



3° Workshop de Medición en  
**Upstream y Downstream**  
de Petróleo y Gas 

**22-23**  
**AGO**



INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETROLEO Y DEL GAS

## Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD



3° Workshop de Medición en  
**Upstream y Downstream**  
**de Petróleo y Gas** 

**22-23**  
**AGO**



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

---



Calibración y Ensayo

Laboratorio de Presión  
y Temperatura

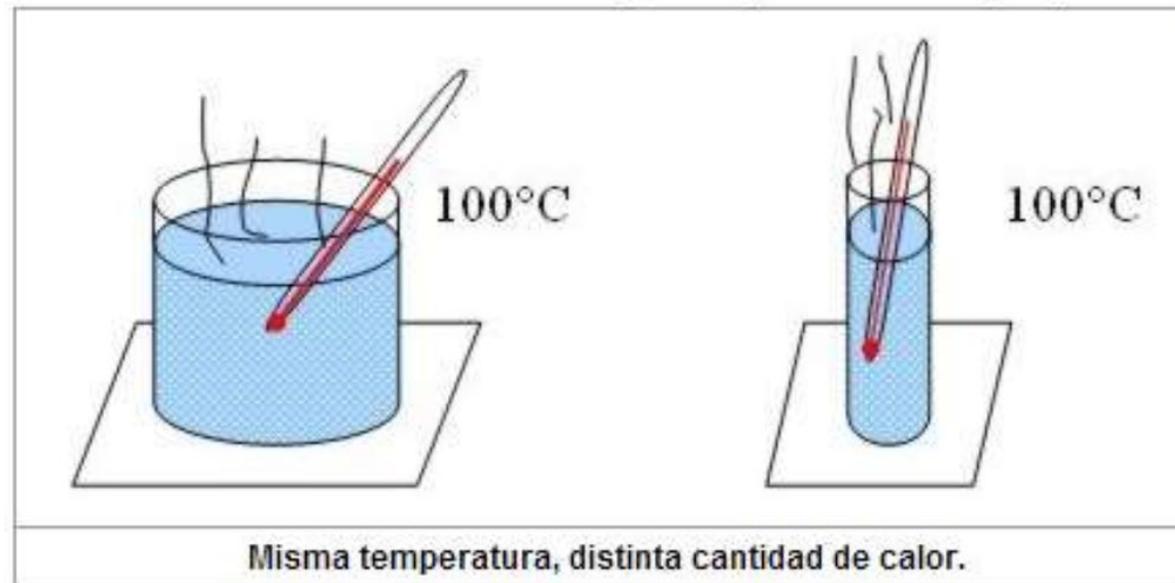
Laboratorio de Caudal  
Laboratorio n° 31 de  
la red INTI-SAC

[federico\\_achilli@tgs.com.ar](mailto:federico_achilli@tgs.com.ar)



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Calor y Temperatura





Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Escala Fahrenheit

«Colocando el termómetro en una mezcla de sal de amonio o agua salada, hielo y agua, encontré un punto sobre la escala al cual llamé cero. Un segundo punto lo obtuve de la misma manera, si la mezcla se usa sin sal. Entonces denoté este punto como 30. Un tercer punto, designado como 96, fue obtenido colocando el termómetro en la boca para adquirir el calor del cuerpo humano».

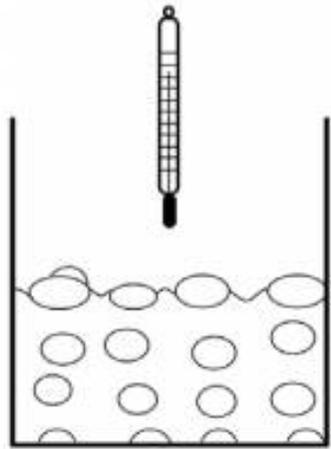
Experimenta et Observationes de Congelatione aquae in vacuo factae a D. G. Fahrenheit, R. S. S. Philosophical Transactions (London), vol. 33, no. 382, page 78 (March-April 1724).



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Celsius, centígrados y Kelvin

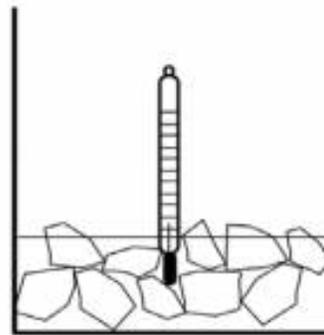
Punto de vapor



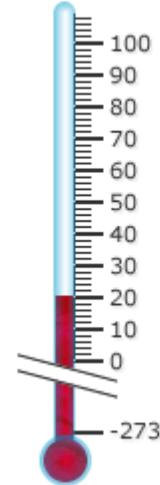
$P = 1 \text{ atm}$

$T = T(\text{ambiente})$

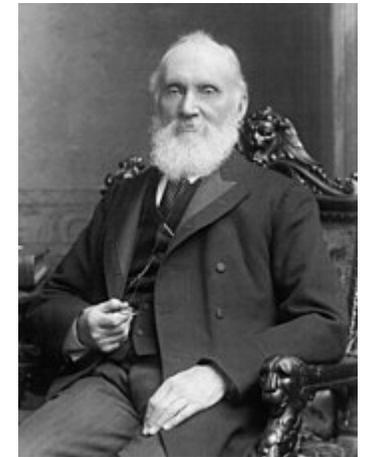
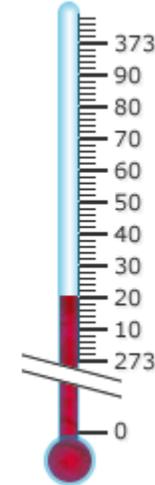
Punto de hielo



Celsius



Kelvin



William Thomsom



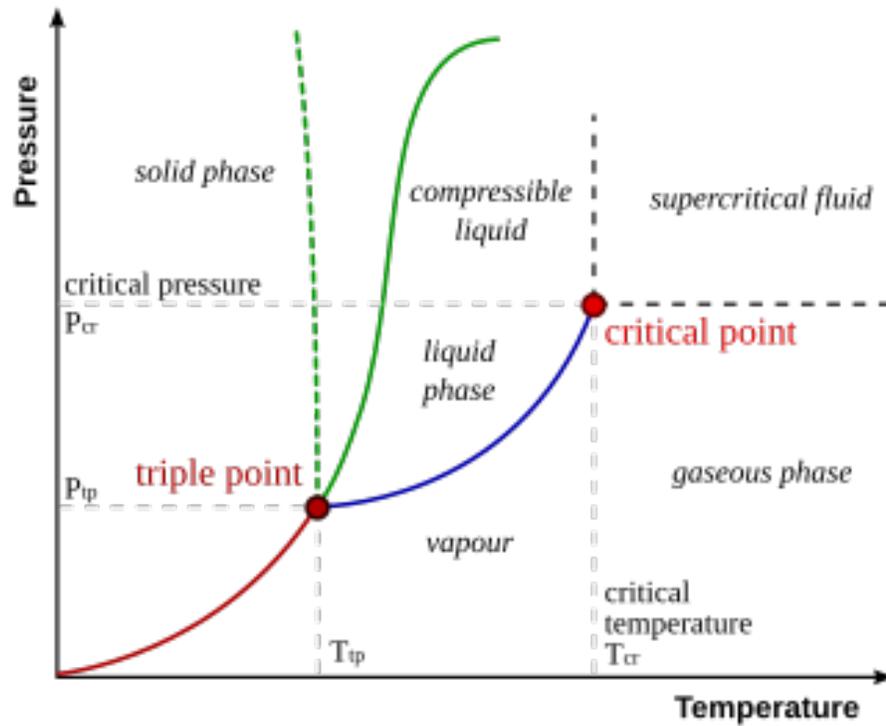
Escala absoluta

El cero absoluto es el punto nulo.  
Los incrementos tienen la misma  
magnitud que en la escala Celsius.

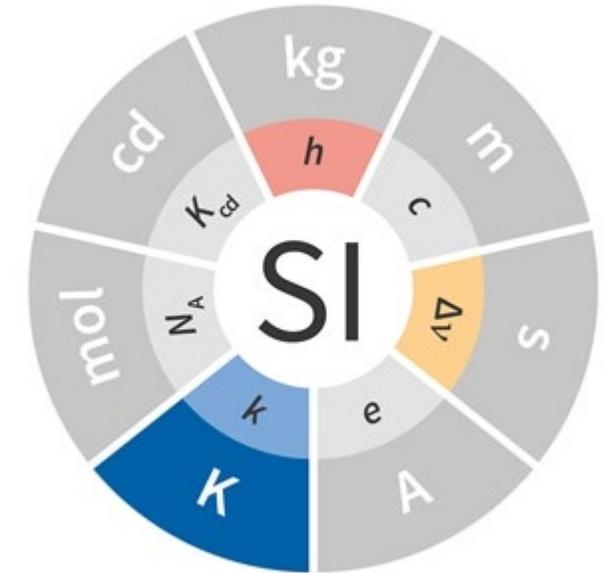


Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Celsius, centígrados y Kelvin



$$t [^{\circ}\text{C}] = T [\text{K}] - 273,15$$



$$1 \text{ K} = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{k} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$1 \text{ K} = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{9\,192\,631\,770 \times 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \frac{h \Delta v_{Cs}}{k}$$

$$\approx 2.266\,6653 \frac{h \Delta v_{Cs}}{k}$$

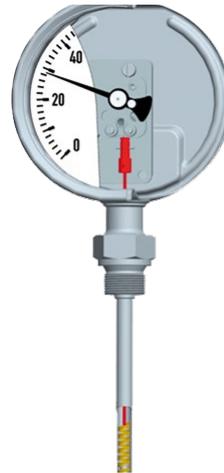


Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Instrumentos de medición de temperatura

### Medición por contacto

- Por expansión
  - Termómetro bimetálico
  - Termómetro de dilatación
- Eléctrico
  - RTD
  - Termopar
  - Termistor



### Medición por radiación

- Pirómetros





Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

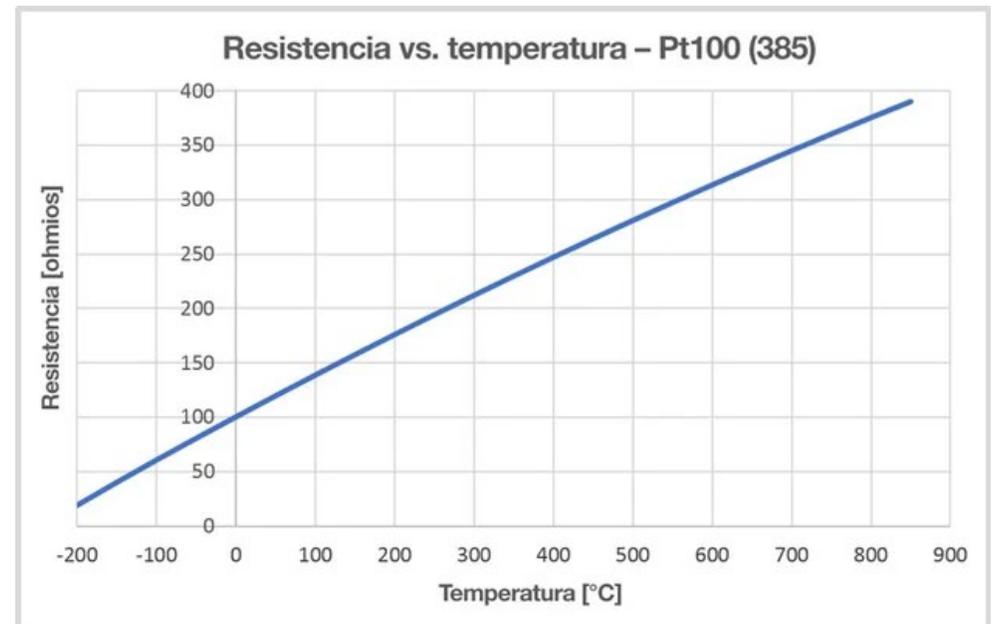
## RTD

Las RTD (*Resistance Temperature Detector*) o Detectores de Temperatura por Resistencia son sensores que utilizan la propiedad de que la resistencia de un metal varía según su temperatura:

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta T] = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

Los metales habitualmente utilizados son el platino (Pt), Níquel (Ni), y el cobre (Cu), siendo el primero el más utilizado en la industria.

### **Pt100 (385)**





Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## RTD

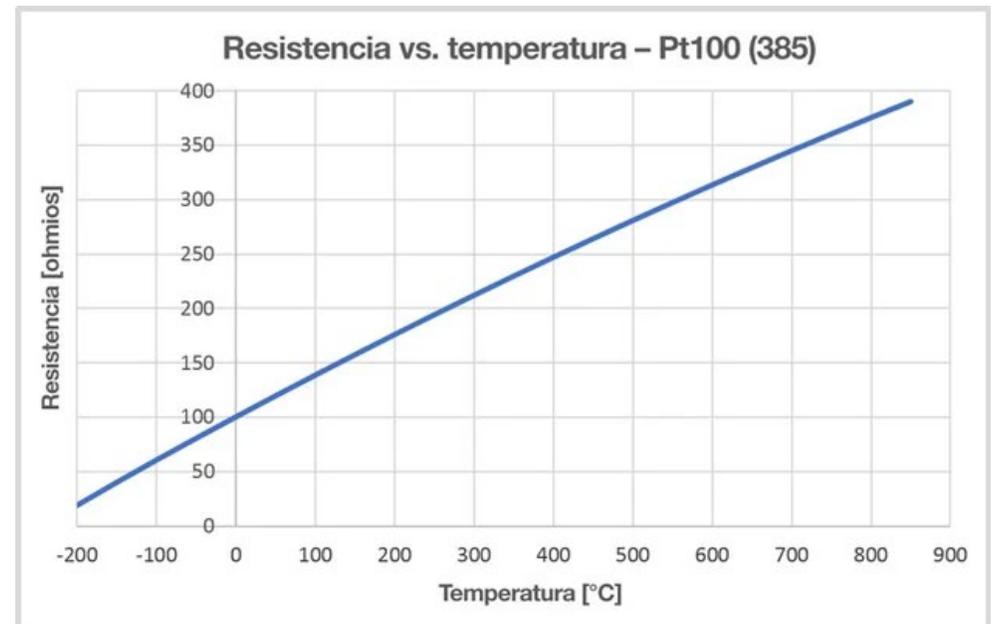
Las RTD (*Resistance Temperature Detector*) o Detectores de Temperatura por Resistencia son sensores que utilizan la propiedad de que la resistencia de un metal varía según su temperatura:

$$R = R_{0^{\circ}C} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta T] = R_{0^{\circ}C} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

Coeficiente de temperatura:

$$\alpha = \frac{R_{100^{\circ}C} - R_{0^{\circ}C}}{R_{0^{\circ}C} \cdot 100^{\circ}C}$$

$$\alpha = \frac{138,51 \Omega - 100,00 \Omega}{100,00 \Omega \cdot 100^{\circ}C} = 0,003851 \frac{1}{^{\circ}C}$$





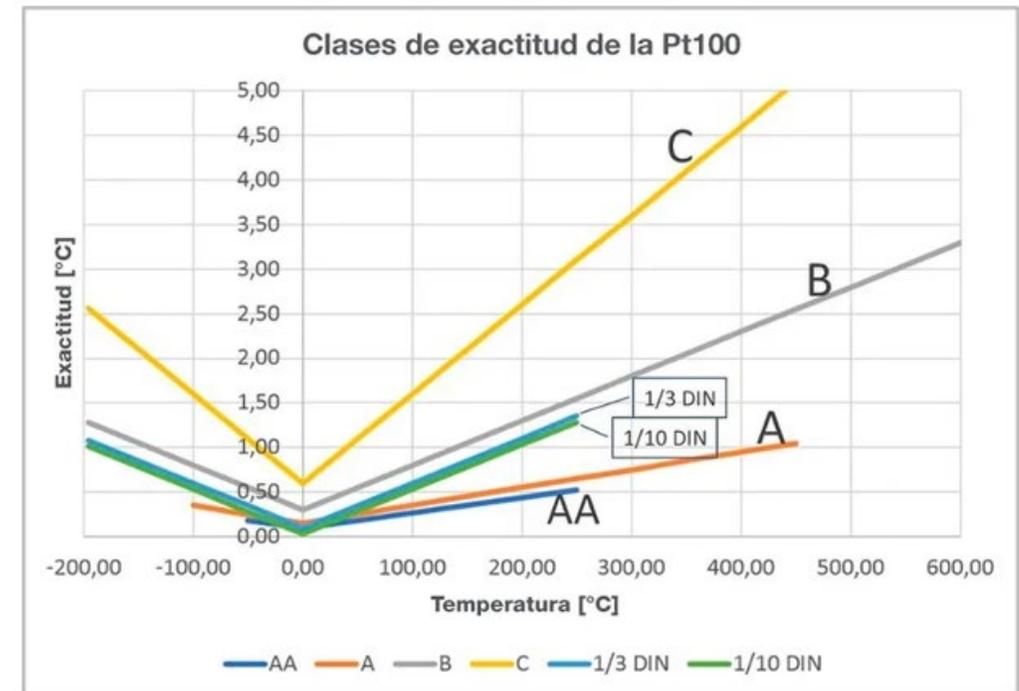
Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## RTD - Clases

En la norma IEC 60751 se definen las clases de los RTDs de platino:

Clase	Tolerancia [°C]
AA	$\pm (0,1 + 0,0017  t )$
A	$\pm (0,15 + 0,002  t )$
B	$\pm (0,3 + 0,005  t )$
C	$\pm (0,6 + 0,01  t )$

$|t|$  denota el modulo de la temperatura en °C



Las clases Pt100 1/3 DIN y 1/10 DIN corresponden a la norma DIN 43760:1980-10, actualmente en desuso.



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

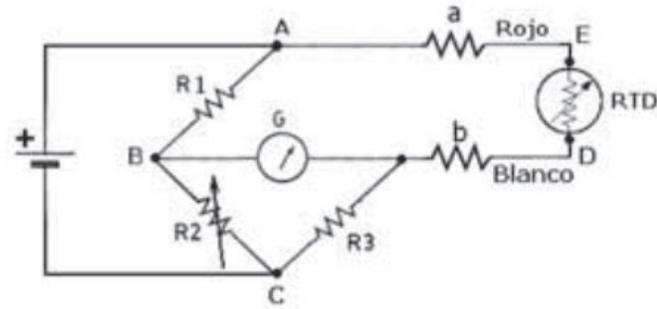
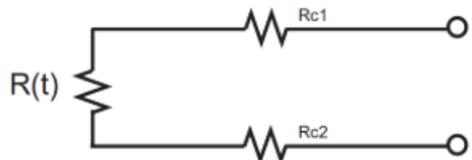
## RTD – Algunas normas

- IEC 60751
- DIN 43760
- ASTM E 1137
- JIS C1604-1989 alpha 3916, JIS C 1604-1997
- SAMA RC21-4-1966
- GOCT 6651-84, GOST 6651-94
- Minco Table 16-9
- Curva de Edison #7

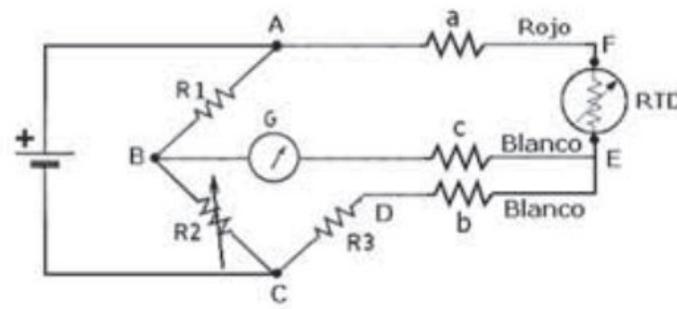


Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

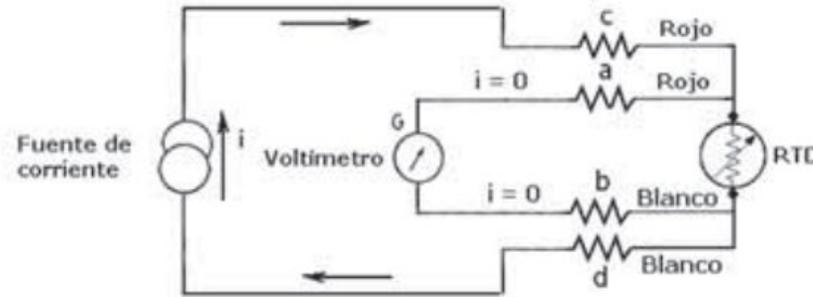
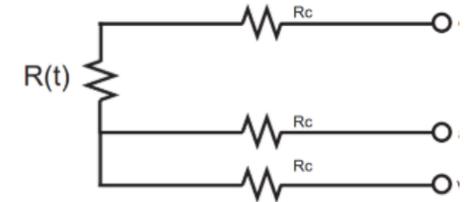
## RTD – Medición



a - dos hilos



b - tres hilos



c - cuatro hilos



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## SPRT

Los SPRT (*Standard Platinum Resistance Thermometers*) o Termómetro Estándar de Resistencia de Platino son sensores más exactos.

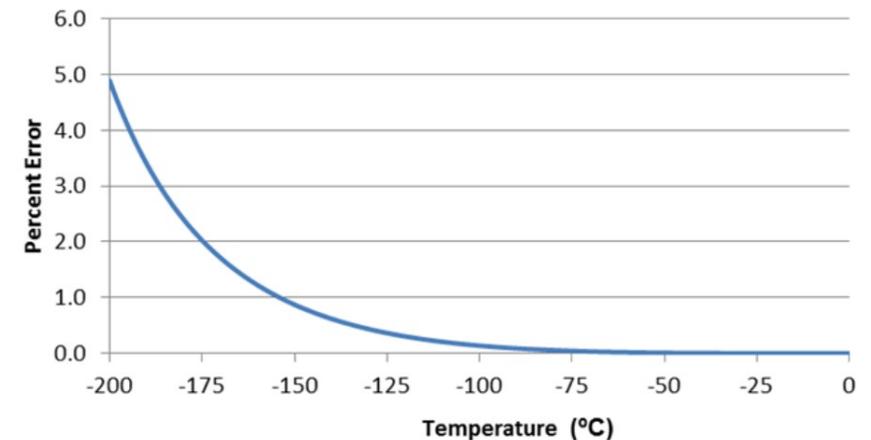
Ecuación de CALLENDAR-VAN DUSEN:

Para el rango entre  $-200^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$ :

$$R = R_{0^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + (T - 100^{\circ}\text{C}) \cdot C \cdot T^3]$$

Para el rango entre  $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 661^{\circ}\text{C}$ :

$$R = R_{0^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2]$$



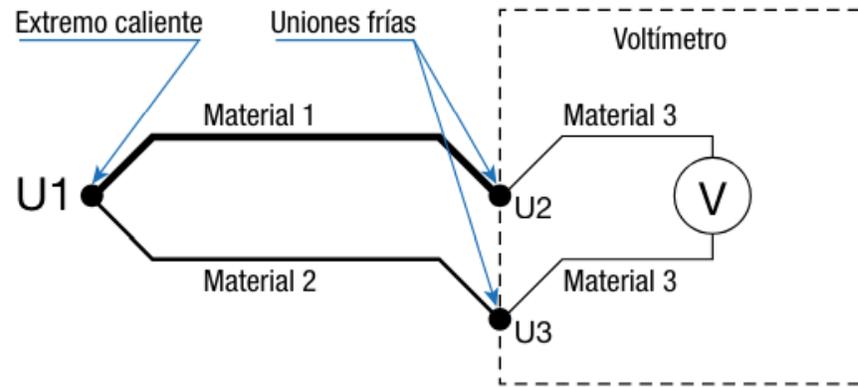
Error al usar la ecuación de Callendar por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$



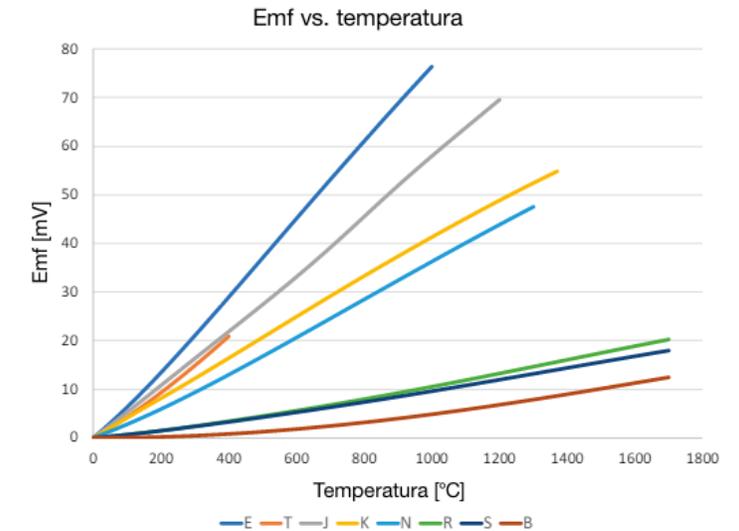
Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

## Termopares

Tipo	Hilo positivo	Hilo negativo
B	70 % Platinum 30 % Rhodium	96 % Platinum 6 % Rhodium
E	Chromel	Constantan
J	Iron	Constantan
K	Chromel	Alumel
N	Nicrosil	Nisil
R	87 % Platinum 13 % Rhodium	Platinum
S	90 % Platinum 10 % Rhodium	Platinum
T	Copper	Constantan



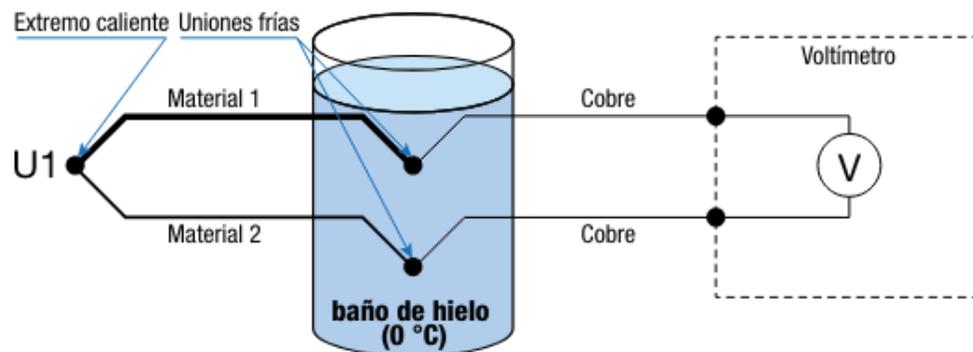
Efecto Seebeck



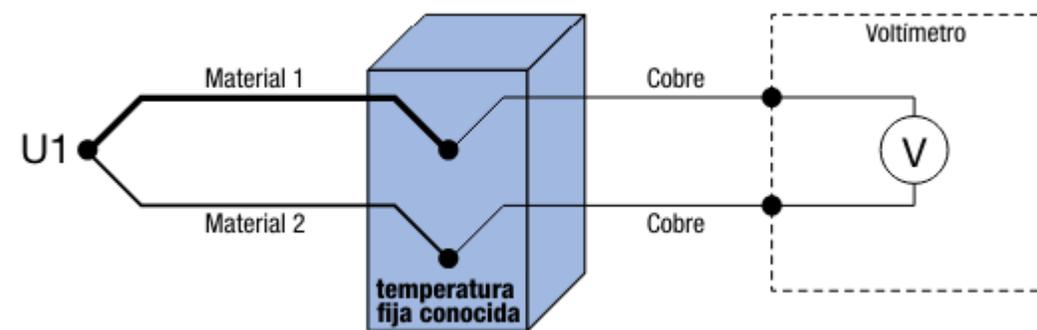


Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

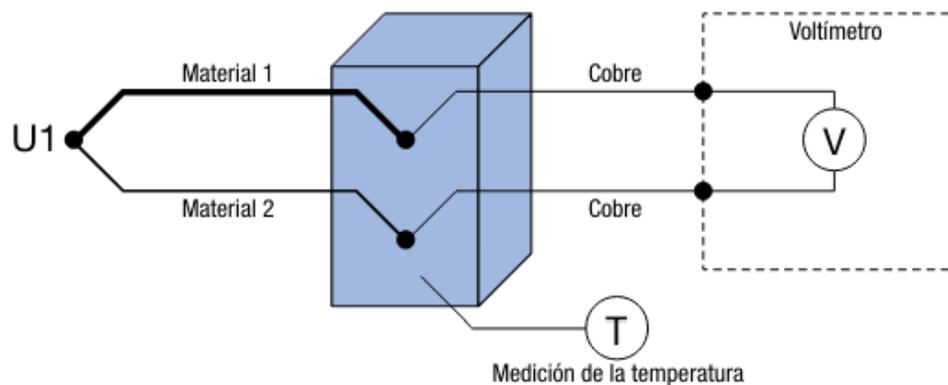
## Termopares



Referencia por baño de hielo



Referencia por temperatura conocida



Referencia por medición de temperatura



Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

# Termopares

Códigos ANSI		ANSI/ASTM E-230 Codificación por colores		Combinación de aleación		Ambiente para Cable Pelado	Máximo Intervalo de Temperatura para Cable Termopar	FEM (mV) para Máximo Intervalo de Temperatura	IEC 584-3 Codificación por colores		Códigos IEC
		Cable Termopar	Cable de Extensión	Conductor +	Conductor -				Cable Termopar	Intrínsecamente Seguro	
J				HIERRO Fe (magnético)	CONSTANTAN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Reductor, vacío, inerte. Uso limitado en oxidación en altas temperaturas. No se recomienda para bajas temperaturas.	-210 a 1200 °C -346 a 2193 °F	-0,095 a 69,553			J
K				CHROMEAL NICROMO Ni-Cr	ALOMEGAM NIQUEL- ALUMINIO Ni-Al (magnético)	Oxidante limpio e inerte. Uso limitado en vacío o reducción. Amplio intervalo de temperatura, calibración más popular	-270 a 1372 °C -454 a 2501 °F	-6,458 a 54,888			K
T				COBRE Cu	CONSTANTAN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Oxidación leve, vacío de reducción o inerte. Bueno donde haya humedad. Aplicaciones criogénicas y de baja temperatura	-270 a 400 °C -454 a 752 °F	-6,258 a 20,872			T
E				CHROMEAL NICROMO Ni-Cr	CONSTANTAN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Oxidante o inerte. Uso limitado en vacío o reducción. Mayor cambio de FEM por grado.	-270 a 1000 °C -454 a 1832 °F	-9,835 a 76,373			E
N				OMEGA-F™ NICROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-NTM NISIL Ni-Si-Mg	Alternativa para el Tipo K. Más estable a altas temperaturas	-270 a 1300 °C -450 a 2372 °F	-4,345 a 47,513			N
R	NO SE HA ESTABLECIDO			PLATINO- 13% RODIO Pt-13% Rh	Platino Pt	Oxidante o inerte. No inserte en tubos de metal. Cuidado con la contaminación. Temperatura alta	-50 a 1768 °C -58 a 3214 °F	-0,226 a 21,101			R
S	NO SE HA ESTABLECIDO			PLATINO- 10% RODIO Pt-10% Rh	Platino Pt	Oxidante o inerte. No inserte en tubos de metal. Cuidado con la contaminación. Temperatura alta.	-50 a 1768 °C -58 a 3214 °F	-0,236 a 18,693			S
R/SX	NO SE HA ESTABLECIDO			COBRE BAJO- NIQUEL Cu-Ni	COBRE BAJO- NIQUEL Cu-Ni	Grado de extensión Cable conector para termopares R & S, también conocido como Cable de extensión RX y SX					R/SX
U*	NO SE HA ESTABLECIDO			COBRE Cu	COBRE Cu	No compensado para uso con RTD y termistores					U
B	NO SE HA ESTABLECIDO			PLATINO- 30% RODIO Pt-30% Rh	Platino- 6% RODIO Pt-6% Rh	Oxidante o inerte. No inserte en tubos de metal. Cuidado con la contaminación, alta temp. Usado normalmente en la industria del vidrio.	0 a 1820 °C 32 a 3308 °F	0 a 13,820			B
G* (W)	NO SE HA ESTABLECIDO			TUNGSTENO W	TUNGSTENO- 26% RENIO W-26% Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es utilizable abajo de 399 °C (750 °F). No se indica en atmósferas de oxidación.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 38,564	NINGUNA NORMA USA EL CÓDIGO DE COLORES ANSI		G (W)
C* (W5)	NO SE HA ESTABLECIDO			TUNGSTENO- 5% RENIO W-5% Re	TUNGSTENO- 26% RENIO W-26% Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es utilizable abajo de 399 °C (750 °F). No se indica en atmósferas de oxidación.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 37,066	NINGUNA NORMA USA EL CÓDIGO DE COLORES ANSI		C (W5)
D* (W3)	NO SE HA ESTABLECIDO			TUNGSTENO- 3% RENIO W-3% Re	TUNGSTENO- 25% RENIO W-25% Re	Vacío, inerte, hidrógeno. Cuidado con la fragilización. No es utilizable abajo de 399 °C (750 °F) - No se indica en atmósferas de oxidación.	0 a 2320 °C 32 a 4208 °F	0 a 39,506	NINGUNA NORMA USA EL CÓDIGO DE COLORES ANSI		D (W3)



3° Workshop de Medición en  
**Upstream y Downstream**  
**de Petróleo y Gas** 

**22-23**  
**AGO**



INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Medición de Temperatura en Petróleo y Gas: Explorando las RTD

---

¡MUCHAS GRACIAS!