro. Así, una vez obtenida la temperatura y las características físicas de la parte del cuerpo que es de esperar entre en contacto con la zona de peligro, se deberán comparar con modelos probabilísticos previamente establecidos. Estos modelos deberán mostrar una serie de imágenes del cuerpo humano las cuales podrían ser de esperar se introdujeran en la zona de peligro de la máquina, de forma que comparando la imagen introducida, con la previamente establecida en estos modelos, sería posible decidir si se continúa con el trabajo o debería pararse.

Dentro de esta categoría de métodos basados en patrones espaciales de temperatura existen otros aún más complejos. Se puede usar el concepto de inercia ya que generalmente para las personas la imagen del momento de

inercia respecto de su centro de rotación es estática mientras que para el resto de objetos es dinámica. Otro posible método de detección es aquel que trata de unir los centroides de las regiones de las personas que quedan separadas por la ropa que las aísla.

Todas las técnicas anteriores tuvieron que ser descartadas para nuestra aplicación ya que no se trata de detectar personas completas sino únicamente partes de ellas.

Se tuvo por tanto que recurrir a una técnica basada exclusivamente en valores de temperatura, que no necesite acudir a comparaciones con patrones de distribución espacial, y pueda por consiguiente reconocer cualquier parte del cuerpo humano independientemente de su morfología.

Las condiciones anteriores las cumple un método basado en temperaturas promedio de termografía. Se monitorea el valor de esta mediante al análisis de la imagen térmica calculando la temperatura media de toda el área cubierta por la cámara termográfica para cada fotograma. En el momento que un miembro humano entra en el área se produce una variación repentina del valor medio. Es necesaria la definición de qué se considera “variación repentina”, es decir, a partir de qué valor de incremento de la temperatura en un determinado tiempo se considera que ha entrado una parte humana.

A pesar de cumplir ciertos requisitos y ser un método simple tampoco pudo utilizarse puesto que no es un método adecuado cuando la temperatura de la zona de trabajo incluye temperaturas del rango del cuerpo humano, hecho que puede producirse.

Finalmente se optó por emplear un método consistente en ampliar el campo de visión de la cámara termográfica fuera de la zona con riesgo para las personas. Se define un área de seguridad alrededor de esta produciéndose la activación de las funciones de seguridad en el momento que una parte del cuerpo humano entra en dicha área de seguridad. La detección e identificación se produce cuando aparece un cuerpo con una temperatura del rango de la humana, que debe ser definido previamente.

Como principales ventajas tiene que es una técnica válida para casos en los que la temperatura de trabajo pase de temperaturas inferiores al cuerpo humano a temperaturas superiores y que reconoce cualquier parte del cuerpo humano por pequeña que sea, características ambas muy adecuadas a nuestra aplicación, y que es sencillo de implementar. Su principal inconveniente es que se puede presentar una alta tasa de falsos positivos.

4.2- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE MÁQUINA

Como anteriormente se ha comentado, se diseñó y construyó un modelo de máquina, compuesta por un motor eléctrico, una reductora de velocidad y una broca fijada en un portabrocas, encargada de simular el riesgo de tipo mecánico que se generaría en una máquina real.

El control del modelo de máquina es realizado mediante un cuadro con la aparamenta eléctrica adecuada. Este incorporaba un pulsador verde y otro color rojo para las funciones de puesta en marcha y parada respectivamente, siempre en modo manual (a voluntad del operador). El esquema unifilar del cuadro se incluye en el anexo III.

Las funciones de seguridad (alarma y parada automática) eran manejadas a través de la cámara termográfica y su software de control y análisis de imagen térmica. Alimentada mediante una fuente de corriente continua y en función de los valores de temperatura medidos en algunos puntos de la imagen, generaba señales eléctricas que llegaban al cuadro eléctrico de control que actuaba sobre el motor y detenía la máquina si se daban las condiciones precisas.

Por supuesto se implantó un diseño en el que, tras producirse la parada de la máquina por efecto de las funciones de seguridad, no se producía el re arranque de forma automática al salir la parte del cuerpo de la zona de seguridad, sino que requería el accionamiento manual de un pulsador, tal y como se exige a todos los dispositivos de seguridad de este tipo.

La cámara (ver figura 15) fue instalada en un mástil en posición vertical sobre el modelo de máquina, enfocada hacia abajo y obteniendo así una vista cenital de la zona de trabajo de la herramienta.



Figura 15. Situación de la cámara termográfica.

Se optó por colocar la cámara en este lugar porque es muy adecuado al método de detección de miembros humanos seleccionado, al obtener una imagen de todo el perímetro alrededor de la herramienta que es la zona por la que se considera que se puede tener acceso a la misma.

4.3- CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO DE SEGURIDAD

4.3.1- Definición de zonas

Según se comentó con anterioridad, el uso del método de identificación de miembros humanos elegidos requiere la definición de una zona de seguridad alrededor de la zona de riesgo (aquella en la que no se desea la presencia del operador de la máquina).

En caso de que alguna parte del cuerpo del operador entre en dicha zona de seguridad se activaran las correspondientes funciones. Para que el sistema sea eficaz es imprescindible que esta zona cubra todas las áreas por las que es físicamente posible el acceso a la zona de peligro.

En nuestro caso, con una vista cenital de la zona de trabajo, se consideró que, debido a las características de la máquina, el acceso se podía producir por tres costados alrededor de la zona de trabajo, todos excepto el lado del portabrocas.

Inicialmente se planteó una zona de seguridad según las condiciones anteriores pero separadas en dos niveles de alerta, según se puede ver en la figura 16.



Figura 16. Zona de trabajo y de seguridad de dos niveles.

Al producirse la entrada de alguna parte del cuerpo del operador en la zona de seguridad nivel 1 (zona naranja), se activaría una alarma, de tipo sonoro y/o visual, pero no desembocaría en la parada automática de la máquina. La intención del diseño es el hacer consciente al operador de que está demasiado cerca de la zona de riesgo, pero aún no tanto como para detener el proceso.

La detención del equipo sólo se produciría si el operador llegase a penetrar en la zona nivel 2 (zona roja), donde el riesgo para su integridad física comienza a ser inadmisibles por la cercanía con la herramienta.

Finalmente se decidió prescindir de la zona de seguridad nivel 1 y su señal de alarma asociada para tener un prototipo de máquina más barato y sencillo de fabricar y configurar (figura 17). En la práctica esto no afecta a la intención del presente trabajo puesto que todos los ensayos realizados y conclusiones obtenidas para la activación de la función de parada automática pueden extrapolarse a la de alarma.

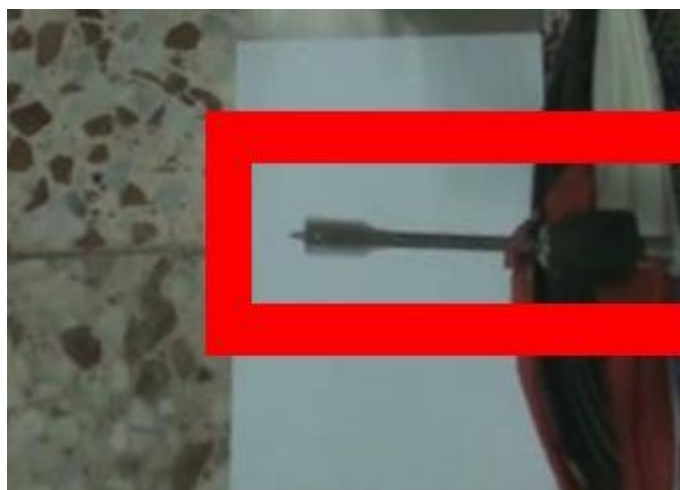


Figura 17. Zona de seguridad simplificada.

4.3.2- Configuración de funciones de seguridad

Para el establecimiento y configuración de las funciones de seguridad se utilizó uno de los software de control disponibles para la cámara FLIR A310, el FLIR IR MONITOR, cuya ventana principal puede verse en la figura 18.

Cuenta con tres zonas: un panel de control en la parte derecha con varias pestañas, un registro de eventos en la parte inferior, y la zona de la imagen termográfica en la parte superior. En la misma se puede apreciar la selección que se hizo en el programa para la zona de seguridad, remarcando tres zonas rectangulares cuya superposición es equivalente a la definición que se realizó anteriormente.

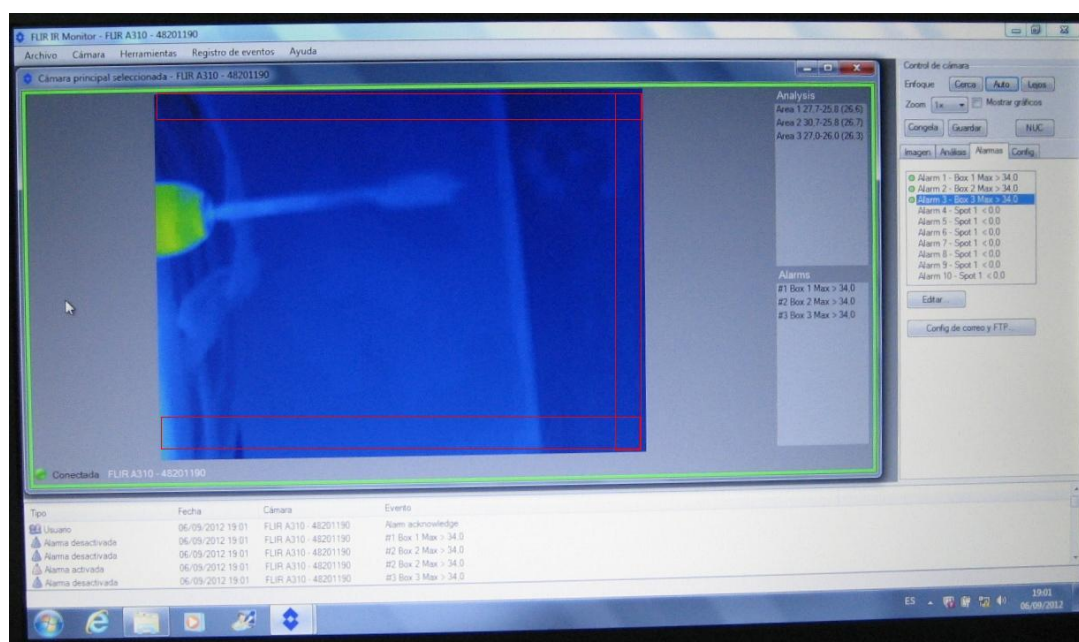


Figura 18. Pantalla principal FLIR IR MONITOR.

Para establecer y configurar la parada automática se recurrió al uso de las funciones de análisis y de alarma que el propio software lleva implementadas. Las primeras son capaces de realizar determinaciones de parámetros (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, etc.) bien en toda la imagen termográfica, bien en una parte de ella. Las segundas permiten, en función de los valores de estos parámetros, activar o desactivar las salidas digitales que incorpora la cámara.

En nuestro caso se dispusieron estas funciones de forma que, si en alguna de las tres regiones definidas la temperatura máxima supera un cierto valor, se activaba una salida digital que provocaba la parada inmediata de la máquina. Es necesario que ese valor de temperatura sea inferior que la del cuerpo humano; se trabajó con valores comprendidos entre 35 y 36 °C. La siguiente figura muestra la pantalla de configuración de alarmas.

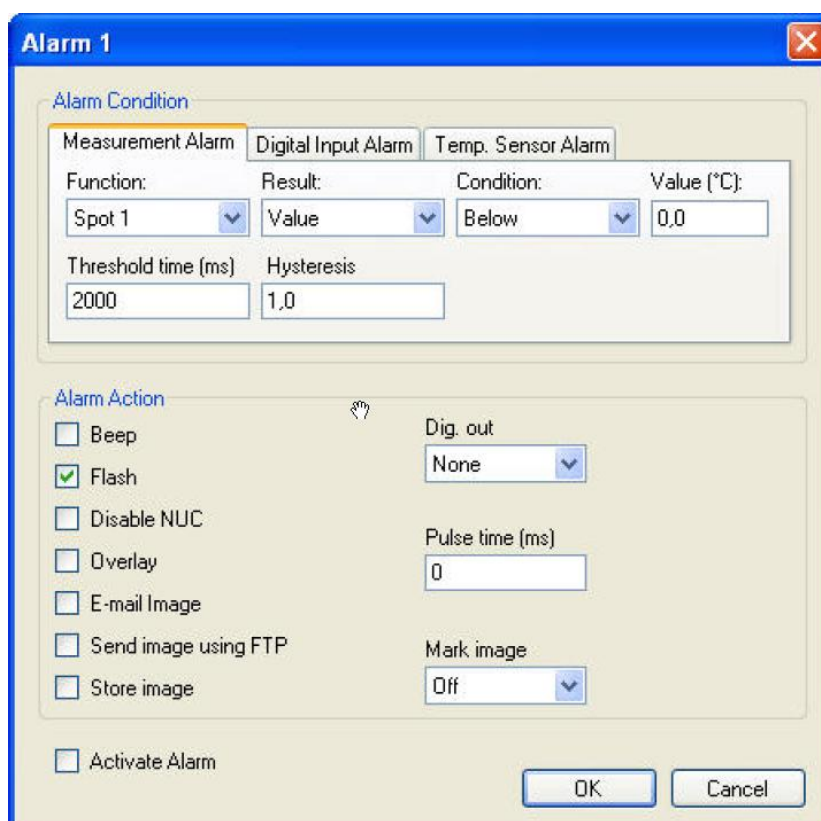


Figura 19. Pantalla de configuración de alarmas.

Los desplegados “función” y “resultado” permitieron seleccionar la parte de la imagen a analizar (se tuvieron que configurar 3 alarmas, una por cada región definida) y el valor a analizar, en este caso el valor máximo de temperatura medido dentro de cada una de esas regiones.

Las casillas “condición” y “valor (°C)” se usaron para indicar que, siempre que el valor máximo de temperatura estuviera por encima de un determinado valor (entre 35 y 36 °C como ya se ha comentado), se activara la alarma mediante la salida seleccionada en “Salida digital”.

El valor “tiempo de pulso” fue establecido como 0, para indicar al programa que mantuviera la salida en tensión mientras se mantenía la condición que provoca su activación, es decir, la máquina permanecía parada y no era posible encenderla mientras una parte del cuerpo humano estaba o seguía dentro de la zona de seguridad.

Por último, mediante el parámetro “Tiempo umbral” se introduce el tiempo que el software debe esperar que se mantenga la condición de alarma de forma continua antes de proceder a la activación de la misma. Su ajuste tiene una alta influencia en la tasa de falsos positivos obtenidos.

4.4- ENSAYOS

Se procedió a la realización de ensayos consistentes en acercar una parte del cuerpo, concretamente la mano, hasta introducirla dentro de la zona de seguridad definida, para comprobar si el dispositivo de seguridad funcionaba y se lograba la parada de la máquina.

Un resumen de las metodologías descritas en este capítulo y de estos ensayos se recoge en el [vídeo](#) adjunto.

5.- RESULTADOS

Como puede observarse en el vídeo de resultados, en el momento que una parte del cuerpo humano, que en este caso era la mano, se acerca a la zona no segura de la herramienta atravesando la zona de seguridad definida, el dispositivo de seguridad diseñado y construido procede a la detención de la máquina.

El sistema, tal y como fue concebido y desarrollado, es capaz de reconocer la presencia de miembros humanos en la zona de interés definida, en base a su temperatura y proceder a la eliminación de los riesgos mecánicos para el operador cesando el movimiento de la herramienta peligrosa.

El sistema funcionó correctamente. No se presentaron altos índices ni de falsos positivos (activación de la función de seguridad sin que una parte del cuerpo entre en la zona de seguridad), ni de falsos negativos (que entre un miembro humano en la zona y la parada automática no se active), aunque el repertorio de ensayos fue breve debido al poco tiempo que se dispuso de la cámara termográfica.

Sí que se apreció, en algunos ensayos, una falta de velocidad de respuesta del dispositivo de seguridad al pasar la mano por determinadas zonas, lo que podría conducir a que el operador entrase en contacto con la herramienta antes de que se produjera su detención con el consiguiente riesgo para la salud. Posibles soluciones serían ampliar el área de seguridad o el uso de dispositivos con mayor velocidad de respuesta.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha procedido al diseño, desarrollo y construcción, y ensayo de un modelo de máquina con dispositivo de seguridad basado en cámaras termográficas.

Este dispositivo de seguridad está preparado para reconocer la excesiva cercanía de una parte del cuerpo humano a una herramienta que genera riesgos mecánicos para el operador mediante el análisis de la imagen térmica del área que rodea la herramienta y, en tal situación, proceder al desencadenamiento de acciones que conduzcan a la disminución o cese de los riesgos mediante la parada de forma automática de la máquina.

En base a los resultados detectados se considera que puede ser factible la utilización de cámaras termográficas como dispositivos de seguridad en máquinas para la detección de personas o sus partes en zonas no seguras, aunque se requerirá un estudio más amplio del asunto y la realización de pruebas y ensayos más exhaustivos.

Para futuros trabajos se debería valorar el desarrollo de un dispositivo con dos niveles de seguridad, un primer nivel considerado de advertencia en el que el riesgo fuese bajo dotado con una alarma visual y/o sonora pero que no provocase la detención de la máquina (sólo hace al operador consciente del peligro cercano), y un segundo nivel de riesgo alto en el que se produjese la parada automática de la máquina.

Para avanzar hacia el objetivo de la aplicación industrial de estos dispositivos, se considera adecuada la realización, en el futuro, de unos ensayos más exhaustivos y con unas condiciones de entorno más variables con vistas a obtener unos resultados más extensibles y fiables. Sería aconsejable estimar la influencia en el funcionamiento del dispositivo de algunos factores, como podrían ser:

- Vestimenta/protecciones del operario: la ropa que lleve el operario cubriendo su piel puede afectar a la temperatura captada por la cámara, así como elementos de protección como guantes u otros.

- Temperaturas corporales diferentes de las habituales: bien por condiciones climáticas (tener las manos frías por ejemplo), bien por enfermedad como fiebre, este factor puede provocar fallos en la detección e identificación de personas.
- Condiciones climáticas: la medida puede estar influenciada por variables como la temperatura ambiental o fenómenos atmosféricos como lluvia, nieve, etc. que pueden aparecer en trabajos en el exterior.
- Condiciones del local/entorno: la colocación en locales con temperaturas extremadamente altas o bajas o que la cámara enfoque hacia zonas con altas o bajas reflectividades puede dar lugar a errores de medida y detección.
- Presencia del material a trabajar: un proceso que genere calor (taladrado, aserrado, etc.) podría incrementar la temperatura del material, que debe atravesar la zona de seguridad obligatoriamente, y resultar en falsos positivos.

Finalmente, comentar que es importante el ajuste que se haga de los parámetros “valor umbral de temperatura” y “tiempo umbral”, por su influencia en la tasa de falsos positivos y negativos.

Respecto al primero, se debe buscar un ajuste suficientemente bajo como para que detecte siempre la presencia de miembros humanos pero no tan bajo como para que incremente el número de falsos positivos por otros cuerpos no humanos.

El tiempo umbral tiene mayor importancia de la que se podría pensar, ya que un valor muy bajo puede provocar falsos positivos por la presencia fugaz de cualquier objeto caliente (por ejemplo una viruta en un proceso de corte). En cambio, un valor muy alto incrementa las posibilidades de que un miembro del operador alcanza la herramienta, con el consiguiente riesgo. Se debe por tanto realizar un ajuste cuidadoso.

7.- ANEXOS

ANEXO I. VALORES TÍPICOS DE EMISIVIDAD.

Las siguientes tablas sirven como guías para ajustar el factor de emisividad durante la medición de temperatura por infrarrojos. Muestran el factor de emisividad ϵ de algunos metales y no-metales comunes. Como este cambia con la temperatura y la calidad de la superficie, los valores listados deben considerarse sólo como un principio de guía para relaciones y diferencias de temperaturas de medición. Si se mide el valor absoluto de la temperatura, debe definirse exactamente el valor del factor.

| Metales | | | |
|-------------------|-----------------------|------------------|------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ϵ |
| Aluminio | No oxidado | 25 | 0.02 |
| | No oxidado | 100 | 0.03 |
| | No oxidado | 500 | 0.06 |
| | Oxidado | 200 | 0.11 |
| | Oxidado | 600 | 0.19 |
| | Muy oxidado | 93 | 0.20 |
| | Muy oxidado | 500 | 0.31 |
| | Muy pulido | 100 | 0.09 |
| | Ligeramente brillante | 100 | 0.18 |
| Plomo | Brillante | 38-260 | 0.06-0.08 |
| | Desigual | 40 | 0.43 |
| | Oxidado | 40 | 0.43 |
| | Gris oxidado | 40 | 0.28 |
| Cromo | Cromo | 40 | 0.08 |
| | Cromo | 540 | 0.26 |
| | Cromo brillante | 150 | 0.06 |
| Hierro | Oxidado | 100 | 0.74 |
| | Oxidado | 500 | 0.84 |
| | No oxidado | 100 | 0.05 |
| | Con capa corroída | 25 | 0.70 |
| | Corrido | 25 | 0.65 |
| Oro | Lacado | 100 | 0.37 |
| | Brillante | 38 a 260 | 0.02 |
| Hierro fundido | Oxidado | 200 | 0.64 |
| | Oxidado | 600 | 0.78 |
| | No oxidado | 100 | 0.21 |
| | Muy oxidado | 40 a 250 | 0.95 |
| Lámina de Inconel | Lámina de Inconel | 540 | 0.28 |
| | Lámina de Inconel | 650 | 0.42 |
| Cadmio | Cadmio | 25 | 0.02 |
| Cobalto | No oxidado | 500 | 0.31 |
| Cobre | Óxido de cobre | 100 | 0.87 |
| | Óxido de cobre | 260 | 0.83 |
| | Óxido de cobre | 540 | 0.77 |
| | Negro oxidado | 40 | 0.78 |
| | Sellado | 40 | 0.09 |
| | Brillante | 40 | 0.03 |
| | Cobre enrollado | 40 | 0.64 |
| | Natural | 40 | 0.74 |
| Fundido | 540 | 0.15 | |

| Metales | | | |
|-------------------|-------------------------------|------------------|-------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ε |
| Aleaciones | Ni-20, Cr-24, Fe-55, oxidado | 200 | 0.90 |
| | Ni-60, Cr-12, Fe-28, oxidado | 270 | 0.89 |
| | Ni-80, Cr-20, oxidado | 100 | 0.87 |
| Magnesio | Magnesio | 40 a 260 | 0.07 a 0.13 |
| Latón | 73 % Cu, 27 % Zn, brillante | 250 | 0.03 |
| | 62 % Cu, 37 % Zn, brillante | 260 | 0.03 |
| | Mate | 20 | 0.07 |
| | Brillante | 20 | 0.40 |
| | Oxidado | 200 | 0.61 |
| | No oxidado | 25 | 0.04 |
| Molibdeno | Molibdeno | 40 | 0.06 |
| | Molibdeno | 250 | 0.08 |
| | Molibdeno | 540 | 0.11 |
| Monel | Ni-Cu | 200 | 0.41 |
| | Monel | 400 | 0.44 |
| | Monel | 600 | 0.46 |
| | Oxidado | 20 | 0.43 |
| Niquel | Brillante | 40 | 0.05 |
| | Oxidado | 40 a 260 | 0.31 a 0.46 |
| | No oxidado | 25 | 0.05 |
| | No oxidado | 100 | 0.06 |
| | No oxidado | 500 | 0.12 |
| | Electrolítico | 40 | 0.04 |
| Platino | Platino | 40 a 260 | 0.05 |
| | Platino | 540 | 0.10 |
| | Negro | 40 | 0.93 |
| | Negro | 260 | 0.96 |
| | Oxidado a 600 °C | 260 | 0.07 |
| | Oxidado a 600 °C | 540 | 0.11 |
| Mercurio | Mercurio | 0 | 0.09 |
| | Mercurio | 25 | 0.10 |
| | Mercurio | 100 | 0.12 |
| Plata | Brillante | 40 | 0.01 |
| | Brillante | 260 | 0.02 |
| | Brillante | 540 | 0.03 |
| Hierro forjado | Mate | 25 | 0.94 |
| | Mate | 350 | 0.94 |
| | Liso | 40 | 0.35 |
| | Brillante | 40 | 0.28 |
| Acero | Laminado | 93 | 0.75 a 0.85 |
| | Lámina brillante | 40 | 0.07 |
| | Lámina brillante | 260 | 0.00 |
| | Lámina brillante | 540 | 0.14 |
| | Blando, acero puro, brillante | 25 | 0.10 |
| | Blando, acero puro, brillante | 25 | 0.12 |
| | Acero, no oxidado | 100 | 0.08 |
| | Acero, oxidado | 25 | 0.80 |
| Aleación de acero | Tipo 301, brillante | 25 | 0.27 |
| | Tipo 316, brillante | 25 | 0.28 |
| | Tipo 321, brillante | 150 a 815 | 0.18 a 0.49 |
| Tántalo | No oxidado | 727 | 0,14 |

| Metales | | | |
|----------|--|------------------|------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ϵ |
| Bismuto | Brillante | 80 | 0.34 |
| | No oxidado | 25 | 0.05 |
| | No oxidado | 100 | 0.06 |
| Zinc | Pureza utilizada comercialmente (99,1 %) | 260 | 0.05 |
| | Galvanizado | 40 | 0.28 |
| | Brillante | 260 a 540 | 0.11 |
| | Brillante | 38 | 0.02 |
| | Brillante | 260 | 0.03 |
| Hojalata | Brillante | 540 | 0.04 |
| | No oxidado | 25 | 0.04 |
| | No oxidado | 100 | 0.05 |

| No-metales | | | |
|---------------------|--|------------------|-------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ϵ |
| Pintura de aluminio | Pintura de aluminio | 40 | 0.27 a 0.67 |
| | 10 % aluminio | 40 | 0.52 |
| | 26 % aluminio | 40 | 0.30 |
| Asbesto | Asfalto, capa superior de la carretera | 20 | 0.93 |
| | Asfalto, capa de alquitrán | 20 | 0.72 |
| | -pañuelo de papel | 93 | 0.90 |
| | -cartón | 38 a 370 | 0.93 |
| | -láminas | 40 | 0.96 |
| | -cemento | 0 a 200 | 0.96 |
| Basalto | Basalto | 20 | 0.72 |
| Ropa de algodón | Ropa de algodón | 20 | 0.77 |
| Minio | Minio | 100 | 0.93 |
| Pintura de bronce | Pintura de bronce | baja | 0.34 a 0.80 |
| Hielo | Suave | 0 | 0.97 |
| | Rugoso | 0 | 0.98 |
| Tierra | General | 40 | 0.38 |
| | Tierra margosa oscura | 20 | 0.66 |
| | Campo arado | 20 | 0.38 |
| Pinturas | Azul, Cu 203 | 25 | 0.94 |
| | Negra, CuO | 25 | 0.96 |
| | Verde, Cu 203 | 25 | 0.92 |
| | Roja, Fe 203 | 25 | 0.91 |
| | Blanca, Al 203 | 25 | 0.94 |
| Yeso | Yeso | 20 | 0.80 a 0.90 |
| Vidrio | Placa de vidrio lisa | 0 a 90 | 0.92 a 0.94 |
| | Convexo D | 100 | 0.80 |
| | Convexo D | 500 | 0.76 |
| | Anexo | 100 | 0.82 |
| Granito | Granito | 20 | 0.45 |
| Caucho | Caucho duro | 25 | 0.94 |
| | Blando, gris | 25 | 0.86 |
| Madera | Madera | baja | 0.80 a 0.90 |
| | Haya, aplanada | 70 | 0.94 |
| | Roble, aplanada | 40 | 0.91 |
| | Picea, pulida | 40 | 0.89 |
| Mortero de cal | Mortero de cal | 40 a 260 | 0.90 a 0.92 |
| Ladrillo de cal | Ladrillo de cal | 40 | 0.95 |

| No-metales | | | |
|--------------------|--|------------------|-------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ε |
| Cerámica | Porcelana | 20 | 0.92 |
| | Loza de barro, vidriosa | 20 | 0.90 |
| | Loza de barro, mate | 20 | 0.93 |
| Grava | Grava | 40 | 0.28 |
| Carbón | Hollín de una llama | 25 | 0.95 |
| | No oxidado | 25 | 0.81 |
| | No oxidado | 100 | 0.81 |
| | No oxidado | 500 | 0.79 |
| | Hollín de una vela | 120 | 0.95 |
| | Fibras | 260 | 0.95 |
| | Grafiticado | 100 | 0.76 |
| | Grafiticado | 300 | 0.75 |
| Pintura | Azul en una lámina de aluminio | 40 | 0.78 |
| | amarilla 2 capas en una lámina de aluminio | 40 | 0.79 |
| | Clara, 2 capas en una lámina de aluminio | 90 | 0.09 |
| | Clara, en cobre brillante | 90 | 0.65 |
| | Clara, en cobre sin brillo | 90 | 0.64 |
| | Roja, 2 capas en una lámina de aluminio | 40 | 0.74 |
| | Negra, CuO | 90 | 0.96 |
| | Blanca | 90 | 0.95 |
| | Blanca, 2 capas en una lámina de aluminio | 40 | 0.88 |
| | Arcilla | Arcilla | 20 |
| - cocida | | 70 | 0.91 |
| Pizarra | | 20 | 0.69 |
| Mármol | Blanco | 40 | 0.95 |
| | Suave, blanco | 40 | 0.56 |
| | Brillante, gris | 40 | 0.75 |
| Pladur | Pladur | 40 | 0.93 |
| Aceite en níquel | Espesor recubrimiento 0,02 mm | 22 | 0.27 |
| | Espesor recubrimiento 0,05 mm | 22 | 0.46 |
| | Espesor recubrimiento 0,10mm | 22 | 0.72 |
| Pinturas de aceite | Todas las pinturas | 90 | 0.92 a 0.96 |
| | Gris verde | 20 | 0.95 |
| | Verde, Cu 203 | 90 | 0.95 |
| | Roja | 90 | 0.95 |
| | Negra, CuO | 90 | 0.92 |
| | Negra, brillante | 20 | 0.90 |
| | Pintura de camuflaje, verde | 50 | 0.85 |
| | Blanca | 90 | 0.94 |
| Vidrio de cuarzo | 1,98 mm | 280 | 0.90 |
| | 6,88 mm | 280 | 0.93 |
| | Vidrio opaco | 300 | 0.92 |
| Hollín | Acetileno | 25 | 0.97 |
| | Alcanfor | 25 | 0.94 |
| | Hollín de un vela | 120 | 0.95 |
| | Carbón | 20 | 0.95 |
| Arena | Arena | 20 | 0.76 |
| Piedra de arena | Piedra de arena | 40 | 0.67 |
| Serrín | Serrín | 20 | 0.75 |
| Pizarra | Pizarra | 20 | 0.69 |

| No-metales | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| Material | Tipo/Calidad/Elemento | Temperatura (°C) | ϵ |
| Nieve | Fina | -7 | 0.82 |
| | Copos grandes | -8 | 0.89 |
| Esmeril | Esmeril | 80 | 0.86 |
| Seda | Seda | 20 | 0.78 |
| Carburo de silicio | Carburo de silicio | 150 a 650 | 0.83 a 0.96 |
| Agua | Agua | 40 | 0.67 |
| Vidrio de agua | Vidrio de agua | 20 | 0.96 |
| Cemento en pasta | 2 capas | 20 | 0.34 |
| Ladrillo | Secado al aire | 20 | 0.90 |
| | Rojo, duro | 20 | 0.93 |

ANEXO II. FICHA CARACTERÍSTICAS CÁMARA FLIR A320

Análisis de medición

| | |
|--|---|
| Punto de medida | 10 |
| Área | 10 recuadros con máx./mín./promedio/posición |
| Isoterma | 1, superior, inferior, intervalo |
| Opción de medición | Measurement Mask Filter Programa de resultados: Envío de archivos (ftp), correo electrónico (SMTP) |
| Diferencia de temperatura | Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia |
| Temperatura de referencia | Establecida manualmente o tomada de alguna función de medición |
| Corrección de la transmisión atmosférica | Automática, basada en las entradas de distancia, temperatura atmosférica y humedad relativa |
| Corrección de la transmisión óptica | Automática, basada en señales de sensores internos |
| Corrección de emisividad | Variable de 0,01 a 1,0 |
| Corrección de temperatura aparente reflejada | Automática, en función de los datos de temperatura reflejada |
| Corrección externa de ópticas/ventanas | Automática, basada en los datos recibidos de transmisión y temperatura de la óptica/ventana IR |
| Correcciones de mediciones | Parámetros de objetos globales e individuales |

Alarma

| | |
|---------------------|--|
| Funciones de alarma | 6 alarmas automáticas en cualquier función de medición seleccionada, entrada digital, temperatura de la cámara, temporizador |
| Salida de alarma | Salida digital, registro, almacenar imagen, envío de archivo (ftp), correo electrónico (SMTP), notificación |

Ethernet

| | |
|-------------------------------------|---|
| Ethernet | Control, resultado e imagen |
| Ethernet, protocolos | Ethernet/IP, Modbus TCP, TCP, UDP, SNTP, RTSP, RTP, HTTP, ICMP, IGMP, ftp, SMTP, SMB (CIFS), DHCP, MDNS (Bonjour), uPnP |
| Ethernet, transferencia de imágenes | 16 bits 320 x 240 píxeles a 7-8 Hz. Radiométrica |

Datos ambientales

| | A310 - Estándar | A310 - Carcasa ambiental | A310pt – Posicionamiento horizontal y vertical |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| Intervalo de temperatura de trabajo | -15°C a +50°C | -25°C a +50°C | -25°C a +50°C |
| Protección | IP 40 (IEC 60529) | IP 66 (IEC 60529) | IP 66 (IEC 60529) |
| Golpes | 25 g (IEC 60068-2-29) | 5 g, 11 ms (IEC 60068-2-28) | 5 g, 11 ms, (IEC 60068-2-27) |

Datos físicos

| | | | |
|------------------------------|---|--------------------|--------------------|
| Peso | 0,7 kg | 4 kg | 17,9 kg |
| Tamaño de la cámara (LxAxAl) | 170 x 70 x 70 mm | 460 x 140 x 150 mm | 460 x 470 x 310 mm |
| Montaje en trípode | UNC ¼"-20 (en tres lados) | N/A | N/A |
| Montaje en base | 2 x orificios de montaje a rosca M4 (en tres lados) | Por determinar | Por determinar |

Características del sistema

| | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|
| Calentadores automáticos | N/A | Limpian el hielo de la ventana | Limpian el hielo de la ventana |
|--------------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|

Posicionamiento horizontal y vertical

| | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|--|
| Rango de azimut | N/A | N/A | Velocidad de azimut 360° continuo, 0,1 a 60°/seg. máx. |
| Rango de elevación | N/A | N/A | Velocidad de elevación +/- 45°, 0,1 a 30°/seg. máx. |
| Valores preestablecidos programables | N/A | N/A | 128 |

Transmisión de vídeo por Ethernet

| | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Ethernet, transmisión de vídeo | MPEG-4, ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 ASP@L5 | MPEG-4, ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 ASP@L5 | Dos canales independientes para cada cámara: MPEG-4, H.265 o M-JPEG |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|

Sistema de alimentación

| | | | |
|---|---|---|---|
| Funcionamiento con alimentación externa | 12/24 VCC (10-30 VCC), 24 W máx. absoluto | 12/24 VCC (10-30 VCC), 24 W máx. absoluto | 24 VCA (21-30 VCA) 24 VCC (21-30 VCC) |
| Consumo | | | 24 VCA: 215 VA máx. con calentador 24 VCC: 195 W máx. con calentador |

Información gráfica y óptica

| | |
|--|--|
| Campo visual (FOV) /distancia focal mínima | 25° x 18,8° / 0,4 m |
| Identificación de lente | Automática |
| Sensibilidad térmica/NETD | < 0,05°C a +30°C / 50 mK |
| Enfoque | Automática o manual (motor incorporado) |
| Número F | 1.3 |
| Frecuencia de imagen | 30 Hz |
| Zoom | 1–8x continuo, digital, zoom interpolador sobre las imágenes |

Datos del detector

| | |
|---|---|
| Resolución IR | 320 x 240 píxeles |
| Separación entre detectores | 25 µm |
| Constante de tiempo del detector | Típica 12 ms |
| Matriz de plano focal (FPA) / Rango espectral | Microbolómetro sin refrigerar / 7,5–13 µm |

Medición

| | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Intervalo de temperaturas del objeto | -20 a +120°C 0 a +350°C |
| Precisión | ±2°C o ±2% de lectura |

Configuración

| | |
|--------------------------|--|
| Gamas de colores | Gamas de colores (blanco y negro, blanco y negro inv., hierro, arcoiris) |
| Órdenes de configuración | Fecha y hora, temperatura en °C |

Almacenamiento de imágenes

| | |
|-------------------------------------|--|
| Tipo de almacenamiento de la imagen | Memoria incorporada para el almacenamiento de imágenes |
| Formatos de archivos | JPEG estándar, incluye 16 bit de datos de medición |

Vídeo compuesto

| | |
|-----------------|--|
| Vídeo | Salida de vídeo compuesto, compatible con PAL y NTSC |
| Vídeo, estándar | CVBS (ITU-R-BT.470 PAL/SMPTE 170M NTSC) |

Entrada/salida digital

| | |
|---------------------------|--|
| Entrada digital | 2 con aislamiento óptico, 10–30 VCC |
| Salida digital, propósito | Como función de ALARMA, Salida a dispositivo externo (programable) |

| | |
|---|--|
| Salida digital | 2 con aislamiento óptico, 10–30 VCC, máx. 100 mA |
| Entrada/salida digital, tensión de aislamiento | 500 VRMS |
| Entrada/salida digital, tensión de alimentación | 12/24 VCC, máx 200 mA |
| Entrada/salida digital, tipo de conector | Borne roscado para conectar a 6 polos |
| Entrada digital, propósito | Etiqueta de imagen (inicio, detención, general), dispositivo externo de entrada (leído por medio de un programa) |

Ethernet

| | |
|----------------------------------|---|
| Ethernet, estándar | IEEE 802.3 |
| Ethernet, tipo de conector | RJ-45 |
| Ethernet, tipo | 100 Mbps |
| Ethernet, comunicación | TCP/IP por conector de la marca FLIR |
| Ethernet, transferencia de vídeo | MPEG-4, ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 ASP@L5 |
| Ethernet, alimentación | Alimentación por Ethernet, PoE IEEE 802.3af clase 0 |

Sistema de alimentación

| | |
|---|---------------------------------------|
| Funcionamiento con alimentación externa | 12/24 VCC, 24 W de máx. absoluto |
| Alimentación externa, tipo de conector | Borne roscado para conectar a 2 polos |
| Tensión | Intervalo permitido 10–30 VCC |

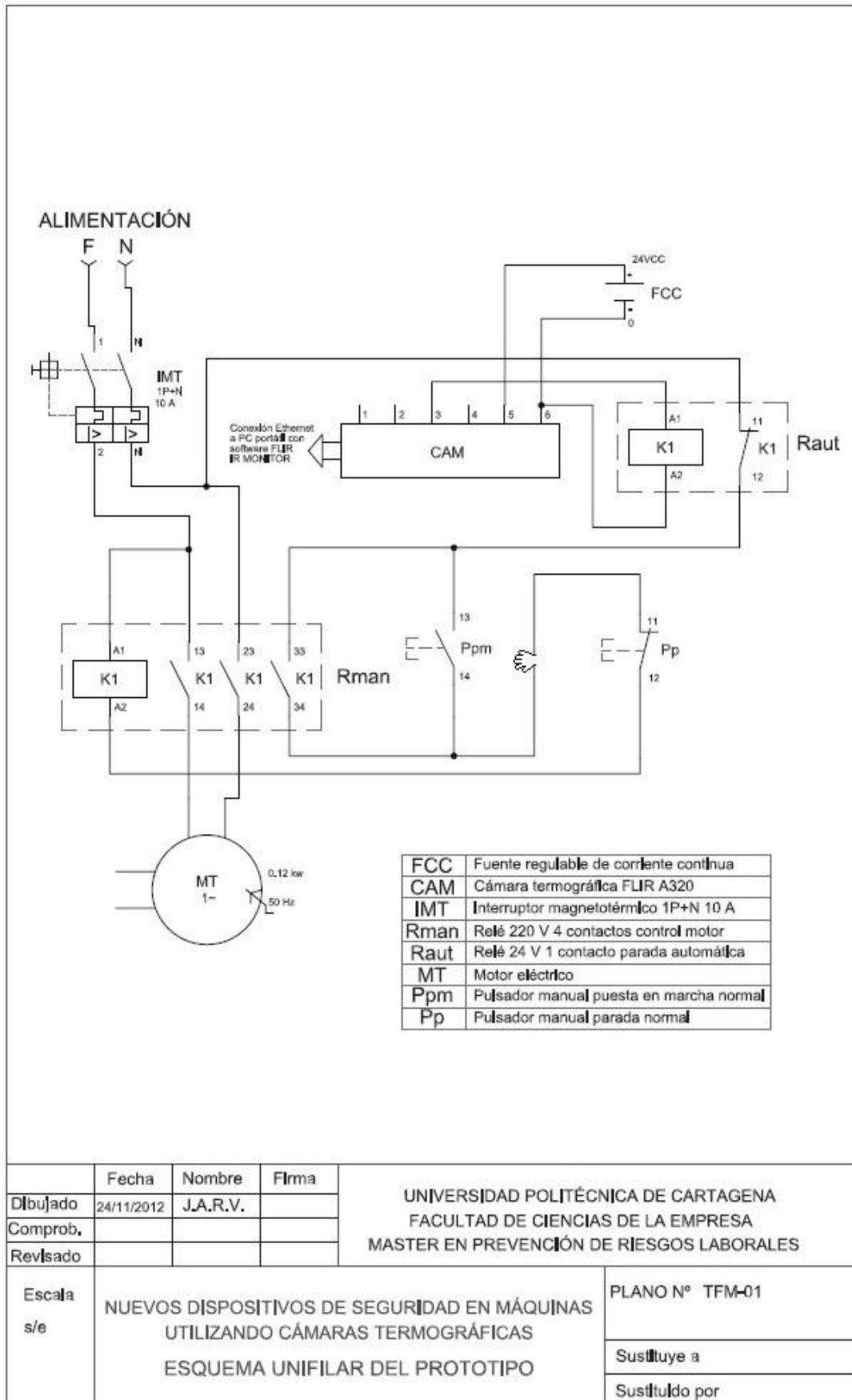
Información ambiental

| | |
|---|---|
| Intervalo de temperaturas de almacenamiento | –40°C a +70°C |
| Humedad (funcionamiento y almacenamiento) | IEC 60068-2-30/24 h, humedad relativa del 95%, de +25°C a +40°C |
| EMC | <ul style="list-style-type: none"> • EN 61000-6-2:2001 (Inmunidad) • EN 61000-6-3:2001 (Emisión) • FCC 47 CFR Parte 15 Clase B (Emisión) |
| Vibración | 2 g (IEC 60068-2-6) |

Datos físicos

| | |
|----------------------|----------|
| Material del estuche | Aluminio |
|----------------------|----------|

ANEXO III. ESQUEMA UNIFILAR DEL CUADRO ELÉCTRICO



8.- BIBLIOGRAFÍA

- FLIR Systems. FLIR IR Monitor User's Manual. Inc. 2010.
- FLIR A3xx series. Manual del Usuario. FLIR Systems, Inc. 2011.
- Manickavasagan A., Jayas D.S., White N.D.G. Paliwal J. 2005. Applications of Thermal Imaging in Agriculture – A Review. CSAE/SCGR 2005 Meeting, Winnipeg, Manitoba. June 26-29, 2005.
- Martínez García C., Ibarra Berrocal I., Martín Górriz B. 2011. Nuevos Dispositivos de Seguridad en Máquinas. Trabajo fin de Master Prevención de Riesgos Laboales. UPCT.
- Ruff M.D. 2001. Application of Radar to Detect Pedestrian Workers Near Minig. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 16:8, 798-808.
- Steen K.A., Villa-Henriksen A., Therkildsen O.R., Green O. 2012. Automatic Detection of Animals in Mowing Operations Using Thermal Cameras. Sensors 2012, 12, 7587-7597.
- Wei J., Rovira-Mas F., Reid J.F., Han S. 2005. Obstacle Detection Using Stereo Vision to Enhance Safety of Autonomous Machines. 2005 ASAE Annual Meeting, paper No. 055006

9.- AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo final del máster es fruto de las orientaciones, sugerencias y estímulos de los profesores directores, D. Isidro Ibarra Berrocal y D. Bernardo Martín Górriz, quienes me han conducido durante estos meses con un talante abierto y generoso, guiándome y mostrando en cada momento una inmejorable disposición ante las dudas que durante la realización del mismo me surgieron, aportando valiosas observaciones que en todo momento guiaron esta investigación.

Este trabajo no podría haberse realizado sin los conocimientos adquiridos en el presente máster, aportándome todas sus asignaturas las nociones necesarias para llevar a cabo este estudio, por lo que agradezco a cada uno de los profesores participantes el haberme transmitido estos conocimientos.

No puedo olvidarme de la Universidad Politécnica de Cartagena y de la Universidad de Murcia, que me han brindado la oportunidad de cursar este máster y cedido sus instalaciones para el desarrollo de este trabajo final.

También a Álava Ingenieros, por prestarnos la cámara termográfica y el asesoramiento, ambos indispensables para llevar a buen puerto este proyecto.

Y, por supuesto a mi pareja, familiares y amigos que supieron respetar durante este tiempo mis horas de aislamiento y darme el apoyo necesario.