

Técnica

COMBUSTIBLES

279,
num de pag 130

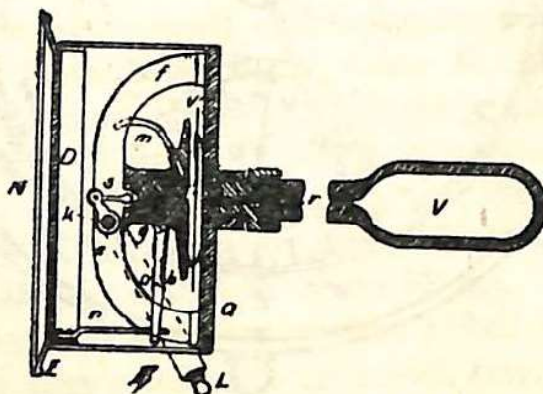
(Conclusión)

Determinación experimental de la intensidad calorífica.

Pirometría.—La pirometría trata de los diferentes métodos usados para la medición de temperaturas. El método más común y conocido para medir temperaturas, es el que usa los termómetros de mercurio, el cual se puede usar con buenos resultados hasta 360°C . que es la temperatura de ebullición del mercurio. Existen tres tipos principales de termómetros: a). escala **Celcius**; b). escala **Reemur**, y c). escala **Fahrenheit**, cuyas relaciones son bien conocidas.

De 350 a 700°C . se pueden emplear también termómetros de mercurio pero en lugar de estar contruídos de vidrio y aire, se emplean de cuarzo y nitrógeno. En el año de 1925 la General Electric construyó un termómetro para medir temperaturas de 1.100°C . usando cuarzo y metal Galio que tiene un punto de fusión de 30°C . Este termómetro está en estudio pero todavía no se ha industrializado.

Otros termómetros que trabajan bajo el principio de dilatación son los llamados "pirómetros de dilatación" contruídos de un metal y de carbón, lo mismo que los pirómetros de aire. Esta clase de pirómetros adolece del inconveniente de que la dilatación del metal o

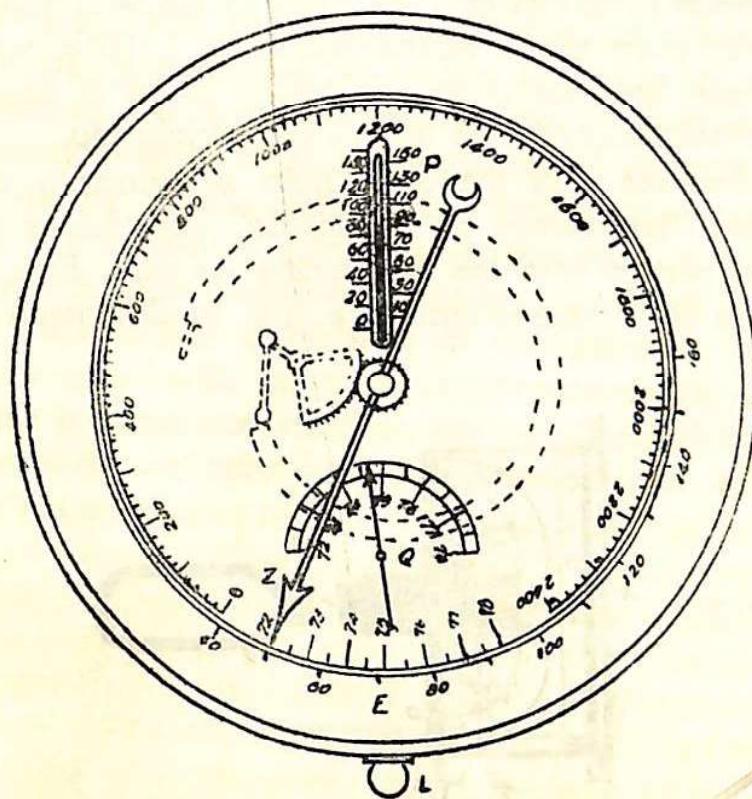


(Fig. 4)

del carbono no es uniforme y de que, por la acción continuada del calor llega un momento en que no es capaz de recobrar su longitud primitiva. Los pirómetros de este tipo fueron muy empleados en la industria siderúrgica pero hoy han caído en desuso.

Dilatación de gases

Los mejores pirómetros de esta clase son los que se fundan en la dilatación de los gases, pues los volúmenes ocupados por los gases permanentes son proporcionales a sus temperaturas absolutas, distinguiéndose aquéllos, además, por su gran coeficiente de dilatación. Una de las dificultades con que se tropieza al aplicar este principio está en tener en cuenta la dilatación de los recipientes que contienen el gas, los cuales son muchas veces frágiles y fusibles (porcelana y vidrio); otras veces son permeables a los gases (platino, hierro). El único pirómetro, basado en este principio, que tiene una gran aplicación industrial es el de volumen constante de **Wiborgh**, el cual está provisto de una ampolla de porcelana que se calienta a la temperatura que ha de medirse; introduciendo un volumen conocido de aire y midiendo el aumento de presión que éste sufre, se obtendrá la temperatura.



(Fig. 4)

Las figuras 4 muestran un pirómetro **aneroide** que trabaja bajo este principio. La ampolla **V** de porcelana va envuelta en amianto, para impedir que se raje al someterla bruscamente a elevadas temperaturas y termina en un tubo capilar **r** que, mediante un manguito roscado, se empalma al fondo **a** de la caja de latón que contiene el manómetro. Al fondo **a** va fija una cajita metálica **V'**, de sección lenticular, que puede ser comprimida por el disco **b**, pero que gracias a su elasticidad recupera la forma primitiva en cuanto deja de apretarse el disco **b**. El tubo capilar **r** une **V** con **V'** y, atravesando el disco **b** y su cuello **d**, comunica con el aire exterior; al propio tiempo comunica **r**, por medio de un tubito capilar de plomo, con el tubo elástico (indicado de trazos en la figura) del manómetro que, por intermedio de una palanca y un sector dentado, mueve la aguja **Z** que señala la temperatura sobre el limbo del aparato. Al fondo **a** va atornillado un puente **f** de hierro que sostiene el eje **e** cuyos extremos pueden girar en apoyos, situados a ambos lados de la caja exterior, gracias a un mango **L** en forma de horquilla. En el centro del eje **e** hay una palanquilla **k** articulada a **s**. Para comprimir la cajita **V'** basta acercar al limbo el mango **L** con lo cual gira **e**, la cabeza de **s** obtura la salida del tubito capilar **r** y hace que el cuello **d** se deslice en la guía **g** del puente **f** de manera que **V'** se aplasta y obliga al aire a penetrar en la ampolla **V**, la poca cantidad de aire que qued en el tubito de plomo **m** puede desprejarse. Al soltar el mango **L**, éste vuelve a la posición que marca la figura gracias a un muelle espiral (no dibujado) arrollado sobre **e** y fijo a **f**; esto es esencial, puesto que **V** y **V'** deben comunicar con el aire exterior cuando no se toman temperaturas.

A fin de corregir el volumen **V'**, con arreglo a las variaciones de presión y temperatura del aire exterior, el cuello **d** va abrazado por un anillo **g**, que ajusta sobre el disco **b** mediante una superficie helicoidal, de manera que según gira **g** (arrastrado por el brazo **o** y la horquilla **n**, sujeta en la montura **E** del vidrio **N** que cubre el limbo), el disco **b** aprieta más o menos contra **V'** aumentando o disminuyendo su volumen inicial. Sobre el limbo **D** (fijado al puente **f**, en forma que no muestra la figura) una aguja **Z** marca las temperaturas (en este caso desde 0° hasta 2.400° Fahr.) y la aguja **Q** de un barómetro aneroide la presión atmosférica desde 72 hasta 78 cm., existiendo además un termómetro **P** que da (también en grados Fahr.) la temperatura del aire exterior. Sobre la montura **E**, que es móvil, hay, entre **N** y **D**, una graduación de temperatura que alcanza desde 40° hasta 160° Fahr.

Para efectuar una observación se somete la ampolla de porcelana **V** a la temperatura del horno, se lee en **P** la del aire ambiente, se da vuelta a la montura **E** hasta que la temperatura del aire (leída en la graduación inferior) coincida con la cifra del limbo correspondiente a la presión atmosférica, indicada por la aguja **Q**. Entonces se coloca el pulgar sobre el vidrio **N** y con el dedo índice se adelanta suavemente el mango **L**, hasta que oponga resistencia, manteniéndolo así mientras la aguja **Z** no quede en reposo, lo que ocurre a los pocos minutos.

Pirómetros de fusión

Este tipo de pirómetros es sencillo y da muy buenos resultados, siempre que se empleen sustancias que tengan un punto fijo de fusión; se emplean con este fin metales, aleaciones, sales, mezclas etc. Para determinar una temperatura por este medio se colocan varias de estas sustancias en una o más vasijas refractarias (de arcilla, cenizas de hueso, de hierro etc.) para evitar el contacto directo de la llama introduciéndolo todo en el horno; la temperatura buscada es la que reina al terminar la fusión de la sustancia correspondiente. Los metales ordinarios, que se usaron en otros tiempos, tienen el gran inconveniente de ser oxidables; los metales preciosos (Au, Pt, Ag, Pd) no dan más que temperaturas comprendidas entre límites relativamente próximos (plata funde a 960°C. y platino a 1755°C.). Las aleaciones que no son eutécticas, o disoluciones sólidas no tienen punto de fusión fijo; entre las aleaciones que dan mejores resultados se cuentan hoy, las de los metales preciosos. Seger observó que las aleaciones de Au y Pt daban buen resultado hasta los 1200°C., pero que si contenían más de 15% de Pt no conservaban la homogeneidad porque el platino manifiesta cierta tendencia a dejarse atacar por el carbono y el silicio.

Pirómetros de fusión de Erhard y Schertel

| Composición de la aleación | Temperatura de fusión en C. | Composición de la aleación | Temperatura de fusión en C. |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 20 de Ag y 80 de Au | 1045 | 40 de Au y 60 de Pt. | 1460 |
| 40 de Ag y 60 de Au | 1020 | 45 de Au y 55 de Pt. | 1420 |
| 60 de Ag y 40 de Au | 995 | 50 de Au y 50 de Pt. | 1385 |
| 80 de Ag y 20 de Au | 975 | 55 de Au y 45 de Pt. | 1350 |
| 100 de Ag | 954 | 60 de Au y 40 de Pt. | 1320 |

| Composición de la aleación | Temperatura de fusión en C. | Composición de la aleación | Temperatura de fusión en C. |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| — 100 de Au | 1075 | 35 de Au y 65 de Pt. | 1495 |
| 95 de Au y 5 de Pt. | 1100 | 30 de Au y 70 de Pt. | 1535 |
| 90 de Au y 10 de Pt. | 1130 | 25 de Au y 75 de Pt. | 1570 |
| 85 de Au y 15 de Pt. | 1160 | 20 de Au y 80 de Pt. | 1610 |
| 80 de Au y 20 de Pt. | 1190 | 15 de Au y 85 de Pt. | 1650 |
| 75 de Au y 25 de Pt. | 1220 | 10 de Au y 90 de Pt. | 1690 |
| 70 de Au y 30 de Pt. | 1255 | 5 de Au y 95 de Pt. | 1730 |
| 65 de Au y 35 de Pt. | 1285 | 100 de Pt. | 1775 |

Conos de Seger.—Llámanse así una serie de conos fabricados de mezclas fundentes a temperaturas determinadas ideados por Seger y que prestan hoy un gran servicio a la industria metalúrgica. En realidad estos conos se pueden llamar hoy piroscopios. La más fusible de estas mezclas tiene la composición:

| |
|--------------------|
| 3 partes de K_2O |
| 7 " " CaO |
| 5 " " Al_2O_3 |
| 4 " " SiO_2 |

Sustituyendo parcialmente el Al_2O_3 por Fe_2O_3 dando lugar a una mezcla de

| |
|--------------------|
| 3 partes de K_2O |
| 7 " " CaO |
| 3 " " Al_2O_3 |
| 2 " " Fe_2O_3 |
| 4 " " SiO_2 |

se logra bajar la temperatura de fusión de la primera fórmula hasta $1140^{\circ}C$. que corresponde al punto de fusión de la aleación 90% Au y 10% Pt. A esta mezcla corresponde el N° 1 de la serie antigua de Seger. Aumentando la relación Al_2O_3 a Fe_2O_3 , hasta llegar a suprimir completamente el Fe_2O_3 , número 4 de la serie, va elevando la temperatura hasta $1210^{\circ}C$.; al llegar a este punto se aumenta gradualmente la proporción de SiO_2 y de Al_2O_3 , pero manteniendo constante e igual a 10 la relación SiO_2 Al_2O_3 hasta llegar al cono número 27, fusible a $1670^{\circ}C$. Si se eliminan K_2O y CaO y se fabrican mezclas de Al_2O_3 y SiO_2 de manera que la relación aumente cada vez más, se obtienen conos más y más refractarios, hasta llegar al N° 36 fusible a $1850^{\circ}C$.

Los conos hasta aquí descritos dieron tan buenos resultados a la industria, que Cramer amplió la serie para temperaturas inferiores a 1150° , reemplazando gradualmente parte del SiO_2 por B_2O_3 y obteniendo así diez conos más designados con los números de 01 a 010 fusible éste a 950° , temperatura de fusión de la plata. Hecht sustituyó el CaO por PbO y el K_2O por Na_2O , eliminó el Fe_2O_3 y disminuyó la cantidad de Al_2O_3 ; así estableció los conos 011 a 022 fusible este último a 590° .

Para mejor ilustración se copia en seguida la serie primitiva de los conos de Seger.

Conos de Seger, serie primitiva

| Nº del Cono | COMPOSICION | | | Punto de fusión |
|-------------|---|------------------------------|---|-----------------|
| 022 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | — — | 2,0 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 590 |
| 021 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,10 Al_2O_3 | 2,2 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 620 |
| 020 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,20 Al_2O_3 | 2,4 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 650 |
| 019 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,30 Al_2O_3 | 2,6 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 680 |
| 018 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,40 Al_2O_3 | 2,8 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 710 |
| 017 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,50 Al_2O_3 | 3,0 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 740 |
| 016 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,55 Al_2O_3 | 3,1 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 770 |
| 015 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,60 Al_2O_3 | 3,2 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 800 |
| 014 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,65 Al_2O_3 | 3,3 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 830 |
| 013 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,70 Al_2O_3 | 3,4 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 860 860 |

| Nº del Cono | COMPOSICION | | | Punto de fusión |
|----------------|---|--|---|--------------------|
| 012 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,75 Al_2O_3 | 3,5 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 890 |
| 011 | 0,5 Na_2O 0,5 PbO | 0,80 Al_2O_3 | 3,6 SiO_2 1,0 Bo_2O_3 | 920 |
| 010 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,50 SiO_2 0,50 Bo_2O_3 | 950 |
| 09 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,55 SiO_2 0,45 Bo_2O_3 | 970 |
| 08 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,60 SiO_2 0,40 Bo_2O_3 | 990 |
| 07 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,65 SiO_2 0,35 Bo_2O_3 | 1010 |
| 06 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,70 SiO_2 0,30 Bo_2O_3 | 1030 |
| 05 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,75 SiO_2 0,25 Bo_2O_3 | 1050 |
| 04 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,80 SiO_2 0,20 Bo_2O_3 | 1070 |
| 03 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,85 SiO_2 0,15 Bo_2O_3 | 1090 |
| 02 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,90 SiO_2 0,10 Bo_2O_3 | 1110 |
| 01 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 3,95 SiO_2 0,05 Bo_2O_3 | 1130 |
| 1 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,20 Fe_2O_3 0,30 Al_2O_3 | 4 SiO_2 | 1150 |
| 2 | 0,3 K_2O 0,7 CaO | 0,10 Fe_2O_3 0,40 Al_2O_3 | 4 SiO_2 | 1170 |

| Nº del Cono | COMPOSICION | | | | Punto de fusión |
|-------------|---------------------------------|--|----|------------------|-----------------|
| 3 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,05 Fe ₂ O ₃ 0,45 Al ₂ O ₃ | 4 | SiO ₂ | 1190 |
| 4 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,5 Al ₂ O ₃ | 4 | SiO ₂ | 1210 |
| 5 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,5 Al ₂ O ₃ | 5 | SiO ₂ | 1230 |
| 6 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,6 Al ₂ O ₃ | 6 | SiO ₂ | 1250 |
| 7 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,7 Al ₂ O ₃ | 7 | SiO ₂ | 1270 |
| 8 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,8 Al ₂ O ₃ | 8 | SiO ₂ | 1290 |
| 9 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 0,9 Al ₂ O ₃ | 9 | SiO ₂ | 1310 |
| 10 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 1,0 Al ₂ O ₃ | 10 | SiO ₂ | 1330 |
| 11 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 1,2 Al ₂ O ₃ | 12 | SiO ₂ | 1350 |
| 12 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 1,4 Al ₂ O ₃ | 14 | SiO ₂ | 1370 |
| 13 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 1,6 Al ₂ O ₃ | 16 | SiO ₂ | 1390 |
| 14 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 1,8 Al ₂ O ₃ | 18 | SiO ₂ | 1410 |
| 15 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 2,1 Al ₂ O ₃ | 21 | SiO ₂ | 1430 |
| 16 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 2,4 Al ₂ O ₃ | 24 | SiO ₂ | 1450 |

| Nº del Cono | COMPOSICION | | | | Punto de fusión |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|-----|------------------|-----------------|
| 17 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 2,7 Al ₂ O ₃ | 27 | SiO ₂ | 1470 |
| 18 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 3,1 Al ₂ O ₃ | 31 | SiO ₂ | 1490 |
| 19 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 3,5 Al ₂ O ₃ | 35 | SiO ₂ | 1510 |
| 20 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 3,9 Al ₂ O ₃ | 39 | SiO ₂ | 1530 |
| 21 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 4,4 Al ₂ O ₃ | 44 | SiO ₂ | 1550 |
| 22 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 4,9 Al ₂ O ₃ | 49 | SiO ₂ | 1570 |
| 23 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 5,4 Al ₂ O ₃ | 54 | SiO ₂ | 1590 |
| 24 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 6,0 Al ₂ O ₃ | 60 | SiO ₂ | 1610 |
| 25 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 6,6 Al ₂ O ₃ | 66 | SiO ₂ | 1630 |
| 26 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 7,2 Al ₂ O ₃ | 72 | SiO ₂ | 1650 |
| 27 | 0,3 K ₂ O 0,7 CaO | 20 Al ₂ O ₃ | 200 | SiO ₂ | 1670 |
| 28 | — | 1 Al ₂ O ₃ | 10 | SiO ₂ | 1690 |
| 29 | — | 1 Al ₂ O ₃ | 8 | SiO ₂ | 1710 |
| 30 | — | 1 Al ₂ O ₃ | 6 | SiO ₂ | 1730 |

| Nº del Cono | | COMPOSICION | | Punto de fusión |
|----------------|---|---------------------------|---------------------|--------------------|
| 31 | — | 1 Al_2O_3 | 5 SiO_2 | 1750 |
| 32 | — | 1 Al_2O_3 | 4 SiO_2 | 1770 |
| 33 | — | 1 Al_2O_3 | 3 SiO_2 | 1790 |
| 34 | — | 1 Al_2O_3 | 2,5 SiO_2 | 1810 |
| 35 | — | 1 Al_2O_3 | 2 SiO_2 | 1830 |
| 36 | — | 1 Al_2O_3 | 1,5 SiO_2 | 1850 |
| 37 | — | 1 Al_2O_3 | 1,33 SiO_2 | 1870 |
| 38 | — | 1 Al_2O_3 | 1,00 SiO_2 | 1890 |
| 39 | — | 1 Al_2O_3 | 0,66 SiO_2 | 1910 |
| 40 | — | 1 Al_2O_3 | 0,40 SiO_2 | 1930 |
| 41 | — | 1 Al_2O_3 | 0,13 SiO_2 | 1950 |
| 42 | — | Al_2O_3 | | 1970 |

La serie descrita anteriormente tenía algunas deficiencias, tales como la que la temperatura no era uniforme y en algunos casos se separaba un poco de la realidad; pero estudios posteriores de Seger lograron ajustar mejor dicha serie a la realidad y eliminando el PbO y Fe_2O_3 como fundentes. Dicha serie eliminó algunos números de la serie primitiva por tener temperaturas de fusión muy próximas una de otra.

Conos de Seger, nueva serie

| Nº del Cono | Punto de Fusión °C | Nº del Cono | Punto de Fusión °C | Nº del Cono | Punto de Fusión °C | Nº del Cono | Punto de Fusión °C |
|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
| 022 | 600 | 07 | 960 | 9 | 1280 | 29 | 1650 |
| 021 | 650 | 06 | 980 | 10 | 1300 | 30 | 1670 |
| 020 | 670 | 05 | 1000 | 11 | 1320 | 31 | 1690 |
| 019 | 690 | 04 | 1020 | 12 | 1350 | 32 | 1710 |
| 018 | 710 | 03 | 1040 | 13 | 1380 | 33 | 1730 |
| 017 | 730 | 02 | 1060 | 14 | 1410 | 34 | 1750 |
| 016 | 750 | 01 | 1080 | 15 | 1435 | 35 | 1770 |
| 015 | 790 | 1 | 1100 | 16 | 1460 | 36 | 1790 |
| 014 | 815 | 2 | 1120 | 17 | 1480 | 37 | 1825 |
| 013 | 835 | 3 | 1140 | 18 | 1500 | 38 | 1850 |
| 012 | 855 | 4 | 1160 | 19 | 1520 | 39 | 1880 |
| 011 | 880 | 5 | 1180 | 20 | 1530 | 40 | 1920 |
| 010 | 900 | 6 | 1200 | 26 | 1580 | 41 | 1960 |
| 09 | 920 | 7 | 1230 | 27 | 1610 | 42 | 2000 |
| 08 | 940 | 8 | 1250 | 28 | 1630 | — | — |

Los conos de Seger están contruídos en forma de pirámide triangular de modo que los Nos. 022 a 025 son de 7,5 cm. de altura por 1,6 de ancho en la base; los Nos. 26 a 42 son de 2 cm. de altura y 0,95 cm³. de base. Las temperaturas que da la tabla se consideran obtenidas cuando el cono ha doblado el vértice hasta la mitad. Los conos de Seger son de gran utilidad sobre todo en las industrias químicas donde se requieren temperaturas intermitentes.

Pirómetros ópticos.—A simple vista puede apreciarse la temperatura de un cuerpo según la coloración que les dé el calor. Como es natural esta apreciación no puede ser sino aproximada, toda vez que depende de la sensibilidad visual de cada persona, de la luminosidad del día como de la hora etc.

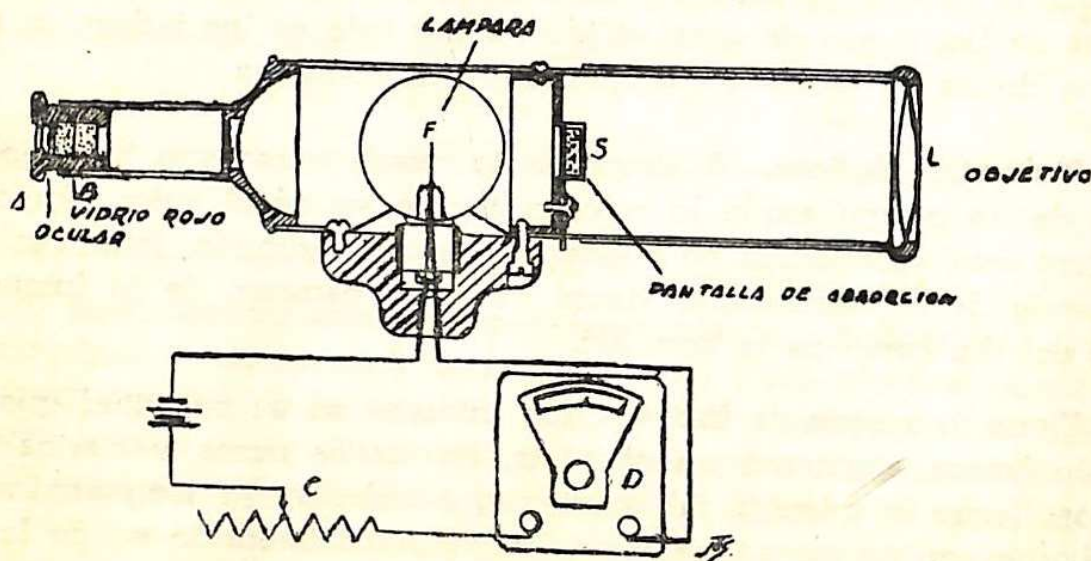
Tiene una serie de factores que influyen en su exactitud que sería inoficioso enumerar; no obstante, en ciertos casos y ciertas personas llegan a adquirir tal práctica que calculan la temperatura de un horno con un error no mayor de 10°. A continuación se da la lista de temperaturas para determinados colores.

| | | |
|-------------------|---------------|-----------------|
| Rojo naciente | corresponde a | 525° C. |
| " oscuro | " " | 700° C. |
| Cereza naciente | " " | 800° C. |
| Rojo cereza | " " | 900° C. |
| Cereza claro | " " | 1000° C. |
| Anaranjado oscuro | " " | 1100° C. |
| " claro | " " | 1200° C. |
| Blanco | " " | 1300° C. |
| " soldante | " " | 1400° C. |
| " incandescente | " " | 1500 a 1600° C. |

La temperatura de una sustancia puede ser determinada por la energía radiada y emitida. Esta determinación puede hacerse midiendo la longitud de la onda emitida por el cuerpo o calculando la luz emitida; de aquí se han construido dos pirómetros ópticos que trabajan bajo distinto principio y son los pirómetros luminosos o mejor los que comparan la luz producida por un cuerpo con un manantial fijo de luz (una lámpara o bujía, una bombilla, etc.) y los pirómetros de radiación basados en la influencia que tiene la longitud de onda luminosa sobre algunas sustancias como el selenio, etc.

Aun cuando hay una serie indeterminada de pirómetros ópticos no se anotan aquí sino algunos de los más importantes, de mayor uso, de más fácil manejo y mejores resultados prácticos.

Pirómetro de Leeds y Northrup.—En la figura 5 encontramos este aparato de construcción reciente, supremamente sencillo y fácil de manejar y transportar. Consta de una lámpara de filamento F



(Fig. 5)

colocada en el punto focal de un objetivo L y un ocular A formando un telescopio ordinario el cual superpone sobre la lámpara la imagen del cuerpo cuya temperatura se calcula. Un vidrio rojo B está montado sobre el ocular y tiene por objeto producir luz monocromática. Entre la lámpara y el objetivo se colocan pedacitos de vidrio S que tienen por objeto disminuir la intensidad luminosa, cuando se trata de medir altas temperaturas. Para la medición de temperaturas basta mirar con el telescopio a través del horno un objeto que quiere medirse e ir moviendo el reóstato c hasta que la luz producida por el cuerpo y la de la lámpara se confundan o mejor dicho sean de la misma intensidad. La corriente que se suministra a la lámpara se lee en un amperímetro D y luego con una tabla que acompaña a cada aparato se puede encontrar la temperatura correspondiente para determinado amperaje. La relación entre la corriente i a través de la lámpara y la temperatura t° centígrados, es la siguiente:

$i = a + bt + ct^2$ en la cual a, b y c son constantes del aparato; según que usen o no vidrio rojo de alta absorción, distancias focales, etc.

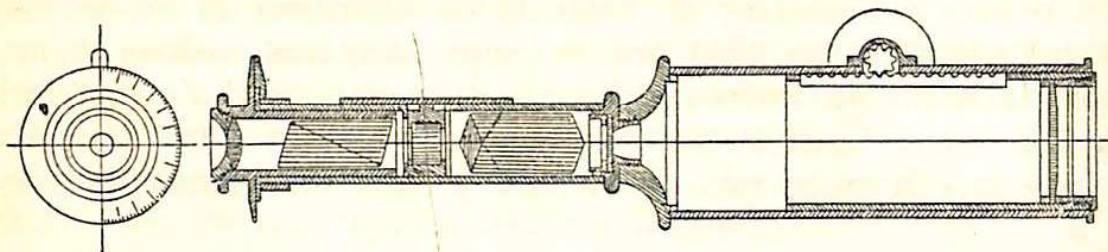
La lámpara no se puede operar a temperaturas mayores de 1500° C. sin peligro a deteriorar el filamento de tungsteno. Si las temperaturas no exceden de 1800 grados estas lámparas resisten algunos cientos de horas en trabajo ordinario. Hay necesidad de calibrarlas cada 200 horas. Cuando las temperaturas son más altas la calibración hay que hacerla más a menudo y usar los vidrios de absorción S.

A continuación tenemos una tabla para este aparato según que se use o no vidrios de absorción. Obsérvese que las variaciones de corriente son muy pequeñas.

| Corriente en amperios | Temperaturas en grados centígrados | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | Sin vidrios de absorción | Con vidrios de absorción |
| 0.26 | 634 | 943 |
| 0.28 | 765 | 1.190 |
| 0.30 | 860 | 1.386 |
| 0.32 | 936 | 1.555 |
| 0.34 | 1.002 | 1.710 |
| 0.36 | 1.060 | 1.854 |
| 0.38 | 1.113 | 1.992 |
| 0.42 | 1.201 | 2.237 |
| 0.46 | 1.281 | 2.478 |
| 0.50 | 1.359 | 2.733 |

Basados en este principio hay una serie de pirómetros usados en industrias donde son necesarias temperaturas constantes, los cuales constan únicamente de lámparas de temperatura y corrientes fijas, de tal manera que a simple vista, colocando la lámpara patrón contra el horno se puede medir directamente la temperatura.

Pirómetro de Mesure y Nouel.—Consta de un anteojo (figura 6), en el interior del cual hay dos prismas Nicol, uno polarizador P y otro analizador A colocados de modo que sus planos formen un ángulo de 90° , cuando el **O** del limbo graduado C. coincida con el índice I. Entre los dos prismas hay una placa de cuarzo Q cortada normalmente a su eje de cristalización. La posición de esta placa y los prismas pueden graduarse removiendo la placa M. El anteojo tiene en un extremo el ocular **O** y en el otro un cristal plano y esmerilado G, cuyo objeto es difundir los rayos luminosos. Para impedir que la luz exterior perturbe la observación, el anteojo se prolonga por un tubo de unos 12 cms. de largo. Esto es conveniente sobre todo si se quieren observar temperaturas bajas y para tal caso se cierra el tubo con una lente colectora **L** que se enfoca mediante un piñón R.



(Fig. 6)

Suponiendo que se quita la placa de cuarzo, un rayo de luz monocromática que atraviesa el polarizador P, se extinguirá al llegar al analizador A; interponiendo la placa de cuarzo cambiará el plano de polarización y por consiguiente, el rayo volverá a ser visible. Para que desaparezca nuevamente habrá que hacer girar uno de los prismas un cierto ángulo que es proporcional al espesor de la placa de cuarzo y está en razón inversa del cuadrado de la longitud de onda. Como el grueso de la placa de cuarzo es constante (11 milímetros), no quedan más que dos variables, función una de otra: el ángulo de giro y la longitud de onda. El primero se lee en el limbo C. dando vuelta al analizador hasta que se extinga el rayo y la longitud de onda es proporcional a la intensidad de la luz, que a la vez lo es a la temperatura del cuerpo incandescente, de tal mane-

colocada en el punto focal de un objetivo L y un ocular A formando un telescopio ordinario el cual superpone sobre la lámpara la imagen del cuerpo cuya temperatura se calcula. Un vidrio rojo B está montado sobre el ocular y tiene por objeto producir luz monocromática. Entre la lámpara y el objetivo se colocan pedacitos de vidrio S que tienen por objeto disminuir la intensidad luminosa, cuando se trata de medir altas temperaturas. Para la medición de temperaturas basta mirar con el telescopio a través del horno un objeto que quiere medirse e ir moviendo el reóstato *c* hasta que la luz producida por el cuerpo y la de la lámpara se confundan o mejor dicho sean de la misma intensidad. La corriente que se suministra a la lámpara se lee en un amperímetro D y luego con una tabla que acompaña a cada aparato se puede encontrar la temperatura correspondiente para determinado amperaje. La relación entre la corriente *i* a través de la lámpara y la temperatura *t*° centígrados, es la siguiente:

$i = a + bt + ct^2$ en la cual *a*, *b* y *c* son constantes del aparato; según que usen o no vidrio rojo de alta absorción, distancias focales, etc.

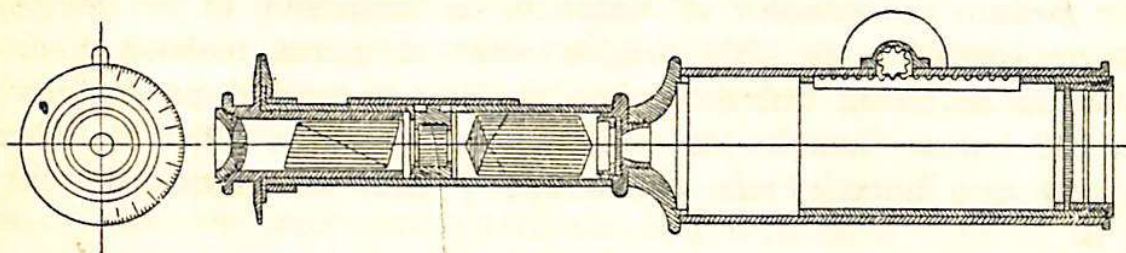
La lámpara no se puede operar a temperaturas mayores de 1500° C. sin peligro a deteriorar el filamento de tungsteno. Si las temperaturas no exceden de 1800 grados estas lámparas resisten algunos cientos de horas en trabajo ordinario. Hay necesidad de calibrarlas cada 200 horas. Cuando las temperaturas son más altas la calibración hay que hacerla más a menudo y usar los vidrios de absorción **S**.

A continuación tenemos una tabla para este aparato según que se use o no vidrios de absorción. Obsérvese que las variaciones de corriente son muy pequeñas.

| Corriente en amperios | Temperaturas en grados centígrados | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | Sin vidrios de absorción | Con vidrios de absorción |
| 0.26 | 634 | 943 |
| 0.28 | 765 | 1.190 |
| 0.30 | 860 | 1.386 |
| 0.32 | 936 | 1.555 |
| 0.34 | 1.002 | 1.710 |
| 0.36 | 1.060 | 1.854 |
| 0.38 | 1.113 | 1.992 |
| 0.42 | 1.201 | 2.237 |
| 0.46 | 1.281 | 2.478 |
| 0.50 | 1.359 | 2.733 |

Basados en este principio hay una serie de pirómetros usados en industrias donde son necesarias temperaturas constantes, los cuales constan únicamente de lámparas de temperatura y corrientes fijas, de tal manera que a simple vista, colocando la lámpara patrón contra el horno se puede medir directamente la temperatura.

Pirómetro de Mesure y Nouel.—Consta de un anteojo (figura 6), en el interior del cual hay dos prismas Nicol, uno polarizador P y otro analizador A colocados de modo que sus planos formen un ángulo de 90° , cuando el \bigcirc del limbo graduado C. coincida con el índice I. Entre los dos prismas hay una placa de cuarzo Q cortada normalmente a su eje de cristalización. La posición de esta placa y los prismas pueden graduarse removiendo la placa M. El anteojo tiene en un extremo el ocular \bigcirc y en el otro un cristal plano y esmerilado G, cuyo objeto es difundir los rayos luminosos. Para impedir que la luz exterior perturbe la observación, el anteojo se prolonga por un tubo de unos 12 cms. de largo. Esto es conveniente sobre todo si se quieren observar temperaturas bajas y para tal caso se cierra el tubo con una lente colectora L que se enfoca mediante un piñón R.



(Fig. 6)

Suponiendo que se quita la placa de cuarzo, un rayo de luz monocromática que atraviesa el polarizador P, se extinguirá al llegar al analizador A; interponiendo la placa de cuarzo cambiará el plano de polarización y por consiguiente, el rayo volverá a ser visible. Para que desaparezca nuevamente habrá que hacer girar uno de los prismas un cierto ángulo que es proporcional al espesor de la placa de cuarzo y está en razón inversa del cuadrado de la longitud de onda. Como el grueso de la placa de cuarzo es constante (11 milímetros), no quedan más que dos variables, función una de otra: el ángulo de giro y la longitud de onda. El primero se lee en el limbo C. dando vuelta al analizador hasta que se extinga el rayo y la longitud de onda es proporcional a la intensidad de la luz, que a la vez lo es a la temperatura del cuerpo incandescente, de tal mane-

ra que midiendo el ángulo se mide indirectamente la temperatura. El limbo *c* está graduado en grados de giro, pero algunos aparatos lo tienen graduado en grados de temperatura.

La luz emitida por un cuerpo incandescente no es homogénea, al rojo oscuro emite rayos rojos y a medida que crece su temperatura van apareciendo los rayos anaranjados, amarillos, verdes y azules. De manera que dando vuelta al analizador, se obtendrá una serie de coloraciones, en lugar de extinguirse simplemente el rayo luminoso, como ocurriría si éste fuese de luz homogénea; de todos modos el ángulo de giro, necesario para lograr una coloración determinada, continuará siendo proporcional a la intensidad luminosa y por consiguiente a la temperatura.

Al mover el analizador y variar el color de rojo a verde, pasa por un matiz amarillo de limón que sirve de tipo para medir temperaturas moderadas. Para la correspondiente al rojo blanco el matiz-tipo es el violeta; para temperaturas bajas desaparece la coloración. Este pirómetro no es aplicable sino para temperaturas mayores de 750° C.

Estos aparatos suelen traer una gama explicativa de la variación de colores como también sus tablas para transformar grados de giro del analizador a grados centígrados.

Angulo de rotación en

| | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| grados | 33 | 40 | 46 | 52 | 57 | 62 | 66 | 69 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|

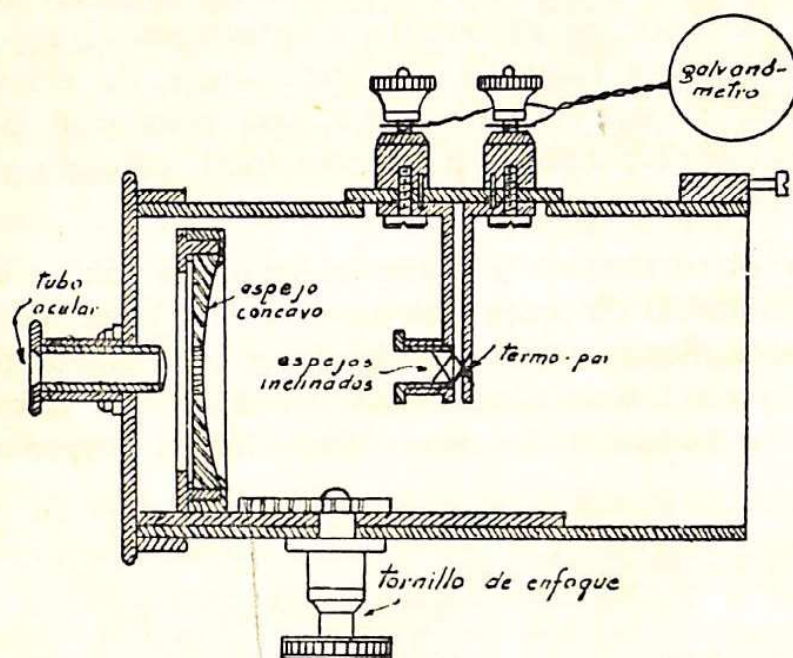
Temperatura en centí-

| | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| grados | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
|--------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|

Pirómetro de filamento de selenio. Pirómetro de radiación.—En los pirómetros de radiación, en lugar de la luz, es el calor radiado por los hornos el que efectúa una serie de fenómenos físicos y como la intensidad de estos fenómenos es función de la temperatura, éstos nos sirven para la determinación de ésta.

El pirómetro de selenio consta de un anteojo compuesto de un ocular y un objetivo y que lleva en su interior un disco graduado que tiene en su parte central una espiral de selenio, la cual hace mover una aguja indicadora cuando inciden sobre ella los rayos luminosos del cuerpo incandescente. El disco interior está graduado directamente en grados centígrados, de tal manera que su manejo se reduce a colocar el objetivo frente al cuerpo incandescente y observar la aguja indicadora.

Pirómetro de radiación de Fery.—Este pirómetro tiene hoy gran aplicación en algunas industrias metalúrgicas, por su fácil manejo y porque da con rapidez resultados suficientemente exactos. Consta en esencia de un espejo cóncavo de vidrio con un baño de oro y perforado en el centro (figura 7), frente de éste se encuentra un anteojo con ocular. El tornillo sin fin sirve para enfocar el cuerpo cuya



(Fig. 7)

temperatura se desea medir. En el foco hay un par termoeléctrico de cobre y constantana rodeado por dos espejos semicirculares que forman un pequeño ángulo entre sí de tal modo que al mirar se verá la imagen negra del par partida en dos mitades, superior e inferior. Las terminales aisladas que están conectadas por medio de láminas de cobre con el par termo-eléctrico, se unen a las terminales de un voltímetro portátil de precisión. Los rayos caloríficos que penetran por el aparato a través de un diafragma de sectores (diafragma tipo de cámara fotográfica) son reflejados por el espejo hacia el foco D, de modo que dando vuelta al tornillo se logrará que la imagen térmica caiga sobre el foco D, lo cual se reconoce porque las dos mitades del círculo negro que se ven en el centro del campo, mirando por E, se superponen, pues en caso contrario las dos mitades de la imagen se desplazan a derecha e izquierda, respectivamente.

Los rayos reflejados al encontrarse en el foco D calientan el par

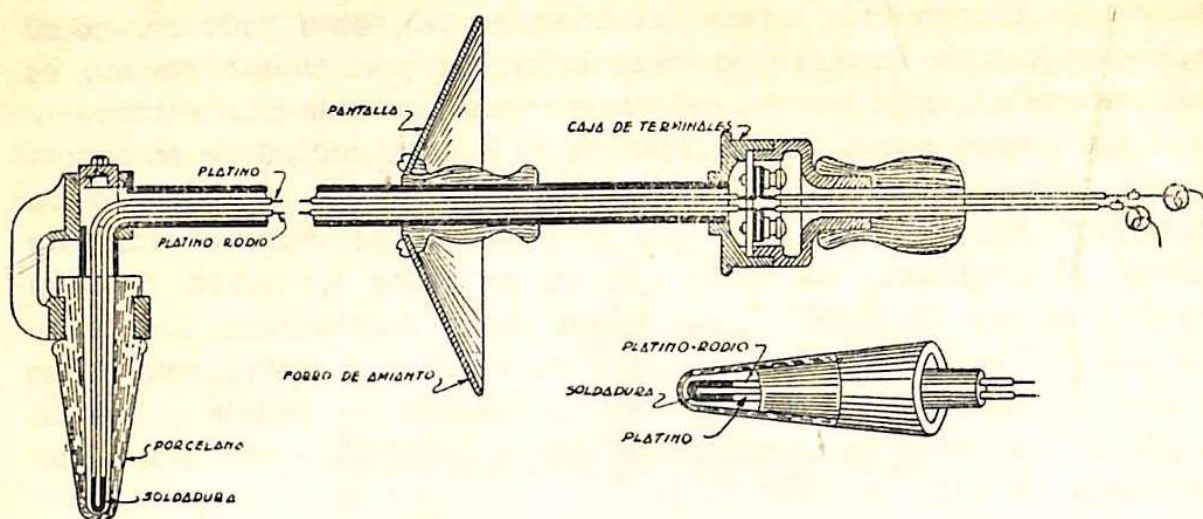
y determinan una corriente cuya fuerza electromotriz se leerá en el voltímetro. El resultado puede considerarse, sin error práctico, como independiente de la distancia entre el espejo y el cuerpo emisor; es indispensable que la imagen del cuerpo incandescente cubra totalmente el par termoelectrónico. En la práctica, el instrumento puede colocarse a una distancia del cuerpo emisor igual a 36 veces el diámetro de éste. Para temperaturas entre 500 y 1.000° C. se deja enteramente abierto el diafragma de modo que pasen todos los rayos, pero si aquélla excede de 1.000° C. se deben cerrar parcialmente los sectores del diafragma. El voltímetro que acompaña al instrumento, tiene tres graduaciones, una en rojo para la medida del voltaje y dos en negro, la una para temperaturas de 500 a 1.000° C. y otra para temperaturas de 1.000 a 2.000° C.

Pirómetros eléctricos.

Pirómetros de resistencia.—Los pirómetros de resistencia están basados en el aumento que experimenta la resistencia eléctrica de los conductores metálicos (cobre, plata, platino, etc.) al aumentar su temperatura, por lo tanto estos aparatos constan de tres partes indispensables a saber: una fuente de corriente que generalmente es una batería, una bobina por donde circula dicha corriente y un puente para medir la resistencia de la bobina.

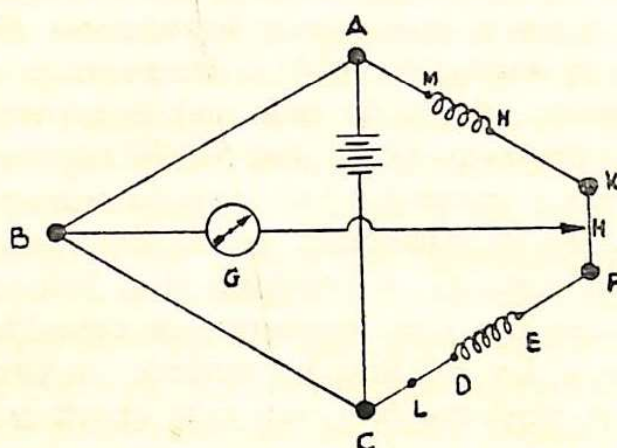
Pirómetro de Siemen.—Analicemos un esquema de este aparato; consta de una pila o batería **B** que da corriente al alambre de platino **C** enrollado en forma de bobina, y colocado en un tubo de porcelana de tal manera que pueda introducirse fácilmente en el horno, y al carrete o resistencia **R**. A la temperatura ordinaria **R** y **C** tienen igual resistencia, de modo que ambas corrientes son iguales y por tanto el galvanómetro **G** no marca. Al introducir en el horno el tubo de porcelana y aumentar por tanto la temperatura del alambre **C** crecerá también su resistencia, siendo desiguales las corrientes, la aguja del galvanómetro **G** se desviará; si el limbo del galvanómetro se gradúa previamente para temperaturas conocidas, podrán leerse éstas directamente. La industria ha variado un poco el dispositivo de este pirómetro y construye hoy uno más exacto y de oscilaciones más uniformes.

Pirómetro Callender.—La figura 8 representa esquemáticamente este pirómetro: consta de una bobina **P** que está conectada a los terminales **AM** y **KN**, a la bobina llega también un hilo compensador



(Fig. 8)

CLD que tiene la misma resistencia que los hilos **AM** y **KN** y están dispuestos de modo que porciones correspondientes de ellos se encuentren siempre a igual temperatura. Los hilos **AB** y **BC** que tienen ambos la misma resistencia y **DE** se hallan encerrados en una caja; el conductor **FK** es una tela metálica, que forma puente de resistencia variable mediante un contacto movable **H**. Entre **A** y **C** se intercala una batería y un galvanómetro **G**, registra las corrientes a las temperaturas. La bobina de platino **MPM** lo mismo que las terminales van colocadas en un tubo de porcelana.



(Fig. 9)

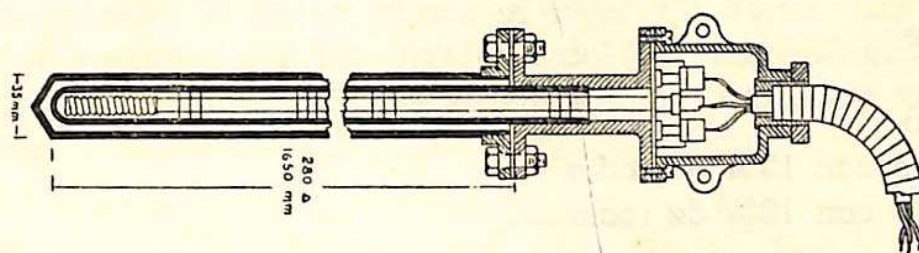
Este dispositivo es el mismo del puente de Wheatstone (figura 9). Intercalando en **DE** resistencias adecuadas y corriendo el contacto

H. se logra llevar al cero la aguja del galvanómetro y por tanto la condición de equilibrio será:

$(AM + P + NK)$. $BC = (CL + LD + DE + EF + FH)$. AB como AB y BC son iguales:

$AM + P + NK = CL + LD + DE + EF + FH$ y como todo cambio en la resistencia AM y NK se halla compensado por una variación equivalente en CL y LD el equilibrio nos dará:

$P = DE + EF + FH$ o sea que la resistencia P del platino quedará medida por la que se intercale en DE más la correspondiente leída sobre el conductor FK con arreglo a la posición que ocupe el contacto H.



(Fig. 10)

La figura 10 muestra la disposición industrial del pirómetro Callender. Consta de un tubo de porcelana esmaltado exteriormente y encerrado en otro de acero; por arriba lo cierra un tapón dejando un hueco donde se coloca la placa para las terminales de porcelana. De las cuatro terminales parten los hilos de platino que forman los extremos de la bobina **b** y los hilos compensadores. Estos conductores entran en el tubo de porcelana dentro del cual se mantienen separados por arandelas de mica. Los terminales **a** su vez, empalman con la batería, caja de resistencias y galvanómetro (no mostrados en la fig.)

Pirómetros termoelectricos.—Se fundan en el principio de Barus, que dice: al calentar un par termoelectrico, constituido por dos metales distintos y cerrar el circuito se origina una corriente proporcional a la temperatura absoluta del par. Un par termoelectrico se obtiene soldando dos metales distintos en una extremidad.

Los pirómetros de este tipo constan esencialmente del par termoelectrico el cual se coloca dentro de un tubo de acero debidamente aislado con porcelana, y de un milivoltímetro que generalmente se gradúa en grados centígrados y Fahrenheit. Estos pirómetros miden

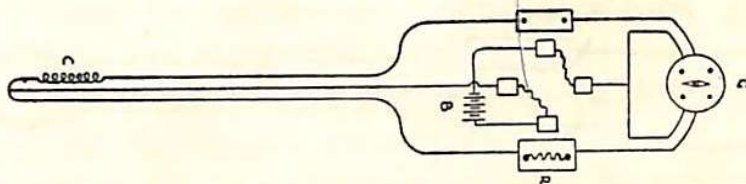
temperaturas comprendidas entre 300 y 1.600° c. no es aconsejable usarlos para temperaturas más elevadas.

Los metales empleados en los pares, deben tener como características principales: ser refractarios o sea que tengan un punto de fusión alto para que no se corra el peligro de su fusión, y una alta potencia termoeléctrica. Los metales que mejor resultado han dado a la industria para la fabricación de pares son los siguientes, en orden de importancia y refractabilidad.

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Cromel | (níquel-cromo) |
| Nicrome | (níquel-cromo-hierro) |
| Plata | |
| Cobre | |
| Oro | |
| Hierro | |
| Platino con 13% de rodio | |
| Platino con 10% de rodio | |
| Platino | |
| Cobalto | |
| Paladio | |
| Alumel | (níquel-aluminio) |
| Níquel | |
| Paladio 40% — Oro 60% | |
| Constantana | (cobre, níquel, zinc y manganeso) |
| Copel | (níquel y cobre) |

El par cobre/constantana da diez milivoltios a 200° c. y puede ser usada con bastante exactitud hasta 350° c. porque de aquí en adelante es un poco inexacto y no se puede emplear para temperaturas que pasen de 600° c., debido a que el cobre se oxida rápidamente a estas temperaturas. El par hierro-constantana es muy usado para mediciones exactas de temperaturas que no pasen de 900° c. El par cobre/alumel (aleaciones patentadas por la casa Hoskins) es el más empleado hoy en la industria metalúrgica pudiendo medir con exactitud temperaturas hasta de 1.100° c. Este par resiste altas temperaturas y es de mucha duración debido a su inoxidabilidad. El par platino/platino-rodio, es el de mejor duración, se pueden medir con él temperaturas hasta de 1.500° c. En cuanto a duración e inoxidabilidad trabaja como el par cromel/alumel.

Pirómetro de Chatelier.—La figura 11 muestra el dispositivo de este aparato. El tubo de hierro que envuelve los de porcelana, donde se encuentran los hilos del par, termina por una empuñadura de madera que constituye a la vez la caja de terminales; los alambres de platino y platino-rodio terminan allí en varias espirales, de manera que si la soldadura expuesta al calor se estropea, puede cortarse y reemplazarse. Se acostumbra proteger la soldadura cubriéndola con una pasta de cuarzo, arcilla y silicato de sodio; también puede protegerse con un tubo de cuarzo o de porcelana. Puede usarse la forma recta o la angular, según el caso. Cuando la soldadura del par se protege del modo anotado se gastan unos dos minutos para ponerse a la temperatura del horno. Una pantalla de asbesto se emplea para proteger la mano contra el calor del horno. Los alambres de cobre se empatan con los alambres del par termoeléctrico por medio de soldadura, en la caja de terminales. La resistencia de 100 mt.



(Fig. 11)

de alambre de cobre de 0.9 mm. de diámetro no llega a 3 ohmios, que es una cantidad despreciable en comparación con la del galvanómetro que tiene un valor mínimo de 200 ohmios, por tanto no hay inconveniente en que el galvanómetro esté retirado del horno. Las terminales exteriores se conectan a un milivoltímetro que ha sido calibrado de antemano para leer grados centígrados.

Las ventajas del pirómetro termoeléctrico estriban en su exactitud, en que el resultado sólo depende de la diferencia de temperatura entre las soldaduras calientes y frías y en que permite medir las temperaturas en sitios en donde sería imposible hacerlo por otros métodos; sus indicaciones son rápidas por lo cual se presta a la medición de temperaturas variables; es supremamente duradero y se puede calibrar en cualquier momento con gran facilidad.

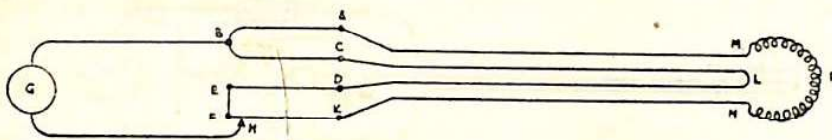
Con el objeto de registrar las variaciones de temperatura a que están sometidas algunas operaciones químicas y metalúrgicas, se han ideado pirómetros registradores que se valen de una plumilla

para trazar un diagrama. La plumilla va siempre adherida a la aguja del voltímetro o galvanómetro y el gráfico es movido por un sistema de engranajes o un motor. Los principales aparatos registradores son los de Roberts-Austen, Saladin, Callender, Siemens-Halske, y Brown.

Pirómetros Hoskins.—Estos pirómetros son todos contruídos con las aleaciones **cromel** y **alumel** (aleaciones patentadas) y constan de un par termoelectrico completamente aislado con tubos de porcelana; este conjunto va dentro de un tubo de **cromel** que protege el par; y de un milivoltímetro graduado en grados centígrados.

El par cromel/alumel se emplea para temperaturas comprendidas entre 750° y 1.600° c.; para temperaturas inferiores se emplea el par cromel/copel.

Los pirómetros Hoskins están contruídos de tal manera que pueden cambiar sus pares de acuerdo con la operación metalúrgica lo mismo que la temperatura que se desee medir.



(Fig. 12)

La figura 12 muestra claramente la disposición de los pirómetros Hoskins: El aislamiento de porcelana formado de un bloque con dos agujeros por donde pasan los alambres que forman el par; **C** muestra claramente estos aisladores. La caja de conexiones donde termina el par y arrancan las transmisiones que conectan el par con el milivoltímetro muestra el modo como se forma el par y el par listo para una determinación. El par tal como se ve en **A** se coloca dentro de un tubo de cromel representado en la figura 12, el cual se coloca en contacto directo con el horno cuya temperatura se desea conocer.

Dr. Antonio Durán