

Variación de la emisividad de materiales en función de la temperatura



Autor: César A. Tejaxún Solloy

Ingeniero mecánico industrial, Maestro en Artes de Ingeniería de Mantenimiento, Termógrafo, Analista de Vibraciones

Todos los materiales poseen un valor de emisividad único, que los caracteriza y hace de este valor, un parámetro muy importante en el proceso de termografía cuantitativa, por lo que comprender como su valor cambia en función de la temperatura es sumamente muy importante.

Resumen

La detección y diagnóstico de una falla en cualquier equipo, puede ser bastante sencillo para un termógrafo experimentado; sin embargo, para personas que se inician en este campo podría ser una tarea sumamente difícil, la inexperiencia puede llevarlos a emitir diagnósticos completamente equivocados y cuantitativamente, obtener valores erróneos de temperatura. Como técnica de monitoreo de condición, la termografía IR, permite detectar anomalías en su etapa más temprana en una amplia variedad de aplicaciones, tales como, instalaciones eléctricas, flujo de fluidos, fricción en mecanismos o inspección de instalaciones e infraestructura, con la finalidad de evitar llegar a fallas funcionales y en el peor de los casos, fallas catastróficas.

La termografía cuantitativa utiliza la medida de la temperatura como criterio para evaluar la severidad o gravedad de un problema, para así establecer la prioridad de reparación. ITC (2017)

Realizar la medición de temperatura requiere tomar en cuenta parámetros de compensación, que son aquellos valores que permitirán aislar la radiación emitida por el objeto analizado, que es lo que finalmente interesa. Los parámetros más usuales son la temperatura ambiente, la distancia, la humedad relativa, la temperatura reflejada y la emisividad, siendo esta última la más importante. Comprender y aplicar correctamente estos parámetros requiere de entrenamiento exhaustivo en termografía, de dicha cuenta se tienen niveles de certificación I, II y III que garantizan que las mediciones son correctamente realizadas y los diagnósticos emitidos

son consecuentemente correctos. Las consecuencias de no realizar una compensación efectiva pueden ser, desde dejar pasar por alto problemas existentes o detectarlos muy tarde, cuando la acción correctiva es inminente.

Este artículo mostrará como calcular experimentalmente el valor de emisividad de varios materiales y el cambio que experimenta en función de la temperatura, utilizando una cámara termográfica y su software de análisis.

Introducción

La emisividad es una propiedad intrínseca de los materiales que define su capacidad de emitir radiación infrarroja cuando se encuentra a una temperatura y longitud de onda determinada. Se expresa como valores en la escala de 0 a 1, cuando este valor es 0, el material es completamente reflectante y no emite radiación, en cambio cuando este valor es 1, esa capaz de emitir toda la radiación a esa temperatura y longitud de onda determinada. El valor de la emisividad se calcula como la relación entre la radiación que emite un material y la radiación que emite un cuerpo negro. Un cuerpo negro, teóricamente, es capaz de emitir el 100% de su energía.

Uno de los conceptos que se debe transmitir con claridad en termografía es la emisividad, cuya importancia es alta cuando se buscan establecer los valores de temperatura de un objeto analizado, ya que un valor equivocado de la misma llevará fácilmente a valor diferente al real. La emisividad no solo es diferente para todos los materiales, sino que varía con el cambio de temperatura.

Se puede demostrar esta variación de varias formas, por ejemplo, sometiendo el cuerpo a calentamientos sucesivos y luego a través de pruebas empíricas, determinar el valor de la emisividad. Sin embargo, hacerlo simultáneamente resulta mucho más ilustrativo y fácil de entender. Esto se puede lograr utilizando un software de análisis termográfico, en el cual haciendo cambios sucesivos en el valor de la emisividad (este es una variable que se puede ajustar en cualquier software de análisis termográfico) se podrán observar los cambios en que se producen en las temperaturas superficiales de los cuerpos analizados. Por lo anterior, se deduce que para esta demostración se requiere de la capacitación en termografía y uso de equipos termográficos, así como la certificación que imparten instituciones que capacitan y certifican personal en termografía infrarroja como el ITC (Infrared Training Center) por sus siglas en inglés.

Este artículo mostrará los pasos para demostrar la diferencia de emisividades entre materiales, así como la variación de estas en función de cambios en la temperatura,

Recursos y Metodologías

Este es un experimento empírico, en el que no se tiene control de todas las condiciones bajo las que se realiza; sin embargo, los resultados muestran que se alcanza el objetivo principal.

Instrumentos y materiales

Materiales	Parámetros
Cámara termográfica Flir E8XT	Temperatura
Software de análisis Flir Tools	Humedad relativa
Recipiente de acero inoxidable	Temperatura reflejada
Vaso plástico	Distancia
Taza cerámica	
Termómetro de cocina	
Cinta de aislar color negro	
Agua caliente a 15°C, 50°C, 72°C	

Tabla 1. Materiales, instrumentos y parámetros del experimento

Una premisa importante es que el termógrafo ha sido capacitado y entrenado por ITC, condición que lo califica en el uso del equipo termográfico y manejo de los conceptos relacionados a termografía cuantitativa y todos los conceptos relacionados.

Procedimiento

1. Colocar un trozo de 3 cm de cinta de aislar en forma horizontal a cada taza en la parte inferior, como se muestra en la fotografía
2. Verter agua, a cada una de las temperaturas indicadas, hasta la mitad de cada recipiente
3. Medir la temperatura del agua en los recipientes con un termómetro de cocina
4. Medir la temperatura sobre la superficie en cada recipiente en dos puntos, sobre el trozo de cinta de aislar y en un punto fuera del mismo con la cámara Flir E8XT
5. Analizar cada termograma en Flir Tools con emisividad = 0.95
6. Para cada recipiente y material ajustar la emisividad hasta hacer coincidir las temperaturas con las obtenidas con emisividad = 0.95
7. La emisividad a la cual coinciden las temperaturas de cada material comparadas con las obtenidas con emisividad de 0.95, será la emisividad del material analizado.

Desarrollo

La demostración es sencilla y es viable realizarla en cualquier ambiente debido a la utilización de materiales comunes, accesibles y conocidos. Las imágenes visuales contrastan con las imágenes térmicas, en las que los colores se asocian con intensidades de radiación y estos son convertidos a valores de temperatura en grados °C.

Imagen visual de materiales de prueba



Figura 1. Imagen visual de los materiales del experimento

Imagen infrarroja de materiales de prueba

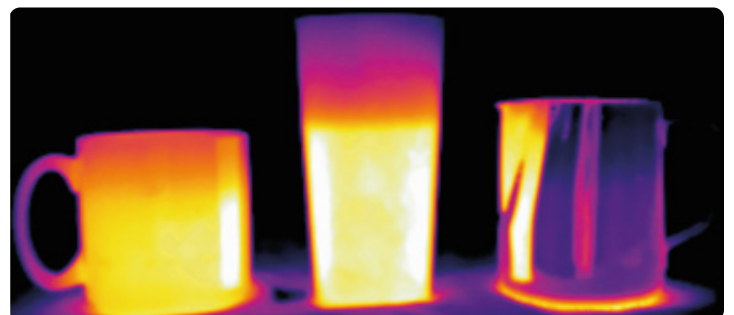


Figura 2. Imagen termográfica del experimento

De las imágenes anteriores se puede resaltar lo siguiente, la visual es netamente reflexión, esto significa que sin una fuente de iluminación no veríamos la forma de los recipientes ni su color, en cambio en la imagen infrarroja, los colores representan las intensidades de radiación IR que emiten los recipientes, en este caso, materiales diferentes con diferentes emisividades y es importante también hacer notar que se evidencia un cambio intempestivo de tonalidades en los recipientes de la izquierda. Esto ejemplifica, casualmente, una aplicación de la termografía, los cambios de nivel en un recipiente.

La prueba inicia colocando los trozos de cinta de aislar, cuya emisividad es 0.95, sobre cada uno de los recipientes y luego se inicia con las mediciones. Flirmedia (s.f.)

Recipientes de prueba con trozos de cinta de aislar con ϵ de 0.95



Figura 3. Material de emisividad conocida sobre los materiales del experimento

Parámetros de compensación:

- $\epsilon = 0.95$
 - Temperatura ambiente = 21.4°C
 - Temperatura reflejada = 22°C
 - Distancia = 0.40 m
 - Humedad relativa = 59%
1. Se vierte agua a temperatura ambiente (15°C) en cada uno de ellos, hasta que sobre pase la mitad, se comprueba esta temperatura con el termómetro de cocina y se toman dos imágenes termográficas con la cámara Flir E8XT, la primera sobre las superficies sin la cinta de aislar y la segunda sobre las superficies con los trozos de cinta
 2. Repetimos el paso anterior con la diferencia que esta vez el agua está a 72°C, se toman las lecturas y termogramas correspondientes, se deja enfriar el agua hasta que la temperatura descienda a 50°C y se procede a tomar lecturas de temperatura y termogramas nuevamente.

3. A partir de este momento se inicia el análisis en el software Flir Tools. La primera imagen en analizar será la correspondiente al agua a 15°C, utilizando la herramienta de medición puntual, medimos sobre sobre las superficies sin cinta de aislar de los tres recipientes, anotamos los valores, giramos los recipientes y ahora se toman las temperaturas directamente sobre los trozos de cinta de aislar de los tres recipientes. Se repite la rutina a 50°C y 72°C. Los resultados se consignan en la siguiente tabla:

Temperatura de referencia, H2O

Materiales	15° C		50° C		72° C	
	T Superficie	T cinta	T Superficie	T cinta	T Superficie	T cinta
Acero inoxidable	20.5	21.6	27	57.8	30.9	78.2
Acero inoxidable	21.4	21.6	51.3	52.3	68.2	70.7
Acero inoxidable	21	21.2	48.9	52.3	69	71.9

Tabla 2. Valores obtenidos por medición con cámara IR

4. En este paso, sobre las superficies sin cinta de aislar, se analizará la emisividad del acero inoxidable, iniciando con el termograma correspondiente a 15°C y emisividad configurada en la cámara de 0.95, se modifica este valor hasta que la temperatura cambie de 20.5°C a 21.6°C. Esto significa que cuando se alcance esa temperatura, se habrá encontrado el valor real de emisividad del acero inoxidable a 15°C. Se repite el procedimiento para la cerámica y el plástico. En este caso particular la emisividad es de 0.99 para los tres materiales, el cuál es un caso especial.
5. Para las temperaturas de 72°C y 50°C, el procedimiento es el mismo, salvo que los valores de las emisividades cambian, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Emisividades de materiales a diferentes temperaturas

Materiales	15°C	50°C	72°C
Acero inoxidable pulido	0.99	0.13	0.11
Cerámica impresa	0.99	0.93	0.89
Plástico impreso	0.99	0.92	0.86

Tabla 3. Resultados de ϵ del experimento

Experimentalmente, la emisividad es encontrada de forma fácil y rápida, aprovechando las funciones con las que cuenta una cámara termográfica de gama media y su correspondiente software de análisis. Aún así, se debe estar consiente que la precisión no es absoluta, dado que no todas las condiciones del experimento están bajo control. En la siguiente imagen se muestra el efecto que causan los trozos de cinta de aislar eléctrica sobre las superficies de los recipientes, cada uno de los cuales con diferente valor de emisividad. Teóricamente, la temperatura medida sobre estos trozos debería ser la misma, solo si las condiciones del experimento están bajo control.

Efecto de un material de emisividad conocida sobre materiales con emisividades desconocidas

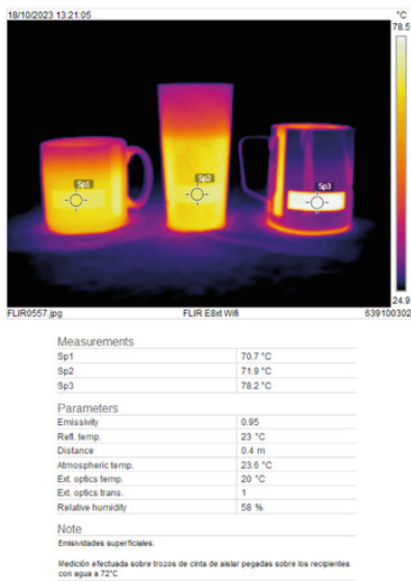


Figura 4. Imagen del software Flir Tools

Aunque la cinta tiene una emisividad, $\epsilon = 0.95$, las temperaturas aún difieren en los diferentes recipientes, la explicación es bastante lógica. En este artículo, no se ha considerado el coeficiente de transmisión térmica de los materiales, el cual es diferente. En la taza cerámica, la superficie estará más fría, que en las de plástico y acero inoxidable, aun cuando el líquido en su interior esté a la misma temperatura. Tampoco se consideró que el fluido caliente empieza a perder temperatura desde el momento en que es vertido en cada recipiente.

Las variables anteriores producen que las temperaturas superficiales de los recipientes tengan un valor diferente, aun cuando se miden sobre un material de emisividad conocida.

Las siguientes imágenes muestran la variación de la temperatura con cambios en la emisividad. Se realizan cambios en los valores de emisividad con el objetivo de qué en un punto, al igualarse las temperaturas, se encuentre la emisividad a la temperatura del agua.

Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 15°C

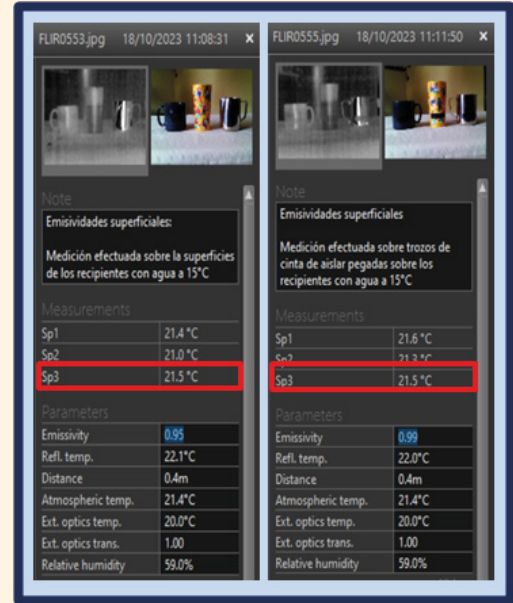


Figura 5. Emisividad del acero inoxidable a 15°C

Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 50°C

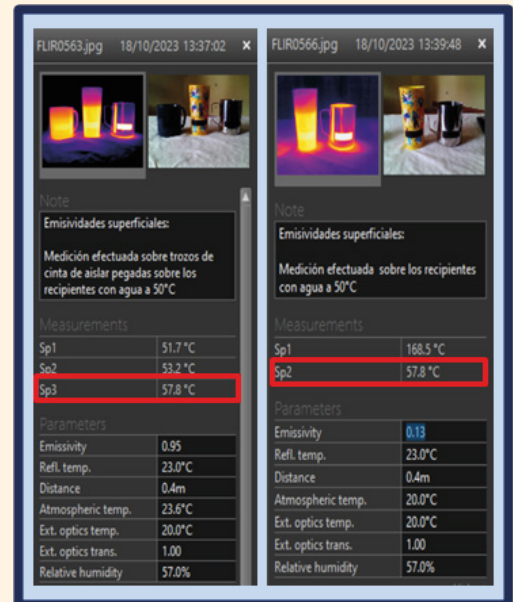


Figura 6. Emisividad del acero inoxidable a 50°C

Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 72°C

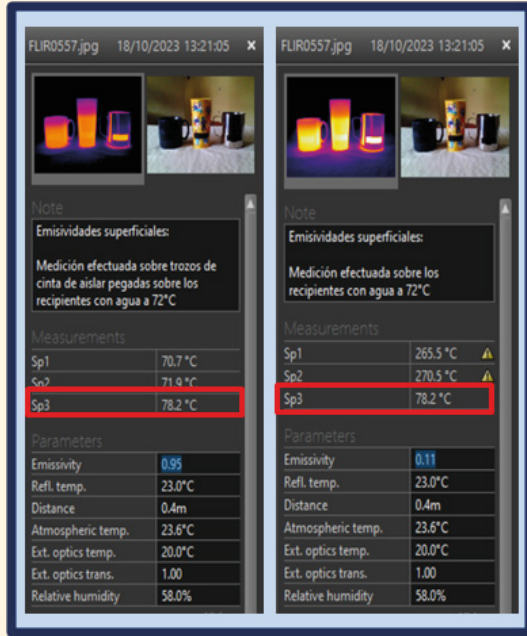


Figura 7. Emisividad del acero inoxidable a 72°C

Se puede resumir el comportamiento de las emisividades de estos tres materiales y su tendencia en la siguiente gráfica:

Emisividad de materiales como función de la temperatura

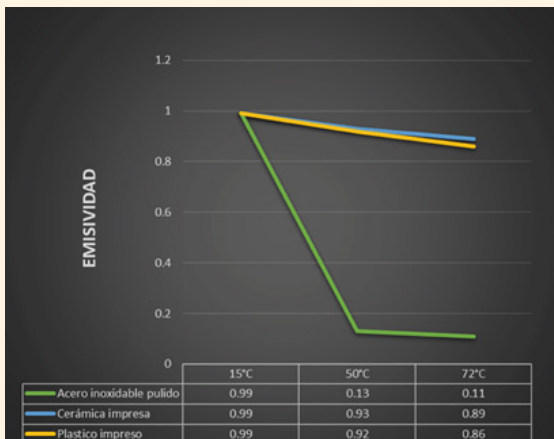


Figura 8. Comportamiento de las emisividades de diferentes materiales en función de la temperatura

Discusión de los resultados

En la gráfica anterior se puede apreciar el comportamiento de los valores de emisividad de los 3 materiales del experimento, es evidente que a bajas temperaturas, estos valores son muy cercanos a 1 y estos tienen a disminuir con el incremento de la temperatura.

Acorde a la Ley de Planck, a bajas temperaturas, la radiación térmica emitida por un material se concentra en un rango relativamente estrecho de longitudes de onda. Debido a esta concentración en un rango específico de estas longitudes, los materiales tienden a ser más eficientes en la emisión de radiación térmica, esto se traduce en una emisividad más alta a bajas temperaturas en ese rango de onda específico, Ceramicx. (s. f.)

Esto explica el comportamiento de los valores de emisividad de este experimento, a bajas temperaturas los cuerpos son más eficientes al emitir energía por lo tanto tendrán una emisividad más alta.

Aparte del comportamiento de los valores de la emisividad con el cambio de temperaturas, también es importante resaltar la diferencia entre diferentes materiales. La cerámica y el plástico tienen valores diferentes pero cercanos entre ellos; sin embargo, comparados con el acero inoxidable la diferencia es enorme. En la práctica, materiales con alta emisividad son mucho más fáciles de analizar cuantitativamente, caso contrario, el acero inoxidable y materiales similares presentan una dificultad considerable cuando se requiere la medición de su temperatura superficial.

Es importante recordar que este experimento no tuvo en control todas las variables y que esto supone una incerteza real en los resultados, algunas de estas variables son la velocidad de enfriamiento del agua, los espesores de las paredes de los recipientes y el coeficiente de conductividad térmica de cada material.

En la práctica de la termografía, estas son variables que no deben pasarse por alto, si lo que se pretende es cuantificar la severidad de una anomalía tomando como referencia el valor de la temperatura. Un valor erróneo de emisividad puede ser la raíz de un diagnóstico equivocado, aún cuando se traten de algunos grados Celsius.

Si bien la emisividad es sumamente importante, no debe pasarse por alto la importancia de la reflectividad de los materiales. Materiales con alta reflectividad presentan una dificultad formidable al intentar medir su temperatura.

El acero inoxidable, el aluminio pulido o superficies cromadas, niqueladas o con alto acabado superficial están en el grupo de materiales cuyas emisividades son muy bajas y por lo consiguiente, con reflectividades altas y difíciles de determinar fehacientemente su temperatura.

Finalmente, siempre se debe tener presente que una cámara IR mide la radiación que emite un cuerpo, en otros términos, la potencia térmica. Esta medición es afectada por diversos factores tanto ambientales como intrínsecos de los materiales, razón por la cual es necesaria la compensación en la termografía cuantitativa. La conversión a valores de temperatura de la energía emitida es realizada electrónicamente por la cámara.

Conclusiones

1. La importancia de conocer que todos los materiales poseen diferentes valores de emisividad es fundamental para la comprensión de los diferentes valores de temperatura en un sistema o mecanismo que aparentemente está a la misma temperatura.
2. Los valores de temperatura que se encuentran tabuladas en numerosas fuentes sobre emisividades de diferentes materiales son valores de referencia nominales, no se debe pasar por alto que en diferentes rangos de temperatura, la emisividad también cambiará levemente, pudiendo afectar la medición final de la temperatura.
3. Es impráctico tratar de establecer el valor de la emisividad para cada material a una determinada temperatura cuando se realiza una inspección termográfica, por lo tanto, es más práctico, utilizar de referencia un material con emisividad conocida, (cinta de aislar, corrector blanco, cinta termográfica con $\epsilon=0.95$, etc.) y con esto ahorrar tiempo y garantizar la obtención de un valor real de temperatura.
4. En la práctica no debe intentar medir la temperatura sobre superficies con emisividades muy bajas, tales como el acero inoxidable pulido, debido a que la probabilidad de tomar lecturas erróneas tiende a incrementarse dando lugar a evaluaciones equivocadas sobre la severidad de una anomalía térmica. En general, no se debe medir temperaturas sobre superficies de materiales con emisividades menores a 0.10.

Referencias bibliográficas

- Ceramicx Infrared for Industry (s.f.). Infrarrojos: Leyes de calefacción. <https://www.ceramicx.com/es/information/support/why-infrared-laws-of-infrared-heating/>.
- Flirmedia, (s.f.). Materiales para aumentar la emisividad de los objetos. www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_044/RND_044_ES.pdf
- ITC (2017) Manual curso nivel 1, Infrared Training Center.