

Termómetros de resistencia de platino y la escala internacional de temperatura EIT-90

Víctor Martínez Fuentes

La EIT-90

La Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT- 90) se adoptó por el CIPM en 1989 para reemplazar a partir de 1990 a la escala IPTS-68 y a la escala provisional de 0,5K a 30 K de 1976 [1].

La EIT-90 (ó ITS-90 por sus siglas en inglés) se extiende desde 0,65 K hasta la más alta temperatura que se puede medir por medio de la Ley de Radiación de Planck usando radiación monocromática. La EIT-90 está definida en varios intervalos y subintervalos en la cual se define la temperatura T_{90} .

Definición de la EIT-90

- Entre 0,65 K y 5 K, T_{90} se define en términos de las relaciones de temperatura-presión de vapor del ^3He y ^4He .
- Entre 3,0 y el punto triple del neón (24,5561) T_{90} se define por medio del termómetro de gas de helio.
- Entre el punto triple del hidrógeno (13,8033 K) y el punto de solidificación de la plata (961,78 °C) T_{90} se define por medio de los termómetros de resistencia de platino calibrados en un conjunto de puntos fijos y por medio de procedimientos de interpolación.
- Arriba del punto de solidificación de la plata (961,78 °C) T_{90} se define en términos de un punto de definición y la ley de radiación de Planck.

La EIT-90 definida por el TRP

Como se observa, el termómetro de resistencia de platino define la escala en el intervalo que va de 13,8033 K hasta 961,78 °C por medio de calibraciones en puntos fijos. Adicionalmente, el termómetro debe cumplir con ciertos requisitos que se describen más adelante.

Los puntos fijos definitorios de la EIT-90 se listan en la tabla 1. Para efectos de presión en la temperatura de los puntos fijos se debe consultar directamente la referencia [1].

Tabla 1. Puntos definitorios de la EIT-90 para calibración de termómetros de resistencia de platino

T_{90} / K	$t_{90} / ^\circ C$	Substancia	Estado	$W_r (T_{90})$
13,8033	- 259,3467	e-H ₂	T	0,0001 190 07
24,5561	- 248,5939	Ne	T	0,008 449 74
54,3584	- 218,7916	O ₂	T	0,091 718 04
83,8058	-189,3442	Ar	T	0,215 859 75
234,3156	-38,8344	Hg	T	0,844 142 11
273,16	0,01	H ₂ O	T	1,000 000 00
302,9146	29,7646	Ga	F	1,118 138 89
429,7485	156,5985	In	S	1,609 801 85
505,078	231,928	Sn	S	1,892 797 68
692,677	419,527	Zn	S	2,568 917 30
933,473	660,323	Al	S	3,376 008 60

Donde el estado T en la tabla corresponde a punto triple; F a punto de fusión y S a punto de solidificación donde la temperatura de estos dos últimos corresponde a una presión de 101 325 Pa. Obsérvese que W_r vale 1 en el punto triple del agua (PTA).

El termómetro de resistencia de platino.

Un solo termómetro no se puede usar para definir toda la escala y se requiere de ciertas buenas prácticas que se detallan en la referencia [2].

Las temperaturas se determinan en términos de la relación de resistencia $R(T_{90})$ a la temperatura T_{90} y la resistencia $R(273,16)$ en el punto triple del agua (PTA). Esta relación está dada como:

$$W(T_{90}) = R(T_{90}) / R(273,16K) \quad (1)$$

Pero para que un termómetro de resistencia de platino sea aceptable debe estar hecho de platino puro y libre de esfuerzos y satisfacer una de las dos relaciones siguientes:

$$W(29,7646^\circ C) \geq 1,11807$$

$$W(-38,8344^\circ C) \leq 0,844235$$

y si se usa hasta el punto de solidificación de la plata:

$$W(961,78^\circ C) \geq 4,2844$$

y como se observa en la tabla 1 y de acuerdo a la definición de W , la W de referencia (W_r) vale 1 en el punto triple del agua (PTA).

Funciones de Referencia

Las funciones de referencia que relacionan la W con la temperatura están dadas en dos intervalos:

i) de 13,8033 K hasta 273,16 K

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[\frac{\ln(T_{90} / 273,16K) + 1,5}{1,5} \right]^i \quad (2)$$

y la función inversa (dentro de 0,1 mK)

$$T_{90} / 273,16K = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left[\frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0,65}{0,35} \right]^i \quad (3)$$

ii) De 0 °C a 961,78 °C

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[\frac{T_{90} / K - 754,15}{481} \right]^i \quad (4)$$

y la función inversa (dentro de 0,13 mK)

$$T_{90} / K - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right]^i \quad (5)$$

Donde los coeficientes están dados en la tabla 2:

Tabla 2. Coeficientes A_i , B_i , C_i , y D_i de las funciones de referencia (tomados de [1])

A_0	— 2.135 347 29	B_0	0.183 324 722	B_{13}	— 0.091 173 542
A_1	3.183 247 20	B_1	0.240 975 303	B_{14}	0.001 317 696
A_2	— 1.801 435 97	B_2	0.209 108 771	B_{15}	0.026 025 526
A_3	0.717 272 04	B_3	0.190 439 972		
A_4	0.503 440 27	B_4	0.142 648 498		
A_5	— 0.618 993 95	B_5	0.077 993 465		
A_6	— 0.053 323 22	B_6	0.012 475 611		
A_7	0.280 213 62	B_7	— 0.032 267 127		
A_8	0.107 152 24	B_8	— 0.075 291 522		
A_9	— 0.293 028 65	B_9	— 0.056 470 670		
A_{10}	0.044 598 72	B_{10}	0.076 201 285		
A_{11}	0.118 686 32	B_{11}	0.123 893 204		
A_{12}	— 0.052 481 34	B_{12}	— 0.029 201 193		
C_0	2.781 572 54	D_0	439.932 854		
C_1	1.646 509 16	D_1	472.418 020		
C_2	— 0.137 143 90	D_2	37.684 494		
C_3	— 0.006 497 67	D_3	7.472 018		
C_4	— 0.002 344 44	D_4	2.920 828		
C_5	0.005 118 68	D_5	0.005 184		
C_6	0.001 879 82	D_6	— 0.963 864		
C_7	— 0.002 044 72	D_7	— 0.188 732		
C_8	— 0.000 461 22	D_8	0.191 203		
C_9	0.000 457 24	D_9	0.049 025		

Funciones de desviación

Las funciones de referencia corresponden al caso de un termómetro que se comporta idénticamente a los valores de esas referencias. Pero esto nunca sucede así, los termómetros reales se desvían un poco de estas funciones de referencia y entonces, la forma de caracterizar tal desviación se realiza construyendo funciones de desviación a partir de las desviaciones de las W experimentales (medidas) con respecto a las W_r de la función de referencia en las temperaturas de los puntos fijos durante la calibración del termómetro. Se obtiene una desviación $\Delta W = W - W_r$ para cada punto fijo que se utilice en la calibración. Los puntos fijos de calibración y las constantes que se obtienen de las desviaciones en esos puntos fijos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Puntos fijos y funciones de referencia para calibrar termómetros de resistencia de platino en cada subintervalo.

Subintervalos	Puntos fijos de calibración	Función de desviación
-38,8344 a 29,7646	Hg, PTA y Ga	$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2$
0 a 29,7646	PTA y Ga	$\Delta W = a(W - 1)$
0 a 156,5985	PTA y In	$\Delta W = a(W - 1)$
0 a 231,928	PTA, In y Sn	$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2$
0 a 419,527	PTA, Sn y Zn	$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2$
0 a 660,323	PTA, Sn, Zn, y Al	$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2 + c(W - 1)^3$
0 a 961,78	PTA, Sn, Zn, Al y Ag	$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2 + c(W - 1)^3 + d(W - W_{660,323})^2$

Cómo usar esta información cuando se tiene un informe de calibración usando la EIT-90 para la calibración de un termómetro.

En la calibración de un termómetro de resistencia de platino calibrado en puntos fijos según la EIT-90 se tiene un informe en donde se da el valor de $R_{0,01}$ que es la resistencia del termómetro en el PTA. Esta $R_{0,01}$ se debe medir de nuevo con los instrumentos lectores del usuario cuando estos son diferentes a los usados en la calibración o cuando esta resistencia pueda ser diferente a la del informe de calibración. También en el informe se encuentran los valores de las constantes a , b , c y d de las funciones de desviación correspondiente al subintervalo de calibración.

Con la nueva $R_{0,01}$ medida se pueden calcular los W en cualquier otra temperatura usando la ecuación (1).

Para calcular la temperatura correspondiente a una W se encuentra W_r a partir de la función de desviación ΔW y de W :

$$W_r = W - \Delta W \quad (6)$$

este valor W_r se sustituye en la función inversa de la función de referencia, ecuación (3) o (5) según sea el intervalo, y se obtiene T_{90} en kelvins.

¹ Preston-Thomas, H. *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*. Metrologia 27, 3-10 (1990). BIPM. Francia.

² "Supplementary Information for the ITS-90" Publicación del BIPM. 1990. Francia