

# LA ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA DE 1990 (ITS-90)

## Nota Introductoria

El texto oficial en francés de la ITS-90 fue publicado por el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) como parte de los Procès-verbaux del Comité International des Poids et Mesures (CIPM). Sin embargo la versión en inglés del texto aparecida en la revista Metrologia 27,3-10 (1990) fue autorizada por el Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) y fue aprobada por el CIPM. La misma es reproducida completamente como referencia al final de este documento e incluye las correcciones textuales detalladas en la revista Metrologia 27, 107 (1999). A partir de este texto en inglés el Laboratorio de Termometría de la Dirección de Metrología (DM) del INACAL ha preparado esta versión en castellano que ha sido confrontada también con el texto en castellano publicado por el Centro Español de Metrología (CEM) titulado "Escala Internacional de Temperatura 1990 EIT-90".

## La Escala Internacional de Temperatura de 1990

La Escala Internacional de Temperatura de 1990 fue adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en su reunión de 1989, de acuerdo con la invitación formulada en 1987 por la 18ª Conferencia General de Pesas y Medidas (Resolución 7).

Esta Escala reemplaza a la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968 (edición corregida de 1975) y a la Escala Provisional de Temperatura de 1976 entre 0,5 K y 30 K .

### 1. Unidades de temperatura

La unidad de la magnitud física fundamental conocida como temperatura termodinámica, símbolo  $T$ , es el kelvin, símbolo K , definido como la fracción  $1/273,16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua<sup>1</sup>.

Debido a la forma en que se definieron las anteriores escalas de temperatura, permanece como una práctica común expresar una temperatura en términos de su diferencia respecto de 273,15 K , la temperatura del punto de fusión del hielo. Una temperatura termodinámica  $T$  , expresada de esta manera, se conoce como temperatura Celsius, símbolo  $t$  , definida por:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15 \quad (1)$$

La unidad de la temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo  $^{\circ}\text{C}$  , que es, por definición, igual en magnitud al kelvin. Una diferencia de temperatura puede expresarse en kelvins o en grados Celsius.

La Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) define tanto la Temperatura Kelvin Internacional, símbolo  $T_{90}$  , como la Temperatura Celsius Internacional, símbolo  $t_{90}$  . La relación entre  $T_{90}$  y  $t_{90}$  es la misma que existe entre  $T$  y  $t$  , es decir:

$$t_{90}/^{\circ}\text{C} = T_{90}/\text{K} - 273,15 \quad (2)$$

La unidad de la magnitud física  $T_{90}$  es el kelvin, símbolo K y la de la magnitud física  $t_{90}$ , es el grado Celsius, símbolo  $^{\circ}\text{C}$  ; igual que como para la temperatura termodinámica  $T$  y la temperatura Celsius  $t$ .

---

<sup>1</sup> Comptes Rendus des Séances de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures (1967-1968), Résolutions 3 et 4, pág. 104.

## 2. Principios de la Escala Internacional de Temperatura de 1990.

La ITS-90 se extiende desde 0,65 K hasta la más alta temperatura prácticamente medible en términos de la Ley de Radiación de Planck usando radiación monocromática. La ITS-90 comprende una serie de rangos y sub-rangos de temperatura en cada una de los cuales se define las temperaturas  $T_{90}$ .

Varios de estos rangos o sub-rangos se superponen y, donde ocurren tales superposiciones, existen diferentes definiciones de  $T_{90}$ ; estas diversas definiciones tienen igual validez. Para las mediciones de la más alta exactitud, pueden haber detectables diferencias numéricas hechas en la misma temperatura pero usando definiciones diferentes. Similarmente, aún usando una única definición, a una temperatura entre puntos fijos de definición, dos instrumentos de interpolación aceptables (termómetros de resistencia, por ejemplo), pueden dar valores numéricos de  $T_{90}$  detectablemente diferentes. Virtualmente en todos los casos, estas diferencias son de despreciable importancia práctica y están en el mínimo nivel consistente con una escala de razonablemente no mayor complejidad; para una más amplia información sobre este tema puede verse la "Supplementary Information for the ITS-90" (BIPM-1990).

La ITS-90 ha sido construida de tal manera que, en todo su rango y para cualquier temperatura, el valor numérico de  $T_{90}$  es una muy cercana aproximación al valor numérico de  $T$  de acuerdo con las mejores estimaciones en el momento en que la escala fue adoptada. En comparación con las medidas directas de las temperaturas termodinámicas, las mediciones de  $T_{90}$  son más fáciles de hacer, son más precisas y son altamente reproducibles.

Hay diferencias numéricas significativas entre los valores de  $T_{90}$  y los correspondientes valores de  $T_{68}$  medidos en la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968 (IPTS-68), ver la figura 1 y la tabla 6. Similarmente hubieron diferencias entre la IPTS-68 y la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1948 (IPTS-48), así como entre la IPTS-48 y la Escala Internacional de Temperatura de 1927 (ITS-27). Ver el Anexo y, para más detalles, la "Supplementary Information for the ITS-90".

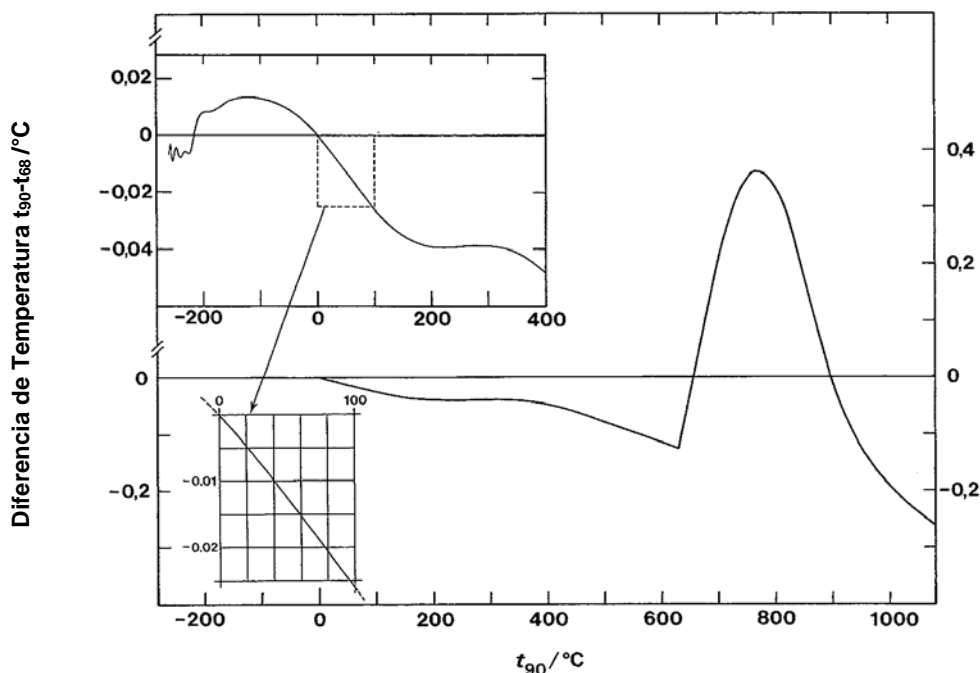


Figura1. Las diferencias  $(t_{90}-t_{68})$  como función de la temperatura Celsius  $t_{90}$

### 3. Definición de la Escala Internacional de Temperatura de 1990

Entre 0,65 K y 5,0 K la temperatura  $T_{90}$  se define por medio de las relaciones entre la presión de vapor de saturación y la temperatura del  $^3\text{He}$  y del  $^4\text{He}$ .

Entre 3,0 K y el punto triple del neón (24,556 1 K), la temperatura  $T_{90}$  se define mediante el termómetro de gas de helio calibrado en tres temperaturas experimentalmente realizables que tienen valores numéricos asignados (puntos fijos de definición) y utilizando fórmulas de interpolación especificadas.

Entre el punto triple del hidrógeno en equilibrio (13,8033 K) y el punto de solidificación de la plata (961,78 °C) la temperatura  $T_{90}$  se define mediante termómetros de resistencia de platino calibrados en conjuntos especificados de puntos fijos de definición y utilizando procedimientos de interpolación especificados.

Por encima del punto de solidificación de la plata (961,78 °C), la temperatura  $T_{90}$  se define en términos de un punto fijo de definición y la ley de radiación de Planck.

Los puntos fijos de definición de la ITS-90, se dan en la tabla 1. Los efectos de la presión, debidos a la profundidad de inmersión del termómetro o a otras causas, sobre la temperatura de la mayoría de estos puntos se dan para en la tabla 2.

#### 3.1. De 0,65 K a 5,0 K: Ecuaciones que relacionan la presión de vapor de saturación y la temperatura del helio.

En este rango, la temperatura  $T_{90}$  se define en función de la presión de vapor de saturación  $p$  del  $^3\text{He}$  y del  $^4\text{He}$  usando ecuaciones de la forma:

$$T_{90} / K = A_0 + \sum_{i=1}^9 A_i [(\ln(p / Pa) - B) / C] \quad (3)$$

Los valores de las constantes  $A_0; A_i; B; C$  se dan en la tabla 3 para el  $^3\text{He}$  en el rango de 0,65 K a 3,2 K y para el  $^4\text{He}$  en los rangos de 1,25 K a 2,176 8 K (el punto  $\lambda$ ) y de 2,1768 K a 5,0 K.

#### 3.2. De 3,0 K al punto triple del neón (24,5561 K): El termómetro de gas

En este rango, la temperatura  $T_{90}$ , se define mediante termómetros de gas de  $^3\text{He}$  o de  $^4\text{He}$ , del tipo de volumen constante, calibrado en tres temperaturas: la del punto triple del neón (24,5561 K), la del punto triple del hidrógeno en equilibrio (13,8033 K) y una temperatura comprendida entre 3,0 K y 5,0 K. Esta última se determina con un termómetro de presión de vapor de saturación de  $^3\text{He}$  o de  $^4\text{He}$  según se especifica en el párrafo 3.1.

##### 3.2.1. De 4,2 K al punto triple del neón (24, 5561 K) con $^4\text{He}$ como gas termométrico

En este rango, la temperatura  $T_{90}$  se define por la ecuación:

$$T_{90} = a + bp + cp^2 \quad (4)$$

donde:

$p$  es la presión en el termómetro de gas

$a, b$  y  $c$  son coeficientes cuyo valor numérico se obtiene por mediciones hechas en los tres puntos fijos de definición indicados en el párrafo 3.2; pero con la restricción adicional que la temperatura del punto mas bajo esté comprendida entre 4,2 K y 5,0 K.

**Tabla 1. Puntos Fijos de Definición de la ITS-90**

Número	Temperatura		Substancia <sup>a</sup>	Estado <sup>b</sup>	W <sub>r</sub> (T <sub>90</sub> )
	T <sub>90</sub> /K	t <sub>90</sub> /°C			
1	3 to 5	-270,15 a -268,15	He	V	
2	13,8033	-259,3467	e-H <sub>2</sub>	T	0,001 190 07
3	~17	~-256,15	e-H <sub>2</sub> (o He)	V (o G)	
4	~20,3	-252,85	e-H <sub>2</sub> (o He)	V (o G)	
5	24,5561	-248,5939	Ne	T	0,008 449 74
6	54,3584	-218,7916	O <sub>2</sub>	T	0,091 718 04
7	83,8058	-189,3442	Ar	T	0,215 859 75
8	234,3156	-38,8344	Hg	T	0,844 142 11
9	273,16	0,01	H <sub>2</sub> O	T	1,000 000 00
10	302,9146	29,7646	Ga	M	1,118 138 89
11	429,7485	156,5985	In	F	1,609 801 85
12	505,078	231,928	Sn	F	1,892 797 68
13	692,677	419,527	Zn	F	2,568 917 30
14	933,473	660,323	Al	F	3,376 008 60
15	1234,93	961,78	Ag	F	4,286 420 53
16	1337,33	1064,18	Au	F	
17	1357,77	1084,62	Cu	F	

<sup>a</sup> Todas las sustancias, excepto el <sup>3</sup>He son de la composición isotópica natural, e-H<sub>2</sub> es hidrógeno a la concentración de equilibrio de las formas moleculares orto y para .

<sup>b</sup> Para definiciones completas y recomendaciones sobre la realización de estos diversos estados, ver la "Supplementary Information for the ITS-90". Los símbolos tienen los siguientes significados: V: punto de presión de vapor; T: punto triple (temperatura a la cual las fases sólido, líquido y vapor están en equilibrio); G: punto del termómetro de gas; M,F punto de fusión, punto de solidificación (temperatura, a la presión de 101 325 Pa , a la cual las fases sólida y líquida están en equilibrio).

**Tabla 2. Efecto de la Presión sobre la temperatura de algunos puntos fijos de definición**

Substancia	Valor Asignado de la temperatura de equilibrio $T_{90}/K$	Variación de Temperatura con la presión, $p$ , $(dT/dp)/10^{-8} K.Pa^{-1}$ *	Variación de Temperatura con la profundidad, $l$ , $(dT/dl)/10^{-3} K.m^{-1}$ **
e-Hidrógeno (T)	13,8033	34	0,25
Neón (T)	24,5561	16	1,9
Oxígeno (T)	54,3584	12	1,5
Argón (T)	83,8058	25	3,3
Mercurio (T)	234,3156	5,4	7,1
Agua (T)	273,16	-7,5	-0,73
Galio	302,9146	-2	-1,2
Indio	429,7485	4,9	3,3
Estaño	505,078	3,3	2,2
Zinc	692,677	4,3	2,7
Aluminio	933,473	7	1,6
Plata	1234,93	6	5,4
Oro	1337,33	6,1	10
Cobre	1357,77	3,3	2,6

\*Equivalente a milikelvins por atmósfera estándar

\*\*Equivalente a milikelvins por metro de líquido

#La presión de referencia para los puntos de fusión y solidificación es la atmósfera estándar ( $p_0 = 101\ 325$  Pa).

Para puntos triples (T) el efecto de presión es consecuencia solo de la presión hidrostática del líquido en la celda.

**Tabla 3. Valores de las constantes para las ecuaciones (3) y los alcances de temperatura en los cuales cada ecuación, identificada por el conjunto de sus constantes, es válida.**

Constante	<sup>3</sup> He	<sup>4</sup> He	<sup>4</sup> He
	0,65 K a 3,2 K	1,25 K a 2,1768 K	2,1768 K a 5,0 K
A <sub>0</sub>	1,053 447	1,392 408	3,146 631
A <sub>1</sub>	0,980 106	0,527 153	1,357 655
A <sub>2</sub>	0,676 380	0,166 756	0,413 923
A <sub>3</sub>	0,372 692	0,050 988	0,091 159
A <sub>4</sub>	0,151 656	0,026 514	0,016 349
A <sub>5</sub>	-0,002 263	0,001 975	0,001 826
A <sub>6</sub>	0,006 596	-0,017 976	-0,004 325
A <sub>7</sub>	0,088 966	0,005 409	-0,004 973
A <sub>8</sub>	-0,004 770	0,013 259	0
A <sub>9</sub>	-0,054 943	0	0
B	7,3	5,6	10,3
C	4,3	2,9	1,9

### 3.2.2. De 3,0 K al punto triple del neón (24,5561 K) con $^3\text{He}$ o $^4\text{He}$ como gas termométrico.

Para el termómetro de gas de  $^3\text{He}$  y para el termómetro de gas de  $^4\text{He}$  utilizados por debajo de 4,2 K, se debe tener en cuenta explícitamente el hecho de que no se trata de un gas perfecto y por ello se debe utilizar el apropiado segundo coeficiente del virial  $B_3(T_{90})$  o  $B_4(T_{90})$ . En este rango, la temperatura  $T_{90}$  se define por la ecuación:

$$T_{90} = \frac{a + bp + cp^2}{1 + B_x(T_{90})N/V} \quad (5)$$

donde:

$p$  es la presión en el termómetro,

$a$ ,  $b$  y  $c$  son coeficientes cuyo valor numérico se obtiene por mediciones realizadas en los tres puntos fijos de definición indicados en el párrafo 3.2.

$N/V$  es la cantidad de sustancia por unidad de volumen del gas, siendo  $N$  la cantidad del gas contenido en el depósito del termómetro de volumen  $V$ .

$B_x(T_{90})$ , con  $x$  igual a 3 ó 4 según el isótopo considerado, es el segundo coeficiente del virial, cuyos valores vienen dados por las siguientes ecuaciones:

Para  $^3\text{He}$ :

$$B_3(T_{90}) / m^3 mol^{-1} = \{16,69 - 336,98(T_{90} / K)^{-1} + 91,04(T_{90} / K)^{-2} - 13,82(T_{90} / K)^{-3}\} 10^{-6} \quad (6a)$$

Para  $^4\text{He}$ :

$$B_4(T_{90}) / m^3 mol^{-1} = \{16,708 - 374,05(T_{90} / K)^{-1} - 383,53(T_{90} / K)^{-2} + 1799,2(T_{90} / K)^{-3} - 4033,2(T_{90} / K)^{-4} + 3252,8(T_{90} / K)^{-5}\} 10^{-6} \quad (6b)$$

La exactitud con la que puede realizarse la ITS-90, sirviéndose de las ecuaciones (4) ó (5) depende del diseño del termómetro de gas y de la cantidad de sustancia por unidad de volumen del gas usado. Los criterios de diseño y las buenas prácticas necesarias para obtener una exactitud determinada se dan en la "Supplementary Information for the ITS-90".

### 3.3. Del punto triple del hidrógeno en equilibrio (13,803 3 K) al punto de solidificación de la plata (961,78 °C): el termómetro de resistencia de platino

En este rango, la temperatura  $T_{90}$  se define por medio de termómetros de resistencia de platino calibrados en diferentes conjuntos especificadas de puntos fijos de definición, utilizando funciones de referencia y funciones de desviación especificadas, para interpolar en las temperaturas intermedias.

Ningún modelo de termómetro de resistencia de platino puede asegurar una exactitud elevada, ni aun puede utilizarse, sobre todo el rango que va desde 13,8033 K hasta 961,78 °C. La elección del rango, o de los rangos, de temperatura de entre los enumerados más adelante, está normalmente limitada por el tipo de construcción del termómetro.

Para los detalles prácticos y las buenas prácticas a utilizarse, en particular relativas a los tipos de termómetros disponibles, sus rangos de operación aceptables, sus probables exactitudes, sus resistencias de aislamiento admisible, sus valores de resistencia, sus tratamientos térmicos, etc., ver la "Supplementary Information for the ITS-90". En particular, es importante respetar los tratamientos térmicos apropiados, que se deben aplicar cada vez que un termómetro de resistencia de platino se someta a temperaturas superiores a aproximadamente 420 °C.

Las temperaturas se determinan en términos de la razón  $W(T_{90})$  entre la resistencia  $R(T_{90})$  del termómetro a la temperatura  $T_{90}$  y su resistencia  $R(273,16\text{ K})$  en el punto triple del agua<sup>2</sup>, o sea:

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R(273,16\text{ K})} \quad (7)$$

**Table 4. Las constantes  $A_0; A_i; B_0; B_i; C_0; C_i; D_0; D_i$  en las funciones de referencia de las ecuaciones (9a); (9b); (10a) y (10b) respectivamente**

Constante	Valor	Constante	Valor	Constante	Valor	Constante	Valor
$A_0$	-2,135 347 29	$B_0$	0,183 324 722	$C_0$	2,781 572 54	$D_0$	439,932 854
$A_1$	3,183 247 20	$B_1$	0,240 975 303	$C_1$	1,646 509 16	$D_1$	472,418 020
$A_2$	-1,801 435 97	$B_2$	0,209 108 771	$C_2$	-0,137 143 90	$D_2$	37,684 494
$A_3$	0,717 272 04	$B_3$	0,190 439 972	$C_3$	-0,006 497 67	$D_3$	7,472 018
$A_4$	0,503 440 27	$B_4$	0,142 648 498	$C_4$	-0,002 344 44	$D_4$	2,920 828
$A_5$	-0,618 993 95	$B_5$	0,077 993 465	$C_5$	0,005 118 68	$D_5$	0,005 184
$A_6$	-0,053 323 22	$B_6$	0,012 475 611	$C_6$	0,001 879 82	$D_6$	-0,963 864
$A_7$	0,280 213 62	$B_7$	-0,032 267 127	$C_7$	-0,002 044 72	$D_7$	-0,188 732
$A_8$	0,107 152 24	$B_8$	-0,075 291 522	$C_8$	-0,000 461 22	$D_8$	0,191 203
$A_9$	-0,293 028 65	$B_9$	-0,056 470 670	$C_9$	0,000 457 24	$D_9$	0,049 025
$A_{10}$	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	----	----	----	----
----	----	$B_{13}$	-0,091 173 542	----	----	----	----
----	----	$B_{14}$	0,001 317 696	----	----	----	----
----	----	$B_{15}$	0,026 025 526	----	----	----	----

<sup>2</sup> Esta definición de  $W(T_{90})$ , difiere de la definición correspondiente utilizada en la ITS-27; ITS-48; IPTS-48 e IPTS-68. Para todas estas escalas  $W(T)$  se definió en función de la temperatura de referencia de 0 °C que, desde 1954, estaba definida como 273,15 K .

Un termómetro de resistencia de platino aceptable debe estar hecho de platino puro, exento de tensiones, y debe satisfacer al menos una de las dos relaciones siguientes:

$$W(29,7646 \text{ °C}) \geq 1,118 07 \quad (8a)$$

$$W(-38,8344 \text{ °C}) \geq 0,844 235 \quad (8b)$$

Para poder ser utilizado hasta el punto de solidificación de la plata, debe también satisfacer la relación:

$$W(961,78 \text{ °C}) \geq 4,2844 \quad (8c)$$

En cada uno de los rangos de termómetros de resistencia enumerados a continuación, la temperatura  $T_{90}$  se obtiene a partir de:

\*  $W_r(T_{90})$  obtenida usando la función de referencia apropiada dada por las ecuaciones (9b) ó (10b), según el caso,  
 \* La desviación  $W(T_{90}) - W_r(T_{90})$ . En los puntos fijos de definición, esta desviación se conoce directamente a partir de la calibración del termómetro y en las temperaturas intermedias, se obtiene por medio de la función de desviación apropiada: Ecuaciones (12), (13) ó (14).

(i) En el rango que va desde 13, 8033 K hasta 273,16 K la función de referencia está dada por:

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[ \frac{\ln(T_{90} / 273,16K) + 1,5}{1,5} \right]^i \quad (9a)$$

La función inversa, equivalente a la ecuación (9a) dentro de 0,1 mK , es:

$$T_{90} / 273,16K = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left[ \frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0,65}{0,35} \right]^i \quad (9b)$$

Los valores de las constantes  $A_0$ ,  $A_i$ ,  $B_0$  y  $B_i$  se dan en la tabla 4.

Un termómetro puede calibrarse para trabajar en todo este rango, o usarse progresivamente un número menor de puntos fijos de calibración, para los sub-rangos con límites inferiores 24,5561 K ; 54,358 4 K y 83,8058 K todos teniendo como límites superior 273,16 K .

(ii) En el rango que va desde 0 °C hasta 961,78 °C , la función de referencia está dada por:

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[ \frac{T_{90} / K - 754,15}{481} \right]^i \quad (10a)$$

La función inversa equivalente a la ecuación (10a) dentro de 0,13 mK es:

$$T_{90} / K = -273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[ \frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right]^i \quad (10b)$$

Los valores de las constantes  $C_0$ ,  $C_i$ ,  $D_0$  y  $D_i$  se dan en la tabla 4.

Un termómetro puede calibrarse para usarse en todo este rango o, utilizando progresivamente menos puntos fijos de calibración, para los sub-rangos con límites superiores de 660,323 °C ; 419,527 °C ; 231,928 °C ; 156,598 5 °C o 29,7646 °C todos teniendo como límite inferior 0 °C .

(iii) Un termómetro puede calibrarse para trabajar en el rango que va desde 234,3156 K (equivalente a -38,8344 °C) hasta 29,7646 °C y la calibración se hace en los puntos fijos correspondientes a esas temperaturas y en el punto triple del agua. Para cubrir este rango, son necesarias las dos funciones de referencia dadas por las ecuaciones (9) y (10).



Los puntos fijos de definición y las funciones de desviación para los diferentes rangos se dan a continuación y en forma resumida, en la tabla 5.

**Tabla 5. Funciones de desviación y puntos de calibración para termómetros de resistencia de platino en los varios rangos en los cuales ellos definen  $T_{90}$**

**a. Rangos con límite superior de 273,16 K**

Sección	Límite Inferior $T/K$	Funciones de Desviación	Puntos de Calibración (Ver Tabla 1)
3.3.1	13,8033	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n}, n = 2$	2 a 9
3.3.1.1	24,5561	Igual que 3.3.1 pero con $c_4=c_5=n=0$	2; 5 a 9
3.3.1.2	54,3584	Igual que 3.3.1 pero con $c_2=c_3=c_4=c_5=0, n=1$	6 a 9
3.3.1.3	83,8058	$a[W(T_{90})-1] + b [W(T_{90})-1]\ln W(T_{90})$	7 a 9

**b. Rangos con límite inferior de 0°C**

Sección	Límite Superior $t/^{\circ}C$	Funciones de Desviación	Puntos de Calibración (Ver tabla 1)
3.3.2*	961,78	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + c[W(T_{90}) - 1]^3 + d[W(T_{90}) - W(660,323^{\circ}C)]^2$	9; 12 a 15
3.3.2.1	660,323	Igual que 3.3.2 pero con $d=0$	9; 12 a 14
3.3.2.2	419,527	Igual que 3.3.2 pero con $c=d=0$	9; 12; 13
3.3.2.3	231,928	Igual que 3.3.2 pero con $c=d=0$	9; 11; 12
3.3.2.4	156,5985	Igual que 3.3.2 pero con $b=c=d=0$	9; 11
3.3.2.5	29,7646	Igual que 3.3.2 pero con $b=c=d=0$	9; 10

**c. Rango de 234,3156 K (-38,8344 °C) a 29,7646 °C**

Sección	Límites Inferior y Superior $t/^{\circ}C$	Funciones de Desviación	Puntos de Calibración (Ver tabla 1)
3.3.3	-38,8344 a 29,7646	Igual que 3.3.2 pero con $c=d=0$	8 a 10

\*Los puntos de calibración 9; 12 -14 se usan con  $d=0$  para  $t_{90} \leq 660,323^{\circ}C$ ; los valores de  $a$ ;  $b$  ;  $c$  así obtenidos se retienen para  $t_{90} > 660.323^{\circ}C$  ; con  $d$  obtenido del punto de calibración 15 .

**3.3.1 Desde el punto triple del hidrógeno en equilibrio (13,8033 K) hasta el punto triple del agua (273,16 K)**

El termómetro se calibra en los puntos triples del hidrógeno en equilibrio (13,8033 K); del neón (24,5561 K) ; del oxígeno (54,3584 K) ; del argón (83,8058 K) ; del mercurio (234,3156 K) y del agua (273,16 K) ; así como en

dos temperaturas próximas a 17,0 K y a 20,3 K. Estas dos últimas pueden determinarse de una de las dos maneras siguientes:

\*Utilizando un termómetro de gas según se describe en el párrafo 3.2, en cuyo caso, las dos temperaturas deben estar comprendidas entre 16,9 K a 17,1 K y entre 20,2 K a 20,4 K respectivamente;

\*Utilizando la relación entre la presión de vapor de saturación y la temperatura del hidrógeno en equilibrio y, en este caso, las dos temperaturas deben estar comprendidas entre 17,025 K a 17,045 K y entre 20,26 K a 20,28 K respectivamente, los valores exactos siendo determinados a partir de las ecuaciones (11a) y (11b) respectivamente:

$$T_{90} / K - 17,035 = (p / kPa - 33,3213) / 13,32 \quad (11a)$$

$$T_{90} / K - 20,27 = (p / kPa - 101,292) / 30 \quad (11b)$$

La función de desviación es<sup>3</sup> :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n} \quad (12)$$

Los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c_i$  se obtienen en los puntos fijos de definición, con  $n = 2$ .

Para este rango y para los sub-rangos de 3.3.1.1 a 3.3.1.3, los valores de  $W_r(T_{90})$ , se obtienen de la función (9a) o de la tabla 1.

### 3.3.1.1. Desde el punto triple del neón (24,556 1 K) hasta el punto triple del agua (273,16 K)

El termómetro se calibra en los puntos triples del hidrógeno en equilibrio (13,8033 K), del neón (24,5561 K), del oxígeno (54,3584 K), del argón (83,8058 K), del mercurio (234,3156 K) y del agua (273,16 K).

La función de desviación viene dada por la ecuación (12), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $c_4 = c_5 = n = 0$ .

### 3.3.1.2. Desde el punto triple del oxígeno (54,358 4 K) hasta el punto triple del agua (273, 16 K)

El termómetro se calibra en los puntos triples del oxígeno (54,358 4 K), del argón (83,805 8 K), del mercurio (234,315 6 K) y del agua (273,16 K).

La función de desviación viene dada por la ecuación (12), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c_1$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $c_1 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$  y  $n = 1$ .

### 3.3.1.3. Desde el punto triple del argón (83,805 8 K) hasta el punto triple del agua (273, 16 K)

El termómetro se calibra en los puntos triples del argón (83,805 8 K), del mercurio (234,313 6 K) y del agua (273,16 K).

---

<sup>3</sup> Esta función de desviación (lo mismo que las dadas por (13) y (14)), pueden expresarse en función de  $W_r$  en lugar de  $W$ , para ello ver la "Supplementary Information for the ITS-90".

La función de desviación viene dada por:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90}) \quad (13)$$

Los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición.

### 3.3.2. Desde 0 °C hasta el punto de solidificación de la plata (961,78 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en los puntos de solidificación del estaño (231,928 °C), del zinc (419,527 °C), del aluminio (660,323 °C) y de la plata (961,78 °C).

La función de desviación está dada por:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + c[W(T_{90}) - 1]^3 + d[W(T_{90}) - W(660,323^\circ\text{C})]^2 \quad (14)$$

Para las temperaturas por debajo del punto de solidificación del aluminio,  $d = 0$  y los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  se obtienen de la medida de las desviaciones de  $W_r(T_{90})$  en los puntos de solidificación del estaño, del zinc y del aluminio. Para las temperaturas del punto de solidificación del aluminio al punto de solidificación de la plata se conservan los valores anteriores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  mientras que el valor de  $d$  se determina por la medición de la desviación respecto a  $W_r(T_{90})$  en el punto de solidificación de la plata.

Para este rango y para los sub-rangos de 3.3.2.1 a 3.3.2.5, los valores requeridos para  $W_r(T_{90})$  se obtienen de la ecuación (10a) o de la Tabla 1.

#### 3.3.2.1. Desde 0 °C hasta el punto de solidificación del aluminio (660,323 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en los puntos de solidificación del estaño (231,928 °C), del zinc (419,527 °C) y del aluminio (660,323 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $d = 0$ .

#### 3.3.2.2. Desde 0 °C hasta el punto de solidificación del zinc (419,527 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en los puntos de solidificación del estaño (231,928 °C) y del zinc (419,527 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $c = d = 0$ .

#### 3.3.2.3. Desde 0 °C hasta el punto de solidificación del estaño (231,928 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en los puntos de solidificación del indio (156,598 5 °C) y del estaño (231,928 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $c = d = 0$ .

#### 3.3.2.4. Desde 0 °C hasta el punto de solidificación del indio (156,5985 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en el punto de solidificación del indio (156,598 5 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), en la que el valor del coeficiente  $a$  se obtiene de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $b = c = d = 0$ .

#### 3.3.2.5. Desde 0 °C hasta el punto de fusión del galio (29,7646 °C)

El termómetro se calibra en el punto triple del agua (0,01 °C) y en el punto de fusión del galio (29,7646 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), en la que el valor del coeficiente  $a$  se obtiene de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $b = c = d = 0$ .

**3.3.3. Desde el punto triple del mercurio (-38,834 4 °C) hasta el punto de fusión del galio (29,7646°C)**

El termómetro se calibra en los puntos triples del mercurio (-38,8344 °C) y del agua (0,01 °C) y en el punto de fusión del galio (29,764 6 °C).

La función de desviación viene dada por la ecuación (14), los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$  se obtienen de las medidas en los puntos fijos de definición, con  $c = d = 0$ .

Los valores de  $W_r(T_{90})$  se obtienen de las ecuaciones (9a) y (10a) para temperaturas inferiores y superiores a 273, 16 K respectivamente, o de la tabla 1.

**3.4. Para temperaturas superiores al punto de solidificación de la plata(961,78 °C):  
La Ley de Radiación de Planck**

Para temperaturas superiores al punto de solidificación de la plata (961,78 °C), la temperatura  $T_{90}$  se define por la ecuación:

$$\frac{L_{\lambda}(T_{90})}{L_{\lambda}[T_{90}(X)]} = \frac{\exp(c_2[\lambda T_{90}(X)]^{-1} - 1)}{\exp(c_2[\lambda T_{90}]^{-1} - 1)} \quad (15)$$

donde:

$T_{90}(X)$  es la temperatura de cualquiera de los puntos de solidificación <sup>4</sup> de la plata  $T_{90}(Ag) = 1234,93$  K ; del oro  $T_{90}(Au) = 1337,33$  K ; o del cobre  $T_{90}(Cu) = 1357,77$  K .

$L_{\lambda}(T_{90})$  y  $L_{\lambda}[T_{90}(X)]$  son las concentraciones espectrales de la radiancia de un cuerpo negro a la longitud de onda  $\lambda$  (en el vacío), a las temperaturas  $T_{90}$  ;  $T_{90}(X)$  respectivamente .

$c_2 = 0,014\ 388$  m·K.

Para detalles prácticos y buenas prácticas para pirometría óptica ver la "Supplementary Information for the ITS-90" (BIPM-1990).

**4. Informaciones complementarias y diferencias en relación con las escalas precedentes.**

Los aparatos, métodos y procedimientos que sirven para realizar la ITS-90 se describen en la "Supplementary Information for the ITS-90". Este documento da también cuenta de las anteriores escalas internacionales de temperatura y da las diferencias numéricas entre escalas sucesivas y cuando es práctico, funciones matemáticas para las diferencias  $T_{90} - T_{68}$  . Además, se describen realizaciones útiles aproximadas de la ITS-90 en "Techniques for Approximating the ITS-90"(BIPM -1990).

Estos dos documentos han sido preparados por el Comité Consultivo de Termometría, son publicados por el Bureau International Poids et Measures (BIPM) y son revisados y puestos al día periódicamente.(++)

Las diferencias  $T_{90} - T_{68}$  se indican en la figura 1 y en la tabla 6. El número de cifras significativas dadas en la tabla, permite suavizar las interpolaciones; no obstante, la reproducibilidad de la IPTS-68 es, en muchas zonas, substancialmente peor que lo implicado por este número.

(++) Nota de la DM: Ver la "Nota Final" en la página 16.

**Table 6. Diferencias entre la ITS-90 y la EPT-76, y entre la ITS-90 y la IPTS-68 para valores especificados de  $T_{90}$  y  $t_{90}$**

$(T_{90} - T_{76})/mK$										
$T_{90}/K$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5
10	-0,6	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,8	-2,0
20	-2,2	-2,5	-2,7	-3	-3,2	-3,5	-3,8	-4,1		

$(T_{90} - T_{68})/K$										
$T_{90}/K$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10					-0,006	-0,003	-0,004	-0,006	-0,008	-0,009
20	-0,009	-0,008	-0,007	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,004	-0,005	-0,006
30	-0,006	-0,007	-0,008	-0,008	-0,008	-0,007	-0,007	-0,007	-0,006	-0,006
40	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,007	-0,007	-0,007	-0,006	-0,006
50	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0	0,001	0,002
60	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007
70	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
80	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008

90	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
$T_{90}/K$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0,009	0,011	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,012
200	0,011	0,01	0,009	0,008	0,007	0,005	0,003	0,001		

$(t_{90} - t_{68})/^{\circ}C$										
$t_{90}/^{\circ}C$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-100	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,01	0,008	0,008
0	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,012
$t_{90}/^{\circ}C$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	-0,002	-0,005	-0,007	-0,01	-0,013	-0,016	-0,018	-0,021	-0,024
100	-0,026	-0,028	-0,03	-0,032	-0,034	-0,036	-0,037	-0,038	-0,039	-0,039
200	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,039	-0,039	-0,039
300	-0,039	-0,039	-0,039	-0,04	-0,04	-0,041	-0,042	-0,043	-0,045	-0,046
400	-0,048	-0,051	-0,053	-0,056	-0,059	-0,062	-0,065	-0,068	-0,072	-0,075
500	-0,079	-0,083	-0,087	-0,09	-0,094	-0,098	-0,101	-0,105	-0,108	-0,112
600	-0,115	-0,118	-0,122	-0,125*	-0,08	-0,03	0,02	0,06	0,11	0,16
700	0,2	0,24	0,28	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	0,35
800	0,34	0,32	0,29	0,25	0,22	0,18	0,14	0,1	0,06	0,03
900	-0,01	-0,03	-0,06	-0,08	-0,1	-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,18
1000	-0,19	-0,2	-0,21	-0,22	-0,23	-0,24	-0,25	-0,25	-0,26	-0,26
$t_{90}/^{\circ}C$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1000		-0,26	-0,3	-0,35	-0,39	-0,44	-0,49	-0,54	-0,6	-0,66
2000	-0,72	-0,79	-0,85	-0,93	-1	-1,07	-1,15	-1,24	-1,32	-1,41
3000	-1,5	-1,59	-1,69	-1,78	-1,89	-1,99	-2,1	-2,21	-2,32	-2,43

## Anexo

### La Escala Internacional de Temperatura de 1927 (ITS-27)

La Escala Internacional de Temperatura de 1927 fue adoptada por la séptima Conferencia General de Pesas y Medidas, para superar las dificultades prácticas de la realización directa de las temperaturas termodinámicas usando termómetros de gas, y para reemplazar, de manera universalmente aceptable, las diferentes escalas nacionales de temperatura que existían en ese tiempo.

La ITS-27 se estableció con el fin de permitir medidas de temperatura precisas y reproducibles, tan próximas a las temperaturas termodinámicas como era posible en aquella época. Entre el punto de ebullición del oxígeno y el punto de solidificación del oro, se fundamentaba en un cierto número de temperaturas reproducibles (puntos fijos), a los que se les había asignado valores numéricos, y en dos instrumentos de interpolación patrón. Cada uno de estos instrumentos de interpolación era calibrado en uno o varios puntos fijos, lo que proporcionaba las constantes de las fórmulas de interpolación en el rango de temperatura considerado. El termómetro de resistencia de platino se utilizó en el alcance inferior y el termopar platino/platino-rodio para temperaturas superiores a 660 °C. Para el alcance superior al punto de solidificación del oro, la temperatura se definió siguiendo la ley de radiación de Wien; en la práctica, esto condujo invariablemente a elegir un pirómetro óptico como el instrumento para realizar este alcance superior de temperaturas.

### La Escala Internacional de Temperatura de 1948 (ITS-48)

La Escala Internacional de Temperatura de 1948 fue adoptada por la novena Conferencia General. Con relación a la ITS-27, presentaba los siguientes cambios:

- El límite inferior del rango del termómetro de resistencia de platino se cambió de -190 °C a la temperatura del punto de ebullición del oxígeno (-182,97 °C)
- La unión del rango del termómetro de resistencia de platino con el del termopar se efectuaba en la temperatura de solidificación del antimonio (alrededor de 630 °C) en lugar de 660 °C .
- El valor de la temperatura del punto de solidificación de la plata pasaba de 960,5 °C a 960,8 °C .
- Para el oro, el punto de solidificación reemplazó al punto de fusión (1063 °C) .
- La ley de radiación de Planck sustituyó a la ley de Wien.
- A la segunda constante de radiación se le asignó el valor 0,014 38 m·K en lugar de 0,014 32 m·K .
- Las variaciones permitidas para las constantes de las fórmulas de interpolación utilizadas con los termómetros de resistencia de platino y con el termopar patrón fueron modificadas.
- La limitación relativa a  $\lambda T$  para la pirografía óptica ( $\lambda \cdot T < 3 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{K}$ ) se reemplazó por la obligación de utilizar radiación "visible".

### La Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1948, edición corregida de 1960 (IPTS-48).

La Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1948, edición corregida de 1960, fue adoptada por la decimo primera Conferencia General; la décima Conferencia General ya había adoptado al punto triple del agua como punto único de definición del kelvin, la unidad de temperatura termodinámica. Además de la introducción del adjetivo "práctica", las modificaciones aportadas a la ITS-48 eran las siguientes:

- El punto triple del agua, definido como 0,01 °C, reemplazó al punto de fusión del hielo como punto de calibración.
- El punto de solidificación del zinc definido en el valor 419,505 °C podía reemplazar ventajosamente al punto de ebullición del azufre (444,6 °C) como punto de calibración.
- Las variaciones permitidas para las constantes de las fórmulas de interpolación utilizadas con los termómetros de resistencia de platino y con el termopar patrón fueron nuevamente modificadas.
- Se suprimió la restricción de que la radiación fuera "visible" para la pirografía óptica.

Sin embargo los valores numéricos de las temperaturas eran los mismos que los de la ITS-48 ya que la IPTS-48 no fue una revisión de la primera sino meramente forma corregida.

## La Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968 (IPTS-68)

En 1968, el Comité Internacional de Pesas y Medidas promulgó la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968, siguiendo los acuerdos establecidos por la decimo tercera Conferencia General de 1967-1968. La IPTS-68 incorporó, con relación a la IPTS-48, numerosas e importantes modificaciones. Estas incluyeron cambios de valores numéricos para hacerla más aproximada a la temperatura termodinámica; estas diferencias fueron lo suficientemente importantes como para ser notadas por numerosos usuarios.

Los otros cambios fueron los siguientes:

- El límite inferior de la escala se bajó hasta 13,81 K
- Para temperaturas más bajas aún (desde 0,5 K hasta 5,2 K) se recomendó el uso de dos escalas usando la presión de vapor de saturación del helio.
- Se introdujeron seis nuevos puntos fijos de definición: el punto triple del hidrógeno en equilibrio (13,81 K), un punto intermedio del hidrogeno en equilibrio (17,042 K), el punto de ebullición normal del hidrógeno en equilibrio (20,28 K), el punto de ebullición del neón (27,102 K), el punto triple del oxígeno (54,361 K) y el punto de solidificación del estaño (231,968 °C) que fue admitido como posible alternativa al punto de ebullición del agua.
- Se suprimió el punto de ebullición del azufre.
- Se modificaron los valores asignados a cuatro puntos fijos: el punto de ebullición del oxígeno (90,188 K), el punto de solidificación del zinc (419,58 °C), el punto de solidificación de la plata (961,93 °C) y el punto de solidificación del oro (1064,43 °C).
- Las fórmulas de interpolación en el rango del termómetro de resistencia de platino se hicieron mucho más complejas.
- El valor asignado a la segunda constante de radiación fue 0,014 388 m·K.
- Las variaciones permitidas para las constantes de las fórmulas de interpolación utilizadas con los termómetros de resistencia de platino y con el termopar patrones fueron nuevamente modificadas.

## La Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968, edición corregida de 1975

La Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968, edición corregida de 1975, se adoptó por la decimo quinta Conferencia General en 1975. Como en el caso de la IPTS-48 respecto a la ITS-48, la edición de 1975 no introdujo cambios numéricos. La mayor parte de las modificaciones eran de redacción y tenían solamente como finalidad aclarar y simplificar su uso. Los cambios más importantes fueron los siguientes:

- El punto del oxígeno se definió como el punto de condensación, no como punto de ebullición.
- Se introdujo el punto triple del argón (83,798 K) que podía sustituir válidamente al punto de condensación del oxígeno.
- Se adoptaron nuevos valores para la composición isotópica del neón normal.
- Se anuló la recomendación de utilizar los valores de  $T$  dados por las escalas de 1958 y 1962 fundamentados en la presión de vapor de saturación del  $^4\text{He}$  y del  $^3\text{He}$  respectivamente.

## La Escala Provisional de Temperatura de 1976 entre 0,5 K y 30 K (EPT 76)

La Escala Provisional de Temperatura de 1976 entre 0,5 K y 30 K se introdujo para alcanzar dos condiciones importantes:

1. Ofrecer los medios para reducir substancialmente los errores (en relación con las temperaturas termodinámicas correspondientes), que se conocieron entonces que existían en la IPTS-68, para temperaturas inferiores a 27 K en todo el alcance de las escalas de 1958 y 1962 que utilizaban la presión de vapor de saturación del  $^4\text{He}$  y del  $^3\text{He}$ .
2. Llenar el vacío entre 5,2 y 13,81 K, donde no existía previamente ninguna escala internacional.

Los restantes objetivos que habían conducido a la elaboración de la EPT-76 eran "que fueran termodinámicamente suaves, que se enlazara sin discontinuidad en 27,1 K con la IPTS-68 y que estuviera en acuerdo con la temperatura termodinámica  $T$  tan estrechamente como lo permitieran estas dos condiciones". En

contraste con la IPTS-68 y para asegurar su rápida adopción, se aprobaron varios métodos de realización de la EPT-76, que incluían:

- Usar un instrumento termodinámico de interpolación calibrado en uno o varios de los once puntos fijos de definición especificados.
- Para valores superiores a 13,81 K, utilizar la IPTS-68 con las diferencias publicadas.
- Para valores inferiores a 5 K, utilizar las escalas que se basaban en la presión de vapor de saturación del helio con las diferencias publicadas.
- Utilización de escalas bien establecidas por algunos laboratorios con las diferencias publicadas.

Como consecuencia de una cierta "falta de coherencia interna", se admitió que pudieran ser introducidas "ligeras ambigüedades entre las realizaciones". No obstante, se estimaba que las ventajas obtenidas por la adopción de la EPT-76 como escala de trabajo mientras se esperaba la revisión y la extensión de la IPTS-68 compensaban ampliamente los inconvenientes.

---

### **Nota Final del DM – INACAL**

Actualmente los dos documentos citados como referencias adicionales en el texto de la ITS-90 se pueden consultar en la página web del BIPM en los siguientes links :

- 1) "Supplementary Information for the ITS-90".  
[http://www.bipm.org/en/publications/mep\\_kelvin/its-90\\_supplementary.html](http://www.bipm.org/en/publications/mep_kelvin/its-90_supplementary.html)
- 2) "Techniques for Approximating the ITS-90"  
[http://www.bipm.org/en/publications/mep\\_kelvin/its-90\\_techniques.html](http://www.bipm.org/en/publications/mep_kelvin/its-90_techniques.html)

Así mismo el texto en castellano publicado por el Centro Español de Metrología puede consultarse en la página web del CEM en el siguiente link:

- 3) CEM "Escala Internacional de Temperatura 1990" EIT-90  
[http://www2.cem.es:8081/cem/es\\_ES/documentacion/procedimientos/EIT-90revisado.pdf](http://www2.cem.es:8081/cem/es_ES/documentacion/procedimientos/EIT-90revisado.pdf)

Existe también la "Escala Provisional de Bajas Temperaturas de 0,9 mK hasta 1 K (PLTS-2000)" y puede consultarse en el siguiente link:

- 4) The Provisional Low Temperature Scale from 0.9 mK to 1 K, PLTS-2000  
<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/PLTS-2000.pdf>
-