

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| C.N.E.A. Biblioteca   |             |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |             |
| Nº<br>1               | AÑO<br>1982 |

01.82.41

V.2 - 389.-

EXPERIENCIAS EN LA APLICACION DE LA  
TERMOGRAFIA (PARTE II)

Alberto M. MENDER

INEND - C.N.E.A. - R. ARGENTINA.-

RESUMEN-

En el campo de los Ensayos no Destructivos, las técnicas que utilizan radiación infraroja se han incrementado sensiblemente en los últimos años. Tal es el caso de la termografía que permite establecer una conversión en imagen visible de la radiación infraroja emitida por los cuerpos.

El presente trabajo constituye una continuación del presentado en la I COREND (Buenos Aires, junio 1979) y muestra la experiencia recogida en aplicaciones industriales en nuestro país hasta el presente.

Oportunamente se enfatizó en las aplicaciones a nivel laboratorio y en esta ocasión se muestran las aplicaciones realizadas en áreas tales como la petroquímica, siderurgia, eléctrica, etc., mostrando a la termografía como una herramienta poderosa para el mantenimiento preventivo y predictivo en plantas en general.

INTRODUCCION -

Fundamentalmente se presentan y se muestran los alcances, usos y posibilidades de la Termografía como método de ensayo no destructivo para la detección de defectos como pueden ser: deposición en caños o tuberías de hornos, adelgazamiento de caños o tubos, defectos de alternadores, sobrecalentamiento en líneas de alta tensión, fugas de vapor en turbinas, etc.

Todas las experiencias se posibilitaron usando un equipo de infrarojos AGA 750 de Termovisión. Se puede decir que se muestra al infrarojo como herramienta para solucionar problemas asociados a los END como son aparte de los mencionados, el mantenimiento y prevención de fallas en servicio de instalaciones.

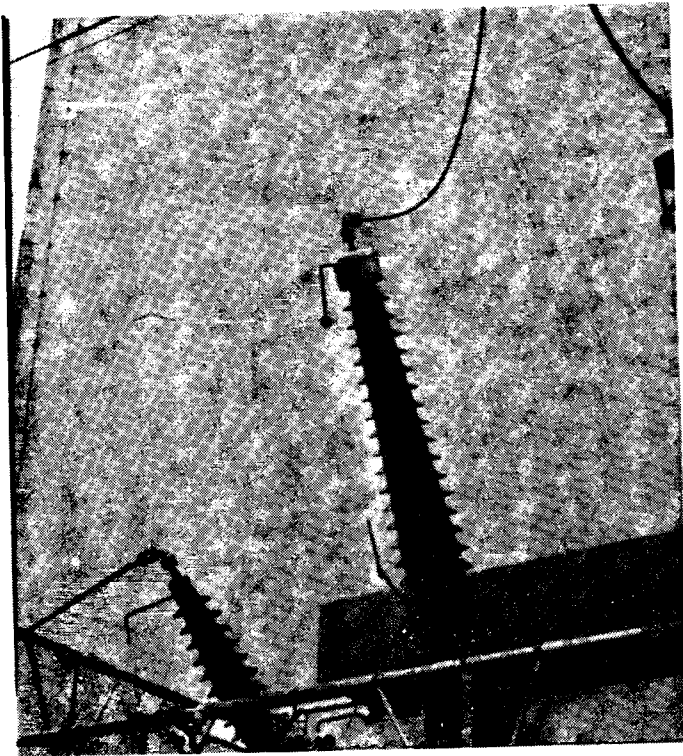
TERMOGRAFIA

Todos los objetos emiten calor, es decir, radiación infraroja. Esta radiación constantemente es absorbida y reemitida por el mismo cuerpo a todo su alrededor. Entonces la termografía es un término usado para describir un proceso de hacer visible dicha radiación térmica y además producir una imagen susceptible de interpretación. La termografía es actualmente posible en escala industrial mediante el uso de equipos como el mencionado anteriormente.

## USOS Y APLICACIONES

### Inspecciones en Plantas.

Como continuación de los ensayos de laboratorio se decidió hacer ensayos en la Central Nuclear de Atucha (CNA-1) actualmente en funcionamiento. Se comenzó por el área correspondiente a líneas de alta tensión cuya imagen visible se indica a continuación.

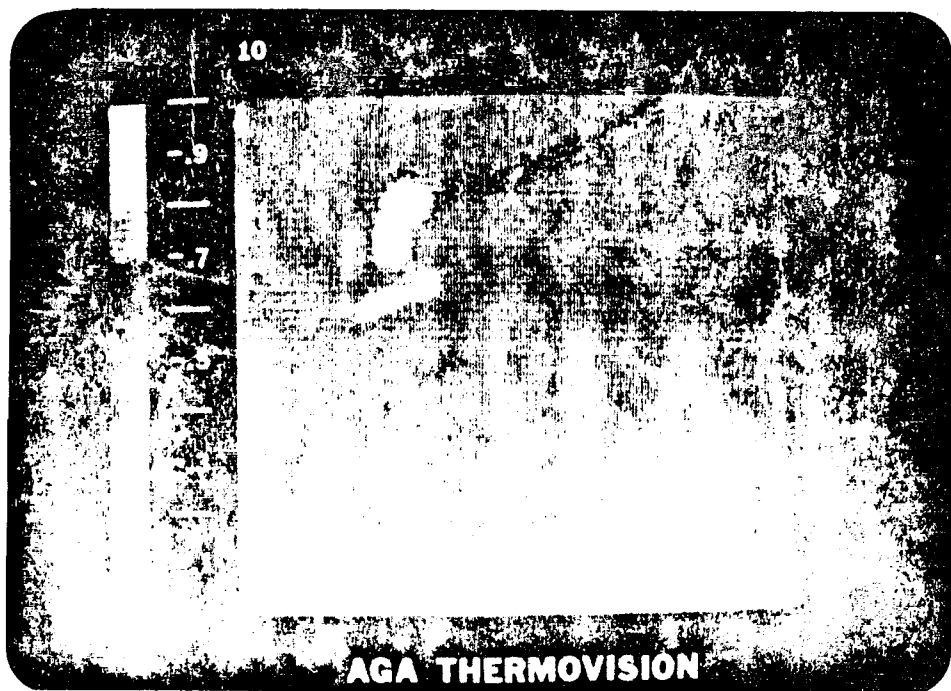


Se sacaron dos termogramas correspondientes a dos conectores fotos N°1 y N°2.

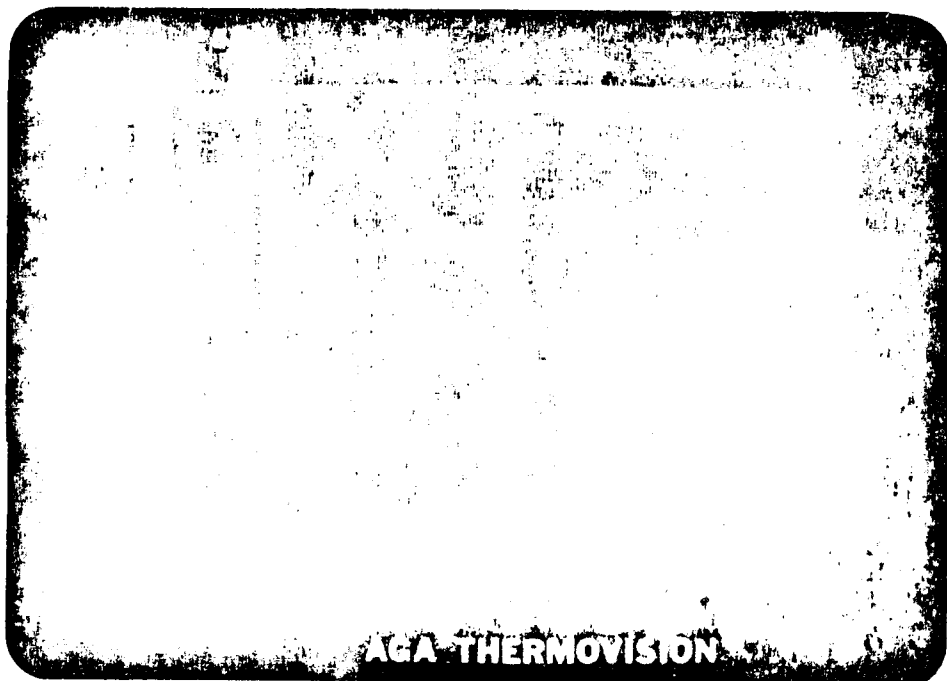
Aquí se puede observar que uno está sobrecalentado (Ver. foto N°1) aparentemente. Luego los cálculos confirmaron lo dicho. Tomando como referencia la temperatura ambiente de 14,5 °C, se calculó la temperatura del conec////

tór dando como resultado  $31^{\circ}\text{C}$  o sea una diferencia de  $16^{\circ}\text{C}$  aproximadamente sobre la temperatura ambiente. Cualquier elemento como éste que se encuentre a una temperatura excesiva no puede funcionar correctamente y en este caso este conector deberá mantenerse bajo observación. La experiencia en otros países ha demostrado que los componentes que acusen un exceso de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  o más han de ser sustituidos o revisados cuanto antes y que aquellos que tengan un exceso superior a los  $35^{\circ}\text{C}$  han de ser sustituidos inmediatamente.

Se debe destacar que estas mediciones se hicieron de noche para evitar reflexiones del sol. Por último la temperatura, del transformador en su cara externa superior, dió  $25^{\circ}\text{C}$ . Esta es efectivamente la temperatura promedio de funcionamiento ya que en su interior circula aceite a  $40^{\circ}\text{C}$ .

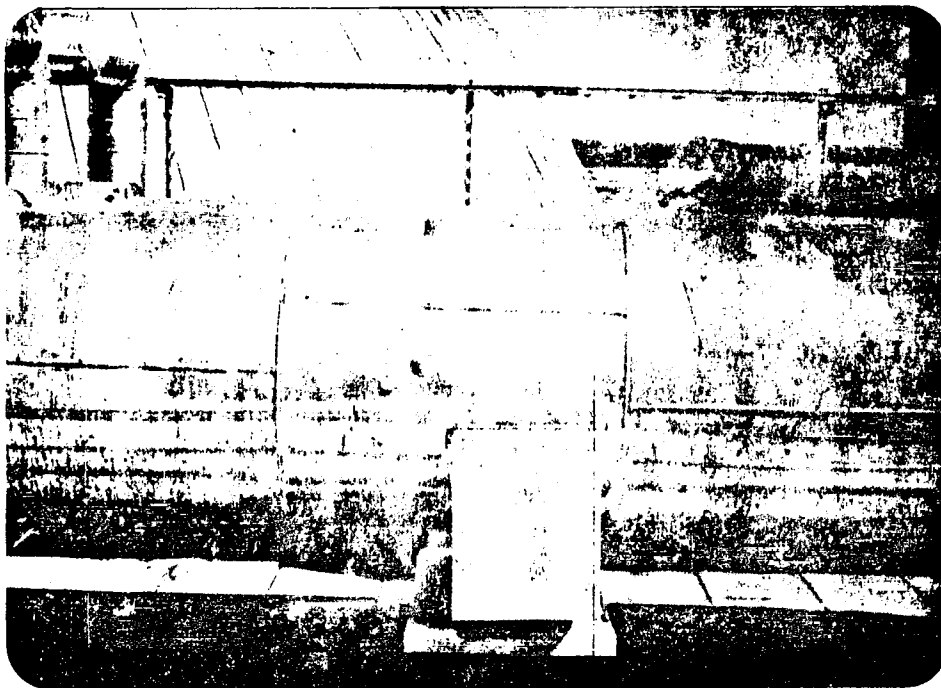


Fotografía N° 1



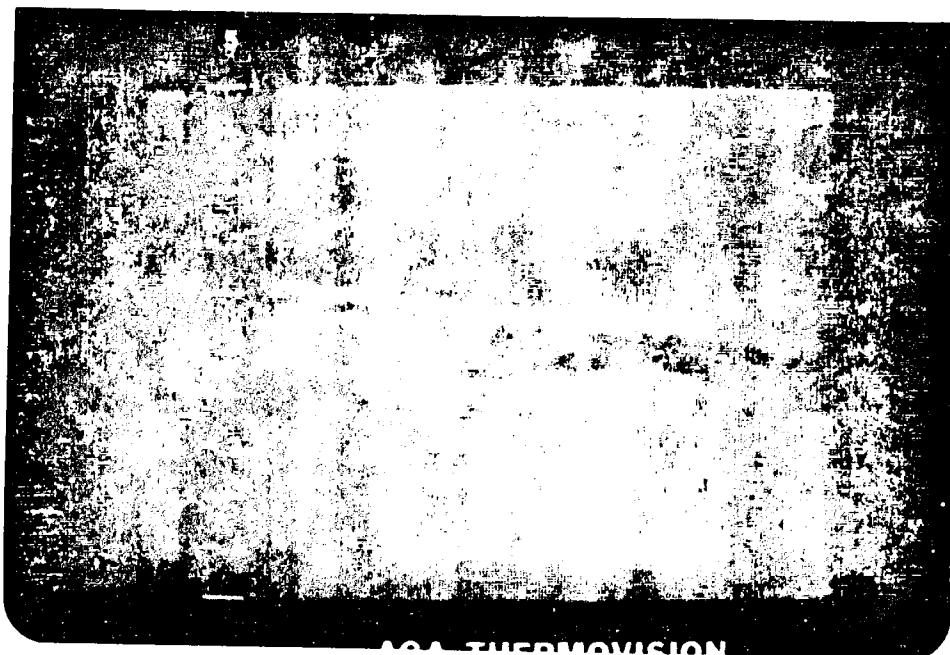
Fotografía N° 2

Siempre de noche se pasó a inspeccionar las tuberías principales que conducen vapor, desde el reactor al generador (Fotografía N°3 .)



Fotografía N°3

En este caso se sabía que en algunas zonas de las cañerías se encontraban abolladuras externas. Entonces se comenzó barriando con la cámara estos conductos y se verificó un defecto de aislación en su recubrimiento externo de aluminio. Este defecto alteró la distribución del material aislante de fibra de vidrio en su interior generando una pérdida de calor en dicho lugar como puede apreciarse en el termograma siguiente (Figura N°4 ).

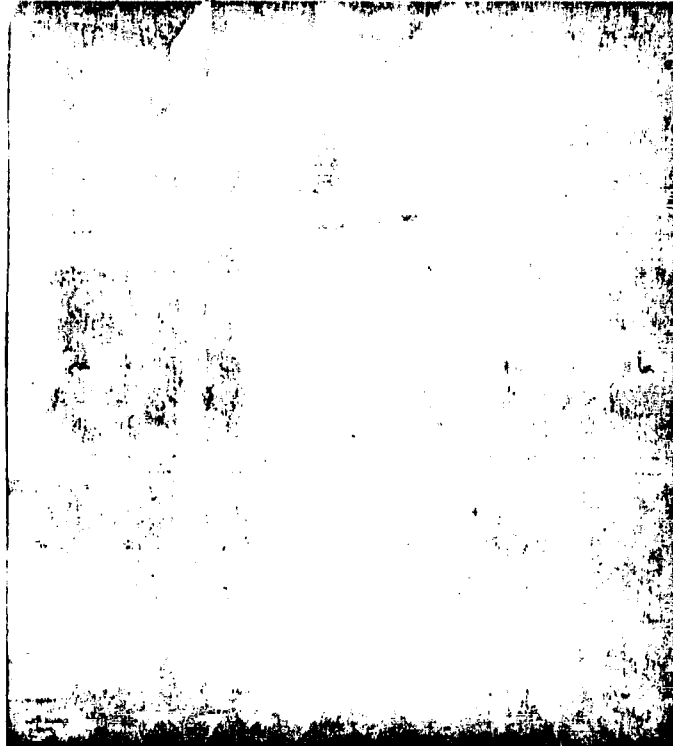


Fotografía N°4

Luego a la luz del día fue observada esa zona y efectivamente en el área detectada por la cámara se comprobó la existencia de un defecto en el recubrimiento de la cañería principal.

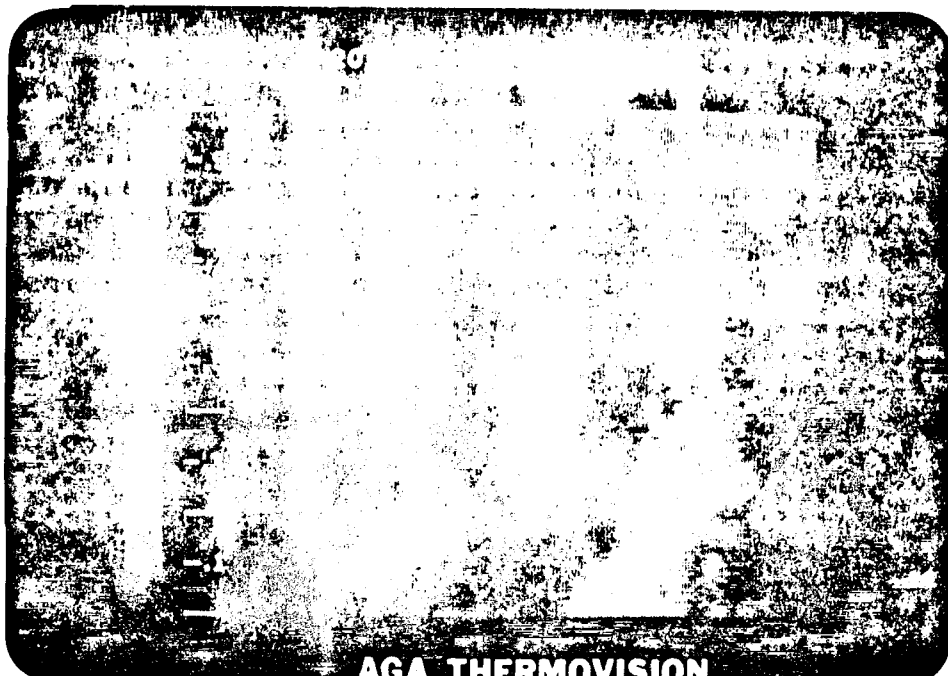
En este caso no era necesario medir temperaturas, sino verificar la existencia de un defecto que generase fuga de calor, como el descrito antes.

Por último en la C.N.A. se inspeccionó la entrada de vapor a la turbina (Fotografía N°5 ).

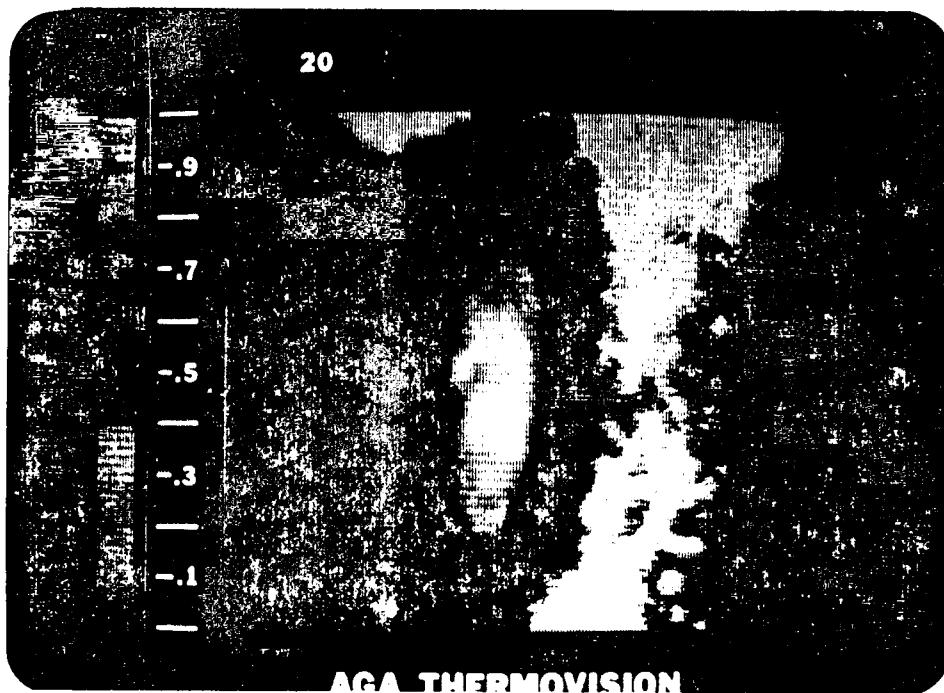


Fotografía N°5

Aquí se trataba de buscar defectos en la aislación de la entrada y se encontraron dos, como puede observarse en los termogramas que se indican en las Fotografías N°6 y N°7 .



Fotografía N°6



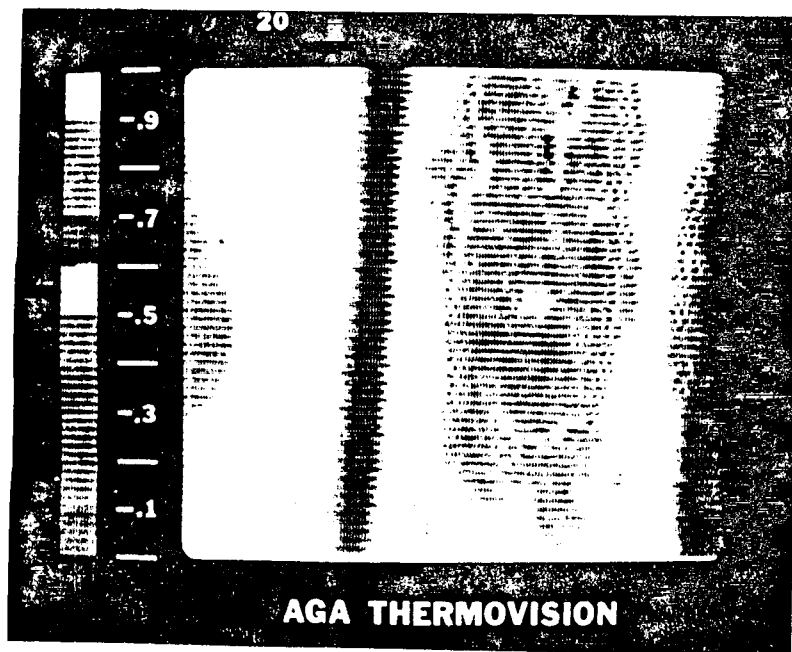
Fotografía N°7

Si bien estas pérdidas no son grandes como para crear distorsiones a la turbina, nos muestra a la termografía como una herramienta poderosa para ser utilizada en la conservación de energía en plantas industriales donde anualmente se pierde mucho dinero debido a malas aislaciones, malos diseños o también detectar como en el caso anterior causas de posibles distorsiones en la turbina.

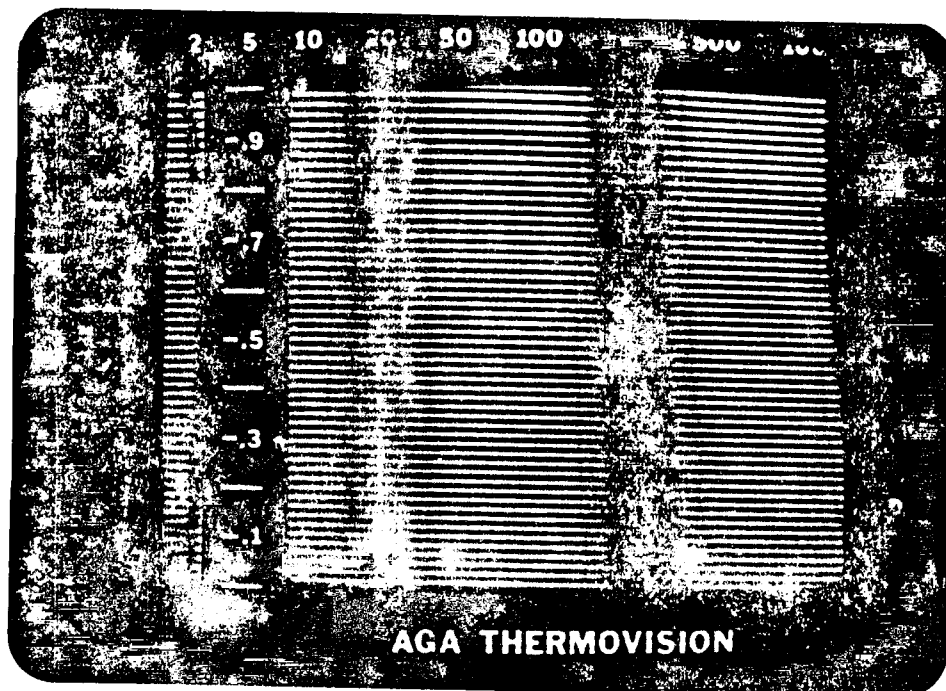
A partir de este momento el trabajo con termografía había sido realizado en casa por así decirse. Pero era necesario salir y mostrar la capacidad como nueva técnica en la industria de nuestro medio. Cabe destacar que estas fueron las primeras experiencias realizadas en la Argentina usando conversión a imagen de la radiación térmica.

La primera experiencia en planta se realizó en una inspección de un horno de crackeo de nafta. Este horno de aproximadamente 2 m de diámetro y 5 m de altura contiene en forma vertical una pared de tubos que serpentean en su interior. Por dichos tubos circula la nafta especial para el crackeo. Luego de cierto tiempo de uso se forman deposiciones de carbón en la pared interior de los tubos que obviamente dificultan el proceso. Entonces se usó la termografía como único método rápido y preciso para determinar dichas deposiciones.

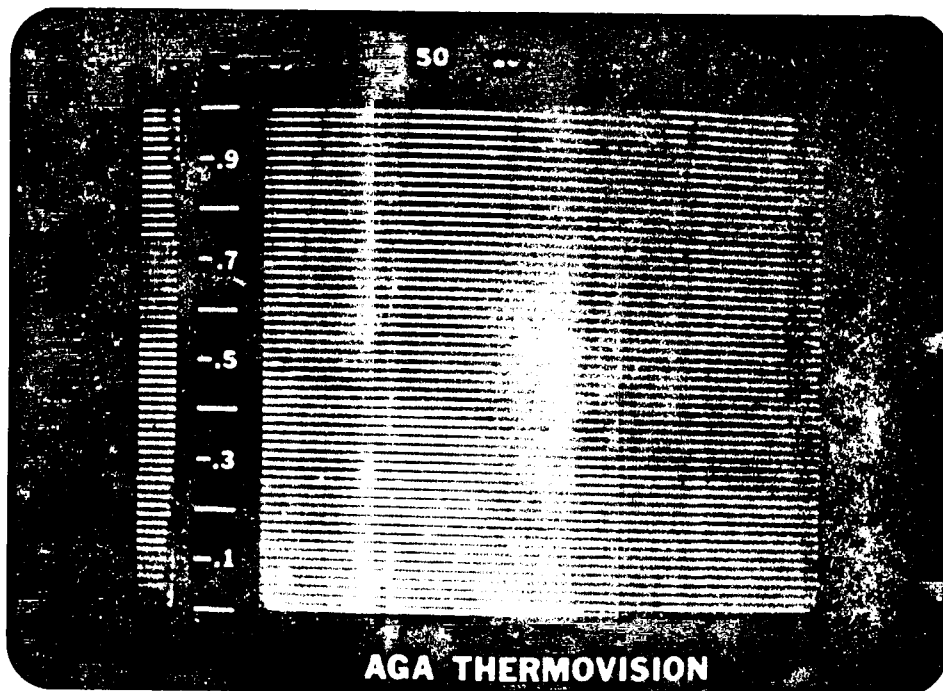
La metodología que se siguió fue de parar el funcionamiento del horno y hacer circular vapor por los tubos de manera de crear un gradiente de temperaturas desde el interior del tubo hacia el recinto del horno. Por la boca de hombre en la base del horno se introdujo la cámara infrarroja y se inspeccionaron los tubos. En las Fotografías N°8, N°9, N°10, N°11, N°12 y N°13, se pueden apreciar algunos de los termogramas obtenidos. Puede verse que aparecen tubos con distintos colores unos de otros, el color indicará, en caso de no ser idénticos, si uno está más caliente que el otro o no.



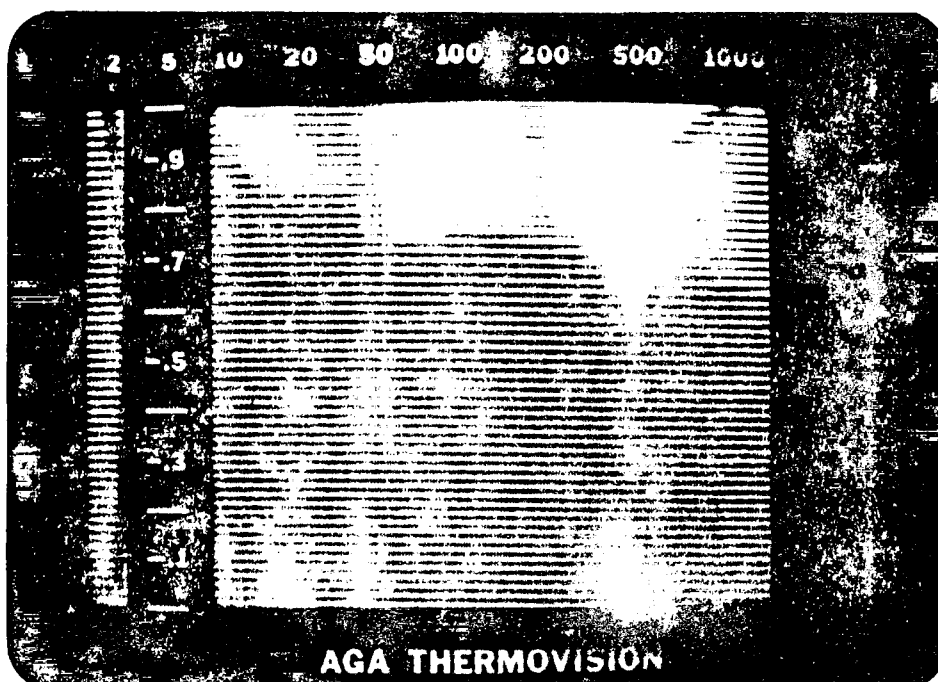
Fotografia N°8



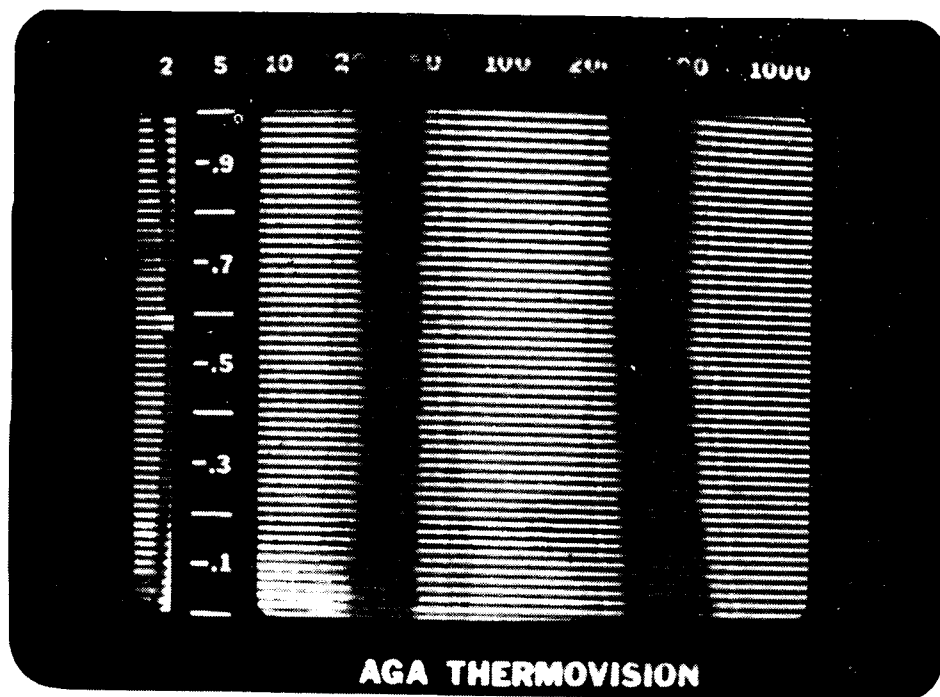
Fotografia N°9



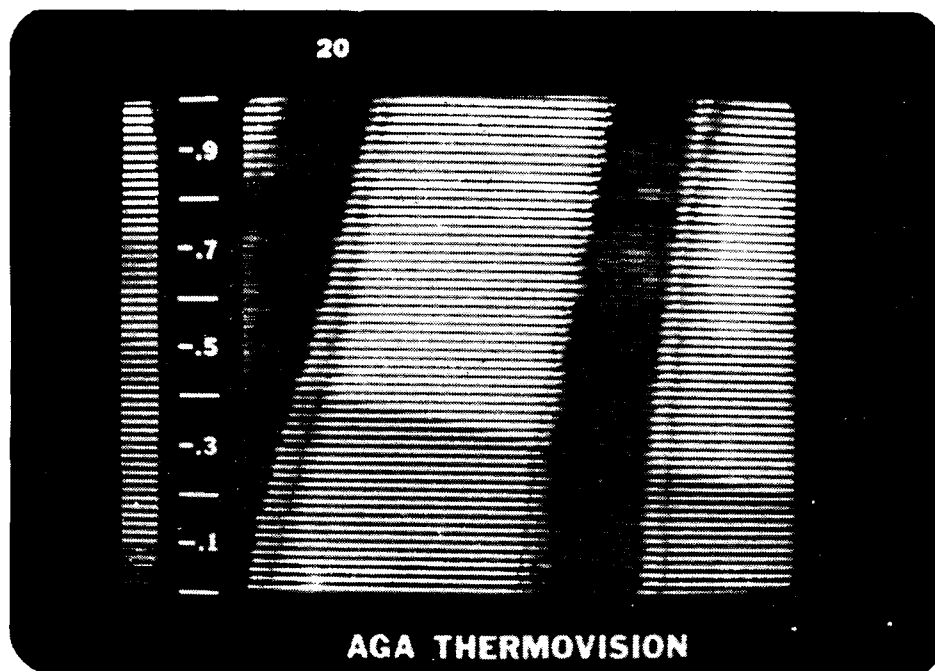
Fotografía N° 40



Fotografía N° 41



Fotografia N°12



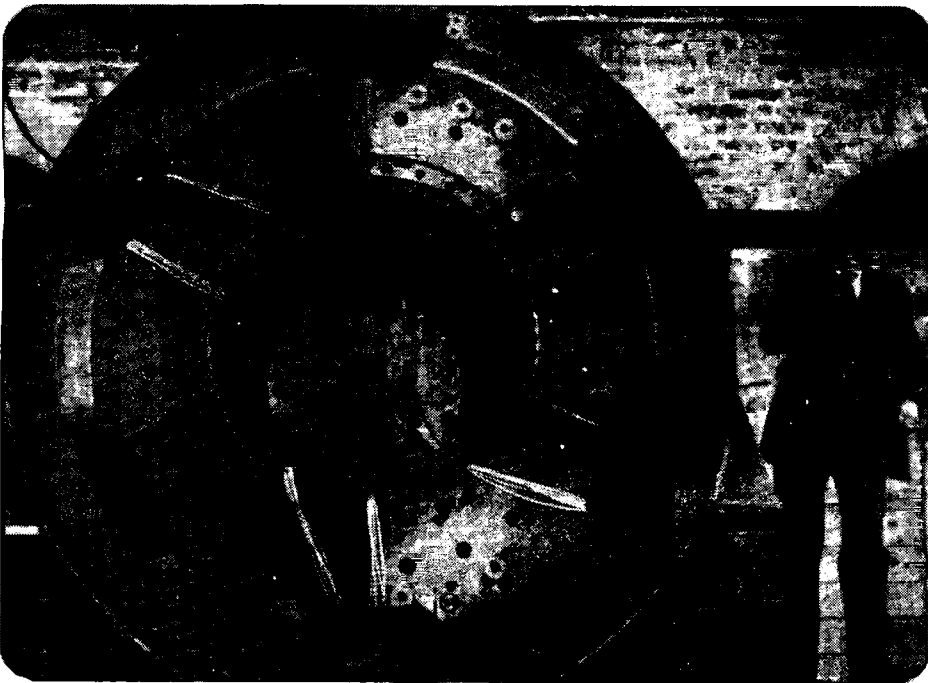
Fotografia N°13

En caso de estar más frío se puede estar casi seguro que se está ante la presencia de deposiciones que impiden la conducción del calor al exterior.

Los tubos en que se encontraron deposiciones localizadas o extendidas de carbón fueron marcados. Luego se efectuó la comprobación por un método destructivo al ser reparado por sustitución.

El tercer y cuarto trabajo en la industria, fue la evaluación en la reparación de un estator de un alternador y determinación de incrustaciones en una caldera.

Veamos primero el ensayo realizado en el estator. En la fotografía N° 14 y N° 15 se puede ver el estator y el posicionamiento del equipo de termografía.



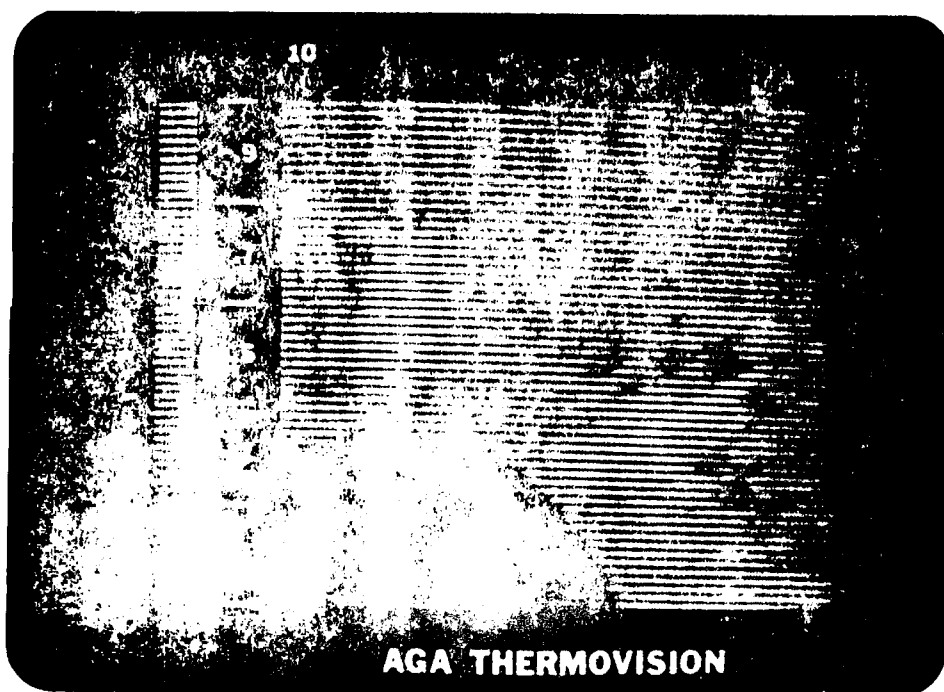
Fotografía N° 14



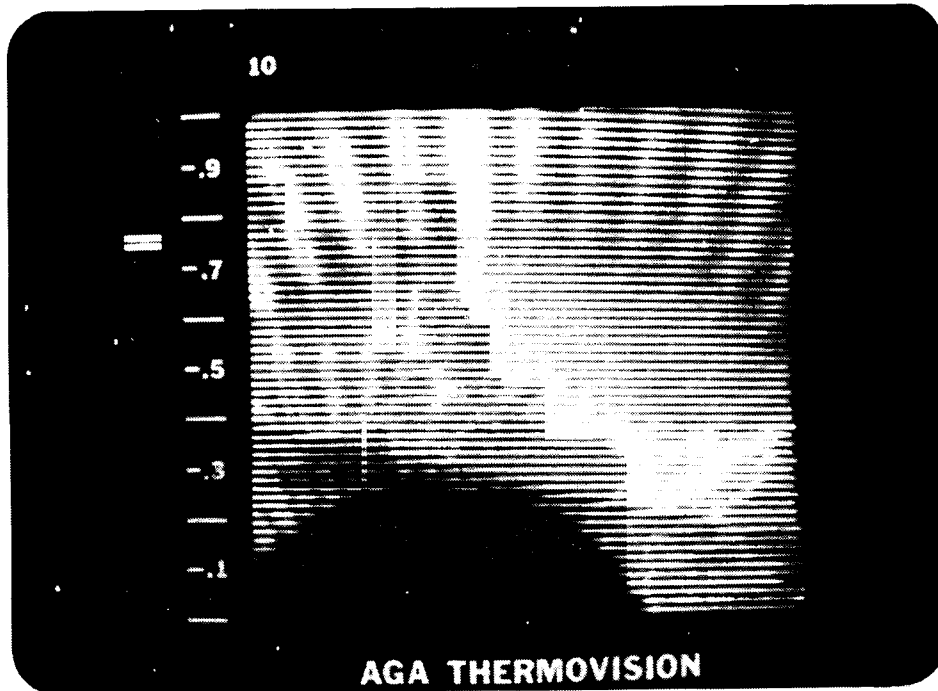
Fotografía N° 15

Esta máquina había sufrido problemas de aislación en su bobinado, por lo que fue reparada. Las especificaciones de fábrica del alternador aceptan variaciones de temperaturas de más o menos 5°C en el hueco del estator. Hasta hace poco, luego de la reparación, personal idóneo localizaba estas variaciones por medio de termocuplas o simplemente al tacto (realizado con la mano). Es obvio que el sistema de mediciones por los métodos mencionados no eran seguros ni eficientes para detectar problemas de aislación luego de reparada la máquina. Por lo tanto surgió la alternativa de medirlo por medio del equipo de Termografía.

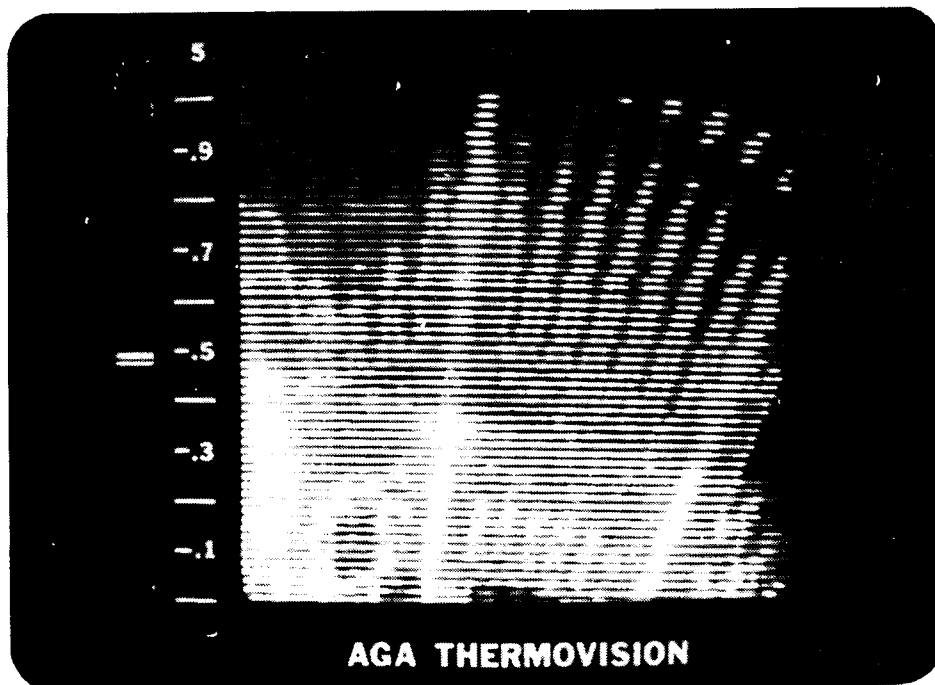
En el alternador se hizo inducir corriente por medio de un bobinado externo como se ve en las fotografías anteriores. De esta manera se simulaba el funcionamiento y durante el pasaje de corriente se sacaban termogramas. Con un termómetro de contacto se midió la temperatura de una determinada zona para ser usada como referencia. En la fotografía 16 y 17 se pueden ver termogramas tomados en el hueco del estator.



Cada color representa en este caso variaciones de  $0.7^{\circ}\text{C}$ , entre la mínima y máxima temperatura no existían variaciones mayores  $5^{\circ}\text{C}$  (dentro del hueco). En las fotografías N°18 y 19 se pueden ver los termogramas en grises.



Fotografía N°18

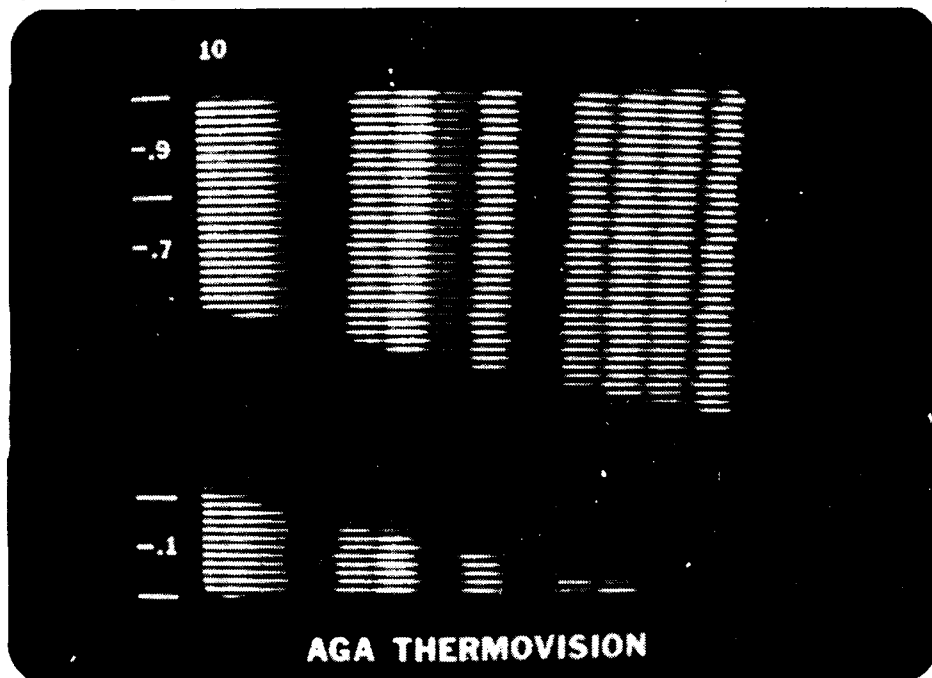


Fotografía N°19

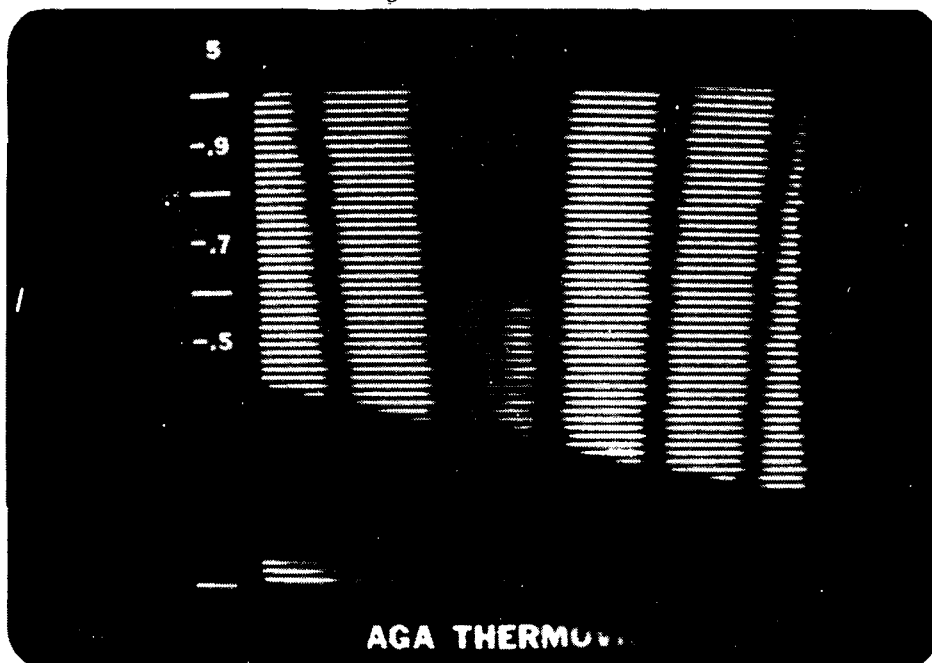
Las zonas llenas, con un blanco saturado a modo de contorno, tienen un nivel isotérmico indicado a la izquierda del termograma. En el cálculo de la temperatura se utilizó la emisividad de la pintura negra del hueco, el nivel isotérmico leído en la escala y la temperatura de referencia leída en el termómetro de contacto.

De esta manera en poco tiempo se pudo constatar la calidad de la reparación del alternador. Como se ve es una herramienta poderosa frente a otros métodos tradicionales.

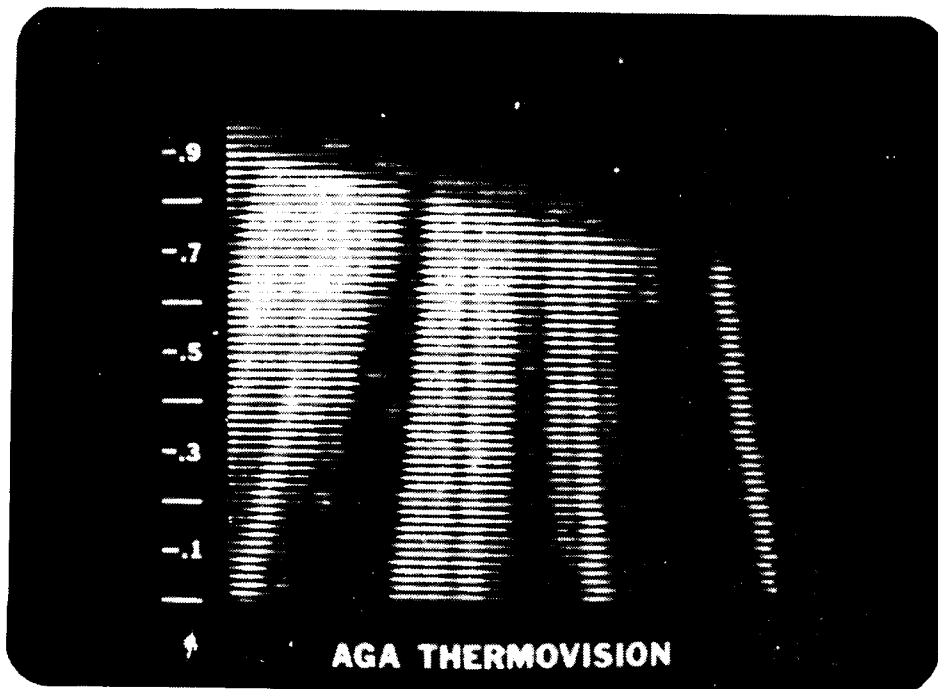
Como segunda parte del cuarto trabajo realizado se muestra a continuación la inspección de una caldera. En este caso como en el anterior estaba claro lo que se buscaba : incrustaciones en los tubos. La metodología de inspección fue similar a la inspección del horno de crackeo de nafta. Se hizo circular agua a **40 °C** por la pared de tubos de la caldera y se introdujo la persona y el equipo adentro del hogar. Los termogramas obtenidos se pueden ver, algunos en las Fotografías N° **20**, N° **21**, N° **22**, N° **23** y N° **24**.



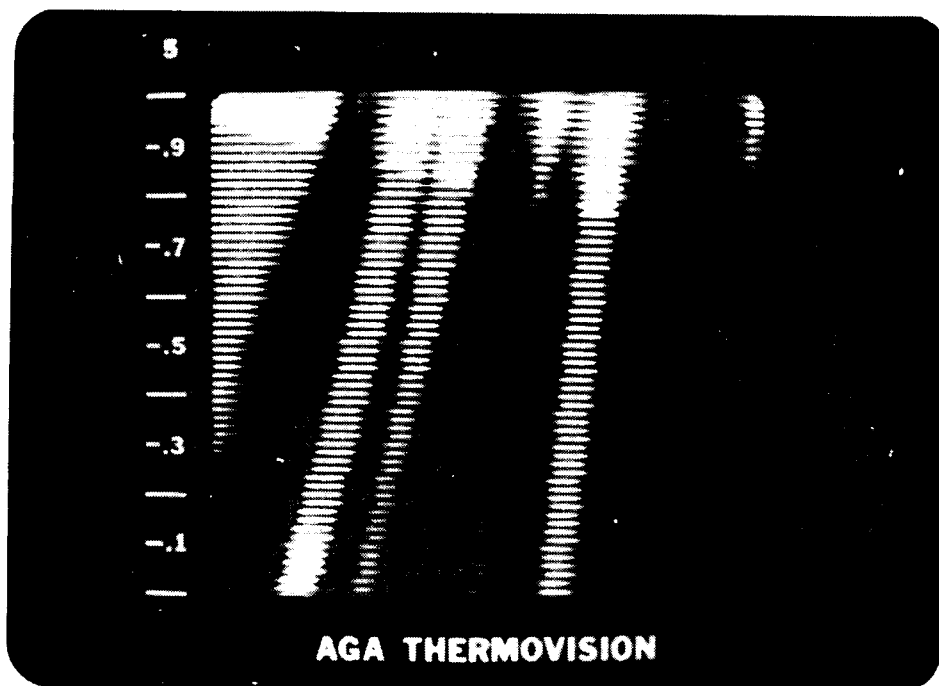
Fotografía N° **20**



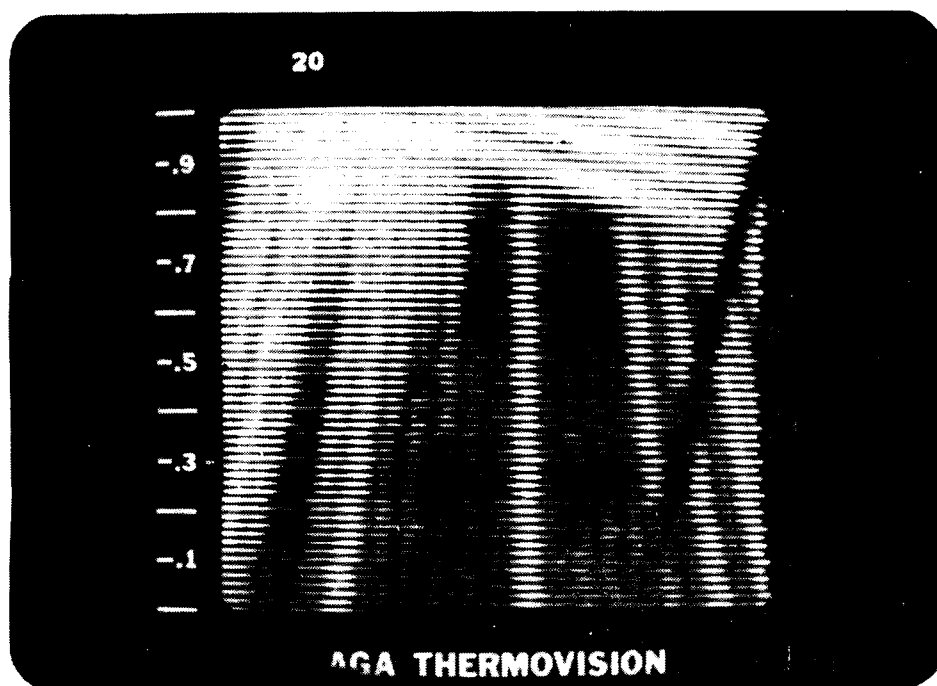
Fotografía N° **21**



Fotografia N°22



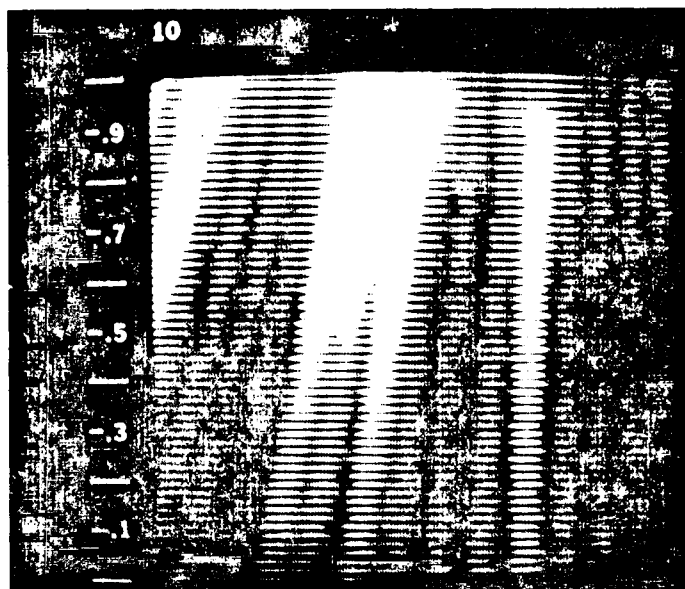
Fotografia N°23



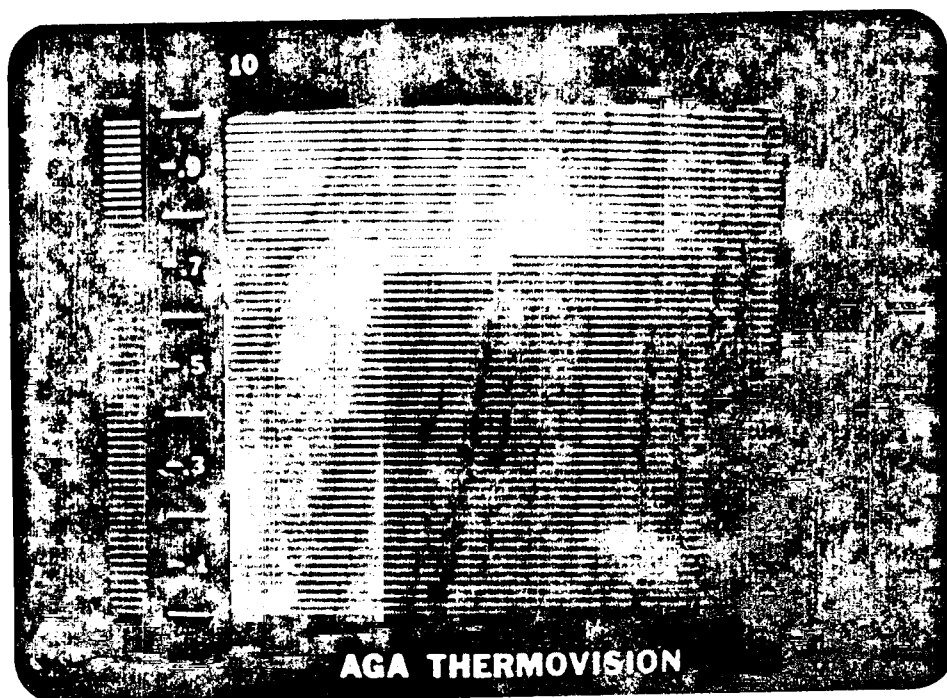
Fotografía N°24

Estos termogramas en tonos de grises se sacaron, como se dijo antes, para determinar especialmente cuales eran los tubos incrustados. Los tubos brillantes están más calientes que los tubos oscuros, y estos tubos, los oscuros, se los observa así porque presentan incrustaciones, estas al aumentar el espesor de la pared del tubo incrementan la impedancia térmica, por lo tanto disipan menos calor. No era necesario medir temperaturas absolutas sino identificar los tubos. Cualitativamente por los distintos tonos de grises se puede decir en forma relativa cual tubo está más incrustado que otro. Obsérvese en los tres primeros termogramas la pared de tubos y la distribución irregular de tubos "calientes y fríos". (Nota : la banda oscura que aparece en los termogramas se debe a una sincronización del barrido electrónico de la pantalla y la cortina de obturación de la máquina fotográfica. Esto aparece cuando se usa 1/30 o 1/15 de seg. en la velocidad de disparo). En las fotografías N°25 y N°26 se puede ver una misma zona de la pared de la caldera donde se sacó un termograma en grises y otro en colores. En el uso de la distribución en colores la interpretación debe ser más cuidadosa, ya que los colores responden a las variaciones existentes en temperaturas y en la superficie del tubo (emisividad inhomogénea). Es por esto que se recomienda un arenado previo o algún tipo de limpieza exterior equivalente, para homogenizar la superficie radiante de los tubos. Con experiencia y bajo determinadas condiciones de enfoque, distancia y sensibilidad en el control de temperatura del equipo se puede detectar incrustaciones localizadas dentro de los tubos. Se dice esto porque en los termogramas anteriores se ven incrustaciones distribuidas solamente.

La etapa posterior a la determinación de incrustaciones corresponde a un lavado químico de los tubos y realizar luego una nueva inspección por termografía, para determinar la calidad del lavado. En algunos casos, por supuesto, conviene cambiar el tubo



Fotografia N°25



Fotografia N°26

Esta última manera permite al operario como a la industria corroborar lo observado e incrementar la experiencia. Se dice esto ya que como la mayoría de los E.N.D. el conocimiento y determinación de defectos en materiales o instalaciones se incrementa con la repetición de los ensayos y algunas veces con la ayuda de un ensayo destructivo.

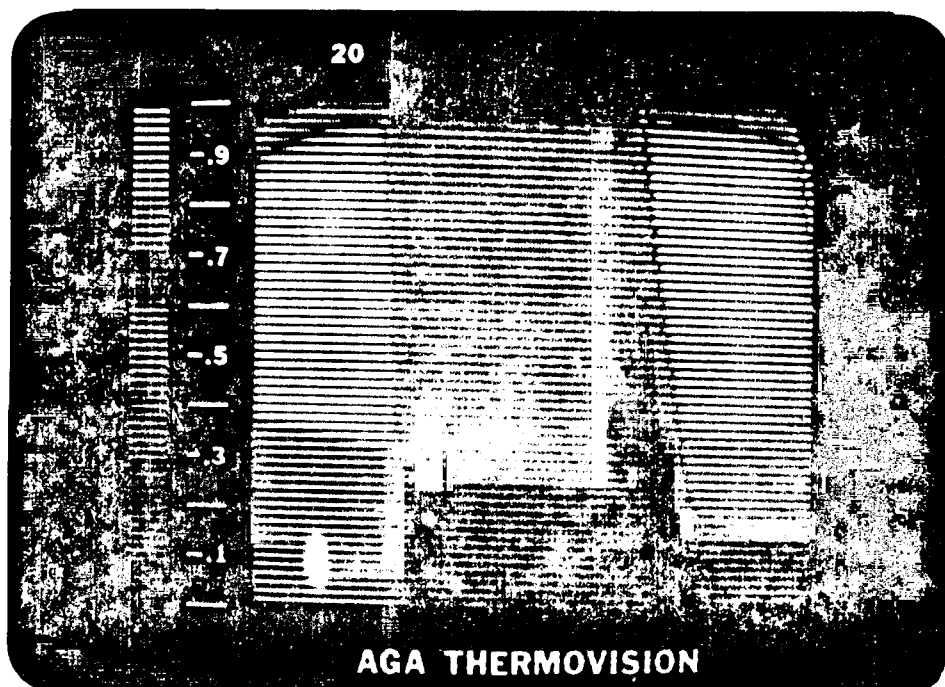
Como nueva experiencia se mostrará ahora la inspección de un horno de una destilería petroquímica. El problema se planteaba inicialmente en determinar la temperatura de los tubos del horno sin parar el funcionamiento del horno. Esto implicaba una dificultosa inspección, por las mirillas del horno; a través de llamas. El horno es vertical como se muestra en la fotografía N°27 y los tubos están dispuestos también en dicha forma.



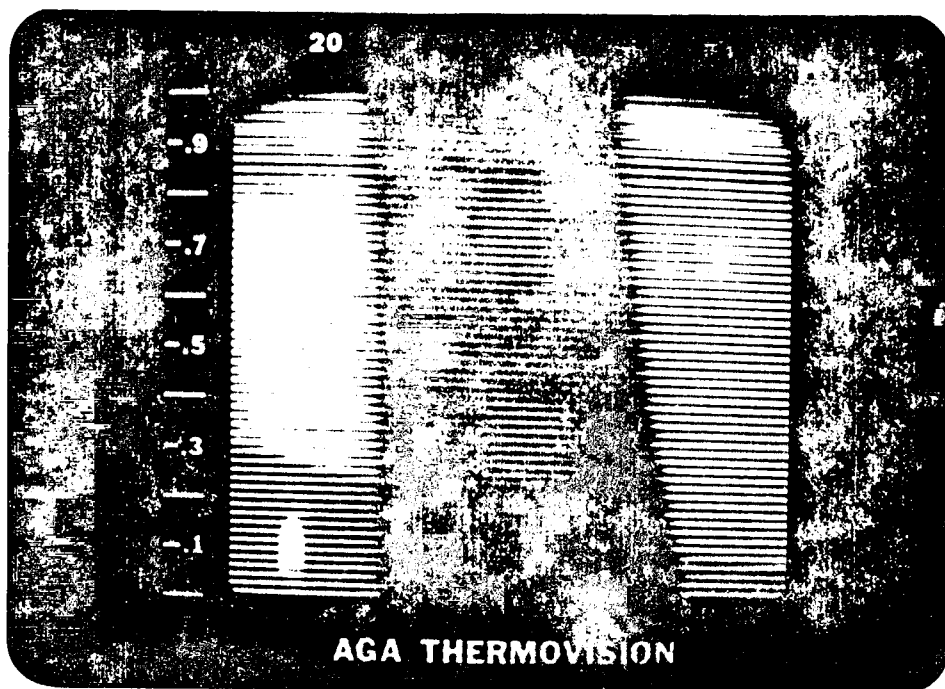
Fotografía N°27

Para la determinación y verificación de la homogeneidad de temperatura dentro del horno se montó el equipo bajo del horno y se observó a través de llamas el estado del horno. Era posible hacer esto porque se puso, al equipo de termografía, un filtro especial que permite medir hasta 2.000°C y "ver" objetos a través de llamas. Lo curioso y notable fue que durante el barrido interno del horno mientras se sacaban termogramas de todas las posiciones posibles, se encontraron "Hot Spot" en algunos tubos, como se muestra en las fotografías N°26, N°29, y N°30. También se muestra la distribución dentro del horno, vista desde abajo, en las fotografías N°31, N°32, y N°33. Estos hot spot o zonas calientes en la superficie de los tubos no eran observables a simple vista aún ante la posibilidad de verlos sin el obstáculo de la llama. Es decir la superficie del tubo se observaba pareja en cuanto a su emisividad, esto permitió descartar una falsa interpretación si se presentaba una zona cuya emisividad fuera lo suficientemente baja como para indicar una zona caliente. El calentamiento de esa zona puede ser debido a un aumento del espesor de la pared por deposiciones internas o un defecto de fabricación.

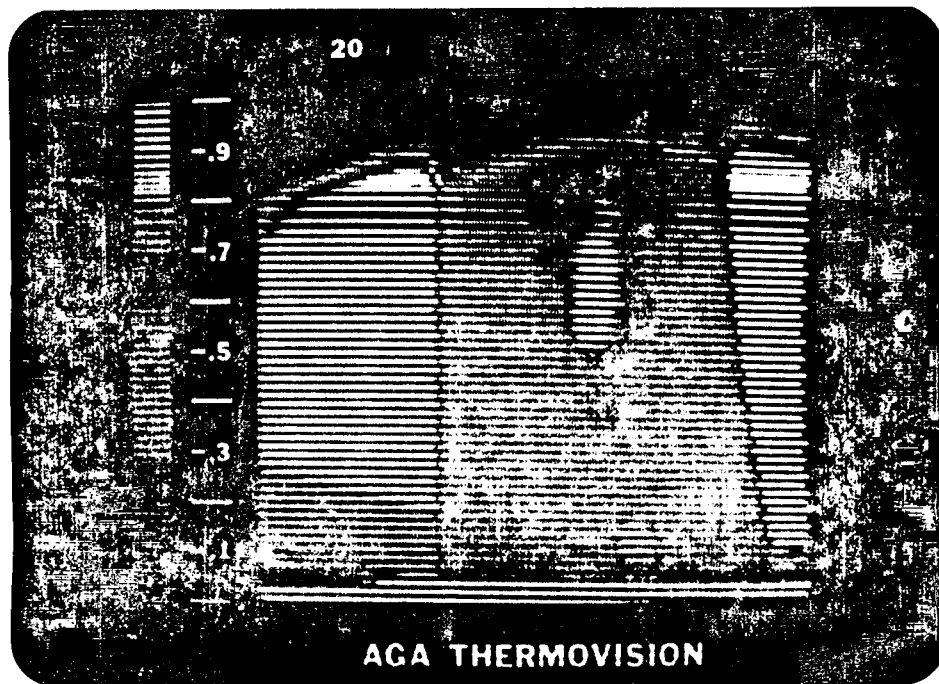
En estos casos se recomienda parar el horno y hacer una verificación destructiva reemplazando el tubo.



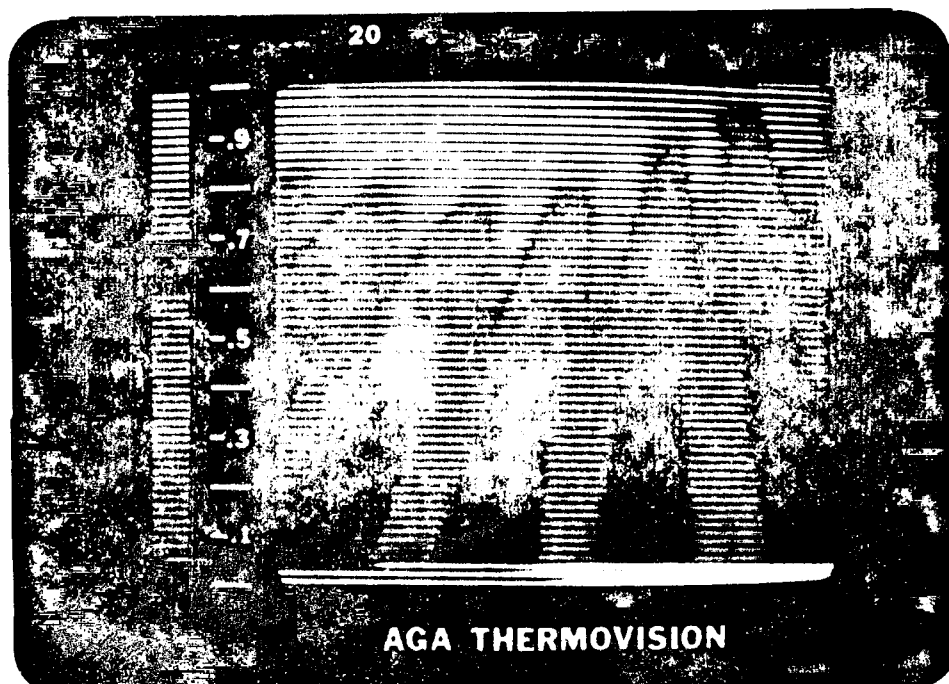
Fotografía N°28



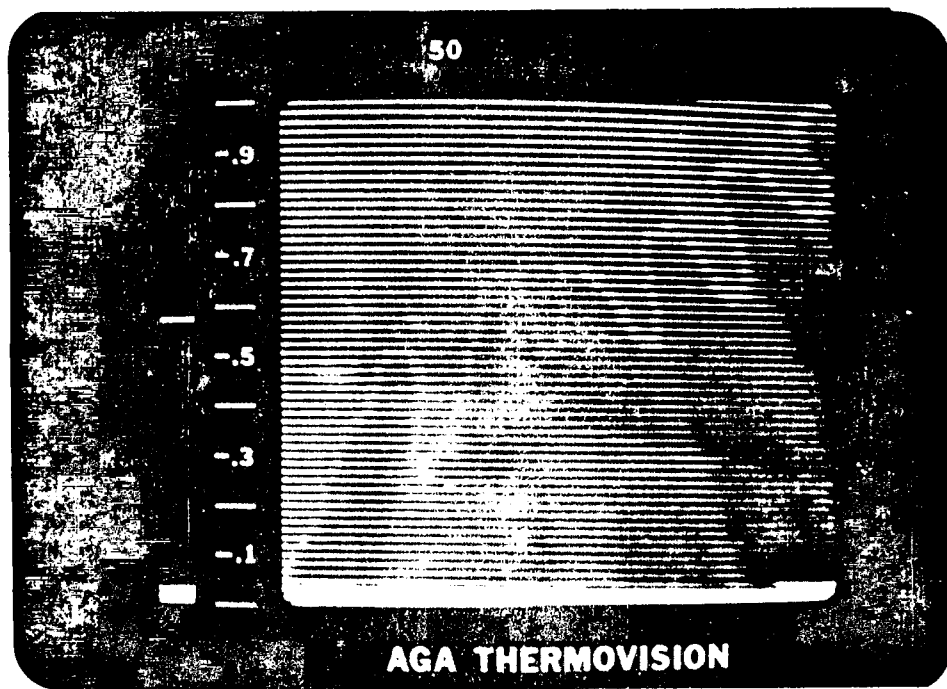
Fotografía N°29



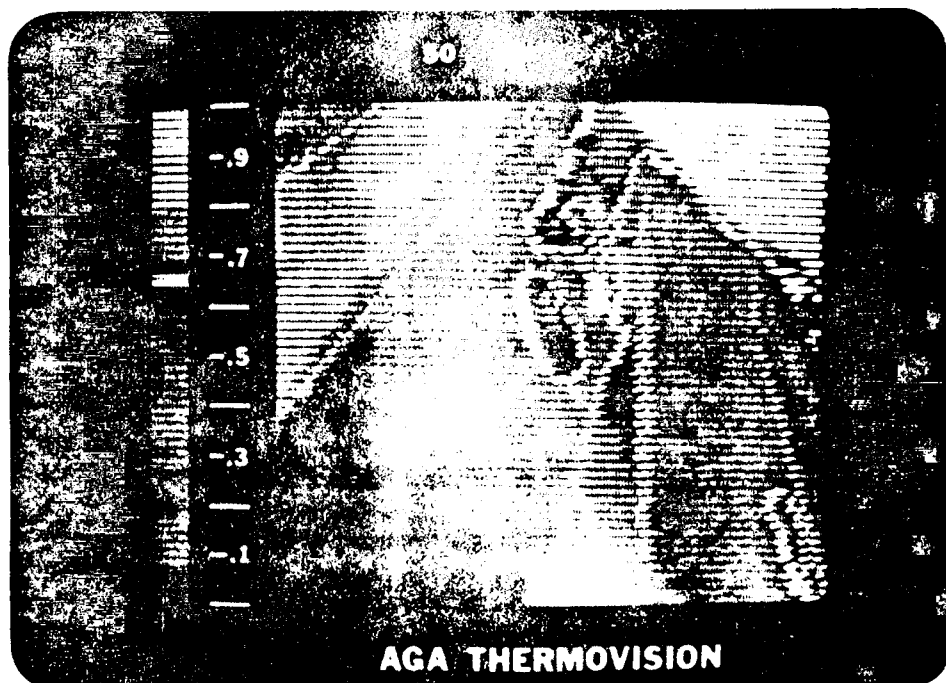
Fotografia N°30



Fotografia N°31



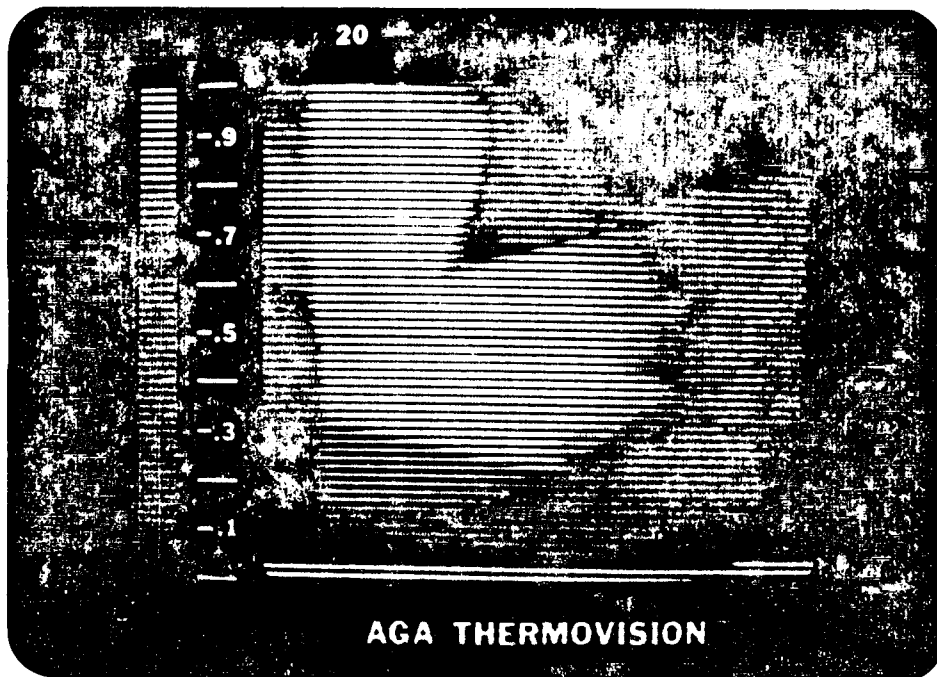
N° 32



A continuación describimos un nuevo ensayo como aplicación de la termografía. Como todos los anteriores este ensayo era el primero en su tipo que se realizaba. Lo que se buscaba era la distribución térmica de rodillos y chapa laminada en un tren de laminación, y además medir posibles variaciones de temperaturas sobre ellos.

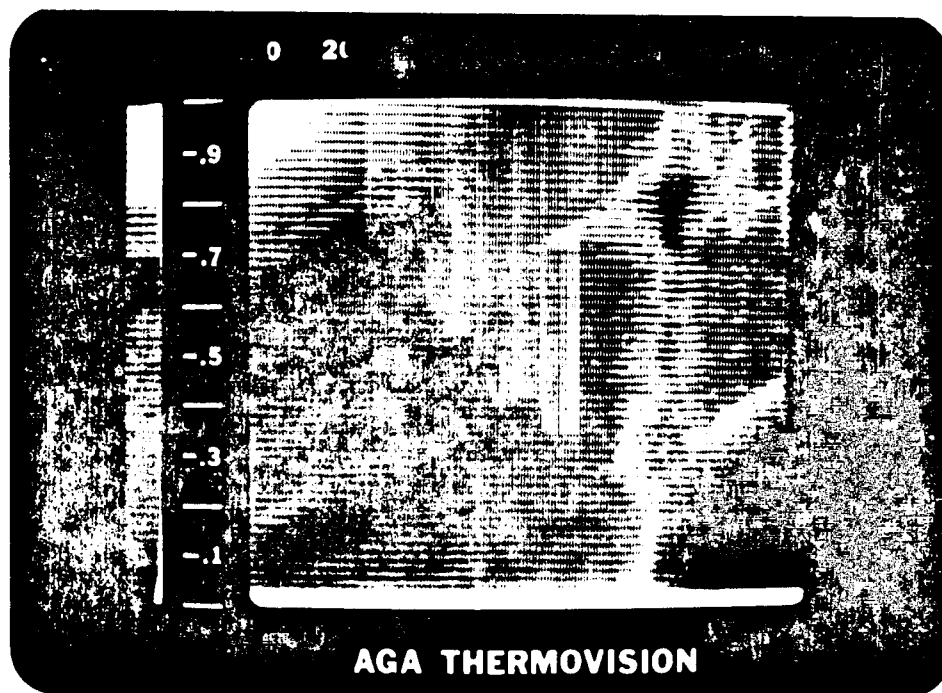
La inspección se realizó durante el proceso de laminación. Esto implicaba de hecho dificultad para realizar el ensayo ya que para inspeccionar los rodillos de laminación se detenía la marcha del tren y se introducía entre las jaulas al equipo y a la persona que realizaba la inspección. La dificultad residía en la nube de vapor y lubricante que quedaba en el ambiente (este vapor produce absonción en la banda del infrarrojos que funciona el equipo). Se comenzó por la jaula de primera reducción y luego sucesivamente se inspeccionaban las siguientes, hasta llegar a la cuarta y última jaula. También cuando se finalizaba una laminación se inspeccionaron los rodillos que realizan la última reducción.

En la fotografía N°34 se puede ver un termograma de la chapa laminada enrollándose en la bobina. En este termograma no se aprecian las bandas calientes que se observaban durante el ensayo (esto es debido a la velocidad de pasada de la chapa y su relación, con la velocidad de cierre de la cortina de la máquina *fotográfica*) no obstante puede apreciarse la distribución de temperaturas.



Fotografía N°34

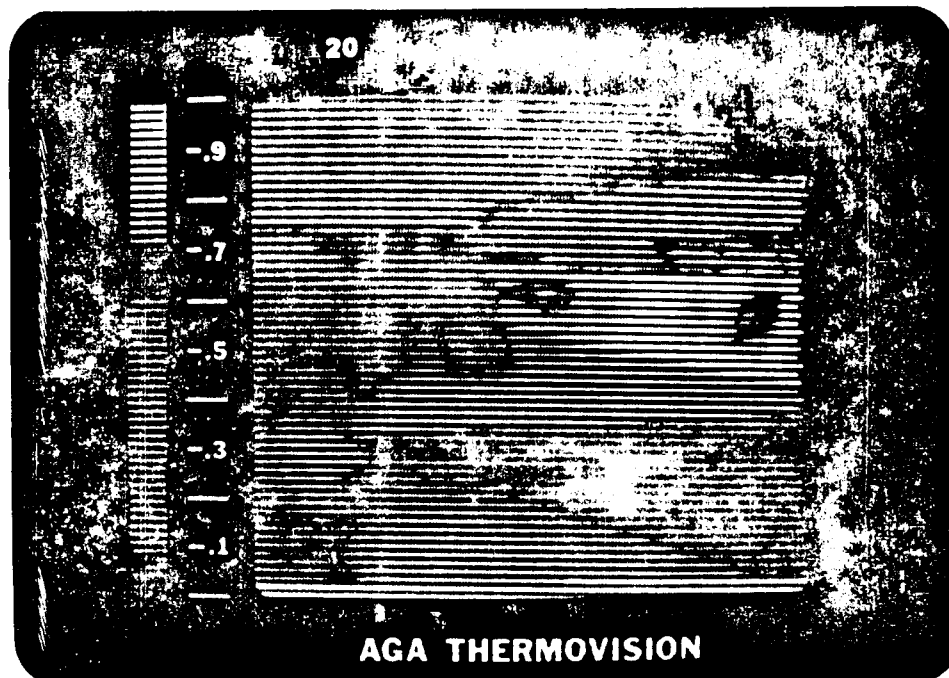
Estas bandas calientes aparecían en el sentido de la laminación y en la foto N°35 puede apreciarse con cierta indefinición las bandas que se mencionan antes. Este termograma fue tomado a la salida de la última reducción. (La imagen que aparece a la derecha del termograma no forma parte de la chapa).



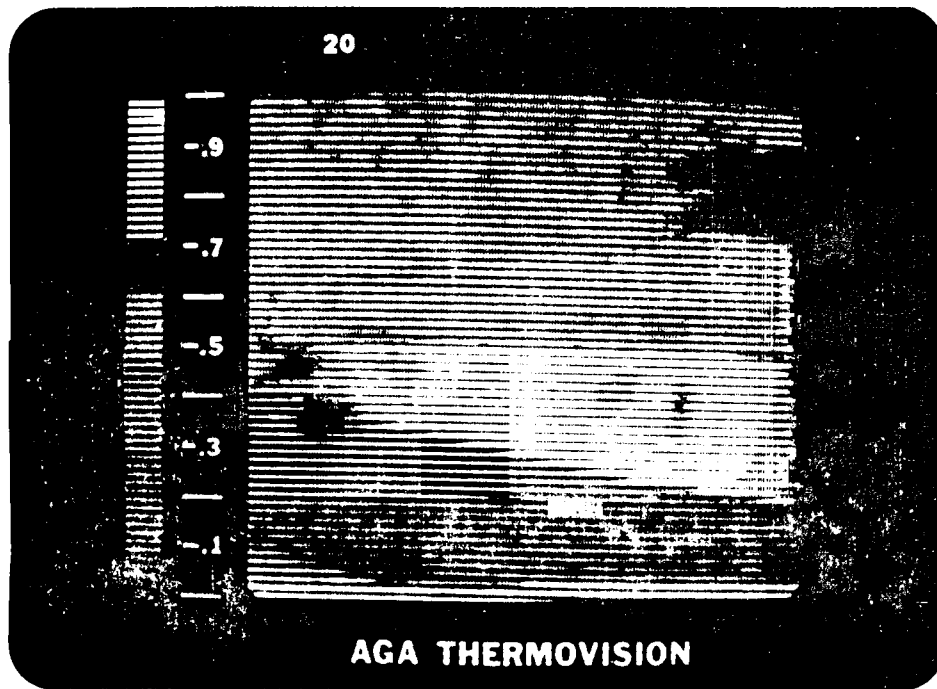
Fotografía N°36

Luego se hizo el cálculo de la temperatura de esas bandas calientes y dió como resultado que se hallan  $10^{\circ}\text{C}$  aproximadamente por sobre el resto de la chapa. Se estimó posteriormente con otro análisis complementario que estas bandas serían producidas por un defecto de lubricación. Como se deduce el método por infrarrojos en este caso resultó una herramienta poderosa para confirmar o descubrir la existencia de defectos en el proceso de laminación.

En las fotos N°37 y N°38 se puede ver parte de los rodillos de laminación visto desde el interior de la jaula. Obsérvese que la distribución no es homogénea. El cilindro es el área mayoritaria de color blanco, pero sobre esa área aparecen zonas de otro color correspondiente a áreas más frías.



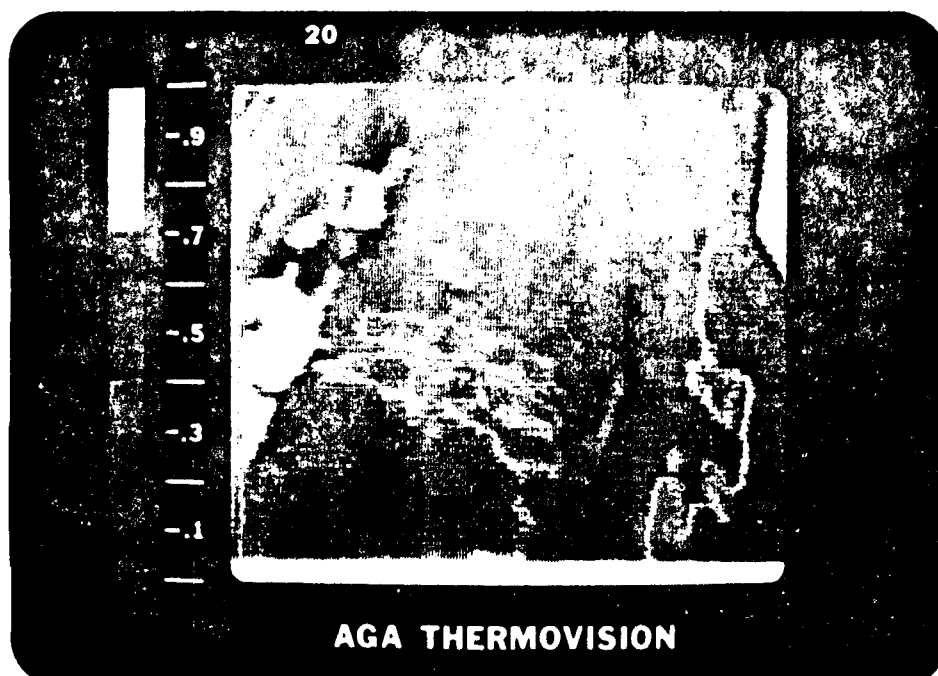
Fotografía N°39



Fotografía N°40

En este tipo de inspección resulta muy difícil dar interpretaciones correctas. La explicación reside en las radiaciones parásitas del medio. Los cilindros tienen una baja emisividad debido a su superficie altamente pulida, tanto para la laminación fina o basta, y el medio que rodea a estos cilindros tiene cuerpos calientes distribuidos irregularmente que son los que originan las reflexiones parásitas. Esto se puede detectar moviendo la cámara infrarroja y observando el objeto desde distintas posiciones.

En el termograma N°41 se observa un cilindro de la jaula de última reducción.



Fotografía N°41

Después de la laminación fue extraído de la máquina y fue regis-

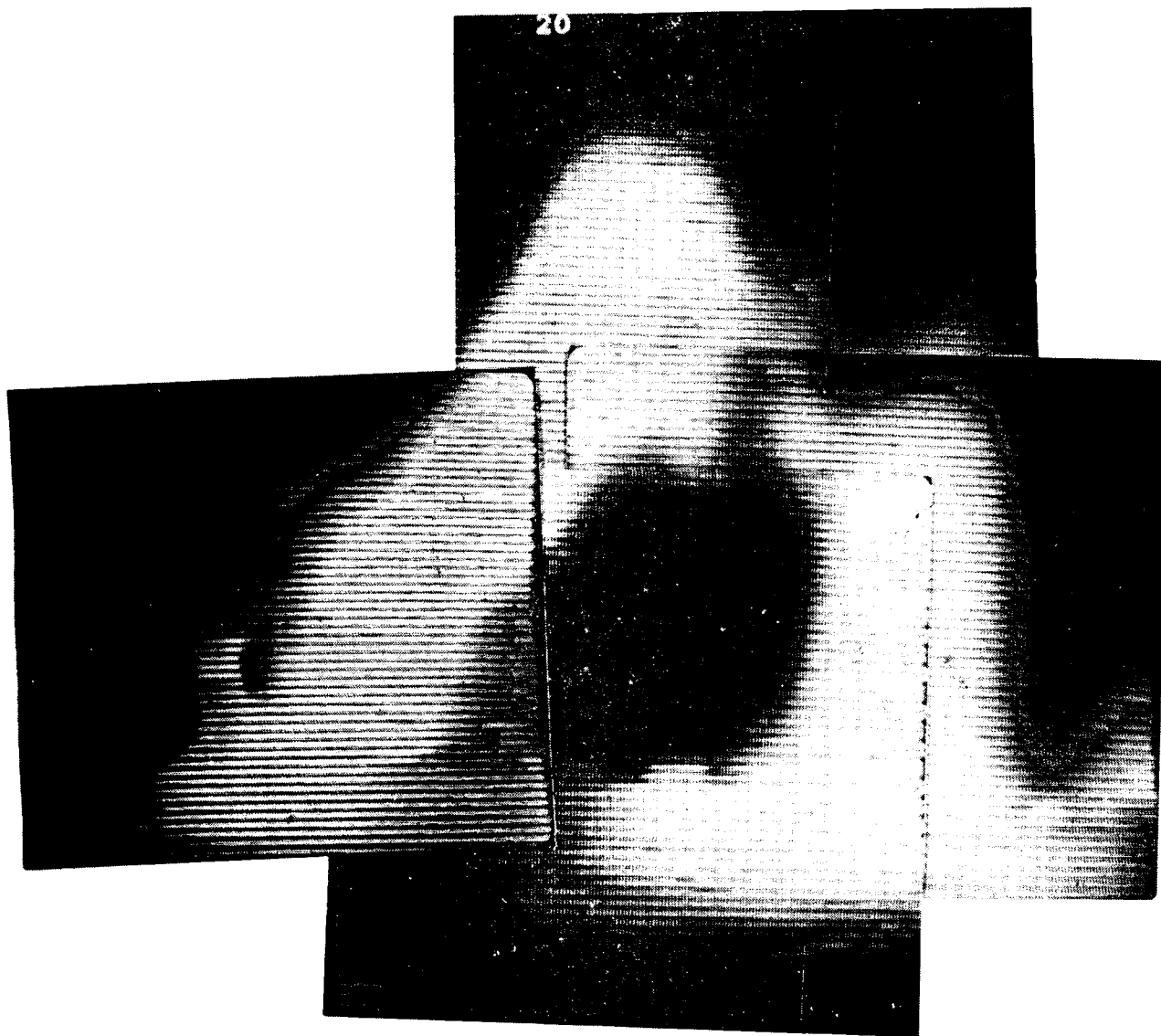
trado el termograma con el cilindro expuesto al aire libre. Esta condición no es exactamnete lo indicado para medir la temperatura del cilindro, pero si de esta manera se puede apreciar la distribución de temperaturas en su superficie. En la zona central del termograma se puede ver áreas de color verde. Estas zonas a modos de bandas están orientadas en el sentido que gira el cilindro. Por otra parte se puede ver sobre el cilindro, zonas más calientes distribuídas en forma irregular.

Lo más importante de esta inspección fue la determinación de bandas calientes en la chapa laminada. Es conveniente mencionar que el registro fotográfico no representa en este caso lo observado en la pantalla del equipo debido a la alta velocidad de pasada de la chapa y al compromiso existente entre esta velocidad, velocidad de barrido electrónico y velocidad de la cortina de obturación de la máquina fotográfica.

Como último se verá la detección y confirmación de una pérdida de vapor en la etapa de baja de la turbina de la C.N.A. El problema se planteó de la manera siguiente : de alguna manera se sabía que en la turbina existía una fuga de vapor y el problema consistía en determinar con exactitud la zona donde se había producido y además ver la extensión o la magnitud de esta pérdida. La termografía surgió como una excelente alternativa o método para realizar la medición de la zona afectada. Entonces se montó el equipo de termografía frente al área de sospecha de pérdida. El equipo se ubicó enfocando a la cubierta metálica de baja presión que se muestra en la Fotografía N° 42. Es esta zona la que fue inspeccionada inicialmente. Como la zona caliente, producida por la fuga, era extensa se tomaron varios termogramas y se formó una imagen mosaico como se ve en la foto N° 43.



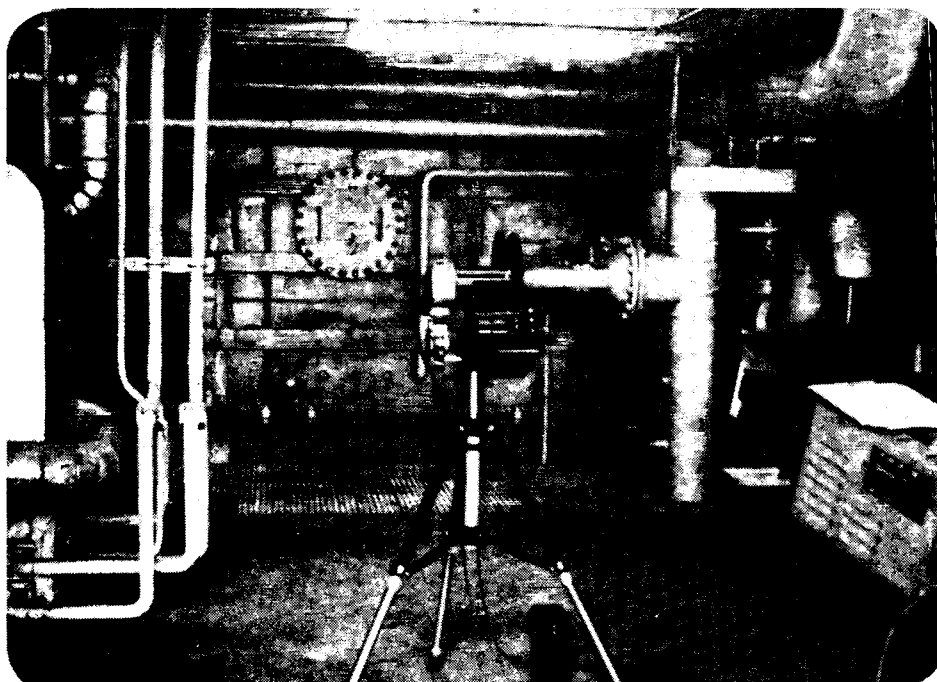
Fotografía N° 42,



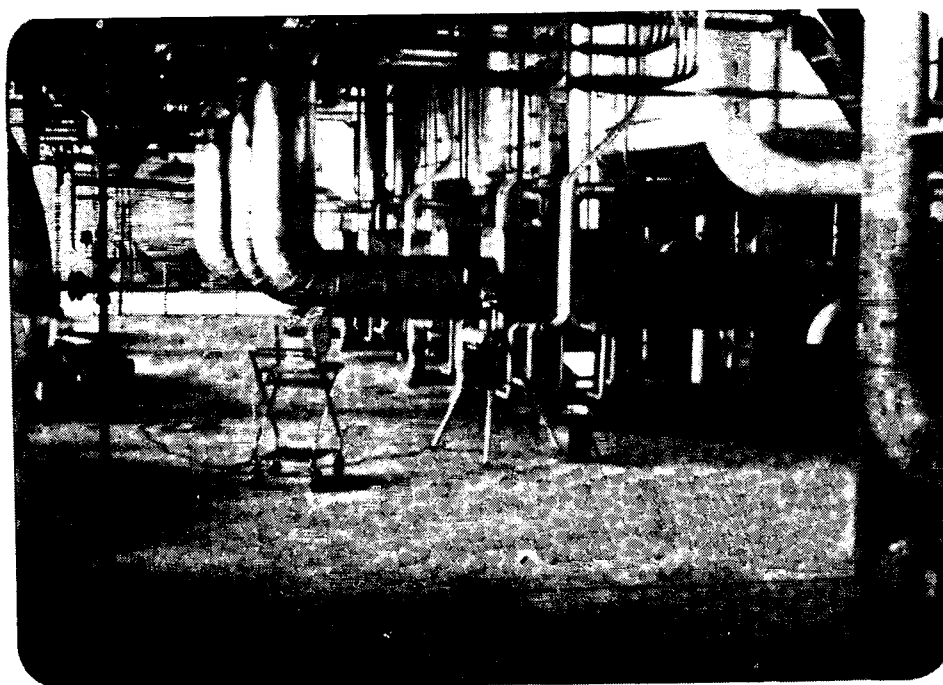
Fotografía N°43

En este termograma se distingue una zona brillante en forma de arco. Este arco es la distribución de la zona caliente, producida por el choque del vapor sobre la carcasa metálica. Luego con termómetros de contacto se midió la temperatura de esa zona.

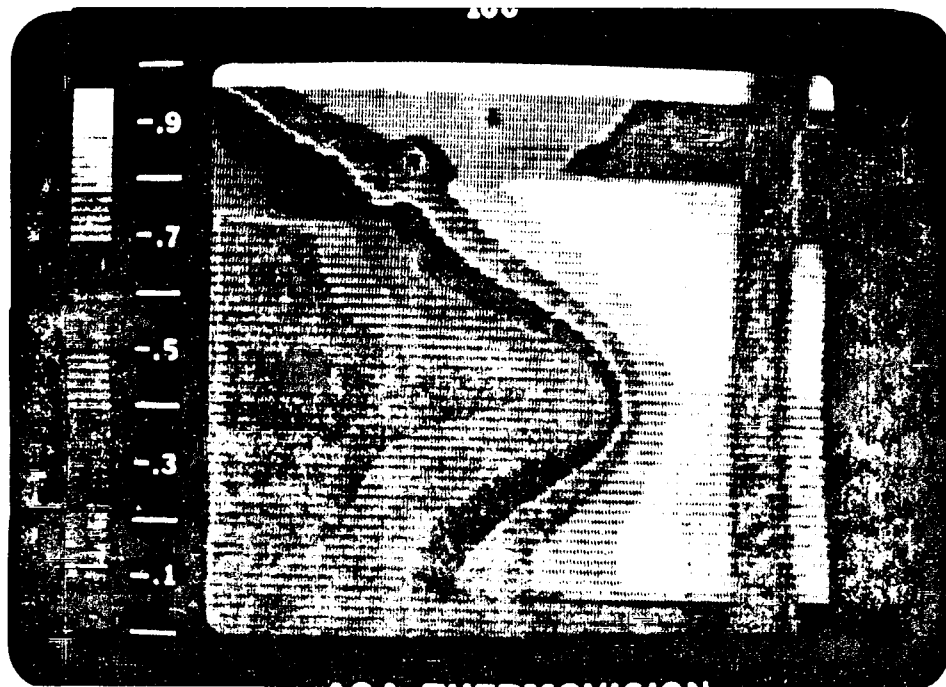
Como se sospechaba que la fuga también se extendía al nivel inferior de la etapa de baja presión se resolvió inspeccionar ese nivel. El equipo se montó como se ve en la Fotografía N°44 y N°45, en la segunda fotografía se ve la pared metálica inmediata inferior a la perdida descripta antes. En este posicionamiento se tomaron varios termogramas. La foto N°43 muestra la zona que estaba fuertemente caliente. Esa zona se extendía a la derecha de la boca de hombre que se ve en la fotografía.



Fotografía N°44

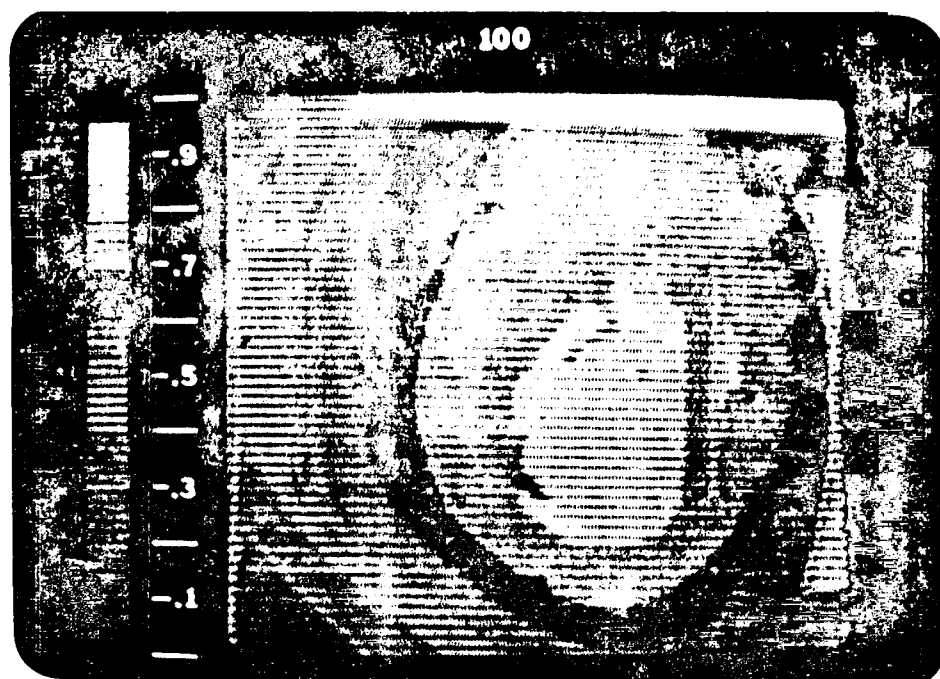


Fotografía N°45

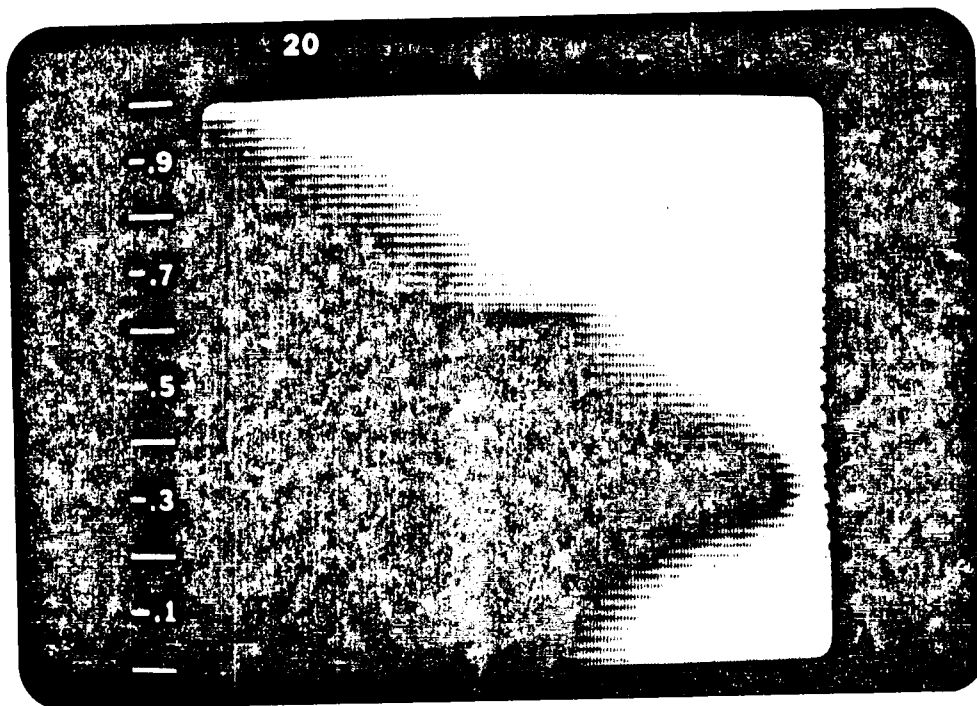


Fotografía N°46

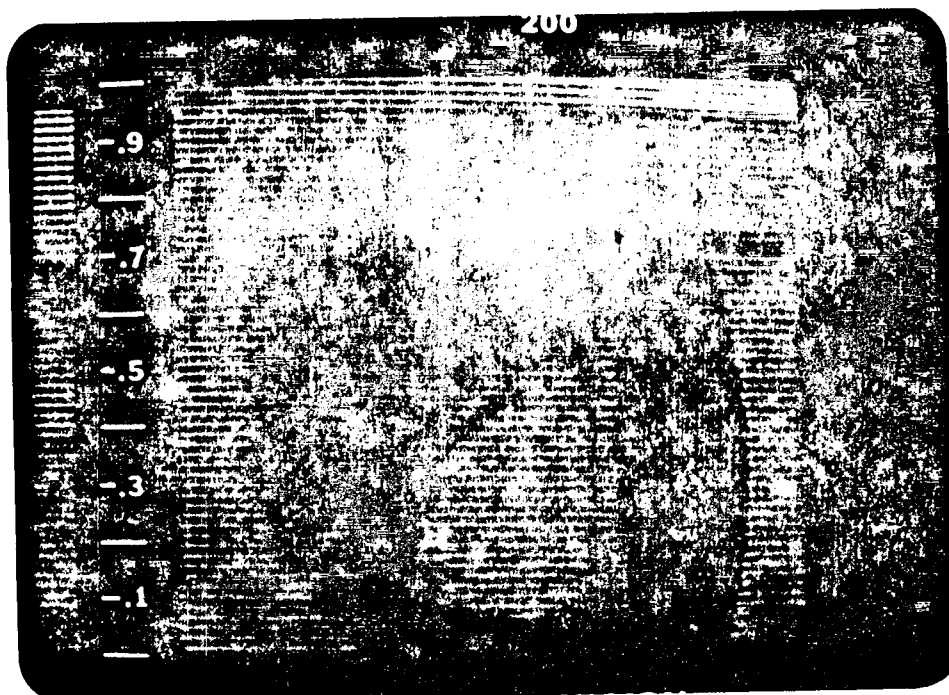
Las fotografías N°46 y N°47 muestran un termograma en grises y otro en colores de una zona debajo de la boca de hombre, y el termograma N°... nos da la distribución de temperatura de esa boca.



Fotografía N°47



Fotografia N°48



Fotografia N°49

Obsérvese el centro mas caliente que el resto y la distribución circular de temperaturas.

Después del ensayo y obtenido luego, la certeza de la zona que abarcaba la pérdida de vapor, la turbina fué detenida y reparada.

#### CONCLUSIONES -

Se pretende con esto haber mostrado un resumen de los trabajos mas importantes realizados dentro y fuera de la CNEA. Obviamente todos los alcances del método no han sido explotados y resta mucho para hacer. Podemos mencionar otras aplicaciones que no se realizaron en la Argentina como un método de mantenimiento y control en la industria. La termografía tiene un vasto campo de aplicación en el mantenimiento eléctrico de plantas y fábricas. Aquí se mencionó solo uno pero se pueden mencionar algunos más: conectores sobrecalentados en estaciones transformadoras y en líneas de alta tensión, inspección de llaves conectoras o interruptores, paneles de componentes eléctricos, controladores de potencia como los paneles de tiristores de potencia, sobrecalentamiento en motores eléctricos y detección de puntos calientes en circuitos electrónicos de estado sólido, etc.

En la industria del vidrio también tiene mucha aplicación para el control de calidad durante el proceso de fabricación de envases de vidrio o bien bombillas eléctricas.

En la conservación de la energía es donde tiene una gran aplicación. Por termografía se pueden detectar pérdidas de calor en instalaciones industriales (tuberías, hornos) o en construcciones habitacionales.

En la Industria Siderúrgica se puede decir que fué donde más se lo usó en los últimos tiempos al infrarrojo para control de procesos o como detección de defectos, por ejemplo: corrosión extensa en recipientes, tuberías, adelgazamiento de paredes de refractarios en altos hornos, velocidad de enfriamiento de los tochos fundidos, agrietamiento en refractarios, etc.

Para terminar solo mencionaremos otras aplicaciones a nivel laboratorio, a saber: deformación plástica, defectos en laminados y chapas, etc.-

-----