

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EMPRESA

**TITULACIÓN: MASTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES**

TRABAJO FIN DE MASTER



**TÍTULO: EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO DE LA
UPCT**



Alumno: Carlos Navarro Hellín

Directores: Isidro J. Ibarra Berrocal, Dolores Ojados González

Septiembre 2013

Índice

Capítulo 1.- Introducción y objetivos.....	3
1.1-Introducción.....	4
1.2-Objetivos.....	5
Capítulo 2.- Termografía Infrarroja.....	7
2.1- ¿Qué es la termografía?.....	8
2.2- Campo de extensión.....	9
2.3- Medida de Temperatura utilizando Métodos Infrarrojos.	11
2.4- Sistemas termográficos.	15
2.5- Ventajas de la medida por IR.....	15
Capítulo 3.- Cámara Térmica.....	16
3.1-Primer contacto con la cámara.....	17
3.2-Características técnicas de la cámara.....	18
Capítulo 4.- Máquinas térmicas y frigoríficas.....	23
4.1- Máquina Térmica y máquina frigorífica.....	24
4.2- Partes del sistema.....	25
4.3- Sistemas de refrigeración.....	28
4.4- Esquema y diagrama P-H.....	28
Capítulo 5.- Microscopio de transmisión electrónica.....	31
5.1-Microscopio de transmisión electrónica.....	32
5.2-Datos necesarios.....	33
5.3-Cálculos.....	35
Capítulo 6.- Equipo de fluorescencia de rayos X.....	38
6.1-Fluorescencia de rayos X.....	39
6.2-Toma de datos.....	40
6.3-Cálculos.....	43
Capítulo 7.- Discusión de los resultados.....	45
7.1-Evaluación de los cálculos.....	46
7.2-Importancia del aislamiento en la disminución de pérdidas de calor.....	48
7.3-Valoración sobre la técnica.....	52
7.4-Propuesta de mantenimiento preventivo.....	52
Capítulo 8.-Conclusiones.....	56
Referencias.....	58

Capítulo 1

Introducción y objetivos

*S*e pretende aquí introducir al lector en el propósito del presente trabajo fin de máster que tiene como título: "Eficiencia de sistemas de refrigeración de equipos de trabajo de la UPCT". El proyecto fue desarrollado durante el curso académico 2012/2013 y corresponde a la Titulación: Máster en Prevención de Riesgos Laborales. Más concretamente al área de Técnicas Afines. En él se estudiarán varios sistemas de refrigeración de equipos de análisis instrumental instalados en el SAIT detrás del edificio de I+D+I de la Universidad Politécnica de Cartagena.

1.1 Introducción.

El trabajo fin de máster con título “*Eficacia de los sistemas calefacción-refrigeración de los centros de trabajo de la UPCT*” está enmarcado dentro del Máster en Prevención de Riesgos Laborales en el área de Técnicas Afines cuyo contenido guarda una relación indirecta con la prevención de riesgos laborales y en ella se han tratado contenidos tan diversos como:

- Calidad, normalización y certificación.
- Contaminación del medio ambiente.
- Riesgos industriales.
- Riesgos patrimoniales.
- Accidentes de tráfico y las causas que dan lugar a su producción.

Actualmente se pueden argumentar dos puntos de vista para justificar la realización de estudios de eficacia en los sistemas de refrigeración.

Punto de vista energético.

Desde un punto de vista energético, las instalaciones térmicas como los equipos de refrigeración, las proveedoras de agua caliente o los propios equipos de calefacción tienen un papel protagonista en el consumo energético de un edificio al ser las responsables de la mayor parte del mismo.

Desde este punto de vista intervienen dos razones de interés en la realización de estos estudios, la razón medioambiental, relacionada con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y la económica, vinculados a la reducción de la factura energética de la organización o empresa e incluso de los países ya que éstos son los grandes impulsores de las medidas de ahorro energético.

Parte de la energía que se suministra a un equipo se desperdicia en forma de calor, un buen ejemplo de ello son las antiguas bombillas eléctricas que para cumplir el objetivo principal de iluminar alcanzaban temperaturas extremadamente altas, ese calor significa energía desperdiciada ya que no es utilizado en ningún otro proceso y simplemente se perdía. Actualmente han sido sustituidas por bombillas de bajo consumo, cuya eficiencia es mayor, ya que proporcionan la misma luminosidad con menos consumo. Aún así este problema sigue ocurriendo en equipos de diferente índole y en algunos casos estas pérdidas energéticas son inevitables.

Punto de vista del estado de buen funcionamiento de los equipos.

Actualmente los sistemas de refrigeración son fundamentales para muchos procesos industriales, como pueden ser los procesos de fabricación, esto es debido a la gran cantidad de máquinas que generan calor durante su funcionamiento, este calor puede ser producido por diversos motivos como el propio rozamiento que se produce en el proceso de funcionamiento de los equipos.

Este calor generado por los equipos es potencialmente perjudicial, debido a que puede dañar ciertas partes de los mismos al elevar demasiado sus temperaturas provocando una disminución del rendimiento del proceso productivo, un fallo en el equipo puede significar la paralización del propio proceso y en el peor de los casos puede traer consigo la aparición de situaciones peligrosas para los propios trabajadores. Por esta razón el calor debe ser eliminado o reducido para que los equipos funcionen a unas temperaturas en las que el riesgo de un mal funcionamiento o fallo del sistema sea muy bajo. En el caso que por especificaciones del propio proceso este calor no pueda verse eliminado ni reducido se podría llevar un control para garantizar que no se llega a temperaturas que puedan ser peligrosas, este control se traduciría en un mantenimiento periódico.

Por lo general estos equipos que contienen partes en las que se generan altas temperaturas necesitan sistemas de refrigeración para no verse dañados. Estos sistemas de refrigeración en la mayoría de casos actúan introduciendo un flujo de agua u otro fluido (como puede ser un refrigerante) a baja temperatura en el equipo que se quiere refrigerar, este fluido absorbe gran parte del calor que desprende el equipo por medio de un intercambiador de calor haciendo así que disminuya su temperatura y por medio de otro intercambiador de calor cede éste al ambiente.

1.2 Objetivos.

Se han marcado una serie de objetivos para realizar este trabajo, el objetivo principal del estudio será la aplicación de la inspección termográfica para el cálculo de la eficiencia de estos equipos de refrigeración y es la meta final del mismo. También se han marcado una serie de objetivos secundarios que nos permitirán alcanzar el objetivo principal.

Objetivo principal.

Este trabajo fin de máster pretende introducir la técnica de inspección termográfica para evaluar la eficacia de dos sistemas de refrigeración que se encuentran situados en el edificio de I+D+I de la Universidad Politécnica de Cartagena, cada uno de estos sistemas refrigera un equipo de trabajo, el objetivo de estos sistemas de refrigeración es el de asegurar el buen funcionamiento de los equipos de trabajo y evitar

así que se vean dañados al alcanzar elevadas temperaturas. Estos dos equipos son: Un microscopio electrónico de barrido y un equipo de fluorescencia de rayos X.

El proceso consistirá en llevar a cabo la toma de diferentes medidas de temperatura en puntos específicos del sistema de refrigeración, estas medidas junto a otros parámetros permitirán a posteriori realizar los cálculos necesarios para determinar el COP del sistema y con ello la eficiencia con la que trabajan dichos equipos de refrigeración.

Este COP se calculará dividiendo el calor que entra en el sistema entre la potencia que se usa para que este funcione, a mayor COP mayor eficiencia de la sistema de refrigeración.

Objetivos secundarios.

Cabe destacar que la Termografía Infrarroja juega un rol cada vez más importante en actividades industriales de mantenimiento. Esta técnica de producir imágenes a partir de radiación térmica invisible que emiten los objetos, es un medio que permite identificar, sin contacto alguno, componentes eléctricos y mecánicos más calientes que en su estado de funcionamiento normal indicando así de una forma rápida y sencilla áreas del equipo que pueden tener un fallo inminente o áreas con una excesiva pérdida de calor.

Algunos beneficios de la reducción de costes a partir de esta tecnología, incluyen: ahorros de energía, protección de equipos costosos, gran velocidad de inspección, diagnóstico y chequeo post-reparación, además de incrementar el tiempo de producción maximizando la disponibilidad del equipo.

Los objetivos secundarios del trabajo fin de máster son:

- Aprender a utilizar una cámara termográfica de una forma adecuada para así obtener resultados coherentes en las mediciones.
- Concienciar al lector de las ventajas que trae consigo el uso de la termografía en funciones como las de mantenimiento debido a la rapidez con la que se puede analizar el estado del equipo.
- Disponer de una herramienta matemática que, a partir de las medidas, sirva para comprobar cómo funciona uno de estos equipos de refrigeración, para ello primero se recordará el funcionamiento de una máquina térmica para posteriormente poder llevar a cabo los cálculos pertinentes.

Capítulo 2

Termografía infrarroja.

***E**n el siguiente apartado se presentará de una forma general que es la termografía infrarroja su principio de funcionamiento y los parámetros de los que depende.*

También se comentarán las ventajas que se obtienen de la utilización de esta técnica.

2. Termografía infrarroja.

2.1 ¿Qué es la termografía?

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar.

Gracias a la Física se puede convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura, esto es posible midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas y transformando a su vez estas señales en lecturas de temperatura.

El ojo humano no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir esta energía con sus sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de una superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto alguno. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

El análisis termográfico se basa en la obtención de la distribución superficial de temperatura de una tubería, pieza, máquina, envolventes, etc, por el que se obtiene un mapa de temperaturas, donde se visualizan puntos fríos o calientes debido a las anomalías que se pudieran encontrar en el aislamiento.

Con la realización de un estudio termográfico completo se puede realizar la comprobación tanto en envolventes, como en maquinarias y sistemas de distribución, con lo que se puede conseguir:

- Un mayor conocimiento de la instalación en cuanto a su estado térmico.
- Conocimiento de las pérdidas existentes (fugas) y por tanto de posibles puntos de actuación.
- Ahorro debido a una mayor eficiencia energética de los sistemas evaluados.

El estudio de los sistemas de distribución puede alertar de las pérdidas energéticas que se producen por un mal aislamiento, alguna rotura o mal engranaje.

Mediante un estudio de la envolvente de un edificio podemos optimizar el sistema de climatización con el consiguiente ahorro de energía. La diferencia de temperaturas de la parte climatizada con respecto al exterior da una idea del estado de los cerramientos.

2.2 Campo de extensión.

Debido a lo general que resulta la termografía infrarroja, el campo de aplicación de esta tiene una extensión que va más lejos de la simple toma de medidas de temperatura, y abarca un gran abanico de áreas de utilización:

- Aplicaciones industriales, como mantenimiento predictivo de maquinaria industrial.
- Aplicaciones de investigación y desarrollo.
- Localización de defectos en instalaciones eléctricas.
- Control de procesos de fabricación.
- Vigilancia en condiciones nocturnas o de visibilidad reducida.
- Detección de pérdidas energéticas en edificación y hornos.
- Estudios de dispositivos mecánicos.
- Meteorología, observación del espacio.
- Salvamento de accidentados.
- Medicina.
- Detección de gases.

Inspecciones de eficiencia energética.

Una inspección (o auditoría energética) de un edificio analiza numerosos aspectos relativos a la construcción. Idealmente esta inspección debería hacerse en una construcción recién terminada o al menos en el período de garantía a cargo del promotor. La auditoría energética señala los problemas de índole energética debidos a fallos de diseño, construcción o materiales, entre otras cosas;

- Localización de fugas térmicas.
- Sobrecarga de circuitos eléctricos.
- Localización de aislamientos térmicos mal instalados, dañados o húmedos.

Inspecciones en cubiertas de edificios.

Problemas de humedades o fallos en el aislamiento se detectan con rapidez y precisión. Esto permite ceñir los trabajos de reparación al área afectada con lo cual se reducen costes.

Inspecciones mecánicas.

Detección de problemas de fluidos, aislamiento, maquinaria rotativa y transmisión de potencia:

- Fallos de alimentación o acoplamiento.
- Minimización de tiempo fuera de servicio.
- Detección de conexiones eléctricas defectuosas, sobrecargadas o desequilibradas.

Monitorización de procesos, detectando problemas en procesos y equipos, como: compresores, bombas, sistemas frigoríficos, hornos y procesos de calentamiento, niveles de tanques, perfiles térmicos.

Inspecciones eléctricas.

Detección de malas conexiones, sobrecargas, cortocircuitos y desequilibrios:

- Localización de problemas sin interrupción del servicio.
- Minimización del tiempo necesario para las reparaciones puesto que los problemas se diagnostican de forma concisa.
- Reducción de fallos de suministro imprevistos.
- Termografía de subestaciones.
- Revisión de cientos de conexiones de forma rápida.

Mantenimiento preventivo y predictivo.

Una gran cantidad de problemas en equipos industriales se manifiestan por medio de una huella térmica fuera de lo normal antes de que se manifieste el fallo. La localización de estos puntos calientes mediante una cámara termográfica permite anticiparse al fallo

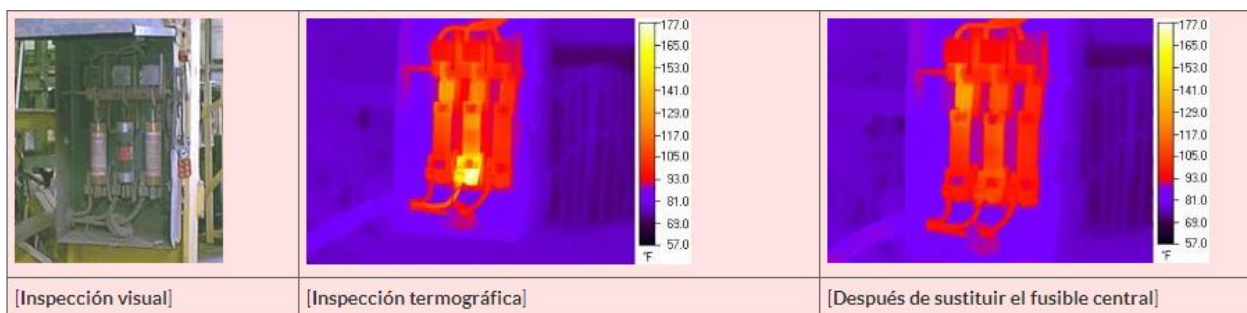


Figura 1. Cuadro eléctrico

En la figura 1, se puede ver una imagen tomada de un cuadro eléctrico en el que se puede observar una temperatura inusualmente alta, así que se actúa antes de que se produzca el fallo sustituyendo la parte dañada.

Medicina.

Las imágenes térmicas son una herramienta no invasiva que ayudan a médicos y veterinarios a diagnosticar y localizar problemas. Se detectan heridas e inflamaciones. Las imágenes infrarrojas permiten incluso evaluar programas de entrenamiento.

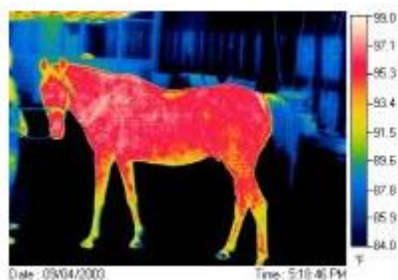


Figura 2. Termografía equina

Estos son algunos ejemplos en los que se pueden obtener importantes beneficios mediante el uso de la termografía infrarroja.

Cabe destacar que el calor es el intercambio de energía entre dos cuerpos a diferente temperatura. Si no hay diferencia de temperatura la imagen infrarroja no muestra ningún contraste y no es posible medir ni analizar nada.

2.3 Medida de Temperatura utilizando Métodos Infrarrojos.

Cuando se utilizan cámaras térmicas es importante tener conocimientos básicos de teoría infrarroja, ya que solo así se podrá realizar un correcto uso de los equipos de medición. Por ello a continuación se citan unos cuantos conceptos importantes en el ámbito de la termografía de infrarrojos.

- **Física Básica.**

Todos los materiales que estén a una temperatura por encima del cero absoluto (0°K , -273°C) emiten energía infrarroja. La energía emitida en la banda infrarroja se convierte en una señal eléctrica por el detector (microbolómetro), esta señal se convierte en una imagen en blanco y negro o color.

Así que se puede decir que cualquier objeto emite energía electromagnética. La cantidad de energía está relacionada con la temperatura del objeto. La cámara de termografía puede determinar la temperatura sin contacto físico con el objeto midiendo la energía emitida.

- **Espectro Electromagnético.**

La energía procedente de un objeto caliente se emite a distintos niveles en el espectro electromagnético. En la mayoría de las aplicaciones industriales se utiliza la energía radiada en el espectro infrarrojo para medir la temperatura del objeto. La figura 3 muestra los diferentes espectros electromagnéticos donde se emite energía incluyendo Rayos X, Ultra Violeta, Infrarrojo y Radio. Se emite en forma de onda y viaja a la velocidad de la luz. La única diferencia entre ellas es su longitud de onda que está relacionada con la frecuencia.

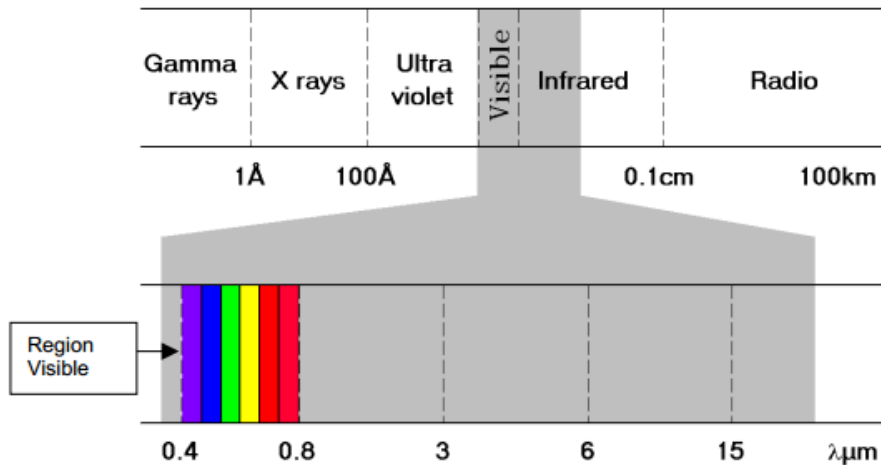


Figura 3. La región Infrarroja del espectro electromagnético

El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0.4 a 0.75 micras.

La gran mayoría de la medida de temperatura infrarroja se realiza en el rango de 0.2 a 20 micras.

Aunque las emisiones no pueden detectarse por una cámara normal, la cámara térmica puede enfocar esta energía a través de un sistema óptico hacia el detector de forma similar a la luz visible. El detector convierte la energía infrarroja en tensión eléctrica, que después de amplificarse y de un complejo procesamiento de la señal, se utiliza para construir una imagen térmica en el visor del operador montado en la cámara de termografía.

- **Distribución de Energía**

La figura 4 muestra la energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas. Como puede observarse a mayor temperatura mayor es el pico de energía. La longitud de onda a la que ocurre el pico de energía se vuelve progresivamente más corta a medida que se incrementa la temperatura.

A bajas temperaturas el pico de energía se produce en longitud de onda larga.

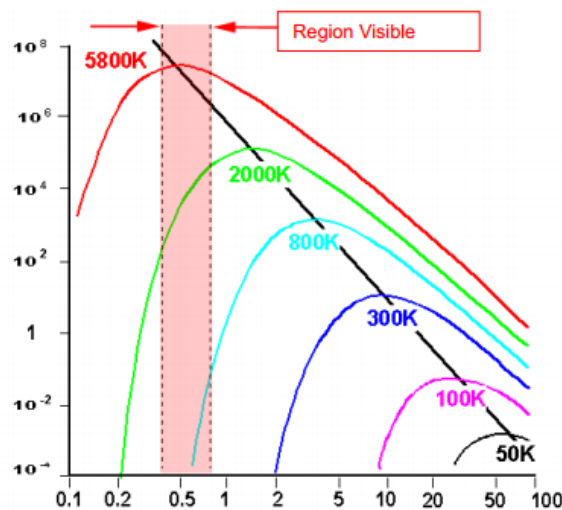


Figura 4. Energía Infrarroja y Distribución en el espectro electromagnético (°K λ(μm))

- **Emisividad**

La cantidad de energía radiada por un objeto depende de su temperatura y de su emisividad. Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como Cuerpo Negro. En la práctica no hay emisores perfectos y las superficies suelen emitir menos energía que un Cuerpo Negro.

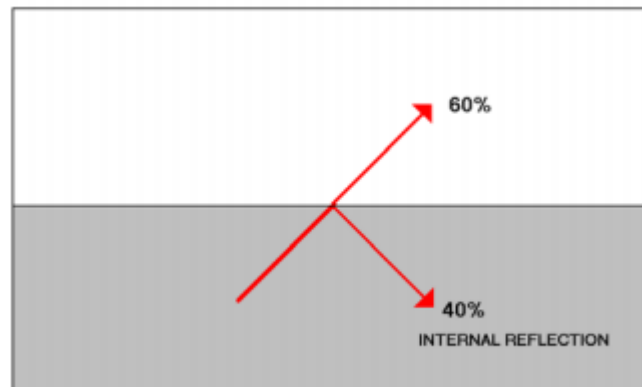


Figura 5. La energía infrarroja reflejada en una superficie

Compiten tres fenómenos:

- Emisión.
- Transmisión.
- Reflexión.

En el cuerpo negro la reflexión y transmisión son nulas. El objeto devuelve toda la energía que ha recibido.

La figura 5 muestra porque los objetos no son emisores perfectos de energía infrarroja. La energía se mueve hacia la superficie pero cierta cantidad se refleja hacia el interior y es absorbida. En este ejemplo se observa que sólo se emite el 60% de la energía disponible. La emisividad de un objeto es el cociente entre la energía emitida respecto de la emitida si fuera un Cuerpo Negro.

Así la emisividad se expresa como:

$$Emisividad = \frac{\text{Radiación emitida por un objeto a temperatura } T}{\text{Radiación emitida por un cuerpo negro a temperatura } T}$$

La Emisividad es por lo tanto una expresión de la capacidad de un objeto de emitir energía infrarroja relativizada a la situación ideal.

- **Valores de Emisividad**

Los valores de emisividad varían de un material a otro. Los metales con una superficie áspera u oxidada tienen una mayor emisividad que una superficie pulida.

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos:

Material	Emisividad
Acero brillante	0.18
Acero oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón oxidado	0.61
Aluminio brillante	0.05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo Rojo	0.93
Grafito	0.85
Cloth	0.85

Tabla 1. Valores de Emisividad

Se demuestra que hay relación entre emisividad y reflectividad.

Para un objeto opaco esto significa Emisividad + Reflectividad = 1.0

Así mismo un material altamente reflectante es un pobre emisor de energía infrarroja y por lo tanto tiene un valor de emisividad bajo.

- **Efectos de la Emisividad.**

Si un material de alta emisividad y otro de baja emisividad se colocaran juntos en el interior de un horno y se calentaran exactamente a la misma temperatura, el material de baja emisividad aparecería al ojo mucho más tenue. Esto es debido a la diferencia de emisividades de los materiales, provocando radiaciones a distintos niveles, haciendo que el material de baja emisividad parezca más frío que el de alta emisividad, aunque ambos estén a la misma temperatura. La cámara de termografía lo vería igual que el ojo humano y produce un error en la medida de temperatura. La temperatura de un objeto no puede determinarse midiendo la energía infrarroja que emite, también debe conocerse el valor de emisividad del objeto.

Como se ha dicho las cámaras termográficas dan un valor de temperatura para cada punto, sin tener en cuenta que, para la misma temperatura, dos materiales pueden irradiar energía infrarroja con intensidades muy diferentes. En la Figura 6 se realiza una fotografía a una taza metálica que tiene puesto un trozo de cinta adhesiva, se sabe que ambos están a la misma temperatura, sin embargo el celo y el metal de la taza emiten energía infrarroja con intensidades muy diferentes y por eso apreciamos una diferencia de temperatura muy alta entre los dos.

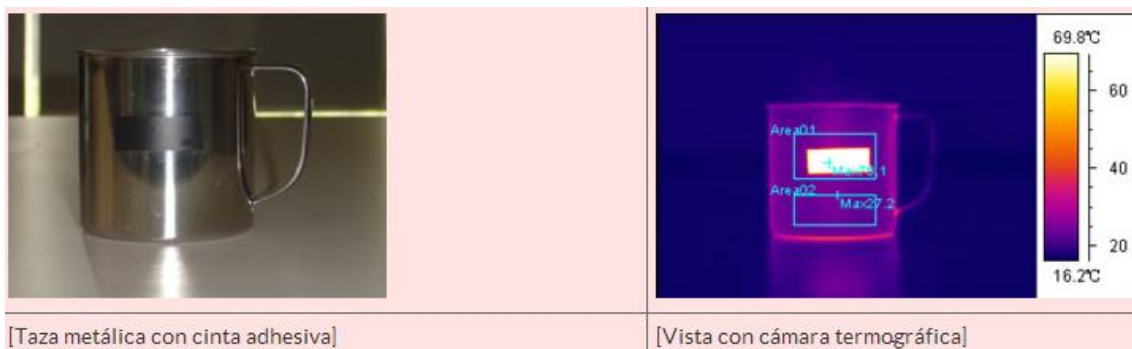


Figura 6. Taza metálica con celo

Esto se debe a la diferente emisividad entre el metal y la cinta adhesiva.

La emisividad de un objeto puede medirse de las siguientes formas:

1) Consultar manuales de los fabricantes (asegurarse que han sido evaluados a la longitud de onda de trabajo de la Cámara de Termografía, ya que la emisividad puede variar con la longitud de onda).

2) Evaluar la emisividad del objeto mediante un método de laboratorio.

Hay dos métodos principales para solucionar el problema de la emisividad.

a) Corregir matemáticamente el valor de temperatura medido. Generalmente se realiza en la señal del procesador de la Cámara de Termografía. La mayoría de las cámaras actuales tienen un ajuste de compensación que el operador puede ajustar.

b) Podría pintarse la superficie de un objeto de baja emisividad con un recubrimiento de emisividad alta y constante. Esto permite elevar el valor de emisividad, pero no siempre es posible.

Cuando se realizan las inspecciones termográficas, los fallos generalmente se identifican por comparación de temperatura de los componentes similares en las mismas condiciones. Es una alternativa muy precisa para predecir la emisividad de cada componente y obtener unos valores de temperatura absolutas.

2.4 Sistemas termográficos.

Puntuales -Pirómetros IR:

- Medida de temperatura en un punto.
- Equipos fijos y portátiles.

Lineales -Scanners de línea:

- Obtención de perfiles de temperatura.
- Combinados con desplazamiento permiten obtener mapas térmicos.

Superficiales -Cámaras termográficas

- Sistemas de formación de imágenes térmicas.
- Distribución de temperatura superficial en tiempo real.

2.5 Ventajas de la medida por IR.

Las principales ventajas de utilizar una cámara termográfica son las siguientes:

- Se puede medir con facilidad la temperatura de objetos móviles y de difícil acceso.
- Al ser una técnica sin contacto no interfiere en el funcionamiento y comportamiento propio del elemento a medir.
- Facilidad y rapidez en la medida de grandes superficies.
- Medida de temperatura de varios objetos de forma simultánea.
- Tiempo rápido de respuesta. Permite seguir fenómenos transitorios de temperatura.
- Precisión elevada y alta repetitividad. Fiabilidad de las mediciones.

Capítulo 3

Cámara Térmica.

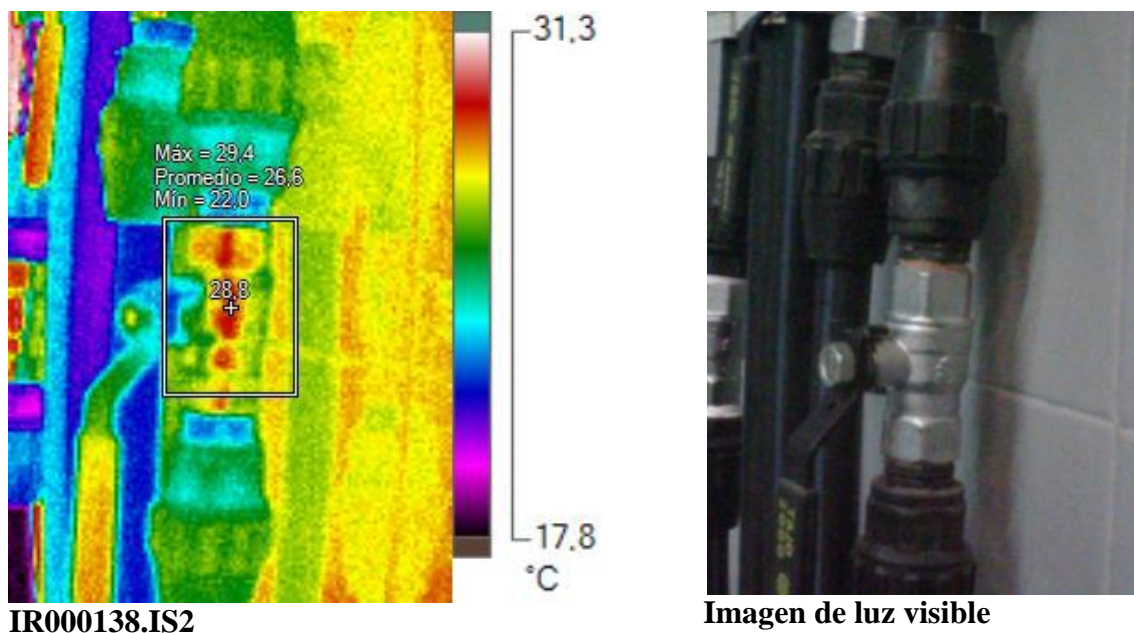
***E**n el siguiente apartado se describirá la cámara térmica con la cual se va a llevar a cabo la toma de imágenes para su posterior análisis.*

En primer lugar se aprenderá a utilizar la cámara en cuestión, siguiendo las instrucciones que facilita el fabricante, esto es necesario antes de la toma de muestras ya que evitará que se cometan errores que puedan afectar a las mediciones, y después se tomarán una serie de imágenes de prueba para comprobar el funcionamiento de la misma.

Una vez que se domine el funcionamiento de la misma se pasó a la toma de medidas relativas a los equipos objeto de estudio.

3.1 Primer contacto con la cámara termográfica.

Antes de empezar a usar la cámara con la que se llevará a cabo el estudio, se empleó otra cámara algo más profesional, con la que se pudieron hacer las primeras pruebas. Un ejemplo de las primeras imágenes tomadas sería la de esta tubería (Figura 7), en ella se puede apreciar con claridad las diferentes temperaturas a la que se encuentra la misma.



26/06/2013 11:13:40 **Figura 7. Imagen de una tubería**

A simple vista en esta primera imagen se podría deducir que la parte más caliente de la imagen es la parte de acero, pero como ya se ha comentado con anterioridad se tendría que verificar si se está tomando la imagen habiendo ajustado el coeficiente de emisividad adecuadamente.

Dependiendo del material en el que se quiera tomar la medida se usará una emisividad u otra. La cámara posee un pequeño listado en la memoria con alguna de las emisividades más comunes.

Las cámaras vienen con programa informático que permite recoger rápidamente todos los datos de las imágenes tomadas y nos las adjunta en forma de cuadro de texto. Esto es bastante útil a la hora de realizar estudios detallados con la cámara, ya que recopila todos los datos que no suelen ser visibles en la fotografía, como la emisividad, transmisión, temperatura de fondo, etc.

Para el estudio el dato más importante que se utilizará será la temperatura del marcador central de la cámara.

A continuación se muestran todos los datos que da la cámara en la tabla 2.

Información de la imagen facilitada por la cámara.

Temperatura de fondo	25,4°C
Emisividad	0,95
Transmisión	0,90
Temperatura promedio	25,7°C
Rango de la imagen	17,8°C a 31,3°C
Modelo de cámara	Ti125
Tamaño de sensor IR	120 x 160
Número de serie de la cámara	Ti125-12040856
Versión DSP	1.0.55
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	26/06/2013 11:13:40
Ubicación del archivo	C:\ Users\ Desktop\ 100FLUKE\ IR000138.IS2
Rango de calibración	-10,0°C a 350,0°C

Tabla 2. Información de la imagen

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Segundo plano	Desviación estándar
Cuadro central	26,6°C	22,0°C	29,4°C	0,95	25,4°C	1,44

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
Punto central	28,8°C	0,95	25,4°C

El programa informático nos da la posibilidad de conocer el valor promedio del cuadro central, aunque como ya se ha dicho se operará con el valor de la temperatura del punto central.

3.2 Características técnicas de la cámara.

La cámara utilizada para este trabajo es de la marca FLIR más concretamente el modelo T400.

FLIR Systems es el líder mundial en el diseño y la fabricación de cámaras termográficas para una amplia variedad de aplicaciones. Cuenta con más de 50 años de experiencia y miles de cámaras termográficas actualmente en uso en todo el mundo para mantenimiento industrial, inspecciones de edificios, investigación y desarrollo, seguridad y vigilancia y aplicaciones marítimas, de la automoción y otras de visión nocturna.



Figura 8. Maletín de la cámara.

La cámara viene en un maletín (Figura 8) en el que se pueden encontrar sus accesorios como baterías y cargador, tarjetas de memoria, cables de conexión y como ya se ha mencionado el programa de la compañía fabricante que permite realizar un análisis rápido de la fotografía tomada.



Figura 9. Imagen de la cámara

Una vez fuera de su maleta (Figura 9), se aprecia que la cámara es bastante ergonómica, lo primero que llama la atención es se tiene que girar su objetivo unos 90°

desde la posición de reposo para efectuar la toma de imágenes. A continuación y mirando el manual de instrucciones se conoce la utilidad de cada uno de los botones que tiene la cámara y con algunas de sus características:

- Posee pantalla táctil.
- Stylus, botón de zoom.
- Botón A/M: para cambiar entre un ajuste automático y un ajuste manual.
- Joystick para navegar por los menús.
- Botón de medición: para mostrar u ocultar las herramientas de medición de la pantalla.
- Botón setup: oculta y muestra el menú de configuración.
- Botón para activar el puntero laser.
- Botón de cámara: nos permite cambiar entre cámara de infrarrojos, cámara digital o una imagen que combina los dos tipos.

Estos son a grandes rasgos los más importantes.

Se han tomado varias imágenes de aprendizaje:

Entre las imágenes tomadas en primera instancia se puede destacar la que se realiza unos segundos después de haber apoyado una mano sobre una mesa, la imagen se ha tomado combinando imagen termográfica (está presente en el centro de la misma) e imagen digital (presente alrededor de la primera), queda demostrado como la mano deja una huella térmica habiéndose concentrado más el calor en la zona de la palma de la mano, conforme va avanzando el tiempo esta huella irá desapareciendo.

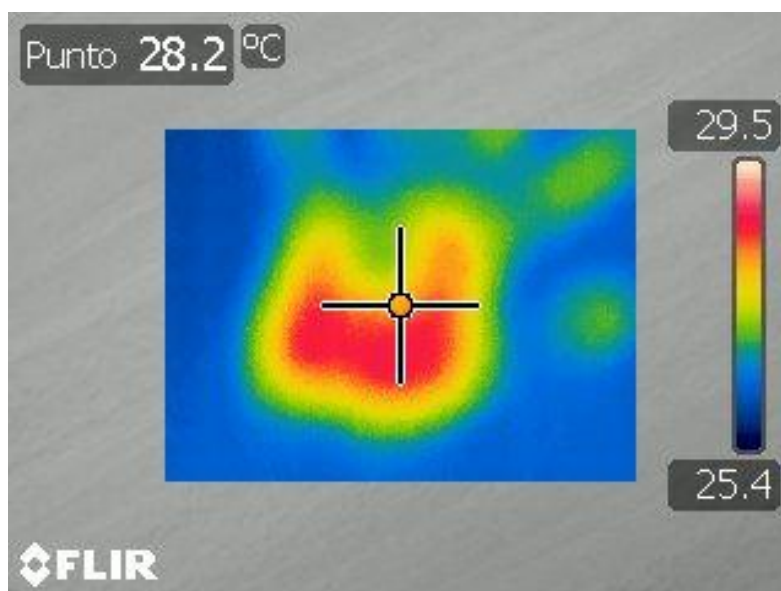


Figura 10. Huella térmica de la mano sobre una mesa.

Así que si se toca una determinada superficie y se mide rápidamente puede que se esté afectando a la medida de la misma por lo tanto tomará la precaución de no tocar los objetos de medida y en el caso de tocarlos, se esperará el tiempo necesario para que la medida no se vea afectada.

La siguiente imagen interesante (Figura 11) ha sido tomada a una estantería cuya puerta corredera es de cristal, también se ha elegido tomar una imagen combinando termografía e imagen digital, ya que así queda más claro lo que se está haciendo.

Mientras que en la parte visible puede verse la estantería con sus libros en la imagen termográfica se puede ver la silueta del operador sobre el cristal que actúa a modo de puerta, esto es debido a que el cristal es un material altamente reflectante y por ello es un pobre emisor de energía infrarroja con un valor de emisividad bajo.



Figura 11. Silueta del operador en el cristal

Este caso también puede llevar a errores a la hora de tomar mediciones, así que habrá que tener cuidado con el material sobre el que se vaya a tomar la medición.

También se tendrá que tener en cuenta las emisividades de los materiales, recordando del capítulo anterior que:

La diferencia de emisividades de los materiales, provoca radiaciones a distintos niveles, haciendo que el material de baja emisividad parezca más frío que el de alta emisividad, aunque ambos estén a la misma temperatura.

Por tanto a la hora de tomar las imágenes se tendrá que tener en cuenta el material sobre el que se va a realizar la medición, ya que un mal ajuste en la emisividad del material hará que se obtenga un valor incorrecto, no será lo mismo tomar la imagen en un tubo de plástico que en una unión de acero inoxidable.

La propia cámara trae un listado escueto de la emisividad de los materiales más corrientes, lo único que se tendrá que hacer es encontrar dicha emisividad en cualquier tabla de datos e introducirla mediante los ajustes de los que dispone la cámara, una vez ajustada la emisividad se pasará a tomar la medida correspondiente.

Capítulo 4

Máquinas Térmicas y Frigoríficas.

***E**n este apartado se pretende describir que se entiende por máquina térmica y máquina frigorífica, así como su principio de actuación.*

Una vez descrito el concepto se podrá profundizar en los equipos de refrigeración. Este punto es clave ya que sin él no se sabría donde tomar las mediciones en la máquina ni cómo hacer los cálculos correspondientes.

4.1 Máquina Térmica y máquina frigorífica.

Bajo esta denominación se abarca a los sistemas que permiten transformar el calor en trabajo y viceversa.

Una *máquina térmica* es el sistema que cede trabajo al medio intercambiando calor a través de sus fronteras de un modo cíclico. Este intercambio de calor lo hace con dos *focos caloríficos*, uno caliente y otro frío. En concreto la máquina térmica recibe calor del foco caliente, cede calor al foco frío y suministra trabajo al medio.

La máquina frigorífica es “lo contrario” que la máquina térmica. Al recibir trabajo del ambiente toma calor del foco frío y se lo cede al foco caliente. Por supuesto, tanto la máquina térmica como la frigorífica pueden funcionar entre varios focos.

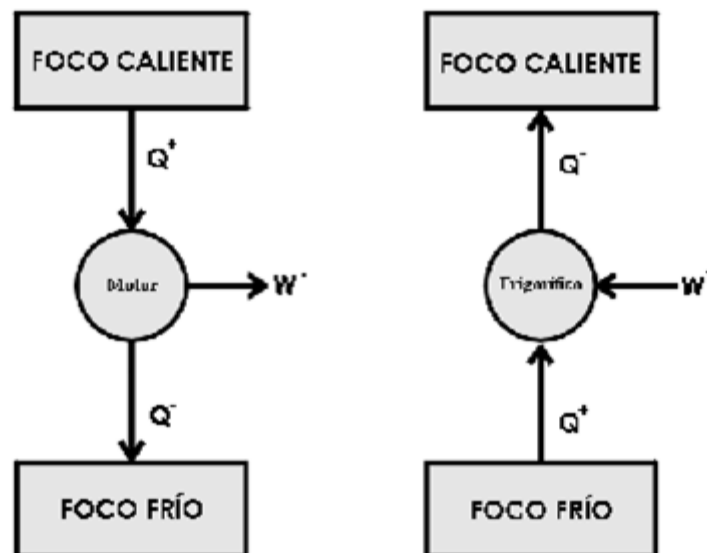


Figura 12. Esquema de una máquina térmica (motor) y una máquina frigorífica

Para el estudio de estas máquinas se define el rendimiento, que es la relación entre el beneficio obtenido y el coste. En una máquina térmica la expresión toma la forma:

$$\eta = \frac{|W_{neto}|}{|Q_{abs}|} \geq 0 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde W_{neto} es el trabajo cedido al medio y Q_{abs} el calor absorbido de los focos calientes.

$$\varepsilon = \frac{|Q_{abs}|}{|W_{neto}|} \quad \text{Ecuación 2.}$$

En una máquina frigorífica la expresión toma la forma:

Donde Q_{abs} es el calor absorbido del foco frío y W_{neto} el trabajo suministrado por el entorno.

4.2 Partes del sistema.

La instalación que se pretende caracterizar es la disposición “standard” de un ciclo de compresión simple, compuesto en su estructura básica por los cuatro elementos fundamentales dispuestos en serie, los cuales son:

El compresor. Es el encargado de absorber los vapores producidos a baja presión y descargarlos a la alta presión, con un nivel suficiente para que esos vapores puedan ceder calor a un agente externo, produciéndose por tanto, y con ello la posibilidad de reutilización.

El condensador. En él se produce el fenómeno de cesión de calor al agente externo, normalmente agua o aire, siendo por tanto su constitución la de un intercambiador de calor.

La válvula de expansión. En la cual se produce la pérdida de carga que permite el paso de la alta presión, reinante en el condensador, a la baja presión, y por tanto baja temperatura, de utilización. El descenso de nivel térmico que tiene lugar en este equipo se produce a costa de la vaporización parcial de líquido refrigerante que entra a la válvula, con lo que a la salida el fluido se encuentra en forma de flujo bifásico.

El evaporador. Segundo intercambiador que aparece en las instalaciones de compresión simple, en el que se absorbe la potencia térmica suministrada por la carga a enfriar, produciéndose el cambio de estado (líquido a vapor) de la fracción que continuaba líquida a la salida del dispositivo de expansión.

Por último se citan, dos elementos sin los cuales no podría funcionar el equipo:

El refrigerante. Es un producto químico líquido o gaseoso, fácilmente licuable, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos medios en una máquina térmica. Los principales usos son los refrigeradores y los acondicionadores de aire. El principio de funcionamiento de algunos sistemas de refrigeración se basa en un ciclo de refrigeración por compresión, que tiene algunas similitudes con el ciclo de Carnot y utiliza refrigerantes como fluido de trabajo. Características generales:

- Punto de congelación. Debe ser inferior a cualquier temperatura existente en el sistema, para evitar congelamientos en el evaporador.

- Calor específico. Debe ser lo más alto posible para que una pequeña cantidad de líquido absorba una gran cantidad de calor.
- Volumen específico. Debe ser lo más bajo posible para evitar grandes tamaños en las líneas de aspiración y compresión.
- Densidad. Deben ser elevadas para usar líneas de líquidos pequeñas.
- La temperatura de condensación, a la presión máxima de trabajo debe ser la menor posible.
- La temperatura de ebullición, relativamente baja a presiones cercanas a la atmosférica.
- Punto crítico lo más elevado posible.
- No deben ser inflamables, corrosivos ni tóxicos.
- Dado que deben interaccionar con el lubricante del compresor, deben ser miscibles en fase líquida y no nocivos con el aceite.

En los equipos instrumentales del SAIT estudiados se emplean diversos refrigerantes, podemos comprobarlo tan solo con echar un vistazo a la ficha de características que se encuentra en el propio equipo.

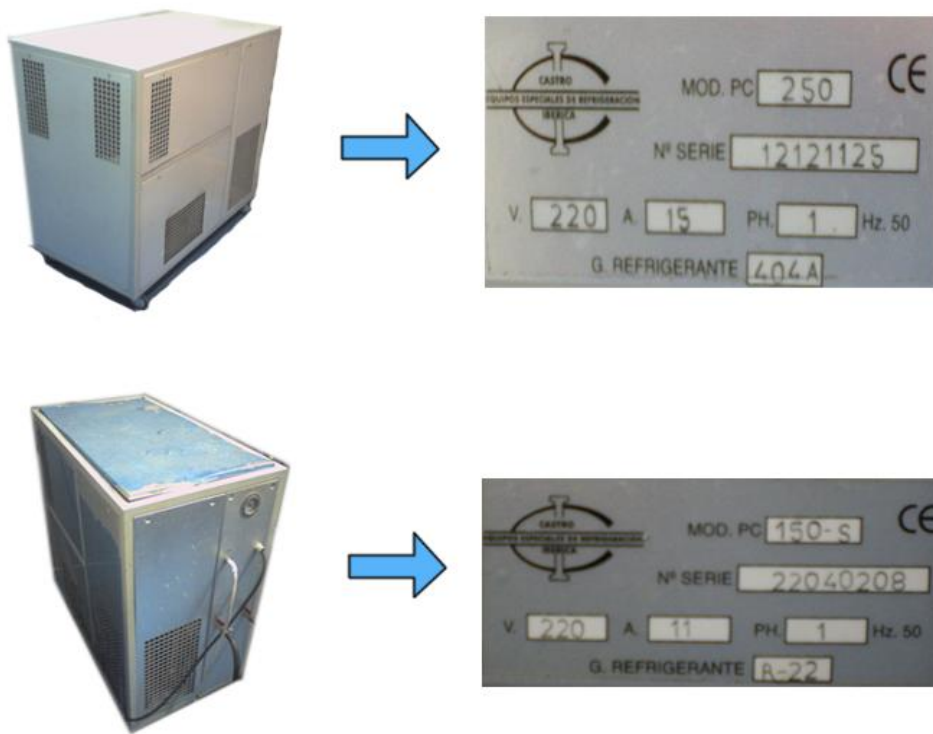


Figura 13. Características técnicas de los refrigeradores.

Como se puede observar los refrigerantes con los que funcionan los equipos son el refrigerante 404A y el refrigerante R-22.

A continuación se detallan sus principales características:

Refrigerante 404A. Es un refrigerante comercializado desde 1994. Reemplaza al R502 cuya fabricación cesó en 1995 y es un serio candidato a reemplazar al R22.

Es un gas incoloro comúnmente utilizado en las instalaciones de refrigeración a compresión simple, de congelación y otras aplicaciones a temperatura de evaporación comprendidas entre -45°C y $+10^{\circ}\text{C}$. Sus principales aplicaciones son:

- Refrigeración en baja temperatura (sustituyendo al R502).
- Refrigeración de media temperatura (Alternativa viable al R22).
- Refrigeración de alta temperatura (hasta 7°C de Temp de evaporación).
- Refrigeración de muy baja temperatura (hasta -60°C) con doble etapa.

Refrigerante R22. También denominado clorodifluorometano es gas incoloro comúnmente utilizado para los equipos de refrigeración, en principio por su bajo punto de fusión, (-157°C). Era hasta hace poco el gas refrigerante más utilizado en el sector del aire acondicionado, tanto para instalaciones de tipo industrial como domésticas, aunque está prohibido su distribución por ser altamente perjudicial para la capa de ozono. Actualmente ha sido sustituido por el R407C o más modernamente por el R410A.

- Densidad 3 veces la del aire, en estado líquido 1.2 veces la del agua.
- A 20°C tiene una presión de saturación de 9.1 bares.

Intercambiador de calor. Después de hablar de estos cuatro elementos se va a mencionar también los intercambiadores de calor, ya que son los dispositivos donde tiene lugar el proceso de transferencia de calor y están contruidos para intercambiarlo de forma eficiente. Estos intercambiadores son muy usados en refrigeración, acondicionamiento de aire, calefacción, producción de energía, y procesamiento químico. Un ejemplo básico de un cambiador de calor es el radiador de un coche, en el que el líquido de radiador caliente es enfriado por el flujo de aire que incide sobre la superficie del radiador.

Las disposiciones más comunes de intercambiadores de calor son flujo paralelo, contracorriente y flujo cruzado. En el flujo paralelo, ambos fluidos se mueven en la misma dirección durante la transmisión de calor, en contracorriente, los fluidos se mueven en sentido contrario y en flujo cruzado se mueven formando un ángulo recto entre ellos. Los tipos más comunes de cambiadores de calor son de carcasa y tubos, de doble tubo, tubo extruido con aletas, tubo de aleta espiral, tubo en U, y de placas.

4.3 Sistemas de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración por compresión desplazan la energía térmica entre dos focos, creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, estos procesos de intercambio de energía se suceden gracias a la utilización de un fluido refrigerante que se encuentra en proceso de cambio de estado, de líquido a vapor, y viceversa.

El proceso de refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para que el refrigerante se evapore, éste requiere absorber calor latente de vaporización. De este modo el líquido refrigerante se evapora y cambia su estado a vapor. Durante este cambio de estado el refrigerante absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica.

Después de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión de vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento de su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir el subenfriamiento del mismo, es necesario en el interior del condensador, esto se suele hacer por medio de aire y/o agua conforme al tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante. De esta manera, el refrigerante ya en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

4.4 Esquema y diagrama P-H.

A continuación se detalla el proceso anterior con un esquema básico. Como se puede ver ésta sería la disposición básica de un sistema de refrigeración por compresión simple, Los elementos estarían puestos en serie en el siguiente orden:

Compresor-Condensador-Válvula de Expansión-Evaporador

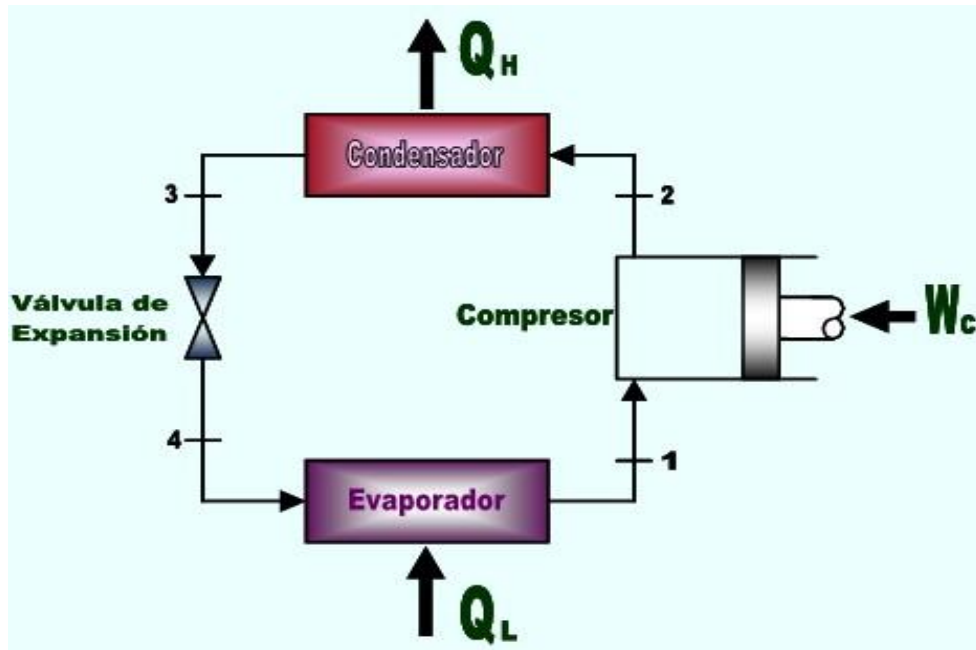


Figura 14. Elementos sistema de refrigeración

Como se puede apreciar, el proceso básicamente consistiría en introducir un trabajo W_C en el sistema por medio del compresor, después el refrigerante pasaría por el condensador donde cedería calor al exterior Q_H , a continuación el refrigerante pasaría por la válvula de expansión donde reduciría su presión, y por último pasaría por el evaporador, en las condiciones en las que está el refrigerante en esta etapa absorbe calor, por lo que se estaría enfriando el cuerpo que nos cede el calor Q_L , que es el objetivo de todo el proceso.

Observando en el diagrama(Figura 14) se puede ver, que en la compresión se aumenta la presión del refrigerante, aumentando también su entalpía. En el condensador hay una disminución drástica de la entalpía H , esto es normal ya que se cede calor, y el calor es igual a:

$$Q = m * (h_s - h_e) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Siendo m el caudal másico de refrigerante y h_s y h_e , las entalpías de salida y entrada respectivamente.

En la parte de la válvula de expansión se observa un descenso de la Presión y de la Temperatura. Y en la parte del evaporador se puede observar un incremento de la entalpía, es lógico ya que en este caso y a diferencia de lo que sucede en el condensador se está absorbiendo calor.

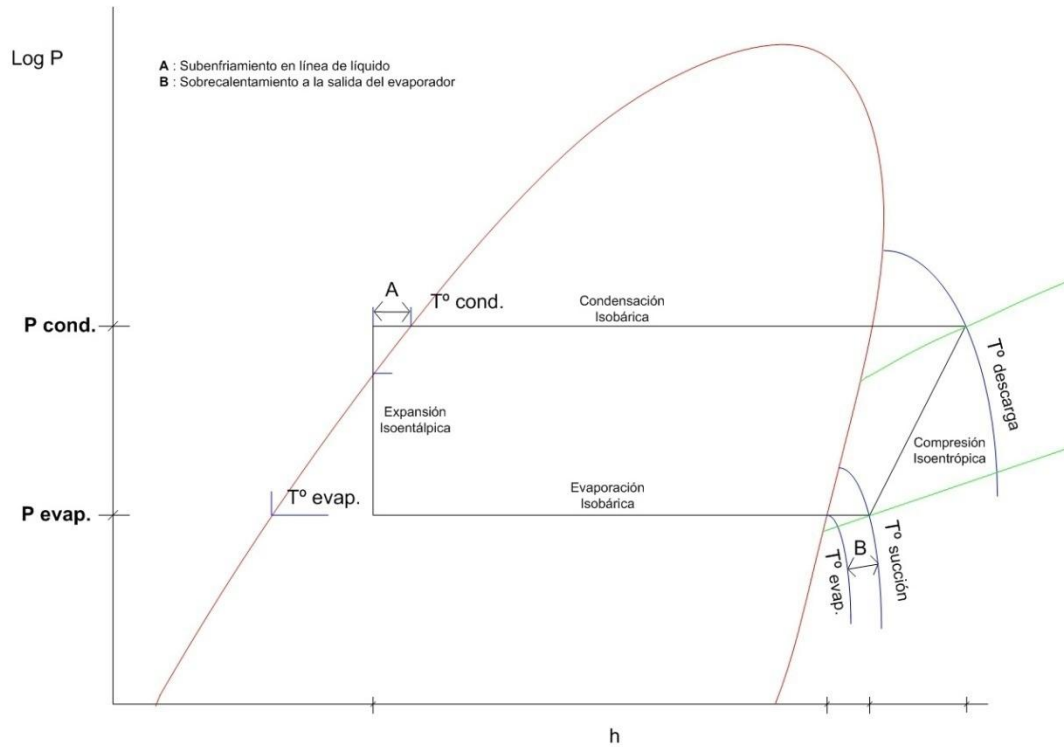


Diagrama Ph para sistema frigorífico de una etapa por compresión mecánica.

Dibujo:
Pablo Méndez B.-

Figura 15

Capítulo 5

Microscopio electrónico de transmisión.

***E**n el siguiente apartado se realizarán las mediciones y cálculos para determinar el rendimiento del equipo encargado de refrigerar del microscopio electrónico de transmisión.*

5.1 Microscopio electrónico de transmisión.

Un microscopio electrónico de transmisión es un microscopio que utiliza un haz de electrones para visualizar un objeto, debido a que la potencia amplificadora de un microscopio óptico está limitada por la longitud de onda y la luz visible. Lo característico de este microscopio es el uso de una muestra ultra fina y que la imagen se obtenga de los electrones que atraviesan la misma. Los microscopios electrónicos de transmisión pueden conseguir hasta un millón de aumentos.

El equipo de refrigeración tiene como objetivo refrigerar este microscopio de transmisión, el cual se encuentra en una sala refrigerada a una temperatura de 21°C. El refrigerador tiene un tubo de salida y cuatro de retorno que proceden de diferentes partes del equipo que han de refrigerarse.

En primer lugar se identifican con la cámara termográfica que tubos son de retorno y cuáles de salida, para ello realizaremos una primera imagen termográfica.

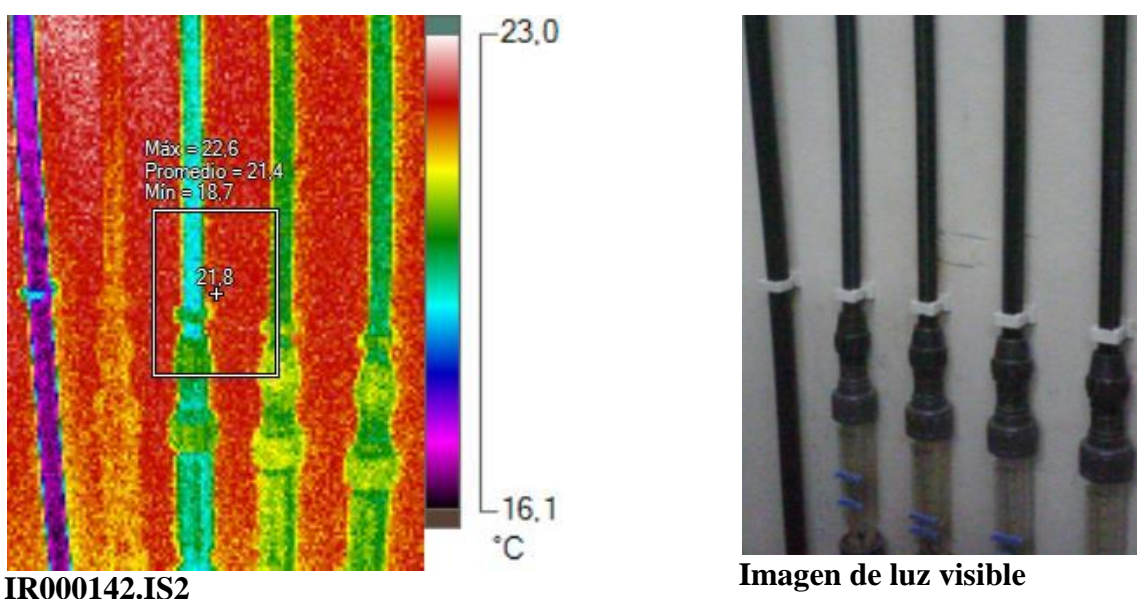


Figura16. Imagen tuberías.

Por lo que se puede apreciar en la imagen se tiene un tubo que se encuentra muy por debajo de la temperatura de los demás este será el tubo de entrada de agua en el microscopio, los otros 4 tubos están a una temperatura más elevada por lo que serán los tubos que salgan del equipo una vez se ha refrigerado.

Cada uno de estos cuatro tubos de salida del microscopio proviene de una parte del mismo que se deben refrigerar. Estas partes están marcadas en cada uno de los tubos con las siglas: G, LS, OL, DP.

GT.- Transmision Gate, este tubo refrigera la zona de electrónica del microscopio.

LS, OL.- Estos dos tubos refrigeran el sistema de lentes

DP.- Difusive Pumb, este último tubo es el encargado de refrigerar la bomba difusora.

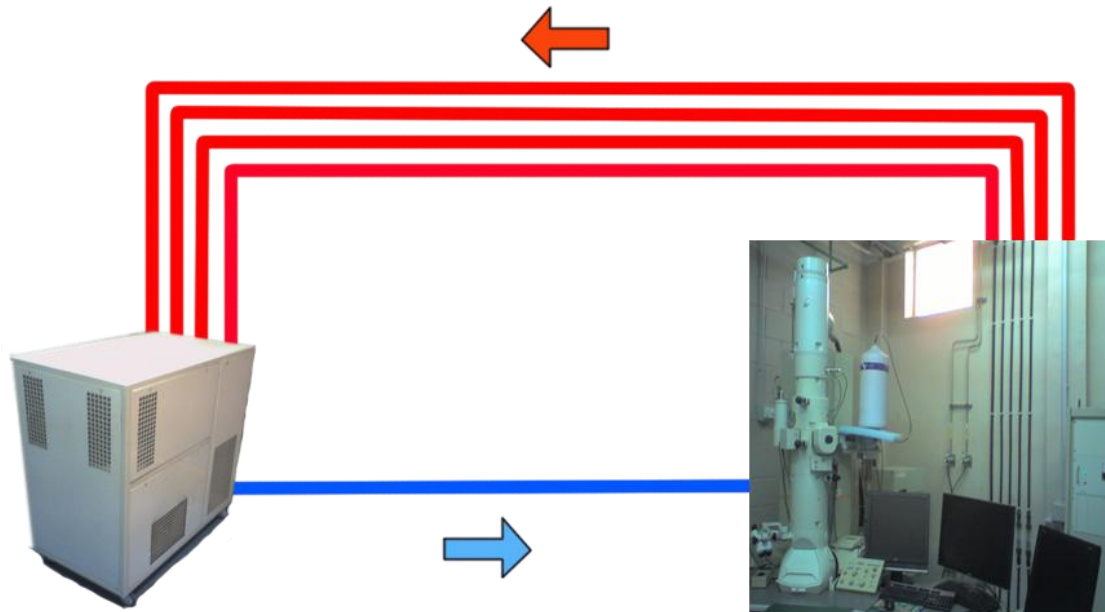
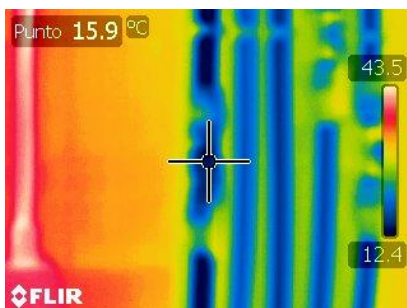


Figura 17. Esquema del circuito

5.2 Datos necesarios.

Para hacer los cálculos previamente se necesitará algunos datos del equipo.

Temperaturas. En este caso se tendrá que medir con la cámara la temperatura de los cinco tubos. Resultando:



Este sería el tubo de salida de la máquina refrigerante o de entrada al microscopio, obtenemos una medida de 15.9 °C.

Figura 18.

Después se procedió a tomar también medidas en los cuatro tubos de retorno de la máquina.

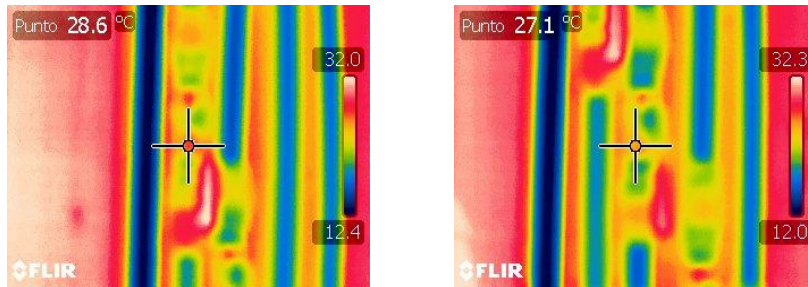


Figura 19.

En estas dos primeras mediciones obtenemos 28.6°C y 27.1°C que son valores bastante superiores al obtenido en el tubo de entrada al microscopio.

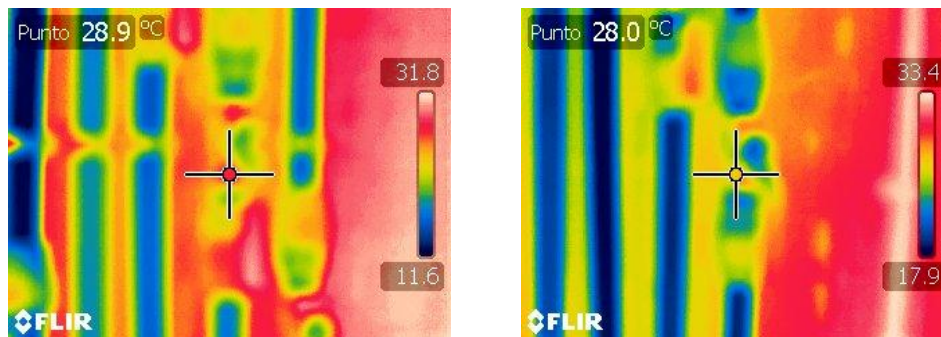


Figura 20.

En los dos últimos tubos se obtienen unas mediciones de 28.9°C y de 28°C, por lo que las cuatro medidas se encuentran comprendidas en un rango de entre 27.1°C y 28.9°C

Caudales. Para el cálculo de los caudales que circulan por el circuito, se ha tomado lectura de los caudalímetros que están conectados a la salida del microscopio.



Figura 21

Obteniendo unos caudales de 290, 120, 160, 160 litros/hora respectivamente

El Caudal de entrada al microscopio será por tanto la suma de estos cuatro caudales de salida.

$$Q_e = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} = 290 + 120 + 160 + 160 = 730 \text{ litros/hora}$$

Ecuación 4.

Potencia. La potencia del equipo se obtiene de la información que aparece en la placa de características del mismo, en este caso corresponde a una potencia de 3300 Watios.

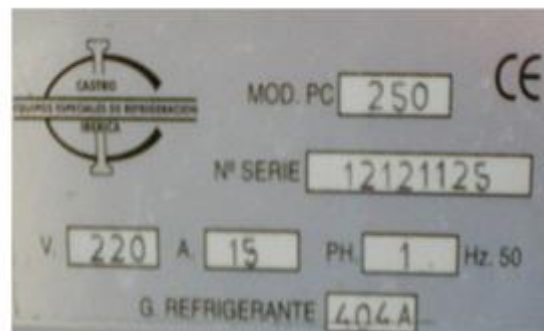


Figura 22

$$Potencia = Voltaje \times Intensidad = 220 \times 15 = 3300 \text{ Watios}$$

Ecuación 5.

5.3 Cálculos.

En este primer caso estudiado se tiene un caudal de entrada y otro de salida con el mismo caudal, se tienen cuatro tubos a la salida con diferentes temperaturas y también diferentes caudales, así que se tendrán que hacer una media ponderada entre ellos.

La media ponderada es una medida de tendencia central, que es apropiada cuando en un conjunto de datos cada uno de ellos tiene una importancia relativa (o peso) respecto de los demás datos. Se obtiene del cociente entre la suma de los productos de cada dato por su peso o ponderación y la suma de los pesos.

Para una serie de datos no vacía

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$$

A la que corresponden los pesos

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

La media ponderada se calcula como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \dots + x_n w_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}$$

Ecuación 6.

En este caso la serie de datos corresponde a la temperatura y cada una de ellas tiene una importancia que viene marcada por el caudal de cada uno de los tubos.

$$T = \frac{t_1 \cdot C_1 + t_2 \cdot C_2 + t_3 \cdot C_3 + t_4 \cdot C_4}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = \frac{28,6 \cdot 290 + 27,1 \cdot 120 + 28,9 \cdot 160 + 28 \cdot 160}{730} = 28,28^\circ\text{C}$$

Algunas definiciones para la realización de los cálculos:

Calor: El calor está definido como la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

Entalpia: Cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

Calor específico: Cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

$$Q = m \cdot (h_s - h_e) = m \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

Ecuación 7.

$$\text{Flujo másico } m: m = 730 \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{730000}{3600} \left(\frac{gr}{seg} \right) = 202,77 (gr/seg)$$

$$\text{Calor específico agua: } C_p = 1 \left(\frac{\text{caloria}}{gr \text{ } ^\circ C} \right) = 4,18 \left(\frac{\text{Julios}}{gr \text{ } ^\circ C} \right)$$

Temperatura a la entrada: 15,9°C

Temperatura a la salida: 28,28°C

$$\begin{aligned} Q &= m * C_p * (T_s - T_e) = 202,77 \left(\frac{gr}{seg} \right) * 4,18 \left(\frac{\text{Julios}}{gr \text{ } ^\circ C} \right) (28,28 - 15,9) (^\circ C) = \\ &= 10493 \left(\frac{\text{Julios}}{seg} \right) = 10493 \text{ Watios} \end{aligned}$$

El coeficiente de operación (COP) da una idea de la eficiencia con la que está operando el sistema de refrigeración, normalmente está comprendido entre 1.5 y 3. Se calcula dividiendo el Calor que entra en el sistema entre la Potencia que se usa para que éste funcione, normalmente mediante el uso de un compresor, aunque este no es el caso.

$$COP = \frac{Q_{\text{absorbido}}}{Potencia} = \frac{10493}{3300} = 3,18$$

Capítulo 6

Equipo de fluorescencia de rayos X

***E**n el siguiente apartado se realizarán las mediciones y cálculos para determinar el rendimiento del sistema refrigerador del equipo de fluorescencia de rayos X.*

6. Equipo de Fluorescencia de rayos X.

6.1 Fluorescencia de Rayos X.

La técnica de Fluorescencia de Rayos X se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X. La radiación incide sobre la muestra excitando los átomos presentes en la misma, que emiten a su vez radiación característica denominada fluorescencia de rayos X. Esta radiación, convenientemente colimada, incide sobre un cristal analizador (con espaciado interatómico d) que difracta en un ángulo (θ) dependiendo de su longitud de onda (λ) por la ley de Bragg ($\text{sen } \theta = n\lambda/2d$). Un detector que puede moverse sobre un determinado rango de dicho ángulo mide el valor de la intensidad de radiación en un ángulo determinado y por tanto para una longitud de onda específica, que es función lineal de la concentración del elemento en la muestra que produce tal radiación fluorescente.

Lo que se intenta refrigerar es el tubo de fluorescencia de la máquina, ya que es la parte que más se calienta del equipo y probablemente la más costosa. El equipo posee un sistema de refrigeración interna. Cuando la máquina está en funcionamiento y se alcanza cierta temperatura se enciende una luz que avisa de la alta temperatura de ésta. En caso de que la temperatura siguiera aumentando la máquina puede llegar a apagarse para intentar proteger el tubo, aunque este cambio brusco de temperatura al desconectarse puede ser también peligroso para el tubo de fluorescencia.

Esto da idea de la importancia que tiene el sistema de refrigeración para evitar daños en la máquina.

El sistema de refrigeración de esta máquina se basa en dos tanques de agua, el agua sale de del tanque 2, pasa por una bomba de impulsión y entra en la máquina, al salir de la máquina el agua caliente se deposita en el tanque 1, éste además está comunicado con un sistema mezclador, que coge el agua desde el fondo del depósito la filtra y la vuelve a expulsar en la parte de arriba.

El tanque 1 también está conectado a un sistema de refrigeración del agua, al subir de cierta temperatura el sistema se pone en funcionamiento y se expulsa agua fría para refrigerarlo, éste además suele estar a una temperatura inferior a la del tanque 2 que es el que envía el agua a la máquina debido al sistema de refrigeración del tanque 1.

6.2 Toma de datos.

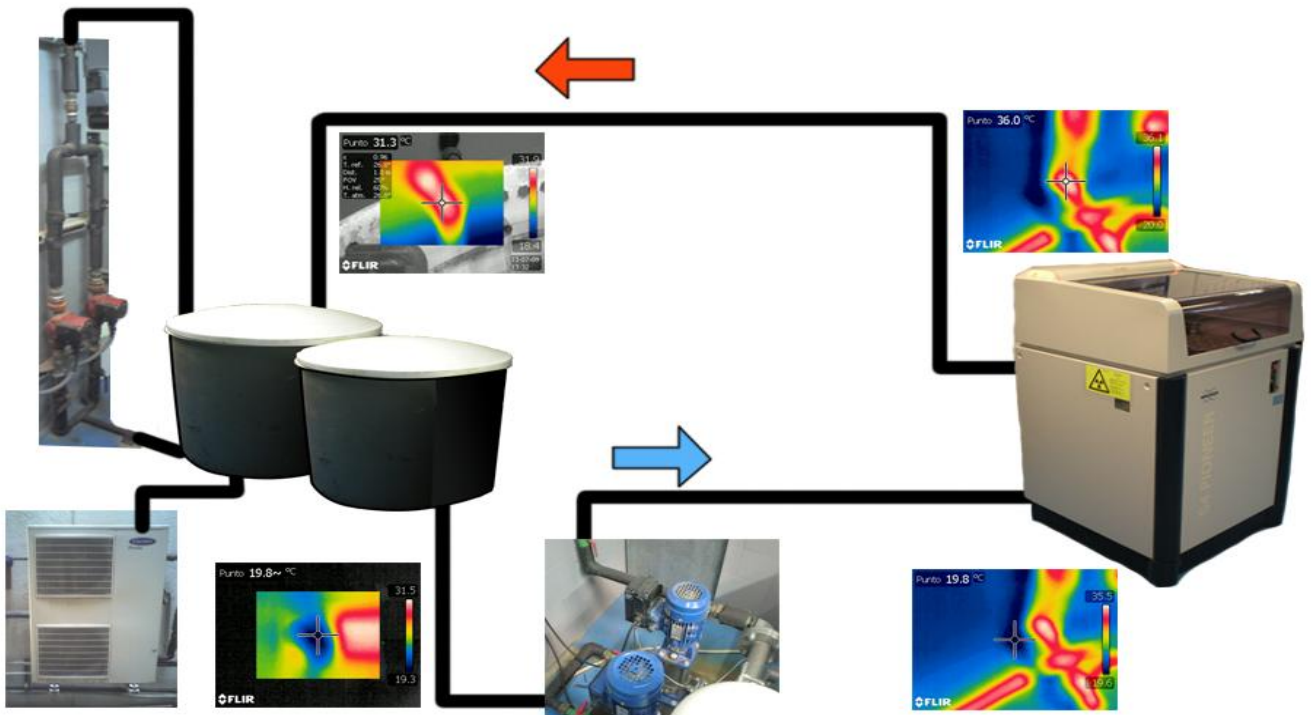


Figura 23. Esquema circuito de refrigeración

Absorción de calor en el equipo de Fluorescencia.

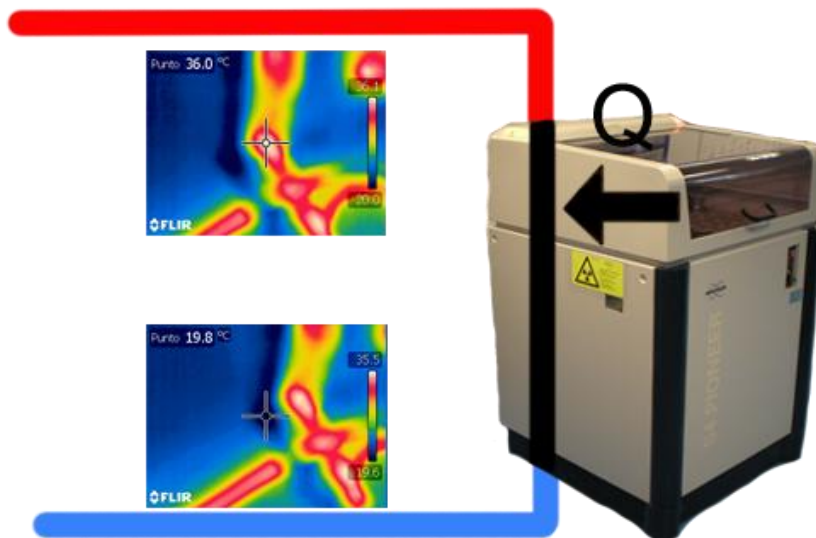


Figura 24. Absorción del calor del equipo 1

Para realizar los cálculos primero se necesita recoger los siguientes datos:

Toma de temperaturas.

Se toman a la entrada y salida del equipo de rayos X. La medida de la temperatura se realizará con la cámara termográfica. Teniendo en cuenta el material en el que se va a medir para ajustar la emisividad de la cámara y analizando las imágenes tomadas se puede ver que a la entrada la temperatura es de **19.8°C** y a la salida es de **36°C**.

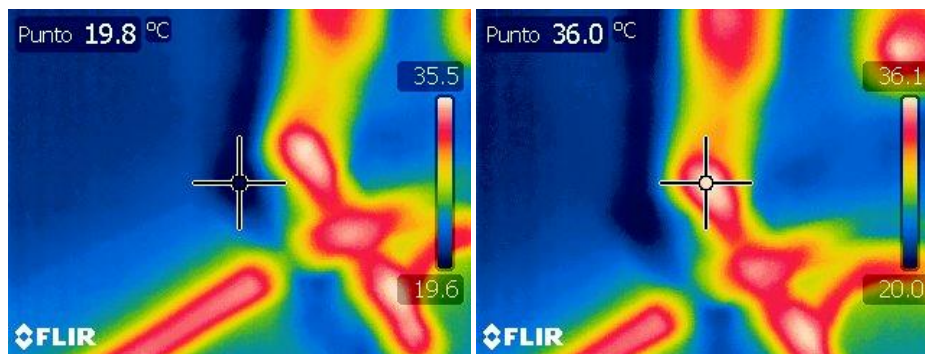


Figura 25 Temperatura entrada Temperatura salida

Estas medidas se tomaron cuando la máquina llevaba un par de horas funcionando, por lo que se puede suponer que estaba en un régimen estacionario.

Días atrás se tomó medida cuando la máquina se encontraba en reposo, teniendo en cuenta esto y habiendo ajustado el nivel de emisividad, ya que en esa ocasión se midió directamente en el tubo.

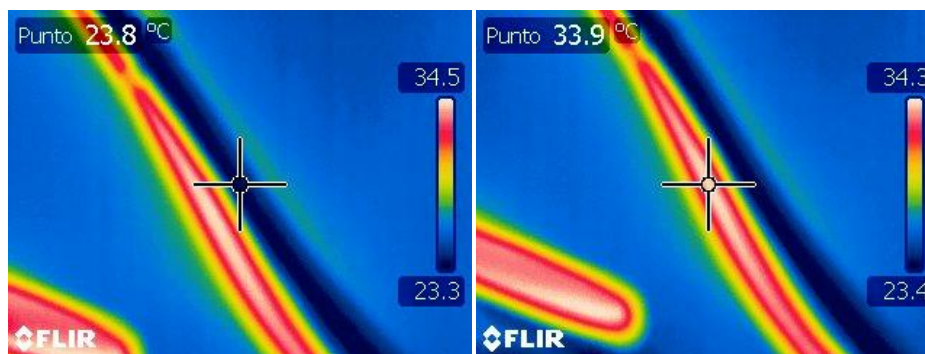


Figura 26. Temperatura entrada (reposo) Temperatura salida (reposo)

Se puede apreciar que existe bastante diferencia entre las temperaturas cuando la máquina se encuentra en reposo y cuando la máquina se encuentra a pleno funcionamiento.

Con la máquina en funcionamiento la diferencia de temperatura sería de:

$$\Delta T = T2 - T1 = 36 - 19.8 = 16.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En cambio cuando la máquina se encuentra en reposo, la diferencia se ve drásticamente disminuida:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 33.9 - 23.8 = 10.1^{\circ}\text{C}$$

Esto supone una diferencia de temperaturas de más de 6 grados entre un estado y otro, por ello es importante realizar las mediciones cuando se considere que el equipo se encuentre en un estado de máximo funcionamiento, ya que es en ese estado en el que se puede calcular el calor que el refrigerador es capaz de absorber de la máquina en cuestión.

En estado de reposo, la máquina está algo caliente, pero no llega a los extremos de cuando está funcionando a pleno rendimiento, por ello si se hubieran tomado los datos de las mediciones en reposo a la hora de realizar los cálculos, se habría obtenido un rendimiento bastante más bajo, lo que llevaría a un error a la hora de tomar las conclusiones.

Además al estar las dos tuberías tan cerca la una de la otra puede que el calor emitido por la tubería caliente esté afectando a la imagen, ya que el agua debería llegar a una temperatura de unos 19.8°C como lo hace en la toma a pleno rendimiento y en cambio la medida ha dado unos 23.8°C , lo que supone bastante diferencia con respecto a los 19.8°C que se miden en el acero inoxidable. Por tanto es bastante recomendable la toma de mediciones en el acero inoxidable ya que los puntos de medición no se encuentran tan cercanos como cuando se mide en los propios tubos.

Cálculo del caudal.

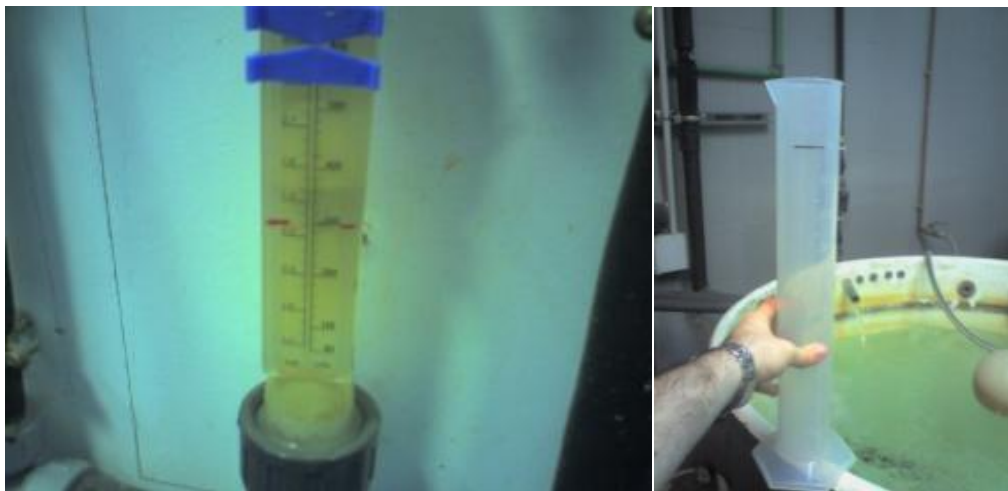


Figura 27. Caudalímetro

Tubo en el que se tomó la medición

El caudal depende de si la máquina está en funcionamiento o no, en estado de no funcionamiento el refrigerador envía un caudal no constante a la máquina. Lo que interesa es el caudal cuando la máquina está en funcionamiento ya que será cuando más se caliente y cuando la actuación del refrigerador será más importante para proteger la

máquina. El equipo posee un medidor de caudal a su entrada, marca unos 360 litros/hora, pero dado que tiene alguna pequeña fluctuación cada cierto tiempo, se tomará una probeta y se medirá el tiempo que tarda ésta en almacenar un litro de agua.

Realizando varias mediciones se observa que esta tarda llenarse unos 11 segundos. Por lo que el flujo másico será de:

$$m = \frac{1l}{11seg}$$

Potencia eléctrica que consume el equipo.

En este caso la potencia varía entre los 100 Watios (en reposo) y los 4000 Watios (a los que puede llegar en estado de funcionamiento). Todas las medidas han sido tomadas cuando el equipo llevaba un par de horas a pleno funcionamiento, por lo que se puede suponer que la potencia se encontrará cerca de los 4000 Watios.

6.3 Cálculos:

El objetivo vuelve a ser el cálculo del calor absorbido por el equipo, se procedió igual que en el caso del microscopio de transmisión electrónica, pero en este caso ya no fue necesario hacer una media ponderada, ya que el caudal en este caso no se divide para refrigerar diversas partes del equipo.

$$Q = m * (h_s - h_e) = m * C_p * (T_s - T_e)$$

Ecuación 8.

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico } m: m &= \frac{1l}{11seg} = \frac{3600l}{11h} = 327.27 \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{327270}{3600} \left(\frac{gr}{seg} \right) \\ &= 90.9(gr/seg) \end{aligned}$$

$$\text{Calor específico agua: } C_p = 1 \left(\frac{caloria}{gr \text{ } ^\circ C} \right) = 4,18 \left(\frac{Julios}{gr \text{ } ^\circ C} \right)$$

Temperatura a la entrada: 19,8°C

Temperatura a la salida: 36°C

$$Q = m * Cp * (Te - Ts) = 90.9 \left(\frac{gr}{seg} \right) * 4,18 \left(\frac{Julios}{gr^{\circ}C} \right) (36 - 19,8)(^{\circ}C)$$

$$= 6156 \left(\frac{Julios}{seg} \right) = 6156 \text{ Watios}$$

El coeficiente de operación (COP) nos da una idea de la eficiencia con la que está operando el sistema de refrigeración, normalmente está comprendido entre 1.5 y 3. Se calcula dividiendo el Calor que entra en el sistema entre la Potencia que se usa para que este funcione, normalmente mediante el uso de un compresor, aunque este no es el caso.

$$COP = \frac{Q_{absorbido}}{Potencia} = \frac{6156}{4000} = 1,539$$

En este caso el COP está casi en el rango de valores en los que suele estar comprendido y también se puede observar que es bastante más bajo que en el caso del microscopio electrónico de transmisión. Lo que se busca es que absorba la mayor cantidad de calor posible y con una potencia mínima, cuanto mayor sea el COP más eficiente será el sistema.

En este caso se ha obtenido un COP mayor en el sistema de refrigeración del microscopio así que se supone que este es más eficiente.

Capítulo 7

Discusión de resultados

***E**n el siguiente apartado se realizarán una serie de reflexiones a partir de los resultados de los cálculos realizados y en la metodología empleada, pudiendo así hacer una valoración general del trabajo.*

7.-Discusión de los resultados.

7.1.-Discusión de los cálculos.

Los COP obtenidos eran de 3.18 para el microscopio de transmisión electrónica y de 1.4 el equipo de fluorescencia de rayos X. Como ya se ha expuesto, a mayor COP mayor eficiencia del equipo, por lo cual a simple vista se deduce que el refrigerador del microscopio de transmisión electrónica está trabajando de manera más eficiente.

Uno de los factores que puede influir en la obtención de una mejor eficiencia en el microscopio electrónico de transmisión, puede ser el hecho de que en el microscopio como ya se expuso, existe refrigeración en 4 partes diferenciadas del equipo, G, LS, OL y DP, cada una de estas partes tendrá su propio intercambiador de calor, por lo que se puede deducir que en este caso la superficie de transferencia de calor es mayor que en el caso del equipo de Fluorescencia de Rayos X.

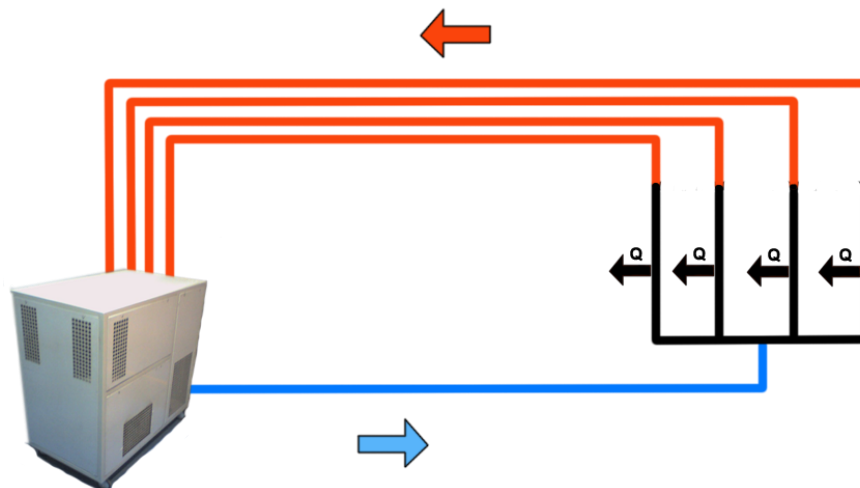


Figura 28. Transferencia de calor microscopio

En el caso de los intercambiadores de estas máquinas de refrigeración se encuentra con que un fluido circula estando en contacto con una superficie caliente y absorbiendo calor de la misma. Por ello se estaría en el caso de convección forzada.

Al maximizar la superficie de transferencia también maximizamos la cantidad de calor intercambiada, la ecuación que solemos usar en el caso de encontrarnos con convección forzada, es la siguiente:

$$q = h A \Delta t m = m C_p (t_s - t_e)$$

Ecuación 9.

Cuando un fluido circula alrededor de un sólido, por ejemplo por el interior de una tubería, si existe una diferencia de temperatura entre ambos, tiene lugar un intercambio de calor entre ellos. Esta transmisión de calor se debe al mecanismo de convección. El calentamiento y enfriamiento de gases y líquidos son los ejemplos más habituales de transmisión de calor por convección. Dependiendo si el flujo de fluido es provocado artificialmente o no, se distinguen dos tipos: forzada y libre (también llamada natural). La convección forzada implica el uso de algún medio mecánico, como una bomba o un ventilador, para provocar el movimiento del fluido. Ambos mecanismos pueden provocar un movimiento laminar o turbulento del fluido.

Como se acaba de comentar la convección forzada se produce por la diferencia de temperaturas entre la superficie sólida de la tubería y de la corriente fluida en contacto con ella, siendo t_s (la temperatura de la superficie de la tubería) y t_{fe} y t_{fs} (las temperaturas de entra y salida del fluido respectivamente). El fluido entra en el tubo y debido a la lo normal sería que la temperatura de este sea elevada, saldría por el otro extremo a mayor temperatura: $t_{fe} < t_{fs}$

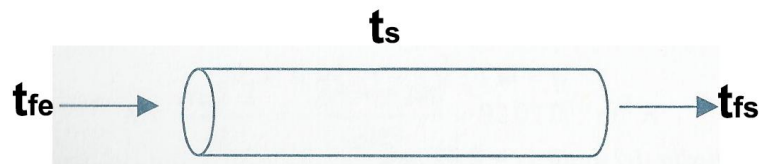


Figura 29. Tubo convección forzada

h : corresponde al coeficiente de transmisión del calor.

Δt_m : corresponde a la diferencia de temperatura entre la superficie sólida y el fluido.

$$\Delta t_m = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln (\Delta t_1 - \Delta t_2)$$

Ecuación 10.

$$\Delta t_1 = t_s - t_{fe} \quad \Delta t_2 = t_s - t_{fs}$$

A : Es el área de la superficie de transmisión del calor.

En el caso de que el calor se transmita por medio de una tubería que absorba la energía calorífica procedente de una superficie sólida: $A = \pi d L$.

Y al maximizar el calor intercambiado manteniendo la potencia consumida:

$$COP = \frac{Q_{absorvido}}{Potencia}$$

Ecuación 11.

El COP aumentará.

Un punto importante a la hora de valorar el trabajo de el refrigerador de los depósitos sería que éste podría refrigerar varios equipos simultáneamente ya que el volumen de este equipo es bastante grande y posee gran cantidad de agua, tan solo haría falta una conexión al segundo equipo a refrigerar.

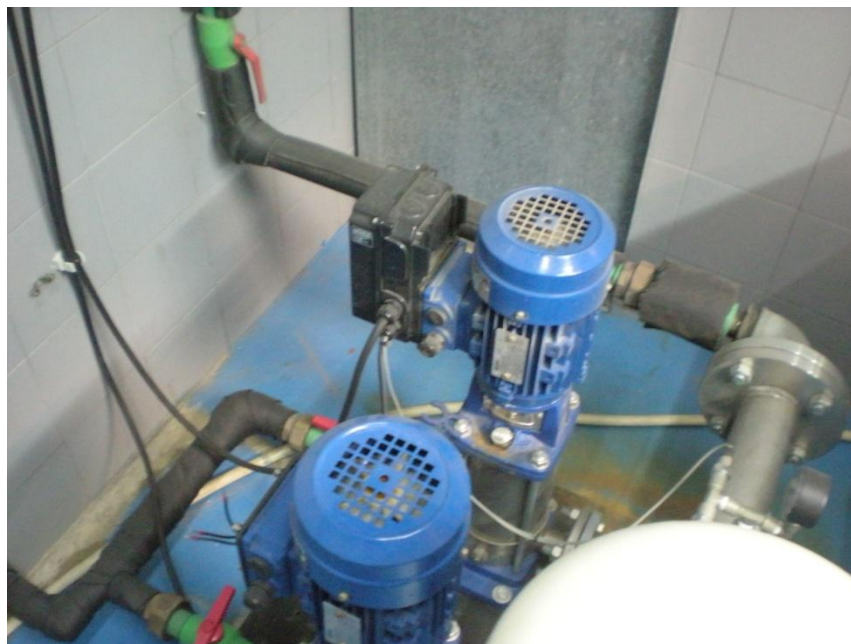


Figura 30. Bombas equipo microscopio

Como se puede apreciar en la imagen el equipo ya posee dos bombas que pueden trabajar en paralelo, por lo que tendríamos una división del caudal que inicialmente sale del depósito, aunque una de ellas se encuentra desconectada ya que solo se está refrigerando un equipo que este sistema.

Por último también habría que destacar que existe gran diferencia entre las temperaturas obtenidas cuando las máquinas se encontraban trabajando en reposo y en el momento de la toma de datos para la realización de los cálculos. Se ha procurado tomar las mediciones teniendo en cuenta este factor, por ello las mediciones se han realizado cuando las máquinas llevaban unas horas de funcionamiento, así que podemos creer que se encontraban trabajando en un régimen estacionario.

7.2 Importancia del aislamiento en la disminución de pérdidas de calor en los equipos.

Los equipos térmicos se suelen aislar para minimizar las pérdidas de calor hacia el entorno. Si no se aíslan, los equipos pueden tener pérdidas de calor por cualquiera de los mecanismos de transmisión de calor, en este caso las pérdidas serán principalmente por convección. Las pérdidas de calor por conducción a través del aire serán pequeñas debido a su baja conductividad ($k_{\text{aire}}=0.0258 \text{ W/m.K}$ a 30°C). Como se ha dicho en este caso se prestará atención a las pérdidas por convección ya que nos encontramos con que en los equipos se produce convección forzada entre el agua circulante y las tuberías.

El material aislante debe de tener baja conductividad térmica, los materiales más utilizados para aislar incluyen el corcho, la magnesia, la lana de vidrio y el poliestireno expandido.

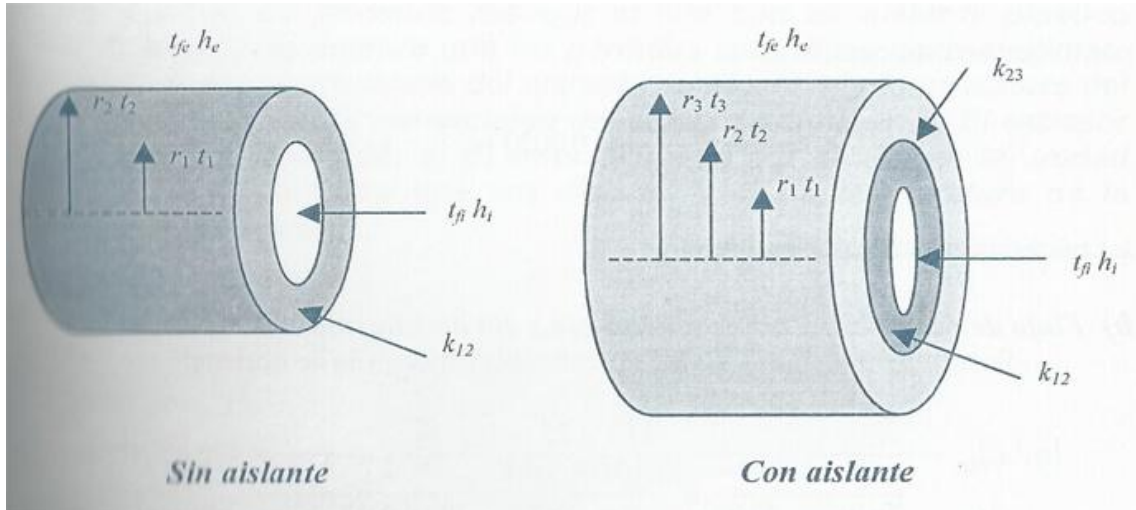


Figura 31. Tubería con y sin aislamiento

La imagen anterior muestra una tubería sin y con aislante. El aislamiento de la imagen tiene una conductividad que viene dada por K_{23} .

Con las fórmulas de transmisión del calor para el caso de una tubería (coordenadas cilíndricas) se va a deducir porque este coeficiente debe ser lo más bajo posible.

$$(q/L)_{sa} = \frac{t_{fi} - t_{fe}}{\frac{1}{2\pi r_1 h_i} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{12}} + \frac{1}{2\pi r_2 h_e}}$$

$$(q/L)_{ca} = \frac{t_{fi} - t_{fe}}{\frac{1}{2\pi r_1 h_i} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{23}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_e}}$$

Ecuación 12. Fórmulas transmisión del calor

Como se puede ver el añadir el aislante supone tener un término más en la fórmula de transmisión del calor, haciendo que K_{23} sea muy pequeño se conseguirá que este término del denominador aumente, al aumentar el término el denominador también aumentará y por consiguiente el calor transmitido por unidad de longitud será menor.

También se puede observar que el espesor del aislante también influye en la transmisión del calor, se puede ver que si (r_3) aumenta, también lo hará el logaritmo

neperiano y por consiguiente aumentará el denominador, por lo que el flujo de calor por unidad de longitud también será menor.

Estos son los dos parámetros básicos a tener en cuenta a la hora de realizar un buen aislamiento el coeficiente de transmisión del calor y el espesor del aislamiento.

En este caso, se ha utilizado la cámara termográfica para ver posible puntos de fugas o desperfectos en el aislamiento.

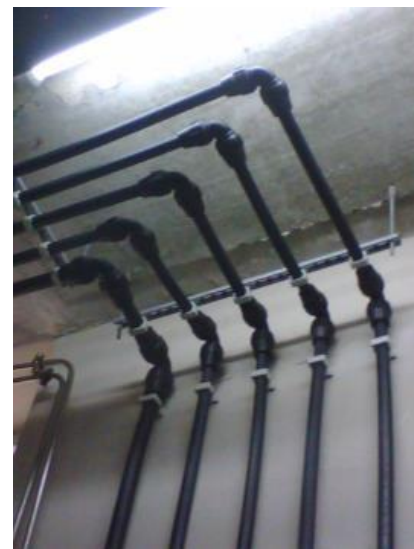
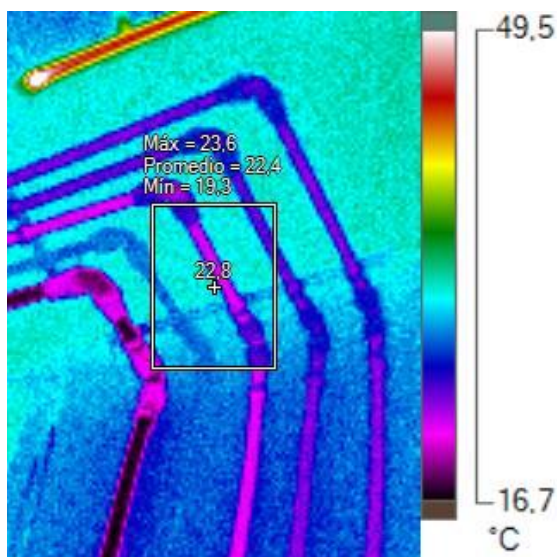


Imagen de luz visible

IR000147.IS2

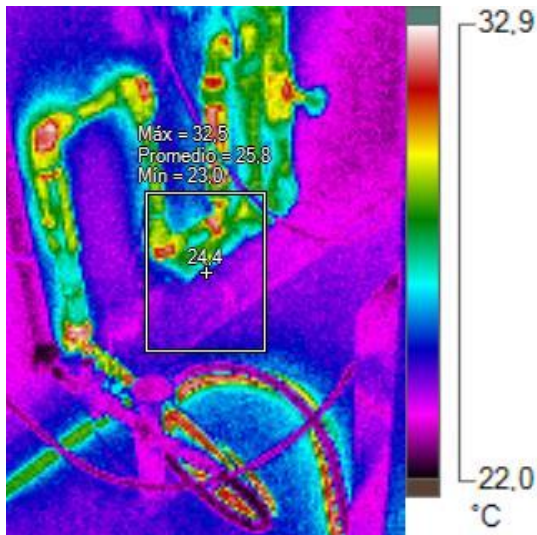
26/06/2013 **Figura 32 tuberías microscopio**

Esta imagen da una prueba de la eficacia del aislamiento. Ya que en esta ocasión es bastante difícil diferenciar cual es la tubería fría y cuáles son las calientes teniendo en cuenta que puede existir una diferencia de temperatura de más de 10 °C.

Lo que interesa es que la temperatura de la tubería que lleva el agua fría aumente lo menos posible en su paso desde el equipo de refrigeración hasta el elemento a refrigerar.

En el caso del microscopio, el trayecto de las tuberías es bastante corto y además la sala del microscopio está climatizada a una temperatura de unos 21°C. La diferencia de temperaturas ha sido bastante pequeña (por debajo de un grado). Así que se podrá deducir que no hay problemas con el aislamiento.

En el caso de la máquina de rayos X.



IR000160.IS2



Imagen de luz visible

26/06/2013 **Figura 33. entrada máquina rayos X**

En este caso, con la cámara se puede observar como las zonas que no tienen aislante como los codos de las tuberías, parecen estar a mayor temperatura por lo que podría ser recomendable el usar aislante también en dichas zonas, aunque su uso es algo más complicado que en las secciones de tubería recta.

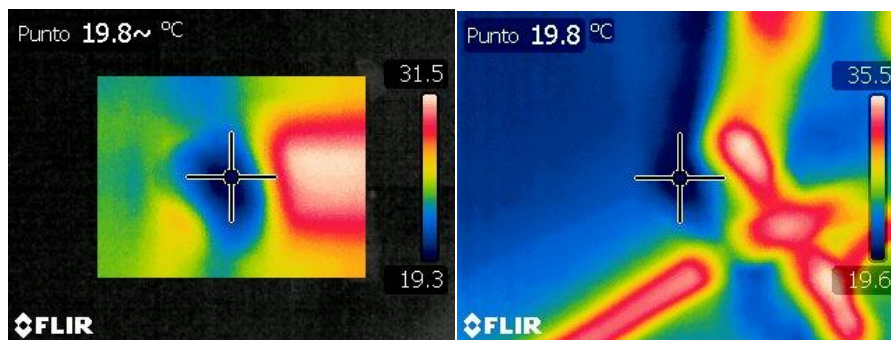


Figura 34. Salida de los depósitos Entrada a máquina de rayos X

Aunque las medidas tomadas desde el principio al final de la tubería han dado el mismo valor, se debe tener en cuenta que esto no es posible y que debe de haber pérdida de calor por pequeña que esta sea, aunque se puede concluir que estas serán muy pequeñas, por lo que el aislante actúa eficazmente en ambos casos.

7.3 Valoración sobre la técnica.

Se puede decir que el uso de la termografía es una manera fácil y eficaz para realizar estudios de este tipo, siempre que la persona tenga conocimientos para utilizar la técnica de manera eficaz.

Un estudio riguroso y detallado necesitaría de otra serie de sensores que den medidas de temperatura y caudal más exactas, aunque esto puede que suponga más dinero y tiempo. Con la termografía se puede detectar posibles problemas de una forma rápida y además puede ser usada en diversos campos, por lo que una cámara termográfica puede ser una buena opción cuando se quieren realizar estudios de este tipo.

También hay que destacar que dependiendo de la cámara se pueden obtener resultados bastante diferentes, ya que cuanto más profesional es la cámara se obtiene una imagen más nítida.

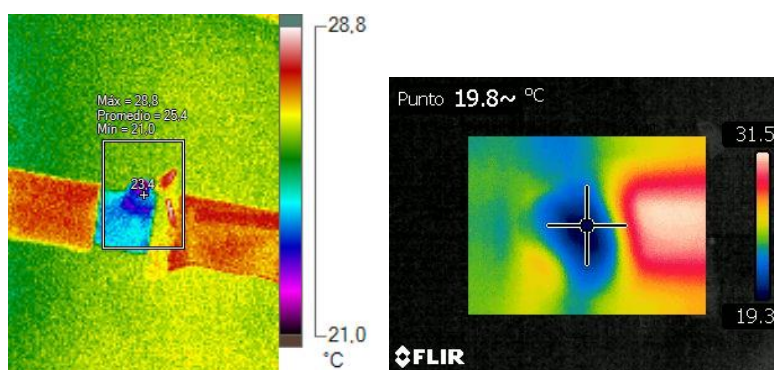


Figura 35. Comparación entre imágenes.

Como se puede apreciar en la imagen aunque las dos cámaras se encuentran tomando misma tubería en diferentes momentos y circunstancias, se puede apreciar claramente como la imagen de la izquierda es mucho más precisa, esto se debe a que es una cámara de mayor calidad y nos ofrece mayor precisión en las imágenes, por lo que sería más fácil detectar posibles fugas o problemas. Aunque el uso de una u otra cámara dependerá de la clase de trabajo que se quiere realizar con la misma.

7.4 Propuesta de mantenimiento preventivo.

A continuación se va a elaborar una propuesta para llevar a cabo un mantenimiento preventivo de ambos equipos, para ello se ideará un procedimiento de control con el que se podrá realizar un correcto seguimiento del sistema de refrigeración.

Se realizará una primera medición y dependiendo de los resultados obtenidos se tomarán una serie de acciones.

El objetivo es el cálculo de la eficiencia de los refrigeradores de ambos equipos de trabajo y para ello, como ya se hizo en los anteriores capítulos, se necesitarán mediciones de temperatura y caudal en ambos equipos.

Mediciones de temperatura.

Las mediciones de temperatura a tomar se realizarán en los tubos de entrada y salida del agua (que es la absorbe el calor) al equipo de trabajo, en el caso del Equipo de Fluorescencia de Rayos X, solo se necesitará la toma de dos imágenes con la cámara termográfica, en cambio en el caso del Microscopio Electrónico de Transmisión (en él se tiene un tubo de entrada y cuatro de salida) será necesario la toma de cinco imágenes con la cámara termográfica, diferenciando siempre que el tubo de la izquierda es el que lleva el agua refrigerada hacia el interior del equipo y que los otros cuatro son los que salen después de haberlo refrigerado.

Estas mediciones se realizarán siguiendo los consejos expuestos en los capítulos anteriores: Llevarlas a cabo en momentos en los que la máquina lleve funcionando a pleno rendimiento un tiempo adecuado, ajustar la emisividad de la cámara termográfica, intentar realizar la medición en el acero inoxidable, mantener una distancia adecuada a la hora de tomar la medición, etc.

Mediciones de caudal.

Además de estas mediciones de temperaturas también serán necesarios los caudales, en el caso del Equipo de Fluorescencia de Rayos X, podemos medir directamente en el caudalímetro del equipo, aunque si éste fluctúa, se podrá realizar en el tanque del equipo, como ya se ha realizado en este trabajo fin de máster. En el caso del Microscopio Electrónico de Transmisión, solo se tendrá la opción de medir los caudales en los caudalímetros de los tubos de retorno del equipo, ya que en este caso es un sistema cerrado.

Una vez tomadas las mediciones se realizarán los cálculos pertinentes con la obtención de la eficiencia de cada uno de nuestros equipos.

Para esta propuesta se elaborarán una serie de rangos del COP, así que se tendrá que comprobar dentro de que rango quedan los COPs obtenidos y así se obtendrán las acciones a emprender para el correcto mantenimiento del equipo.

<1	1-1.5	1.5-2	2-3	>3
Se llevarán a cabo acciones correctivas	Se realizará una revisión del equipo en busca de posibles fallos y se volverá a medir a los 3 meses	Se realizarán las mediciones cada 3 meses	Se realizarán las mediciones cada 6 meses	Se realizarán las mediciones anualmente

Tabla 3. Actuaciones a llevar según el COP obtenido.

Para realizar la elaboración de los cálculos de una forma inmediata y facilitar todo el proceso se elaborará una tabla Excel en la que se llevará el registro de anteriores mediciones y dependiendo de los resultados que en ella se obtengan nos recomendará cual es la acción a emprender. En el caso del Microscopio electrónico de transmisión, la tabla quedará de la siguiente forma, se introducen la fecha las temperaturas y los caudales, y la propia tabla calcula todos los resultados y la acción a emprender.

Microscopio electrónico de transmisión									
Fecha mediciones	Temp. Entrada (°C)	Temp.Salida (°C)		Calor absorbido		COP			
23/07/2011	15,8	28,34		10526		3,21			
23/07/2012	15,62	28,23		10453		3,16			
Fecha nueva medición	Temp. Entrada (°C)	Ts1(°C)	Ts2(°C)	Ts3(°C)	Ts4(°C)	Caudal 1 (l/hora)	Caudal 2 (l/hora)	Caudal 3 (l/hora)	Caudal 4 (l/hora)
23/07/2013	15,9	28,6	27,1	28,9	28	290	120	160	160
Resultados									
Temperatura salida	28,28	°C							
Caudal total	730	l/hora							
Calor absorbido	10493	Wattios							
COP	3,18								
Acción a emprender	Realizar próxima medición en una año								

Figura 35. Tabla Excel Microscopio

En el caso del equipo de Fluorescencia de Rayos X, la tabla queda algo más sencilla debido a que hay que considerar tan solo una temperatura de salida en vez de cuatro y un solo caudal en vez de los cuatro del Microscopio Electrónico de transmisión.

Equipo de Fluorescencia de Rayos X				
Fecha mediciones	Temp. Entrada (°C)	Temp.Salida (°C)	Calor absorbido	COP
23/01/2013	19,2	36,5	5732	1,623
23/04/2013	19,5	35,8	5235	1,593
Fecha nueva medición	Temp. Entrada (°C)	Temp.Salida (°C)	Caudal (l/hora)	
23/07/2013	19,8	36	300	
Resultados				
Calor absorbido	5643	Wattios		
COP	1,539			
Acción a emprender	Se volverá a medir a los 3 meses			

Figura 36. Tabla Excel Equipo Fluorescencia de Rayos X

Capítulo 8

Conclusiones.

*E*n el siguiente apartado se realizarán la conclusiones finales del trabajo fin de máster.

8. Conclusiones finales.

[1].- La termografía es una técnica no invasiva que permite medir la temperatura de los distintos accesorios y equipos empleados para refrigerar.

[2].- El sistema basado en el uso de un gas refrigerante representa una mayor eficiencia.

[3].- El sistema basado en depósitos de agua podría ser más eficiente si se aprovechara para refrigerar varios equipos simultáneamente.

[4].- Para un cálculo adecuado de la eficiencia sería necesario medir con mayor rigor caudales y temperaturas de trabajo.

[5].- La medida de temperatura puede realizarse con una cámara termográfica más precisa sin necesidad de sistemas termopares.

[6].- La medida periódica de la temperatura podría ser un sistema indirecto para verificar el buen funcionamiento del sistema refrigerador.

[7].-La elaboración de un procedimiento de control ayuda a llevar un seguimiento adecuado del estado de los sistemas de refrigeración.

Referencias.

Transferencia de calor, J.P. Holman, C.E.C.S.A

Problemas de transmisión del calor, C.Nicolás y Madrid García, Horacio Escarabajal Editores.

Fundamentos de la termodinámica técnica, M.J. Moran y H.N. Shapiro, Editorial Reverté S.A.
(tomos 1 y 2).

Ejercicios de producción de frío, Enrique Torrella Alcaraz, Universidad Politécnica de Valencia.

Guía para la termografía infrarroja, aplicaciones en ahorro y eficiencia energética. Comunidad de Madrid.

<http://www.nivelatermografia.net/>

<http://www.amperis.com/productos/camaras-termograficas/#termografia>