

LA TÉCNICA DE LA TERMOGRAFÍA APLICADA AL CAMPO DE LAS PATOLOGÍAS Y FILTRACIONES

Ramón de los Santos Alfonso¹ y Francisco Javier Sánchez Cabezas²

RESUMEN: La técnica de la termografía está basada en tecnología militar que se viene aplicando en multitud de campos y sectores de actividad. En éste caso, la termografía se está utilizando en inspecciones técnicas “in situ” para detectar y dictaminar los orígenes de los problemas, dándole al técnico una herramienta adicional para dictaminar las soluciones óptimas y pertinentes.

1.- ANTECEDENTES

Dentro del campo de la ingeniería civil, los dos pilares fundamentales que todo proyecto estructural debe cumplir y garantizar son la **ESTABILIDAD** y la **RESISTENCIA** a las distintas acciones, así como su permanencia en el tiempo; en el caso de las obras hidráulicas, a las anteriores, hay que añadir una más, la **ESTANQUEIDAD**.

Si bien las presas y las balsas se diseñan para que sean más o menos estancas, más o menos impermeables, esta propiedad, en muchos casos, evoluciona a más o menos velocidad a lo largo del tiempo, debido: a la tecnología de la época en la que se construyeron en el caso de las presas y no las balsas al ser éstas últimas infraestructuras más recientes, a fallos de diseño (malas uniones) o falta de detalles constructivos, a la baja calidad de los materiales empleados en la construcción de la estructura, a la baja

¹ rdelossaal@gmail.com

² PYCSA Infraestructuras, S.L. fjsanchez@pycsa.es

calidad del proceso de puesta en obra (baja compactación, reducida vibración), a los mantenimientos inadecuados y operaciones o maniobras incorrectas, o, muchas veces olvidado, debido al envejecimiento natural de los mismos materiales (acelerado por los agentes atmosféricos). Como consecuencia de lo anterior, los valores de **Estanqueidad** tienden a variar en el tiempo, pudiendo dar lugar, en el peor de los casos, a pérdidas de resistencia, a condiciones de inseguridad, y en caso extremo pueden ocasionar problemas de inestabilidad.

En el caso de las presas de fábrica (gravedad, arco gravedad, contrafuertes, bóvedas, etc) representa un porcentaje del 64% con respecto al total de las **grandes presas** de país, y donde una de sus principales patologías será, sin duda, el envejecimiento de los paramentos por diferentes causas:

- **Reacciones químicas**, que conducen a expansividades y que se manifiestan al exterior en forma de grietas o fisuras,
- **Disoluciones** producidas por aguas puras pudiendo dar lugar a erosiones,
- **Cambios bruscos de temperatura**, que se manifiestan también en el exterior en forma de fisuras y disgregaciones de la fábrica,
- **Variaciones de carga y de la temperatura asociada**, que provocan, según la épocas del año, dilataciones y contracciones de la fábrica, externalizando sus efectos a través de la fisuración, como en los casos anteriores,
- Ciclos **hielo-deshielo**, debido a la acción del agua y la baja resistencia de los hormigones en las presas antiguas.

Aunque hemos referenciado anteriormente a los problemas de envejecimiento de las presas de fábrica, también pueden presentarse problemas del mismo tipo en presas de escollera con pantalla como elemento impermeabilizante aguas arriba, cuyo posible tratamiento es muy similar, con ciertos matices, al que se utilizaría en aquellas.

Las presas de materiales sueltos representan el 36% de las **grandes presas** (homogéneas, núcleo central, con pantalla, escollera, etc), nos podemos encontrar con las principales patologías o causas de envejecimiento, tales como **deformaciones, pérdida de resistencia, incrementos de presiones intersticiales, erosión interna, erosión superficial, filtraciones** en presas con pantalla tanto en hormigón como asfáltica, problemas de **cambios de permeabilidad y envejecimiento de los materiales poliméricos sintéticos**. Es por esto que algunas de las unidades de relleno pierdan o varíen su función impermeabilizante, resistente o drenante.

Además de la grandes presas de fábrica y materiales sueltos, en toda la geografía española, se encuentran un gran número de balsas (≈50.000 balsas) en su gran mayoría cerradas por un dique de tierras, por lo que enlazando con el párrafo anterior, éstas pueden presentar las mismas patologías o causas de envejecimiento que aquellas.

Las balsas debido a su uso y en contraposición a las grandes presas no presentan rentabilidades económicas altas, por lo que en la conservación y el mantenimiento se destina poca inversión y prácticamente nula auscultación, por lo que en muchos casos, en

las balsas es necesario utilizar técnicas que optimicen las soluciones de los problemas presentados.

En relación con la detección de algunas de las patologías mencionadas, la termografía presenta un grado más de avance en la detección de algunas de éstas y en la dictaminación de soluciones dentro de las técnicas actuales, cuyos principios de detección provienen de la tecnología militar. La termografía viene aplicándose desde mitad del siglo pasado y actualmente se aplica en otros campos como:

- la **medicina** en la que se utiliza para la detección de tumores, ...
- en **aplicaciones industriales** dentro del campo de los motores, procesados de productos alimenticios, reacciones de mezclas, triturados, instalaciones eléctricas, electrónicas, ... y
- en algún caso puntual, dentro de la **seguridad de edificios** e incendios.
- la **agricultura**,
- la **arqueología**,
- la **restauración** de catedrales y monumentos, y
- en **procesos energéticos**.
- y dentro del **campo de la ingeniería civil lo expondrá el proyecto I+D+i que estamos desarrollando**.

En definitiva, la tecnología consiste en analizar un objeto o entorno donde se encuentra la infraestructura y aplicarle los infrarrojos para ver sus radiaciones de calor.

2.- INTRODUCCIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

2.1.- FUNDAMENTOS DE LA TERMOGRAFÍA

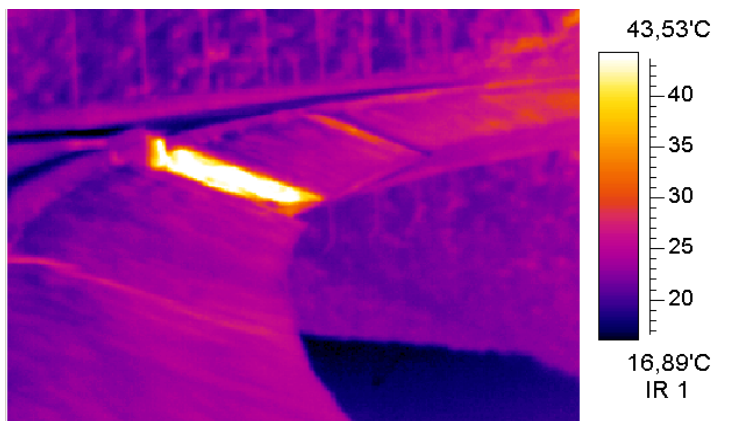
La técnica aplicada lleva consigo un análisis y toma de datos verdaderamente rápido. El estudio lleva asociado una serie de procesos de filtrado, donde un entrono o un objeto radia rayos calóricos que se ser registran en unos termogramas y un ingeniero experimentado tras su análisis dictamine todas las conclusiones y soluciones que han originen un problema o patología.

La emisión de radiación de los materiales está influido por el contenido de sus elementos básicos: minerales, químicos, humedad, tamaño de las partículas, que responden a la teoría cuántica de Planck y la Ley de Wien, y que de acuerdo con ellas, podemos aplicar dichas teorías a numerosos trabajos dentro de la ingeniería civil.

El agua en interacción con una infraestructura presenta una excelente condición para ser estudiada mediante la de emisión de calor y manifestándose en los termogramas la presencia del agua por simple contacto, por absorción o por procesos de capilaridad.

Una de las principales ventajas de esta tecnología es que puede llevarse a cabo mediante la obtención de imágenes desde una distancia de 150 m. La sensibilidad de las exposiciones es consecuencia de la diferencia del estímulo de 1°C del calor irradiado. A partir de que un cuerpo presente una temperatura mayor a 0° Kelvin, empieza a manifestarse con longitudes de ondas que van desde los 700 nanómetros hasta un milímetro.

A la hora de localizar la patología y/o anomalía, el técnico fija los periodos de exposición y los “timing” entre las distintas exposiciones para posteriormente analizar en los termogramas la integridad estructural y la impermeabilidad.



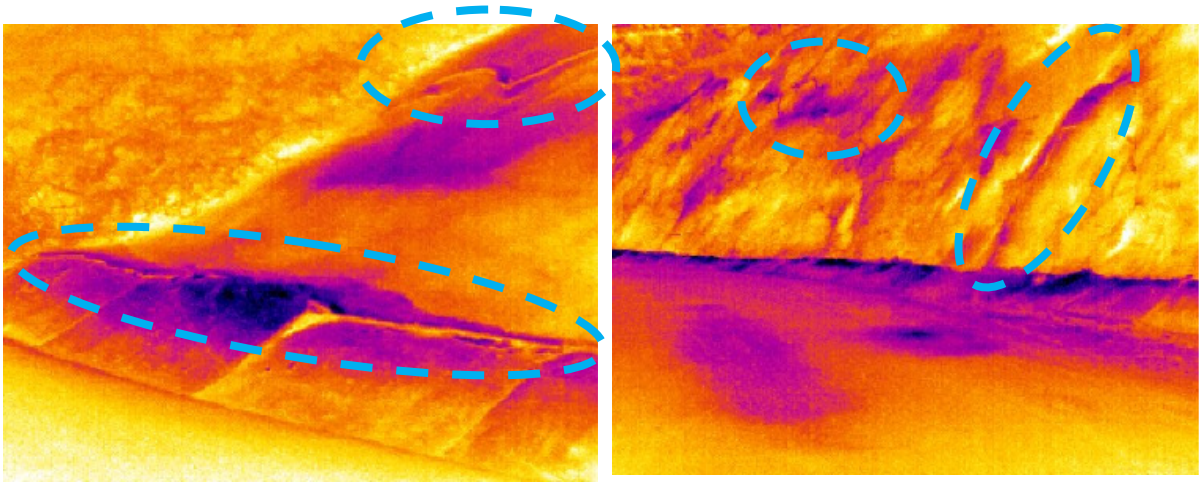
Fotografía 1.- Termograma con reflexiones

Dentro del análisis interpretativo es importante estudiar el fenómeno de la reflexión de los cuerpos, al objeto de distinguir las diferencias entre los cuerpos recogidos en los termogramas, por ello se precisan el uso de “filtros” que distingan la frecuencia y longitud de onda idónea para distinguir el agua en sus distintas fases.

2.2.- OBJETO DE LA TECNICA

La termografía es usada en distintos campos de aplicación dentro de la ingeniería y en otros campos experimentales. Desde el punto de vista práctico hemos ensayado y realizado algunas pruebas piloto en las que se han identificado los puntos de fluencia de agua a través del los sistemas de impermeabilización y, en casos particulares, se identifican desperfectos de puesta en obra o patologías geotécnicas que se ponen de manifiesto en la estructura.

En la fotografía 1 pueden verse las termografías en las inmediaciones de un talud, en éstas se aprecian distintos gradientes de temperatura causados por la fluencia de humedad en determinados puntos, coincidiendo a su vez con la localización de las fisuras y con una notable presencia de humedad en el pie de dicho talud.



Fotografía 1.- *Apreciación de fisuras marcadas y la humedad en distintas zonas del talud*

En los sistemas de impermeabilización, las presencias de humedad se localizan con las líneas de soldadura mal ejecutadas durante el proceso de puesta en obra o en puntos deteriorados por el paso del tiempo como podremos ver más adelante.

Por otro lado, existen sistemas de impermeabilización que limitan la comprobación de su acabado, como es el caso de las láminas de EPDM y las impermeabilizaciones con materiales líquido, no pudiendo asegurar resultados satisfactorios en cuanto a su estanqueidad.

La aplicación técnica de las termografías en casos de presas, balsas o estructuras de contención en contacto con el agua, con poca o nula auscultación, nos puede arrojar a los técnicos datos de gran apoyo en las inspecciones periódicas.

Durante la inspección se pueden realizar distintas exposiciones para analizar la posición las posibles redes de flujo intersectando con la balsa, muchas veces obviadas en el diseño y con el paso del tiempo acarrear consecuencias.

En diques de materiales sueltos, normalmente balsas con poca instrumentación y ante la sospecha de posibles manifestaciones en el talud de cualquier humedad, la aplicación de la termografía pretende analizar y señalar cuáles son las superficies más afectadas, al estar hablando de infraestructuras con grandes longitudes de dique, de forma que se optimiza las decisiones desde el punto de vista técnico y económico.

Desde el punto de vista de la **funcionalidad** los caudales de fuga deben ser aceptables, limpios de material y no deben deteriorar el relleno. No obstante, los puntos de fugan han de estar localizados.

La termografía de infrarrojos abre nuevas ventanas, dentro del sector de la explotación, inspección y vigilancia del almacenamiento masivo de agua.



Fotografía 2.- Dique de contención de agua y solera de una balsa, ambas con patologías por la presencia de agua en el terreno

2.3.- AVANCES Y PROYECTO I+D+I.

Entre los avances del proyecto se encuentran el análisis de cuatro inspecciones prototipos realizadas “in situ” comprobando todos los aspectos que eran de interés desde el punto de vista del técnico.

Dentro del proyecto se están desarrollando distintos filtros con distintas frecuencias y longitudes de onda acordes con la patología o anomalía que estemos buscando, de manera que la termografía sea utilizada como contraste.

3.- LAS BALSAS Y SU INSPECCIÓN “IN SITU”

3.1.- ASPECTOS RELEVANTES A OBSERVAR

Entre las cuestiones a contrastar, aclarar e identificar con la técnica de infrarrojos durante una inspección de seguridad, el técnico analizará entre otros aspectos:

- La evidencia de defectos constructivos, tanto en la obra como en el sistema de impermeabilización.
- Defectos en la conservación y mantenimiento
- Ubicación física de las filtraciones o fugas.
- El funcionamiento del sistema de drenaje.
- Indicios de deterioro en la obra o cimiento en el caso de suelos yesíferos.
- Riesgos aparentes en la geología.

3.2.- EJEMPLOS EN DE INSPECCIONES “IN SITU”

Las experiencias llevadas a cabo hasta el momento han sido cuatro, todas ellas realizadas en la Comunidad Autónoma de Murcia, y que son las siguientes:

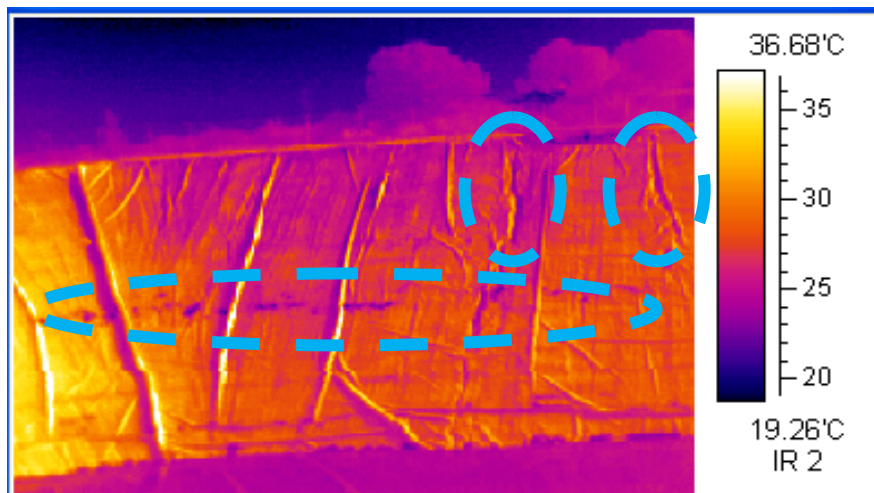
- **Doña Vicenta de Librilla** con una capacidad de 100.000 m³ e impermeabilizada con PEAD.

Problemática: Fugas de agua sin localización de los puntos filtrantes y animales ahogados dentro de la balsa.

Detección: Filtraciones de agua entre el talud y el sistema de impermeabilización, en las proximidades de las dos aristas del cajeadado. En estas zonas se aprecia en el termograma que se han ocasionado canículos por el arrastre de material en la línea de máxima pendiente del talud y que a su vez esta agua o filtraciones son recogidas por la red de drenaje.

La línea horizontal del termograma muestra la zona donde los animales se han posicionado para intentar salir de la cota de agua en el momento de producirse el ahogamiento, provocando una degradación de la lámina por las pisadas y arañazos de los animales.

Las conclusiones de la inspección no son apreciables al ojo humano, pero es posible detectarlo mediante la aplicación de la técnica termografía.

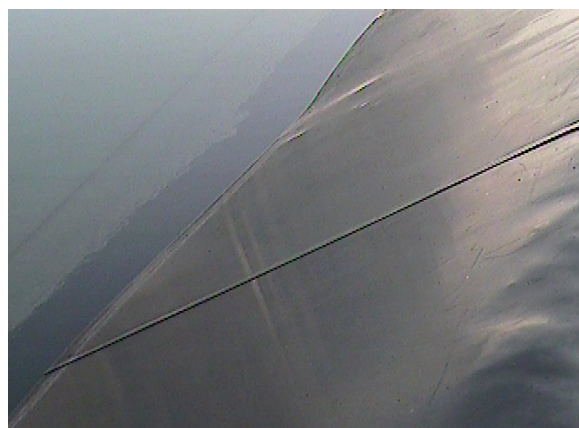


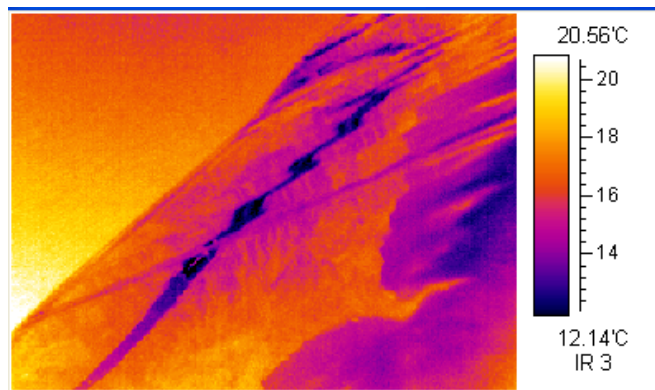
Fotografía 3.- Patologías o deficiencias puesta de manifiesto en el talud interior de la balsa

- **La Hoya** en la población de Lorca con una capacidad de 200.000 m³ e impermeabilizada con PEAD.

Problemática: Un embalse construido sobre un terreno con yesos. En la coronación se aprecian hundimientos parciales en el pasillo de coronación. En las proximidades se detectan fallos en los taludes como consecuencia de las fuertes lluvias por lo que se tomaron termogramas en los taludes interiores.

Detección: En el talud interior, de acuerdo con la Termografía, se aprecia una zona de descuelgue y que puede venir ocasionado por una mala puesta en obra en esta zona, por una disolución del yeso o por una veta de yeso existente en el propio talud y que es apreciable al estar hidratado. Por tanto, en estos puntos hay una fluencia de agua. Los puntos o por la presencia de yesos que al estar hidratados se aprecia la veta del mismo. Las conclusiones de la inspección no son apreciables al ojo humano, pero es posible detectarlo mediante la aplicación de la técnica Termografía.





Fotografía 4.- Patologías o deficiencias puesta de manifiesto en el talud interior de la balsa

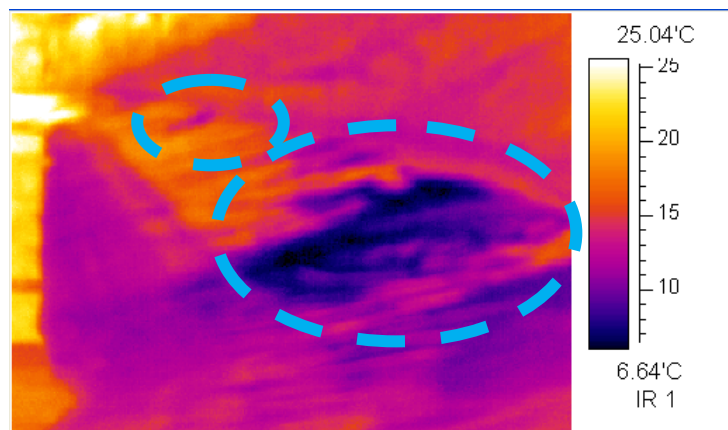
- **Lebor** en la población de Totana con una capacidad de 400.000 m³ e impermeabilizada con PEAD.

Problemática: Embalse situado sobre suelos con un determinado contenido de yesos, en el que se aprecian en la fotografía hundimientos parciales en el pasillo de coronación.

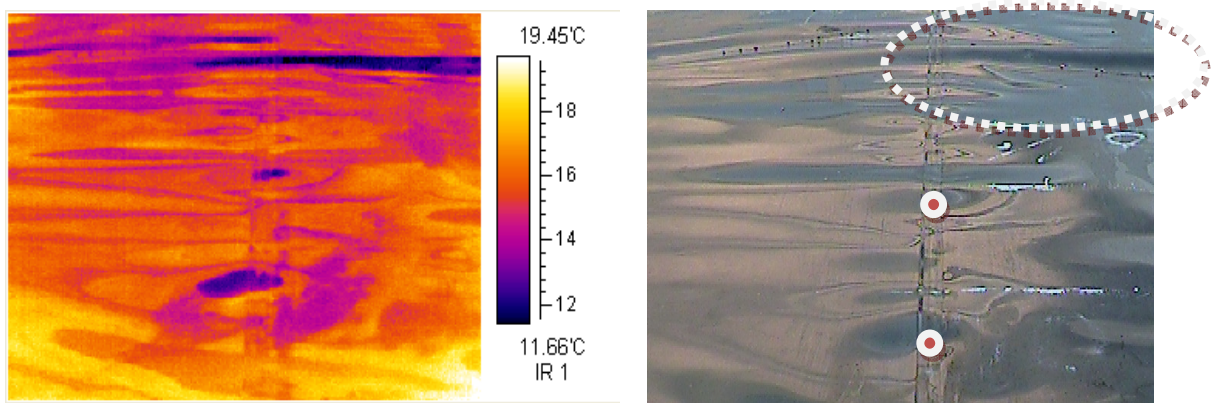
Detección: En la inspección se analizaron los hundimientos de la coronación, en días posteriores a unas lluvias, y se observaron cómo se habían creado redes de flujo bajo el sistema de impermeabilización. En los termogramas se puede ver como en el talud se pone de manifiesto esa presencia de humedad en los puntos señalados, indicando una menor temperatura, si en estos puntos analizando la topografía se observa cómo hay cuatro arroyos con pequeñas cuencas vertientes que confluyen dos a dos en estos puntos. (Fotografía 5).

Además de los taludes se inspecciono la solera detectando con la termografía fallos en las soldaduras de termofusión, propias del sistema de impermeabilización. (Fotografía 6). De la misma forma se puede ver en la fotografía como existen bajo la lámina concentraciones de agua procedentes de las entradas masivas de la lluvia bajo la lámina.





Fotografía 5.- Hundimientos del pasillo de coronación por la red de flujo generada y no interceptada o captada para evitar su paso bajo la balsa



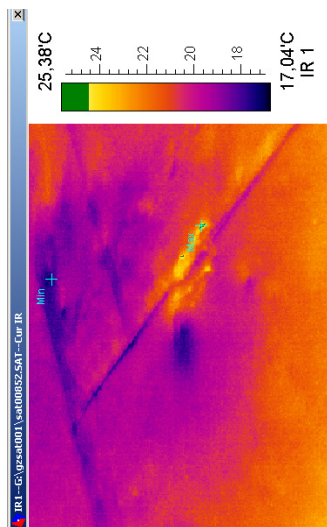
Fotografía 6.- Apreciación de fallos en la soldadura y flujo de agua bajo la lámina

- **Donaire** en la población de Blanca con una capacidad de 400.000 m³ e impermeabilizada con EPDM.

Problemática: Excesivas filtraciones por lo que se revisaron las soldaduras.

Detección: Analizando el termograma se puede apreciar la existencia de una concentración de humedad bajo la lámina y que asciende desde esta posición hacia arriba por capilaridad. Con el termograma podemos concluir lo anterior y a su vez que la red de drenaje no está cumpliendo la función para la que fue diseñada, ya que se pone de manifiesto que ambas caras de la lámina están conectadas.

Las conclusiones de la inspección no son apreciables al ojo humano, pero es posible detectarlo mediante la aplicación de la termografía.



Fotografía 7.- Termograma de la soldadura de vulcanización en EPDM ubicada en el talud interior de la balsa

4.- CONCLUSIONES

A lo largo del texto se han podido ir viendo el alcance de esta tecnología, hasta el momento, aplicada a la ingeniería civil con sus ventajas e inconvenientes, y respondiendo a una metodología planteada y desarrollada. A continuación, se describen aquellas que a juicio de los autores, son las más importantes:

Ventajas

- *Con la termografía se dictamina y valorarán el punto exacto del problema, la estabilización o progresivo avance de éste, así como la magnitud y entidad del mismo.*
- *Con la termografía se abarata la reparación, contrastar si la misma ha sido efectiva o no tras el correspondiente mantenimiento de una infraestructura, proposición de los métodos preventivos o correctivos del problema.*
- *La termografía puede dictaminar si son correctos o no el mantenimiento y la conservación llevada a cabo en una estructura.*
- *Los resultados de la exposición termográfica es un valor añadido en el momento de valorar y justificar el problema por parte de un técnico.*

- *La técnica de la termografía se realiza mediante ensayos no destructivos y desde una determinada distancia sin la existencia de contacto alguno. De aquí que se pueda aplicar a lugares de difícil accesibilidad.*
- *La termografía de infrarrojos abre nuevas ventanas, dentro del sector de la explotación, inspección y vigilancia del almacenamiento masivo de agua.*
- *La termografía permite comprobar obras auxiliares, muros, pasillo de coronación, drenajes superficiales, galerías visitables, pie de taludes, incluso piezas de control hidráulico.*

Inconveniente

- *Necesita la presencia de agua en cualquiera de sus formas o una diferencia de temperatura notable para dictaminar lo sucedido.*