



Termodinámica aplicada a los tubos de un horno petroquímico. Luchando contra las tonterías que se dicen sobre la medición de temperaturas en los tubos de un horno. Por Mikael Cronholm - Instructor ITC N3

Traducción: Ing. Rafael Royo (Instructor ITC N3 - Titular de la Universidad Politécnica de Valencia - España), Ing. Luis Chandía (ITC N2 - ENSISE – Argentina)
Revisión: Eng. Atílio B. Veratti (Instructor ITC N3 América Latina)

RESUMEN

Durante los últimos dos años, he profundizado en mi interés en la termografía de la superficie de los tubos de los hornos, que al final se ha convertido en una aplicación muy interesante pero algo aterradora. ¿Por qué el miedo? Se trata de una difícil aplicación, es cierto. Pero no por las razones que la mayoría de la gente piensa; al final no es tan difícil una vez lo tienes bien claro, por supuesto. Además la aplicación en sí es muy efectiva, y agradecida, de cara sobre todo al operador del horno. Asusta porque la gente que aplica la técnica tiene pocos conocimientos y no hay desarrollada una metodología ni teórica ni práctica - las personas aún se creen las tonterías de los años setenta.

En este trabajo, me tiraré a los cocodrilos - deliberada y conscientemente! Voy a ser el niño que dice a todo el mundo que el emperador está desnudo. Me arriesgaré a ir diametralmente en contra de lo que "todo el mundo sabe "sobre la inspección de tubos de horno y lo haré sin miedo.

Usted mismo, me puede alabar o desgarrar en pedazos.

Vais a oírme decir cosas que parecen tonterías. Os diré que la parte más fría que ves del tubo es en realidad la más caliente. Que no se puede esperar que los termómetros de superficie midan jamás la misma temperatura que la cámara infrarroja, si es así es por casualidad y siempre que el diseño sea correcto. Os diré que los errores que puede cometer en la emisividad tienen algunas veces un efecto completamente contrario al que sucede normalmente en otras aplicaciones. Y si usted piensa que la emisividad es un gran problema en la medida de la temperatura de los tubos del horno, puede descansar a partir de ahora, porque en esta aplicación no es problema en absoluto! Tampoco lo es la temperatura de la atmósfera o la aparente reflejada de un problema. ¿Esto son todo ilusiones? Vamos a ver qué piensa usted.

La clave para entender todo esto no es sólo la ciencia de la radiación y la técnica de medición de temperatura con termografía infrarroja. Es difícil, estoy de acuerdo, pero no es tan terrible. No, la verdadera clave es entender correctamente el proceso de transmisión de calor.

Y esto no va a ser tan difícil tampoco, como ahora se verá. El problema muchas veces es descartar las ideas equivocadas, aclararse la mente y cambiar la forma de pensar.

Este documento no va a poder responder a todas las cuestiones de interés sobre la inspección de tubos en hornos. Hay mucho más que decir al respecto, por ejemplo, sobre procedimientos y metodologías, y sobre la teoría de la radiación acerca de la atenuación atmosférica, y la distribución espectral y el filtrado, pero no va ser objeto de este artículo...

BALANCE TERMICO DEL HORNO

En primer lugar, algunos conceptos básicos y obvios - el horno es un intercambiador de calor. El calor se genera en su interior por combustión de gas o fueloil. Este calor se supone que se transmite al fluido que circula por el interior de los tubos. Podemos llamarlo el fluido de trabajo. Este fluido de trabajo tiene una temperatura de entrada y el calor que transfiere en el horno debe incrementar la temperatura al valor esperado en la siguiente etapa del proceso. El calor

absorbido es la parte útil de la energía introducida en el horno. Por tanto hay pérdidas de calor, principalmente en los gases de escape, y a través de la pared del horno.

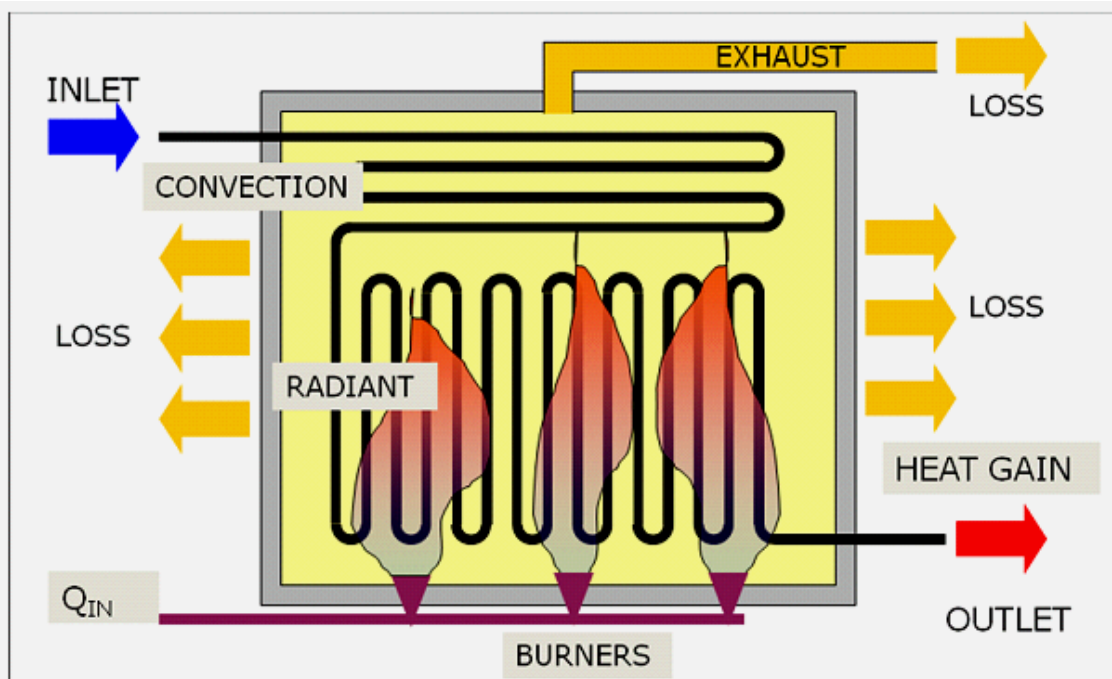


Figura 1. Balance térmico en un horno. Se agrega la energía de combustión, el fluido de trabajo gana algo de calor y el resto se pierde a través de las paredes del horno y de los gases de escape.

La mayoría de hornos tienen lo que se llama una sección radiante en la parte inferior, y otra de convección en la parte superior, lo que se refiere a los principales modos de transmisión de calor que tienen lugar en estas partes respectivas del horno. La radiación es el modo de transmisión de calor predominante, por lo tanto el fluido más frío que entra en el horno pasará primero por la sección de convección, donde la transferencia de calor es menos intensa. La diferencia de temperatura en la sección de convección entre el fluido que entra más frío y los gases de escape del horno es lo suficientemente grande como para precalentar el fluido antes de entrar en la sección radiante, donde se transfiere la mayoría del calor. La sección de convección se puede considerar como una especie de economizador.

LOS TUBOS DEL HORNO

Los tubos del horno deberían tener la menor resistencia posible al flujo de calor y tienen que soportar altas temperaturas y presiones, por lo que están contruidos de aleaciones de acero de composiciones muy variadas. Pero eso no es de nuestra incumbencia. Lo que nos debe preocupar es la superficie real del tubo, en qué forma permite radiar energía hacia nuestra cámara y absorber la propia radiación térmica de la llama. Los tubos normalmente tienen una capa de óxido ya cuando se montan, y si no se corroen rápidamente y se ensucian en cuanto el horno se pone en marcha.

Por el interior de los tubos circula el fluido, y en la parte exterior está el horno caliente. Para que el tubo sea eficiente, el calor debe fluir a la mayor velocidad posible a través de la pared del tubo y llegar al fluido de trabajo. El metal tiene una alta conductividad, pero cualquier cosa que eventualmente pueda recubrir las superficies de ambos lados del tubo tendrá una conductividad mucho menor.

Es deseable una alta absorción de radiación en todas las longitudes de onda del espectro, incluido el visible. Que los tubos reflejen en cualquier parte del espectro sería contraproducente.

Este es un esquema de cómo debería verse un tubo limpio:

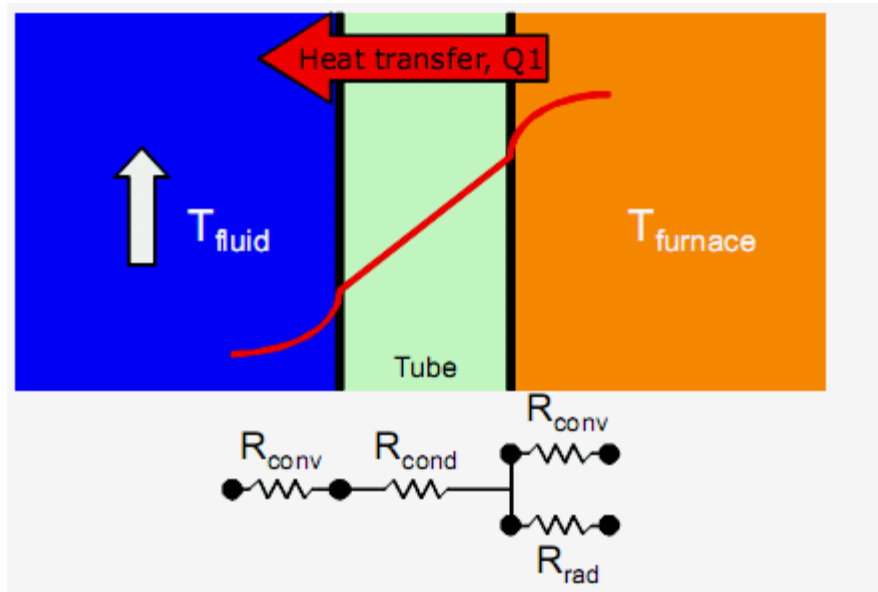


Figura 2. Transmisión de calor en un tubo limpio. El calor se transfiere por conducción a través del tubo. Hay convección en ambas superficies del tubo, y radiación en el exterior.

La resistencia al flujo de calor se compone de cuatro términos, en serie y en paralelo, como se muestra en la figura. En el interior hay una capa límite con una resistencia de convección. Después está el propio tubo, con la correspondiente resistencia de conducción desde el exterior hasta el interior. En el exterior, el calor se transmite por radiación y por convección (hay otra capa límite). Por lo tanto, tenemos una resistencia de convección y una resistencia de radiación en paralelo entre sí y a su vez en serie con otras dos.

ANOMALIAS

Buscamos diferentes tipos de anomalías en un horno, pero en este artículo me centraré en dos cuestiones solamente, el ensuciamiento exterior (cascarilla) y el ensuciamiento interior o coque.

El **ensuciamiento exterior (cascarilla)** consiste en una corteza dura que se forma en el exterior del tubo. Contiene el propio material del tubo corroído, y además depósitos de "suciedad" exterior, carbono, azufre, polvo, etc. Todo este conjunto configura el ensuciamiento exterior. Cuando este ensuciamiento es muy elevado, es común que se caiga poco a poco, dejando una parte desnuda donde el metal está casi expuesto totalmente. Lo más normal es que se mantenga siempre una fina capa de material de corrosión, que se forma casi instantáneamente sobre la superficie.

El **coque** se forma en el interior del tubo debido al propio fluido de trabajo, por lo general cuando este se sobrecalienta. El coque se pega a la superficie interior del tubo. Si hay mucho coque, circulará menos flujo por el interior de los tubos y puesto que este flujo enfría la propia superficie de los tubos, al final se producirán sobrecalentamientos que pueden ser causa de accidentes.

El **coque** hace que el metal de los tubos trabaje más caliente, aislándolo del efecto de enfriamiento del fluido interior.

El **ensuciamiento exterior (cascarilla)** provoca que el metal del tubo trabaje más frío, aislándolo del horno caliente exterior.

Por tanto ambos fenómenos reducen el flujo de calor hacia los tubos, y así el balance térmico del horno será menos favorable. Finalmente se pierde combustible y dinero porque se tendrá que aumentar la potencia de los quemadores para alcanzar la temperatura de salida esperada en el fluido de trabajo. Cuando no se puede aumentar más la potencia de los quemadores la única solución es disminuir el caudal de fluido de trabajo, lo que disminuye la producción y aún produce por tanto más pérdidas.

En pocas palabras, el ensuciamiento exterior (cascarilla) es caro, el coque es caro y peligroso. Con la presencia de ambos ensuciamientos, se modifica la transmisión de calor a través del tubo. Cada uno de ellos añade una resistencia extra al flujo de calor. Al aislar ambas caras del tubo, las áreas con coque y ensuciamiento tendrán una temperatura superficial exterior mayor que las no afectadas.

Este esquema muestra como el ensuciamiento exterior modifica el circuito previo

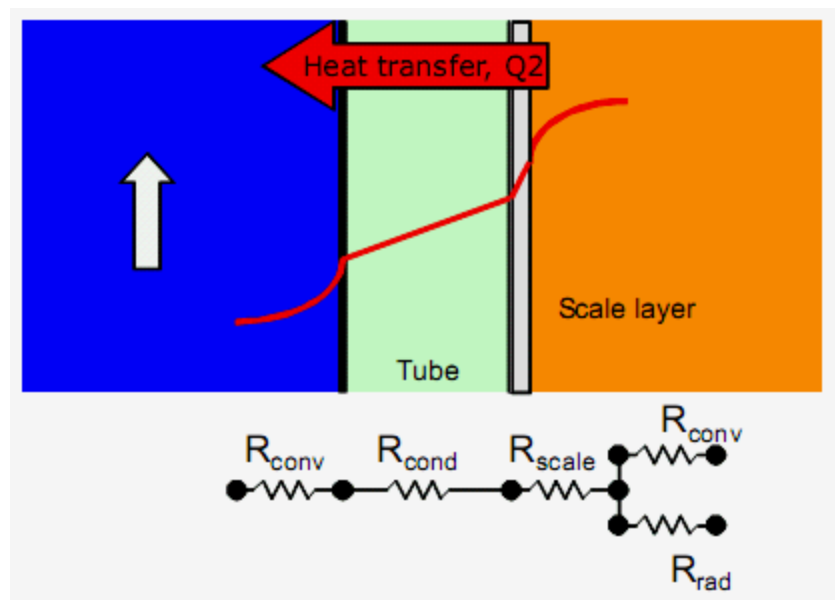
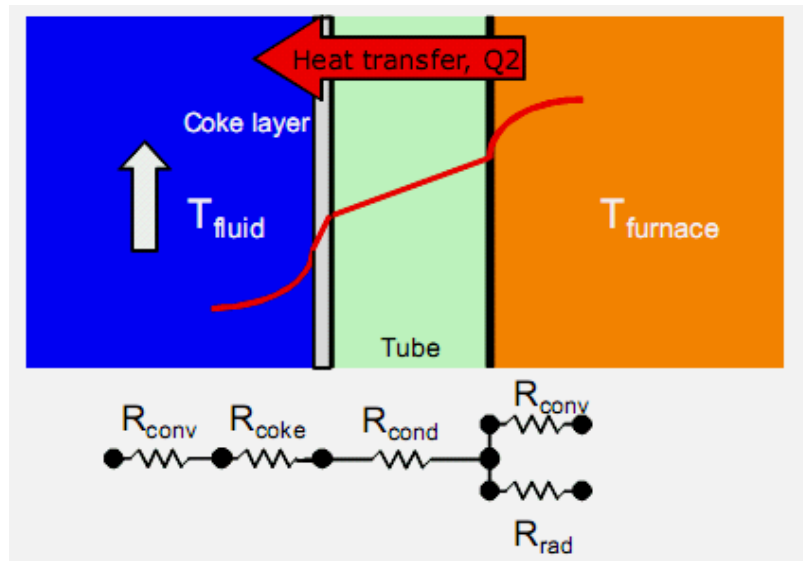


Figura 3. Transmisión de calor a través de un tubo con ensuciamiento exterior (cascarilla). Se añade otra resistencia en serie sobre el lado externo del tubo

La resistencia térmica que añade una capa muy fina de ensuciamiento puede ser muy grande en comparación con la propia resistencia térmica del metal del tubo, ya que el material que compone la capa de ensuciamiento tiene una resistencia térmica mucho mayor.

Así es también como trabaja el coque, en principio. Por supuesto, el coque también tiene una resistencia térmica mucho mayor que la del propio tubo.



Transferencia de calor a través de un tubo con coque. Se agrega otra resistencia sobre el interior del tubo.

En un termograma, estos dos tipos de ensuciamiento muestran patrones térmicos muy diferentes, y cuando se presentan por separado, no es tan difícil distinguirlos. Cuando existen los dos simultáneamente, el análisis de las imágenes puede ser muy difícil.

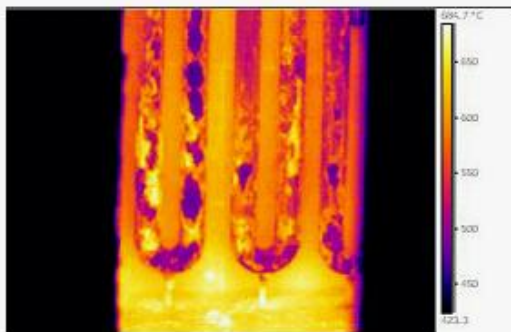


Figura 5a. Patrón térmico de bordes dentados y agudos de los tubos con ensuciamiento exterior (casquilla).

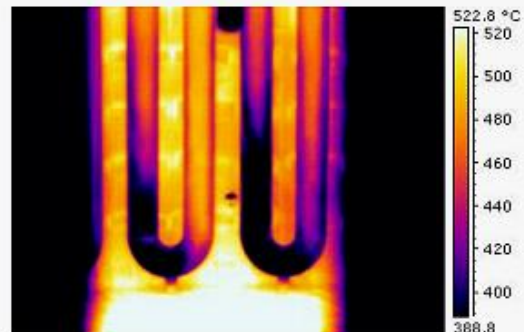


Figura 5b. Patrón térmico menos definido en tubos con ensuciamiento interior con coque.

TEMPERATURAS A TENER EN CUENTA

¿Cuál es la temperatura del horno? La respuesta por supuesto es que hay millones de temperaturas diferentes en su interior. Pero vamos a definir un conjunto de temperaturas que podemos utilizar en la discusión posterior.

1. Lectura de "**Termómetro de superficie de tubo**". Lo que leemos en los termómetros de superficie, que es fundamentalmente la propia temperatura del sensor.
2. **Temperatura real de la superficie del tubo**. Lo que leemos con la cámara infrarroja sobre la superficie, sea cual sea esta superficie.

3. **Temperatura de la superficie metálica.** La temperatura real de la superficie metálica del tubo. Esta temperatura no debe exceder el límite de diseño del material del tubo. Sólo se puede medir con la cámara infrarroja sobre una zona limpia de la superficie del tubo.

MALENTENDIDOS SOBRE LOS TERMÓMETROS DE SUPERFICIE

Aquí tenemos otro pequeño esquema. ¿Dónde exactamente podemos encontrar estas tres temperaturas?

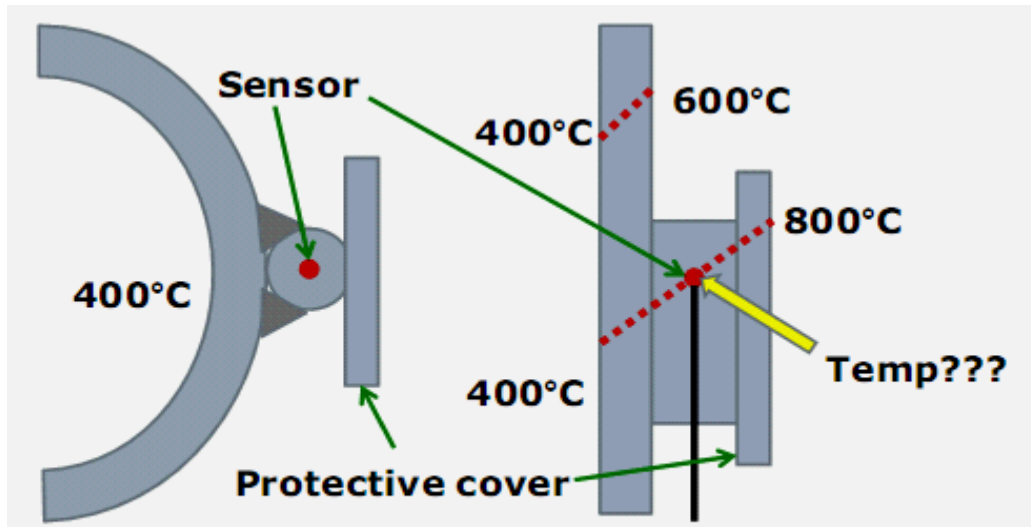


Figura 6. Esquema de la disposición del termopar. Se toma la temperatura en algún punto dentro de un sistema de transmisión de calor muy complejo. El dibujo de la izquierda muestra una sección de corte a través del tubo, y en el dibujo de la derecha la sección es a lo largo de la longitud del tubo

Sorprendentemente, el termómetro de superficie no mide realmente sobre la superficie real del tubo. "¿Y qué?" Puede usted decir: "Está suficientemente cerca". Bueno, vamos a ver que gradientes de temperatura se presentan en un caso normal. Haremos suposiciones razonables, con algunos números adecuados para que sea fácil hacer los cálculos.

Supongamos primero que no hay ensuciamiento exterior en la superficie del tubo:

- El fluido de trabajo está a 400 ° C

- La temperatura de la superficie del tubo es la temperatura de la superficie del metal, 600 ° C

- La cubierta de protección del termómetro de superficie está a 800 ° C

¿"Cubierta de protección"? Sí, por lo general estos termómetros tienen cubiertas protectoras. ¿Por qué? Observe el dibujo inferior.

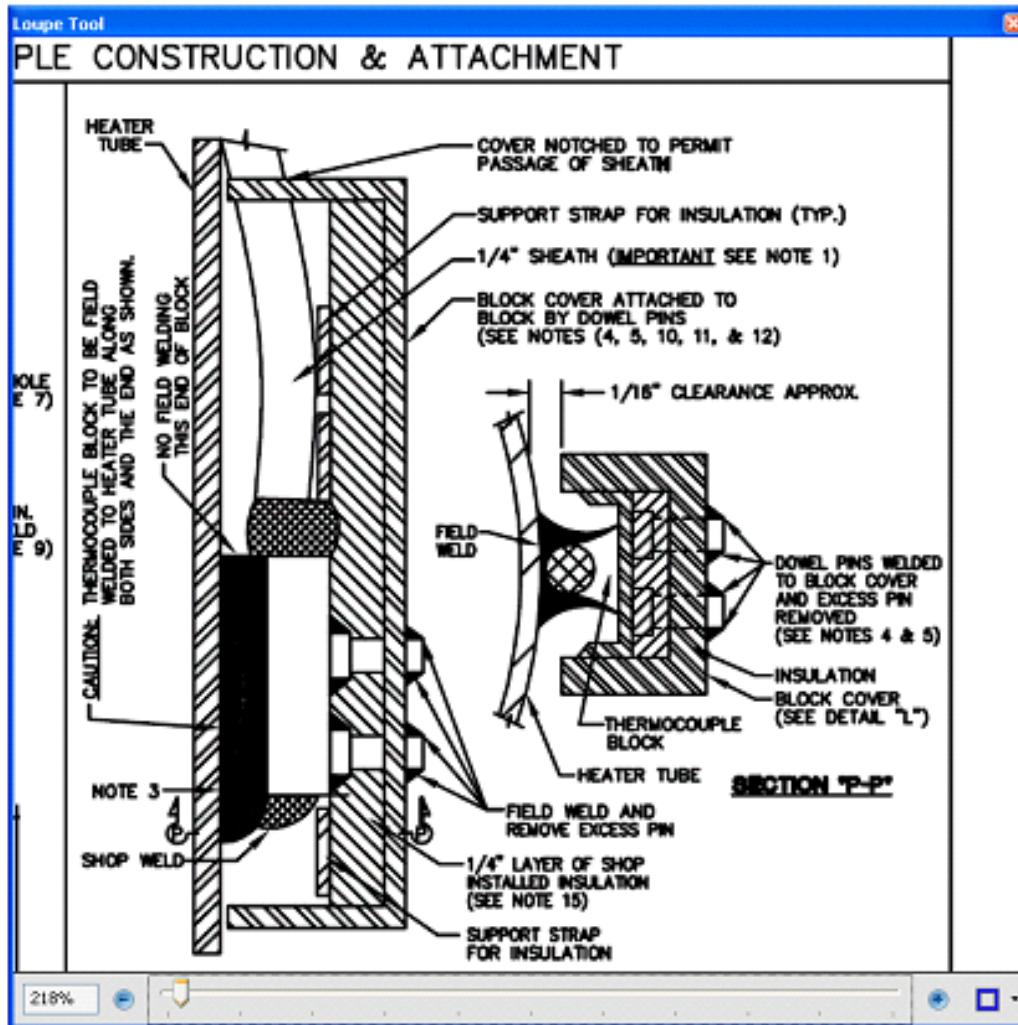
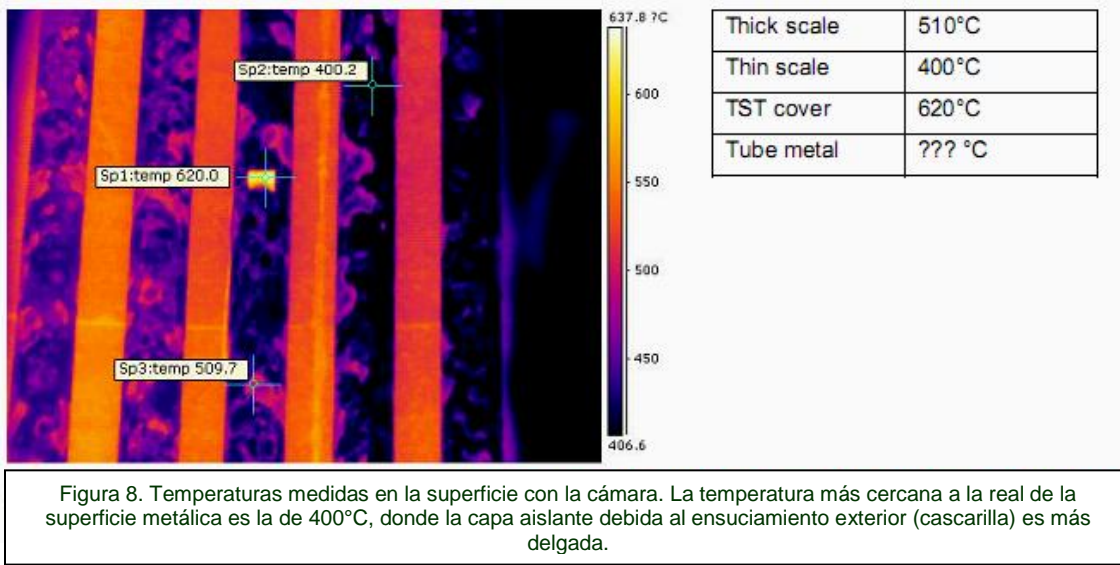


Figura 7. Plano de un termopar típico de medida de temperatura de superficie de tubo.
Existen varios diseños diferentes.

Es un esquema de un termómetro de superficie de tubo. Se montan en el exterior del mismo, por lo general soldados. Todo el mundo entiende que si no llevara cubierta protectora, el termómetro estaría muy expuesto a las llamas y la medida de temperatura sería demasiado alta en comparación con la temperatura de la superficie del tubo, ya que no estaría sometido al propio proceso de enfriamiento, descrito por parte del fluido de trabajo. Observe el texto en la parte inferior que dice 1 / 4" CAPA DE AISLAMIENTO PREINSTALADO.

A continuación se muestra una imagen térmica real de un termómetro de superficie. Podemos ver cómo el exterior de la cubierta protectora está muy caliente. El aislamiento que cubre el sensor permita reducir el calor absorbido de la llama compensando así la falta de efecto refrigerante del fluido que circula por dentro del tubo, por lo que se espera que si el diseño es correcto, la medición este cercana a la temperatura de la superficie metálica del tubo.



El sensor dentro de la cubierta protectora medirá simplemente su propia temperatura, al igual que cualquier termómetro de contacto. Pero tenga en cuenta los gradientes térmicos producidos en esta compleja configuración. Tenemos 200K de diferencia de temperatura entre la superficie interior y exterior del tubo. Si el espesor de esta pared es de 10 mm, esto supone un gradiente térmico de 20K por milímetro! Desde el interior hasta el exterior de la cubierta protectora tenemos un gradiente de 400K. Y en algún punto de su interior esta el sensor. ¿Exactamente dónde cree que va a medir? ¿Y cuál será la temperatura en esa posición? Se medirá la temperatura real de la superficie metálica del tubo SI, y sólo SI, el fabricante del termómetro de superficie ha hecho un trabajo de diseño impresionante, ajustando con una precisión increíble el espesor del aislamiento de protección, de tal manera que contrarreste exactamente la resistencia térmica extra entre el termómetro y la pared del tubo, Y el flujo de calor más alto procedente de la llama.

He visto ejemplos de concordancia casi perfecta entre la medición de la cámara y la de los termómetros de superficie de tubo. El horno tenía sólo tres meses desde la primera puesta en marcha y los tubos estaban limpios y casi perfectos. Esto es francamente muy raro.

¿Qué cree que pasará cuando la cubierta protectora también comience a ensuciarse? Yo personalmente creo que hay una gran posibilidad de que las medidas empiecen a fallar...

El efecto aislante aumentará y la lectura probablemente será menor, porque el efecto de enfriamiento del fluido de trabajo será compensado excesivamente respecto al calor recibido desde la llama. El termómetro de superficie de tubo ya no estará térmicamente equilibrado.

Tontería desmontada: Contrariamente a la creencia popular, no se puede esperar que un termómetro de superficie mida la misma temperatura que la cámara infrarroja. Son fenómenos diferentes.

MALENTENDIDO ACERCA DE LA EMISIVIDAD

Lo dicho no nos importa mucho a los termógrafos, porque lo que va a pasar es que el tubo tendrá ensuciamiento exterior, y esto es lo que tendremos.

- El fluido de trabajo está a 400 ° C

- La temperatura de la superficie del tubo es de 700 ° C
- La temperatura de la superficie de metal es de 600 ° C
- La cubierta protectora del termómetro de superficie está a 800 ° C.

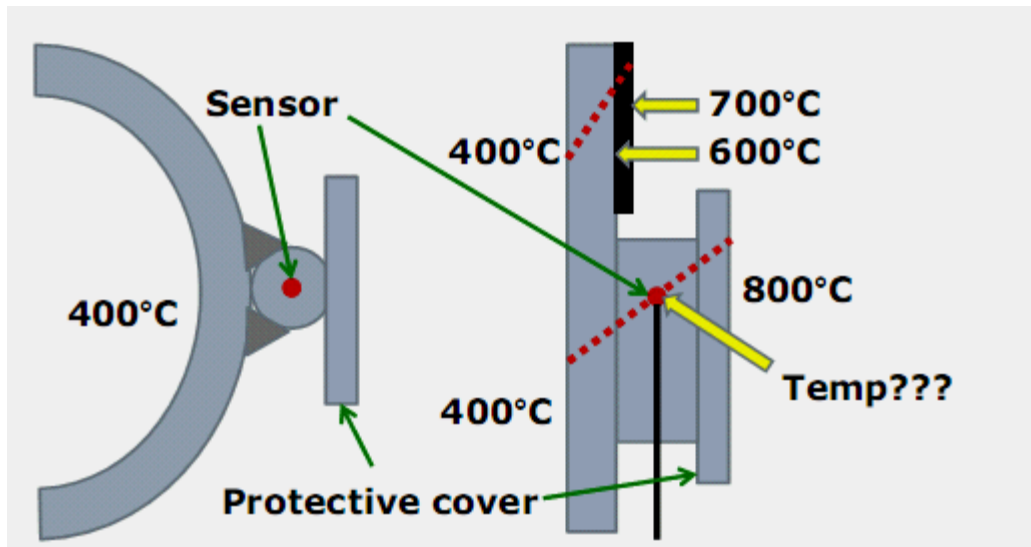


Figura 9. El ensuciamiento exterior sobre el tubo modificará la temperatura superficial que lee la cámara. Esa temperatura NO PUEDE ser usada para estimar la emisividad!

Supongamos para poder entenderlo mejor, que el termómetro de superficie mide de hecho la verdadera temperatura de la superficie metálica, y la está utilizando para hacer un test de emisividad de la superficie del tubo. En el primer caso, con el tubo sin ensuciamiento exterior, obtendría la emisividad real. (Pero ha sido una cuestión de suerte, no hay que acostumbrarse y creerse que siempre va a ser así)

En el segundo caso, como se indica arriba, la temperatura de la superficie se ha incrementado en 100 ° C. Comparando la lectura del termómetro de superficie y la de la cámara, se encuentra que la cámara está leyendo "demasiado alto". Usted confía mucho en sus termómetros de superficie por lo que ajustará la temperatura leída de la cámara configurando la emisividad de manera que "lea correcto", de acuerdo con los termómetros de superficie.

Como ya he mencionado al principio, en un horno a veces las cosas van al revés, también cuando se cambia el ajuste de emisividad. Esto se debe a que estamos trabajando con algo más frío que el entorno que lo rodea. (Si no me cree, juegue un poco con su cámara y verá.)

Si usted ha hecho bien las cosas con la Temperatura Aparente Reflejada (TAR), habrá fijado una TAR mayor que la temperatura del tubo (para la explicación del por qué de esto, consulte mi artículo del InfraMation 2002). En este caso, un valor menor de emisividad le dará una lectura de temperatura más baja en el tubo más frío que el entorno. Esto es lo que tiene que hacer para obtener el valor "correcto" de emisividad. Y te dices a ti mismo: "Vaya, la superficie del tubo con gran cantidad de corrosión y suciedad me da una emisividad inferior a la que tenía cuando estaba bonito y limpio. ¡Imagínese eso!" Bien, bien. Seamos serios, amigos, eso es imposible.

Tontería desmontada: Contrariamente a la creencia popular, no se pueden utilizar las temperaturas obtenidas con un termómetro de superficie para medir la emisividad porque ellas miden el mismo lugar

Otra tontería: Contrariamente a la creencia popular, la emisividad del tubo no disminuye cuando se ensucia y se corroe.

¿EN QUÉ MAGNITUD CAMBIA UNA ANOMALÍA EL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED DEL TUBO?

Cuando tenemos ensuciamiento exterior y/o coque, ambos tienen el efecto de aislar la pared del tubo y reducir el flujo de calor transmitido al fluido interior. Esto puede contrarrestarse aumentando la potencia de la llama de los quemadores e incrementando la diferencia de temperatura, de modo que se mantenga la temperatura de salida.

Aquí hay un termograma que muestra esto muy bien, con mucho ensuciamiento en el exterior de los tubos.

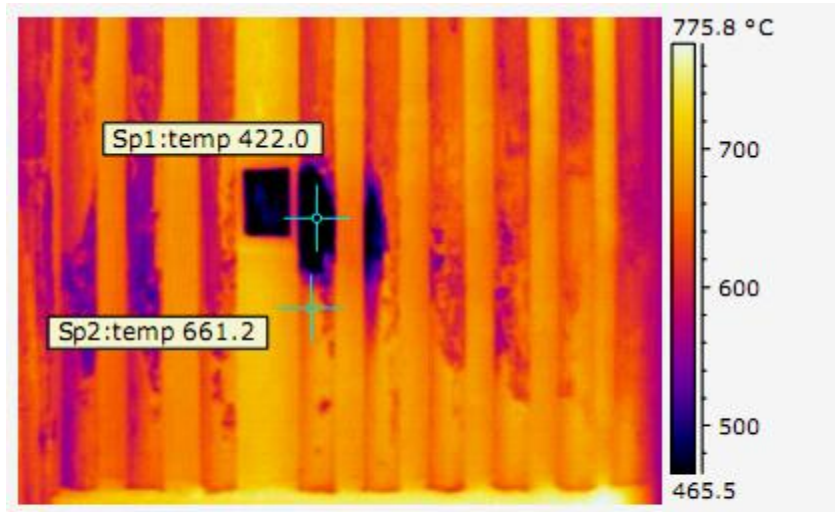


Figura 10. Tubo de horno con una zona limpia. Donde el tubo está limpio, es más eficiente térmicamente y la cámara nos está dando una lectura muy cercana a la temperatura real de la superficie metálica, hasta que se forme ensuciamiento de nuevo.

La zona oscura al lado de la ventanilla se ha limpiado con vapor, por lo que no hay presencia de ensuciamiento exterior. Ahora estamos mirando una superficie limpia. La reacción inmediata de muchos termógrafos es que la emisividad ha disminuido, tenemos un reflejo. No, piense un poquito más! El tubo está **FRIO** en comparación con todo lo demás. Si reflejase mucho, aparecería más **CALIENTE**. Sigo usando el mismo valor de emisividad, ya que aunque está limpio, la fina capa de óxido en la superficie nunca va a desaparecer, así que todavía estamos mirando al óxido, no al metal.

“EL PUNTO FRIO ES EL PUNTO CALIENTE”

Si se le pregunta si es seguro aumentar la potencia de llama de los quemadores respecto a la temperatura del tubo y a la seguridad del horno, es necesario pensar bien el significado de la pregunta y adonde debe mirar para encontrar la respuesta. Si se le hace esa pregunta es porque el coque y/o el ensuciamiento exterior han reducido la eficiencia del horno, y el personal de operación quiere introducir más potencia.

En primer lugar, debe averiguar si hay coque y estudiar esta cuestión con cuidado. Esta es una tarea cualitativa que está, en parte, fuera del objetivo de este artículo. Pero la temperatura de interés será la temperatura en la superficie del tubo en la zona caliente donde en el interior hay coque. Eso es peligroso!

Le sugiero que en un tubo presentando coque incluso siempre considere la medida de temperatura más elevada, no importa que haya ensuciamiento exterior (cascarilla) que tenga un efecto aislante.

Esto es diferente en tubos que sólo presenten ensuciamiento exterior. Si procede a medir la temperatura más alta que encuentre sobre los tubos, hará que su empresa / cliente pierda dinero! No debería medir en las partes más calientes cuando haya ensuciamiento exterior, porque debajo del ensuciamiento el tubo estará más frío. Las partes más calientes del interior del tubo de metal son las que aparecen más frías en su imagen térmica, ya que reciben el calor directamente de la llama, sin la protección térmica del ensuciamiento exterior. Si usted mide sobre dicha capa de ensuciamiento, la respuesta a la pregunta del personal de proceso es que no suban más la potencia porque los tubos están muy calientes. Realmente el metal no está tan caliente en absoluto. La producción se verá afectada porque en lugar de subir la potencia de los quemadores para compensar la pérdida de eficiencia, aconsejará que se reduzca, con lo que la temperatura de salida será inferior a la necesaria.

En realidad, hasta ahora muchos termógrafos compensan un error con otro: al utilizar un ajuste de emisividad que se basa en la lectura del termopar y por tanto es demasiado bajo, la medida de temperatura que obtienen está más cerca a lo que todos suponemos que debe tener, pero esto vuelve a ser una cuestión de pura suerte.

EMISIVIDAD DEL TUBO DEL HORNO

Entonces, ¿cuál es la emisividad del tubo de un horno? Si los termómetros de superficie no pueden ayudarnos a medir la emisividad, ¿cómo la medimos? Realmente no hay una forma práctica de medir la emisividad en un tubo de un horno en funcionamiento. Si alguien tiene alguna sugerencia, por favor que lo diga! Por supuesto podríamos tomar muestras y hacer una prueba fuera del horno. Eso está en mi lista de buenos deseos pero nunca lo hago en la práctica. Además, dudo de la utilidad de tal medición...

Hay seis factores que afectan a la emisividad:

- Material
- Estado de la superficie
- Ángulo
- Geometría
- Longitud de onda
- Temperatura.

Material: El material que realmente vemos es el óxido mezclado con la "suciedad", la escoria formada en la superficie. Nunca se verá el metal, ni siquiera en la mayoría de tubos nuevos, y si es así, de todos modos lo más probable es que la superficie de los tubos se corra rápidamente.
Conclusión: Alta emisividad.

Estado de la superficie: La superficie suele ser rugosa. Conclusión: Alta emisividad.

Ángulo: El ángulo será variable, pero normalmente miramos en perpendicular a los tubos.
Conclusión: La emisividad no es reducida por los efectos del ángulo en los tubos de un horno, exceptuando en el contorno de los mismos.

Geometría: La geometría no será un factor relevante, porque normalmente no hay huecos, ángulos, o cavidades que haya que tener en cuenta. Conclusión: No aplicable.

Longitud de onda: La longitud de onda estará en una estrecha banda en torno a 3,9 micras. La emisividad puede ser un poco menor para longitudes de onda más cortas en algunos materiales, a veces porque puede haber algo de transmisividad y se podría llegar a ver a través del metal.

Sin embargo, los productos de la corrosión y el ensuciamiento no es probable que estén entre los materiales transparentes. La cámara del horno tendrá un filtro de banda estrecha, por lo que la emisividad no va a cambiar tampoco por razones espectrales. **Conclusión:** No hay razones para suponer una baja emisividad.

Temperatura: La temperatura será alta. Altas temperaturas en los metales por lo general significan alta emisividad. Y de nuevo, no hay ninguna razón para cambiar la emisividad debido a problemas espectrales. **Conclusión:** La emisividad es probablemente alta.

Por lo tanto, dadas las condiciones del tubo del horno me pregunto ¿qué razón tenemos para creer que la emisividad será baja? Realmente no puedo encontrar ninguna en absoluto. Creo que el factor más importante es el material - óxido de metal, y la suciedad. En cualquier situación en la que me he encontrado hasta ahora como termógrafo, corrosión y suciedad siempre han supuesto emisividad elevada, en torno a 0,95.

Tontería desmontada: será muy difícil convencerme de que la emisividad estará por debajo de 0,90 en un tubo de horno. Simplemente no hay razones por las que debería ser así, que yo pueda entender. Es raro que sea mayor de 0,95. Por tanto cualquier valor entre 0,90 y 0,95 es una buena estimación. Así que uso 0,93 como valor por defecto en los hornos, simplemente por poner un valor. Pero si varían hacia arriba y abajo este valor entre 0,90 y 0,95 encontrarán que con este valor de partida de emisividad tan alto el efecto sobre la temperatura medida es realmente muy pequeño.

La imagen de abajo muestra algunos tubos inoxidables en la sección de convección de un horno. Me dijeron que tenían baja emisividad, en torno a 0,70 o incluso menos.

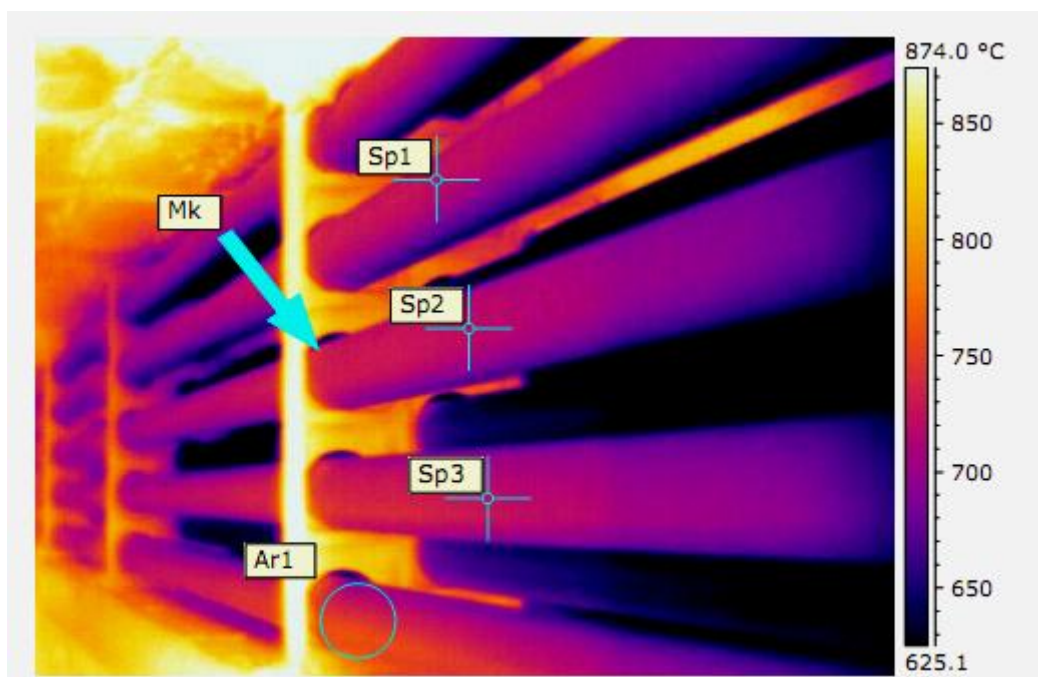


Figura 11. Tubos inoxidables en la sección de convección de un horno. Los gases de combustión fluyen de izquierda a derecha y ligeramente desde abajo de la imagen.

En realidad sólo hay que mirar la imagen para darse cuenta de que la emisividad de los tubos no puede ser tan baja. Debe ser alta. Sí, los tubos son de acero inoxidable, pero no, no estamos viendo una superficie de acero inoxidable limpia en absoluto, porque con una superficie de acero

inoxidable de verdad deberíamos ver algún reflejo del soporte caliente al lado del tubo, en la flecha.

Pero no hay reflejo! Por lo tanto, debe tener baja reflectividad y alta emisividad. Una creencia optimista, no obstante, establecería que la emisividad debe ser menor, de modo que el valor de temperatura medida sea más bajo, por lo que el tubo no estaría tan caliente en relación a su especificación. De todos modos, el tubo puede que no esté demasiado caliente, sólo tiene algo de ensuciamiento sobre él, como se explicó anteriormente. La siguiente tabla muestra los resultados de diferentes ajustes de emisividad.

Emissivity	0.93	Emissivity	0.70
Reflected Apparent Temperature	815.0 °C	Reflected Apparent Temperature	815.0 °C
Atmospheric Temperature	990.0 °C	Atmospheric Temperature	990.0 °C
Object Distance	1.0 m	Object Distance	1.0 m
Ar1 Max. Temperature	789.0 °C	Ar1 Max. Temperature	780.2 °C
Sp1 Temperature	724.4 °C	Sp1 Temperature	*690.8 °C
Sp2 Temperature	723.3 °C	Sp2 Temperature	*689.2 °C
Sp3 Temperature	724.5 °C	Sp3 Temperature	*691.0 °C

Figura 12. El uso de un valor de emisividad correcto mostrará una temperatura superficial por encima de la especificación del tubo que es de 700°C

Figura 13. Utilizando la emisividad sugerida de 0,70 las temperaturas se verán correctas comparadas con la especificación del tubo. Pero esto no es verdad.

CONCLUSIONES

Se han hecho durante mucho tiempo mediciones de temperaturas en tubos de horno con cámaras infrarrojas, pero hasta el momento con suposiciones falsas, en mi opinión.

He visto demasiados ejemplos de termógrafos que recogen datos de los termopares y tratan de ajustar la cámara para que las mediciones den valores "razonablemente correctos". Tenemos que empezar a confiar en nosotros mismos y en nuestros instrumentos y no dejarnos convencer de que los termómetros de superficie están siempre "en lo correcto".

Para mí, la clave para desentrañar el misterio ha sido el entendimiento de que el ensuciamiento exterior en los tubos tiene una resistencia térmica mucho mayor de lo que la mayoría de la gente cree, y que la emisividad no constituye el problema principal - si todo nos dice que debe ser elevada, ¿por qué no creerlo? Una vez que los malentendidos están fuera del camino, las piezas del rompecabezas comienzan a encajar muy bien.

Entendiendo todo esto, necesitamos nuevas metodologías y procedimientos para utilizar la cámara de IR en hornos, y yo justamente estoy desarrollando eso. Lo que se requiere es un enfoque sistemático que utilice una línea de base y de tendencia para ver cómo evoluciona el horno con el tiempo, entre otras cosas.

ACERCA DEL AUTOR

Mikael Cronholm es termógrafo Nivel III y ha estado trabajando en la industria de la termografía durante casi 20 años. Comenzó su carrera como Director de Producto de Sistemas de infrarrojos de Agema en Suecia, que ahora es parte de FLIR. A partir de 1992, Mikael ha trabajado por cuenta propia en asesoramiento y formación. Después de cinco años en la enseñanza en Suecia y los países de alrededor se unió al ITC como instructor autorizado en 1999 y ha estado enseñando termografía en todo el mundo, en un total de 35 países hasta el momento. Después



de trasladarse a Tailandia, unos años atrás, ha desarrollado una empresa como distribuidor de FLIR Systems y otras marcas relacionadas con IR. Sin embargo, los viajes y la capacitación siguen siendo parte de su agenda, con cerca de 25 cursos por año.

Mikael desarrolló el curso de Nivel 1 de capacitación para el ITC en el 2002 y el curso ha sido muy popular en todo el mundo desde entonces - ahora está traducido a más de 17 idiomas! Más recientemente, Mikael ha desarrollado el curso Aplicaciones y Gestión Avanzada para la Termografía industrial y dos cursos de capacitación sobre Termografía en tubos de horno, uno básico para principiantes y otro avanzado que requiere un nivel I primero.

Mikael puede ser contactado por e-mail: mikael@cronholm.com