

Nota técnica 2 :

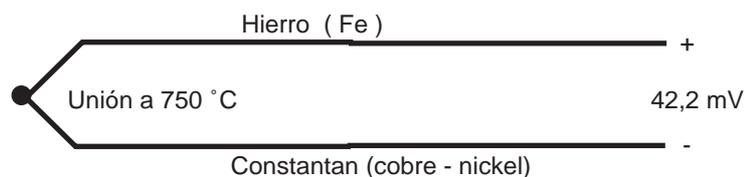
? Que són y como funcionan las termocuplas ?

Que es una termocupla ?

Las termocuplas són el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente.

Una termocupla se hace con dós alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y nickel)
Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 milivolts.



Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable ú otro material (vainas), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Tipos de termocuplas

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas són del tipo J ó del tipo K.

Usos típicos en la industria

Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

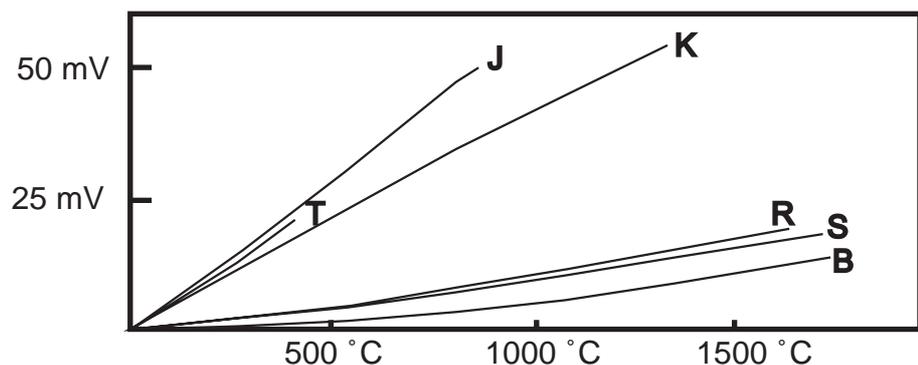
Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero)

Finalmente las tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero hán sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100 (ver la nota técnica 4).

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Linealización

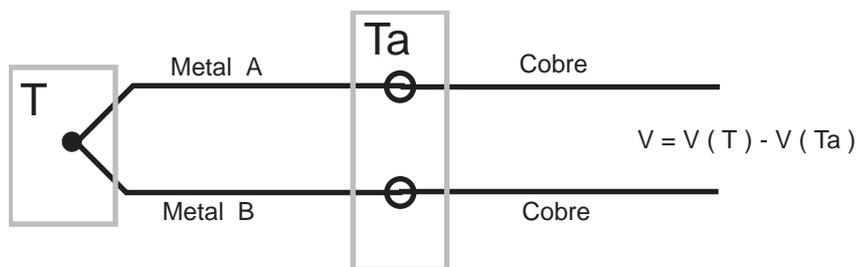
La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal (no es una recta), es deber del intrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la **linealización**, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde este voltaje.



"Compensación de cero"

El principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de "compensación de cero". Esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre.

En ese punto se producirán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme.



Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ($T_a = 0$ y luego $V(T_a) = 0$).

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en ese punto (mediante un sensor de temperatura adicional) y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real.

El punto de empalme (llamado "unión ó juntura de referencia") es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable de la termocupla hasta el mismo instrumento.

La termocupla, hecha de metal A y metal B está sometida a una temperatura T. En los extremos de la termocupla se coloca un voltímetro con puntas de prueba de cobre a temperatura de ambiente T_a .

Recorriendo el circuito se encuentra el voltaje V que marca el voltímetro:

$$\begin{aligned}
 V &= V_{cu,a(T_a)} + V_{a,b(T)} + V_{b,cu(T_a)} \\
 V &= [V_{b,cu(T_a)} + V_{cu,a(T_a)}] + V_{a,b(T)} \\
 V &= V_{b,a(T_a)} + V_{a,b(T)} \\
 V &= V_{a,b(T)} - V_{a,b(T_a)}
 \end{aligned}$$

El voltaje que nos interesa saber para conocer el valor de la temperatura T es $V_{a,b(T)}$, este se consigue despejandolo:

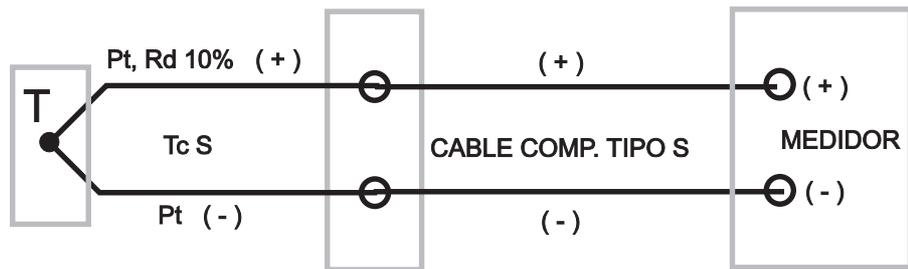
$$V_{a,b(T)} = V + V_{a,b(T_a)}$$

Luego conociendo T_a se busca en la tabla de la termocupla el valor de $V_{a,b(T_a)}$ y se suma a V medido en el voltímetro con lo que se obtiene $V_{a,b(T)}$. Ahora con este valor se busca en la tabla el valor de T.

Los instrumentos para TC miden T_a en su conector y suman esta cantidad $V_{a,b(T_a)}$ automáticamente para hacer la compensación de cero.

Cables compensados Cuando el instrumento está muy retirado del lugar de medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable de la termocupla al instrumento. Esto ocurre especialmente cuando se están usando termocuplas R, S ó B hechas con aleación de platino de muy alto precio.

La solución de este problema es usar los llamados "**cables compensados**" para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termocuplas parásitas en el empalme.



Los cables compensados tienen una polaridad de conexión (+) y (-) que al conectarse con la termocupla se debe respetar.

Un error típico, es conectar al revés el cable en la termocupla y en el instrumento, de esta forma se genera un error en la lectura del orden de la temperatura de ambiente en el empalme.

En el caso particular de las lanzas usadas en la fundición de aceros, la termocupla se conecta en la punta con un cable compensado forrado en asbesto, que va por dentro de la lanza hasta el lado del mango. Ahí se empalma con otro cable compensado con revestimiento de goma más flexible que llega hasta la entrada del instrumento.

Es importantísimo que estos dos cables compensados sean para el tipo de termocupla que se está usando y además estén conectados con la polaridad correcta (+) con (+) y (-) con (-). De otra forma será imposible obtener una medición sin error.

Siempre se debe consultar al proveedor ó fabricante del cable compensado por los colores que identifican los cables (+) y (-), pues las normas de estos colores varían con el tipo de termocupla y país de procedencia del cable.

Para verificar el funcionamiento de un instrumento.

Para verificar que un instrumento de termocupla funciona correctamente, es conveniente hacer un corto ó puente en la entrada de modo que $V = 0$, entonces el instrumento deberá marcar la temperatura de ambiente T_a que hay en el conector trasero donde se hizo el puente.

Para identificar una termocupla J y una K Una Tc tipo J está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán. El alambre de hierro se puede reconocer con un imán, además el hierro es gris opaco aunque algunas veces estos alambre se recubren con un delgada capa de cobre para evitar oxidación. El constantán (cobre-nickel) es también magnético pero muy levemente, se reconoce mejor porque es plateado brillante.

Las termocuplas K están hechas con cromel (cromo - aluminio) y alumel (aluminio -nickel) ambos de color plateado brillante pero el alumel es levemente magnético por su contenido de nickel.

Como medir temperatura con un voltímetro

1- Medir con el voltímetro el voltaje que entrega la termocupla por ej V.
2- Medir la temperatura de ambiente Ta (temperatura del contacto de las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla). Ver en una tabla de termocuplas que voltaje corresponde a la temperatura.

Procedimiento exacto

Sea por ej $V_{ab}(T_a)$.
3- Hacer la suma de los 2 volates obtenidos $V_{ab}(T) = V + V_{ab}(T_a)$ y ver en la tabla a que temperatura corresponde.
Esta será la temperatura real a la que está sometida la termocupla.
Por ejemplo:
Se mide en una termocupla J un voltaje de 10.84 mV.
Si la temperatura de ambiente en los contactos es 25 °C, entonces en la tabla esto corresponde a 1.277 mV.
Luego $V_{ab}(T) = 10.84 + 1.277 = 12.117\text{mV}$, esto según al tabla corresponde a 224°C

Procedimiento aproximado pero simple

1- Medir con el voltímetro el voltaje que entrega la termocupla.
2- Ahora ver en una tabla de termocuplas a que temperatura corresponde el voltaje.
3- Sumarle a esta temperatura encontrada en la tabla, la temperatura de ambiente (temperatura del contacto de las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla) para hacer la compensación de cero.
Por ejemplo:
Se mide en una termocupla J un voltaje de 10.84 mV.
En la tabla de termocupla J se encuentra que para 10.84 mV, lo mas aproximado es 10.832 mV que corresponden a 201 °C .
Si la temperatura de ambiente en los contactos es 25 °C aprox., entonces la temperatura medida es 226°C (25°C + 201°C)

La diferencia obtenida con los mismo valores para ambos procedimientos es mucho mayor en el caso de termocuplas B, S y R

TERMOCUPLA	J milivolts										
	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-210	-8.096										
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634	
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.375	
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093	
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790	
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466	
-130	-5.801	-5.837	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124	
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388	
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996	
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591	
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.958	-4.001	-4.044	-4.087	-4.130	-4.172	
-70	-3.344	-3.389	-3.433	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299	
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	
-40	-1.960	-2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384	
-30	-1.481	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945	
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967	
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484	
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006	
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532	
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062	
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595	
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132	
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671	
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213	
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758	
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304	
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852	
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402	
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953	
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505	
160	8.560	8.616	8.671	8.726	8.781	8.837	8.892	8.947	9.003	9.058	
170	9.113	9.169	9.224	9.279	9.335	9.390	9.446	9.501	9.556	9.612	
180	9.667	9.723	9.778	9.834	9.889	9.944	10.000	10.055	10.111	10.166	
190	10.222	10.277	10.333	10.388	10.444	10.499	10.555	10.610	10.666	10.721	
200	10.777	10.832	10.888	10.943	10.999	11.054	11.110	11.165	11.221	11.276	
210	11.332	11.387	11.443	11.498	11.554	11.609	11.665	11.720	11.776	11.831	
220	11.887	11.943	11.998	12.054	12.109	12.165	12.220	12.276	12.331	12.387	
230	12.442	12.498	12.553	12.609	12.664	12.720	12.776	12.831	12.887	12.942	
240	12.998	13.053	13.109	13.164	13.220	13.275	13.331	13.386	13.442	13.497	
250	13.553	13.608	13.664	13.719	13.775	13.830	13.886	13.941	13.997	14.052	
260	14.108	14.163	14.219	14.274	14.330	14.385	14.441	14.496	14.552	14.607	
270	14.663	14.718	14.774	14.829	14.885	14.940	14.995	15.051	15.106	15.162	
280	15.217	15.273	15.328	15.383	15.439	15.494	15.550	15.605	15.661	15.716	
290	15.771	15.827	15.882	15.938	15.993	16.048	16.104	16.159	16.214	16.270	
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	16.325	16.380	16.436	16.491	16.547	16.602	16.657	16.713	16.768	16.823
310	16.879	16.934	16.989	17.044	17.100	17.155	17.210	17.266	17.321	17.376
320	17.432	17.487	17.542	17.597	17.653	17.708	17.763	17.818	17.874	17.929
330	17.984	18.039	18.095	18.150	18.205	18.260	18.316	18.371	18.426	18.481
340	18.537	18.592	18.647	18.702	18.757	18.813	18.868	18.923	18.978	19.033
350	19.089	19.144	19.199	19.254	19.309	19.364	19.420	19.475	19.530	19.585
360	19.640	19.695	19.751	19.806	19.861	19.916	19.971	20.026	20.081	20.137
370	20.192	20.247	20.302	20.357	20.412	20.467	20.523	20.578	20.633	20.688
380	20.743	20.798	20.853	20.909	20.964	21.019	21.074	21.129	21.184	21.239
390	21.295	21.350	21.405	21.460	21.515	21.570	21.625	21.680	21.736	21.791
400	21.846	21.901	21.956	22.011	22.066	22.122	22.177	22.232	22.287	22.342
410	22.397	22.453	22.508	22.563	22.618	22.673	22.728	22.784	22.839	22.894
420	22.949	23.004	23.060	23.115	23.170	23.225	23.280	23.336	23.391	23.446
430	23.501	23.556	23.612	23.667	23.722	23.777	23.833	23.888	23.943	23.999
440	24.054	24.109	24.164	24.220	24.275	24.330	24.386	24.441	24.496	24.552
450	24.607	24.662	24.718	24.773	24.829	24.884	24.939	24.995	25.050	25.106
460	25.161	25.217	25.272	25.327	25.383	25.438	25.494	25.549	25.605	25.661
470	25.716	25.772	25.827	25.883	25.938	25.994	26.050	26.105	26.161	26.216
480	26.272	26.328	26.383	26.439	26.495	26.551	26.606	26.662	26.718	26.774
490	26.829	26.885	26.941	26.997	27.053	27.109	27.165	27.220	27.276	27.332
500	27.388	27.444	27.500	27.556	27.612	27.668	27.724	27.780	27.836	27.893
510	27.949	28.005	28.061	28.117	28.173	28.230	28.286	28.342	28.398	28.455
520	28.511	28.567	28.624	28.680	28.736	28.793	28.849	28.906	28.962	29.019
530	29.075	29.132	29.188	29.245	29.301	29.358	29.415	29.471	29.528	29.585
540	29.642	29.698	29.755	29.812	29.869	29.926	29.983	30.039	30.096	30.153
550	30.210	30.267	30.324	30.381	30.439	30.496	30.553	30.610	30.667	30.724
560	30.782	30.839	30.896	30.954	31.011	31.068	31.126	31.183	31.241	31.298
570	31.356	31.413	31.471	31.528	31.586	31.644	31.702	31.759	31.817	31.875
580	31.933	31.991	32.048	32.106	32.164	32.222	32.280	32.338	32.396	32.455
590	32.513	32.571	32.629	32.687	32.746	32.804	32.862	32.921	32.979	33.038
600	33.096	33.155	33.213	33.272	33.330	33.389	33.448	33.506	33.565	33.624
610	33.683	33.742	33.800	33.859	33.918	33.977	34.036	34.095	34.155	34.214
620	34.273	34.332	34.391	34.451	34.510	34.569	34.629	34.688	34.748	34.807
630	34.867	34.926	34.986	35.046	35.105	35.165	35.225	35.285	35.344	35.404
640	35.464	35.524	35.584	35.644	35.704	35.764	35.825	35.885	35.945	36.005
650	36.066	36.126	36.186	36.247	36.307	36.368	36.428	36.489	36.549	36.610
660	36.671	36.732	36.792	36.853	36.914	36.975	37.036	37.097	37.158	37.219
670	37.280	37.341	37.402	37.463	37.525	37.586	37.647	37.709	37.770	37.831
680	37.893	37.954	38.016	38.078	38.139	38.201	38.262	38.324	38.386	38.448
690	38.510	38.572	38.633	38.695	38.757	38.819	38.882	38.944	39.006	39.068
700	39.130	39.192	39.255	39.317	39.379	39.442	39.504	39.567	39.629	39.692
710	39.754	39.817	39.880	39.942	40.005	40.068	40.131	40.193	40.256	40.319
720	40.382	40.445	40.508	40.571	40.634	40.697	40.760	40.823	40.886	40.950
730	41.013	41.076	41.139	41.203	41.266	41.329	41.393	41.456	41.520	41.583
740	41.647	41.710	41.774	41.837	41.901	41.965	42.028	42.092	42.156	42.219
750	42.283	42.347	42.411	42.475	42.538	42.602	42.666	42.730	42.794	42.858
760	42.922									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

TERMOCUPLA	K milivolts										
	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-270	-6.458										
-260	-6.441	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.371	-6.377	-6.382	-6.388	-6.394	-6.399	
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.253	
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.796	-5.813	-5.829	-5.845	-5.860	-5.876	
-180	-5.550	-5.569	-5.587	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.712	
-170	-5.354	-5.374	-5.394	-5.414	-5.434	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.249	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	
-150	-4.912	-4.936	-4.959	-4.983	-5.006	-5.029	-5.051	-5.074	-5.097	-5.119	
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.743	-4.768	-4.792	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	
-130	-4.410	-4.437	-4.463	-4.489	-4.515	-4.541	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	
-120	-4.138	-4.166	-4.193	-4.221	-4.248	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	
-110	-3.852	-3.881	-3.910	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.053	-4.082	-4.110	
-100	-3.553	-3.584	-3.614	-3.644	-3.674	-3.704	-3.734	-3.764	-3.793	-3.823	
-90	-3.242	-3.274	-3.305	-3.337	-3.368	-3.399	-3.430	-3.461	-3.492	-3.523	
-80	-2.920	-2.953	-2.985	-3.018	-3.050	-3.082	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	
-70	-2.586	-2.620	-2.654	-2.687	-2.721	-2.754	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	
-60	-2.243	-2.277	-2.312	-2.347	-2.381	-2.416	-2.450	-2.484	-2.518	-2.552	
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.102	-2.137	-2.173	-2.208	
-40	-1.527	-1.563	-1.600	-1.636	-1.673	-1.709	-1.745	-1.781	-1.817	-1.853	
-30	-1.156	-1.193	-1.231	-1.268	-1.305	-1.342	-1.379	-1.416	-1.453	-1.490	
-20	-0.777	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.005	-1.043	-1.081	-1.118	
-10	-0.392	-0.431	-0.469	-0.508	-0.547	-0.585	-0.624	-0.662	-0.701	-0.739	
0	-0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	
0	-0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162	
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570	
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981	
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394	
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809	
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224	
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639	
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054	
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467	
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878	
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287	
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693	
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097	
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499	
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899	
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299	
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697	
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097	
200	8.137	8.177	8.216	8.256	8.296	8.336	8.376	8.416	8.456	8.497	
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898	
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300	
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705	
240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.029	10.070	10.111	
250	10.151	10.192	10.233	10.274	10.315	10.355	10.396	10.437	10.478	10.519	
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
260	10.560	10.600	10.641	10.682	10.723	10.764	10.805	10.846	10.887	10.928
270	10.969	11.010	11.051	11.093	11.134	11.175	11.216	11.257	11.298	11.339
280	11.381	11.422	11.463	11.504	11.546	11.587	11.628	11.669	11.711	11.752
290	11.793	11.835	11.876	11.918	11.959	12.000	12.042	12.083	12.125	12.166
300	12.207	12.249	12.290	12.332	12.373	12.415	12.456	12.498	12.539	12.581
310	12.623	12.664	12.706	12.747	12.789	12.831	12.872	12.914	12.955	12.997
320	13.039	13.080	13.122	13.164	13.205	13.247	13.289	13.331	13.372	13.414
330	13.456	13.497	13.539	13.581	13.623	13.665	13.706	13.748	13.790	13.832
340	13.874	13.915	13.957	13.999	14.041	14.083	14.125	14.167	14.208	14.250
350	14.292	14.334	14.376	14.418	14.460	14.502	14.544	14.586	14.628	14.670
360	14.712	14.754	14.796	14.838	14.880	14.922	14.964	15.006	15.048	15.090
370	15.132	15.174	15.216	15.258	15.300	15.342	15.384	15.426	15.468	15.510
380	15.552	15.594	15.636	15.679	15.721	15.763	15.805	15.847	15.889	15.931
390	15.974	16.016	16.058	16.100	16.142	16.184	16.227	16.269	16.311	16.353
400	16.395	16.438	16.480	16.522	16.564	16.607	16.649	16.691	16.733	16.776
410	16.818	16.860	16.902	16.945	16.987	17.029	17.072	17.114	17.156	17.199
420	17.241	17.283	17.326	17.368	17.410	17.453	17.495	17.537	17.580	17.622
430	17.664	17.707	17.749	17.792	17.834	17.876	17.919	17.961	18.004	18.046
440	18.088	18.131	18.173	18.216	18.258	18.301	18.343	18.385	18.428	18.470
450	18.513	18.555	18.598	18.640	18.683	18.725	18.768	18.810	18.853	18.895
460	18.938	18.980	19.023	19.065	19.108	19.150	19.193	19.235	19.278	19.320
470	19.363	19.405	19.448	19.490	19.533	19.576	19.618	19.661	19.703	19.746
480	19.788	19.831	19.873	19.916	19.959	20.001	20.044	20.086	20.129	20.172
490	20.214	20.257	20.299	20.342	20.385	20.427	20.470	20.512	20.555	20.598
500	20.640	20.683	20.725	20.768	20.811	20.853	20.896	20.938	20.981	21.024
510	21.066	21.109	21.152	21.194	21.237	21.280	21.322	21.365	21.407	21.450
520	21.493	21.535	21.578	21.621	21.663	21.706	21.749	21.791	21.834	21.876
530	21.919	21.962	22.004	22.047	22.090	22.132	22.175	22.218	22.260	22.303
540	22.346	22.388	22.431	22.473	22.516	22.559	22.601	22.644	22.687	22.729
550	22.772	22.815	22.857	22.900	22.942	22.985	23.028	23.070	23.113	23.156
560	23.198	23.241	23.284	23.326	23.369	23.411	23.454	23.497	23.539	23.582
570	23.624	23.667	23.710	23.752	23.795	23.837	23.880	23.923	23.965	24.008
580	24.050	24.093	24.136	24.178	24.221	24.263	24.306	24.348	24.391	24.434
590	24.476	24.519	24.561	24.604	24.646	24.689	24.731	24.774	24.817	24.859
600	24.902	24.944	24.987	25.029	25.072	25.114	25.157	25.199	25.242	25.284
610	25.327	25.369	25.412	25.454	25.497	25.539	25.582	25.624	25.666	25.709
620	25.751	25.794	25.836	25.879	25.921	25.964	26.006	26.048	26.091	26.133
630	26.176	26.218	26.260	26.303	26.345	26.387	26.430	26.472	26.515	26.557
640	26.599	26.642	26.684	26.726	26.769	26.811	26.853	26.896	26.938	26.980
650	27.022	27.065	27.107	27.149	27.192	27.234	27.276	27.318	27.361	27.403
660	27.445	27.487	27.529	27.572	27.614	27.656	27.698	27.740	27.783	27.825
670	27.867	27.909	27.951	27.993	28.035	28.078	28.120	28.162	28.204	28.246
680	28.288	28.330	28.372	28.414	28.456	28.498	28.540	28.583	28.625	28.667
690	28.709	28.751	28.793	28.835	28.877	28.919	28.961	29.002	29.044	29.086
700	29.128	29.170	29.212	29.254	29.296	29.338	29.380	29.422	29.464	29.505
710	29.547	29.589	29.631	29.673	29.715	29.756	29.798	29.840	29.882	29.924
720	29.965	30.007	30.049	30.091	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341
730	30.383	30.424	30.466	30.508	30.549	30.591	30.632	30.674	30.716	30.757
740	30.799	30.840	30.882	30.924	30.965	31.007	31.048	31.090	31.131	31.173
750	31.214	31.256	31.297	31.339	31.380	31.422	31.463	31.504	31.546	31.587
760	31.629	31.670	31.712	31.753	31.794	31.836	31.877	31.918	31.960	32.001
770	32.042	32.084	32.125	32.166	32.207	32.249	32.290	32.331	32.372	32.414
780	32.455	32.496	32.537	32.578	32.619	32.661	32.702	32.743	32.784	32.825
790	32.866	32.907	32.948	32.990	33.031	33.072	33.113	33.154	33.195	33.236
800	33.277	33.318	33.359	33.400	33.441	33.482	33.523	33.564	33.604	33.645
810	33.686	33.727	33.768	33.809	33.850	33.891	33.931	33.972	34.013	34.054
820	34.095	34.136	34.176	34.217	34.258	34.299	34.339	34.380	34.421	34.461

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
830	34.502	34.543	34.583	34.624	34.665	34.705	34.746	34.787	34.827	34.868
840	34.909	34.949	34.990	35.030	35.071	35.111	35.152	35.192	35.233	35.273
850	35.314	35.354	35.395	35.435	35.476	35.516	35.557	35.597	35.637	35.678
860	35.718	35.758	35.799	35.839	35.880	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.483
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.684	36.724	36.764	36.804	36.844	36.885
890	36.925	36.965	37.005	37.045	37.085	37.125	37.165	37.205	37.245	37.285
900	37.325	37.365	37.405	37.445	37.484	37.524	37.564	37.604	37.644	37.684
910	37.724	37.764	37.803	37.843	37.883	37.923	37.963	38.002	38.042	38.082
920	38.122	38.162	38.201	38.241	38.281	38.320	38.360	38.400	38.439	38.479
930	38.519	38.558	38.598	38.638	38.677	38.717	38.756	38.796	38.836	38.875
940	38.915	38.954	38.994	39.033	39.073	39.112	39.152	39.191	39.231	39.270
950	39.310	39.349	39.388	39.428	39.467	39.507	39.546	39.585	39.625	39.664
960	39.703	39.743	39.782	39.821	39.861	39.900	39.939	39.979	40.018	40.057
970	40.096	40.136	40.175	40.214	40.253	40.292	40.332	40.371	40.410	40.449
980	40.488	40.527	40.566	40.605	40.645	40.684	40.723	40.762	40.801	40.840
990	40.879	40.918	40.957	40.996	41.035	41.074	41.113	41.152	41.191	41.230
1000	41.269	41.308	41.347	41.385	41.424	41.463	41.502	41.541	41.580	41.619
1010	41.657	41.696	41.735	41.774	41.813	41.851	41.890	41.929	41.968	42.006
1020	42.045	42.084	42.123	42.161	42.200	42.239	42.277	42.316	42.355	42.393
1030	42.432	42.470	42.509	42.548	42.586	42.625	42.663	42.702	42.740	42.779
1040	42.817	42.856	42.894	42.933	42.971	43.010	43.048	43.087	43.125	43.164
1050	43.202	43.240	43.279	43.317	43.356	43.394	43.432	43.471	43.509	43.547
1060	43.585	43.624	43.662	43.700	43.739	43.777	43.815	43.853	43.891	43.930
1070	43.968	44.006	44.044	44.082	44.121	44.159	44.197	44.235	44.273	44.311
1080	44.349	44.387	44.425	44.463	44.501	44.539	44.577	44.615	44.653	44.691
1090	44.729	44.767	44.805	44.843	44.881	44.919	44.957	44.995	45.033	45.070
1100	45.108	45.146	45.184	45.222	45.260	45.297	45.335	45.373	45.411	45.448
1110	45.486	45.524	45.561	45.599	45.637	45.675	45.712	45.750	45.787	45.825
1120	45.863	45.900	45.938	45.975	46.013	46.050	46.088	46.126	46.163	46.201
1130	46.238	46.275	46.313	46.350	46.388	46.425	46.463	46.500	46.537	46.575
1140	46.612	46.649	46.687	46.724	46.761	46.799	46.836	46.873	46.910	46.948
1150	46.985	47.022	47.059	47.096	47.134	47.171	47.208	47.245	47.282	47.319
1160	47.356	47.393	47.430	47.468	47.505	47.542	47.579	47.616	47.652	47.689
1170	47.726	47.763	47.800	47.837	47.874	47.911	47.948	47.985	48.021	48.058
1180	48.095	48.132	48.169	48.205	48.242	48.279	48.316	48.352	48.389	48.426
1190	48.462	48.499	48.536	48.572	48.609	48.645	48.682	48.718	48.755	48.792
1200	48.828	48.864	48.901	48.937	48.974	49.010	49.047	49.083	49.120	49.156
1210	49.192	49.229	49.265	49.301	49.338	49.374	49.410	49.446	49.483	49.519
1220	49.555	49.591	49.627	49.663	49.700	49.736	49.772	49.808	49.844	49.880
1230	49.916	49.952	49.988	50.024	50.060	50.096	50.132	50.168	50.204	50.240
1240	50.276	50.311	50.347	50.383	50.419	50.455	50.491	50.526	50.562	50.598
1250	50.633	50.669	50.705	50.741	50.776	50.812	50.847	50.883	50.919	50.954
1260	50.990	51.025	51.061	51.096	51.132	51.167	51.203	51.238	51.274	51.309
1270	51.344	51.380	51.415	51.450	51.486	51.521	51.556	51.592	51.627	51.662
1280	51.697	51.733	51.768	51.803	51.838	51.873	51.908	51.943	51.979	52.014
1290	52.049	52.084	52.119	52.154	52.189	52.224	52.259	52.294	52.329	52.364
1300	52.398	52.433	52.468	52.503	52.538	52.573	52.608	52.642	52.677	52.712
1310	52.747	52.781	52.816	52.851	52.886	52.920	52.955	52.989	53.024	53.059
1320	53.093	53.128	53.162	53.197	53.232	53.266	53.301	53.335	53.370	53.404
1330	53.439	53.473	53.507	53.542	53.576	53.611	53.645	53.679	53.714	53.748
1340	53.782	53.817	53.851	53.885	53.920	53.954	53.988	54.022	54.057	54.091
1350	54.125	54.159	54.193	54.228	54.262	54.296	54.330	54.364	54.398	54.432
1360	54.466	54.500	54.535	54.569	54.603	54.637	54.671	54.705	54.739	54.773
1370	54.807	54.841	54.875							
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota técnica 1 :

Cuando y en que aplicaciones usar una Termocupla J, Termocupla K ó Pt100 ?

Por que usar uno de estos ?

Las termocuplas J y K junto con los Pt100 són los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen.

Que es una termocupla ?

Una termocupla es simplemente dós alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura. Las termocuplas J y K són económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 1370 °C).

Que es un Pt100 ?

Un Pt100 es un sensor de temperatura hecho con un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Un Pt100 es un tipo particular de RTD. (Dispositivo Termo Resistivo)

Cuando no usar una termocupla?

No es recomendable usar termocuplas cuando el sitio de medición y el instrumento están lejos (más de 10 a 20 metros de distancia). El problema de las termocuplas es que suministran un voltaje muy bajo y susceptible a recibir interferencias eléctricas. Además para hacer la extensión se debe usar un cable compensado para el tipo específico de termocupla lo que aumenta el costo de la instalación.

Tampoco es recomendable usar termocuplas cuando es necesaria una lectura de temperatura muy precisa (décima de °C) pues la compensación de cero requerida por las termocuplas introduce un error típicamente del orden de 0.5 °C.

Otro problema que puede ocurrir con las termocuplas es que alguna contaminación ú oxidación en los metales de la unión podría provocar una lectura errónea (hasta 4 ó 5 ° C) sin que se detecte la falla. Luego en algunos casos es conveniente verificar periódicamente la precisión de la lectura.

Cuando usar un Pt100 ?

Por otra parte los Pt100 siendo lévemente más costosos y mecánicamente no tán rígidas como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone graduálmente entregando lecturas erróneas, si no que normálmente se abre con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediátamente la falla del sensor y da aviso.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión. (aún así deben tomarse ciertas precauciones en la instalación. Ver la nota técnica 4)

Usar Pt100 en :

Medición de -100 a 200 °C con muy buena precisión y estabilidad
Industria de alimentos en general (envasado, pasteurizado, cocción, conservación, etc)
Circuitos de líquidos. (aguas de enfriamiento, aceites, etc)
Industria química (temperatura de reactivos)
Cámaras de secado (textiles, alimentos, papel, etc)

Usar termocupla J :

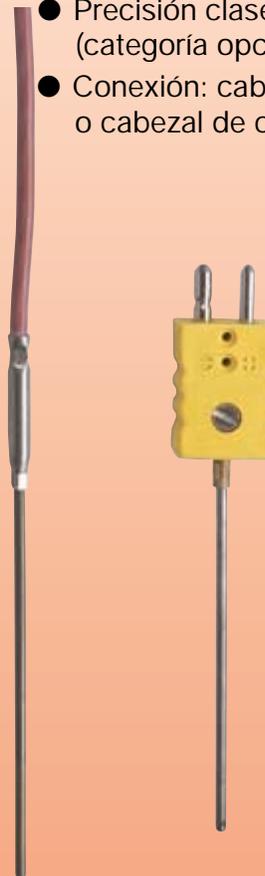
Mediciones de 0 a 700 °C
Industria del plástico y goma (extrusión e inyección)
Medición en tambores rotatorios con termocupla de contacto.
Temperatura de motores (carcaza) con termocupla autoadhesiva.
Procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.

Usar termocupla K :

Fundición de metales hasta 1300°C (no ferrosos)
Hornos en general
Usar cuando hay que poner las termocuplas en vainas muy delgadas
Por ejemplo en agujas de una jeringa para tomar temperatura en el interior de una fruta.



- Cable flexible revestido
- Rangos de medición:
-200 a +1150°C
- Revestido en acero inoxidable 1.4571
o Inconel
- Termocuplas de
NiCr-Ni o Fe-CuNi
- Diámetro de revestimiento desde 0.5 mm
- Tiempo de respuesta rápida
- Precisión clase 2
(categoría opcional 1)
- Conexión: cable, conector
o cabezal de conexión MA



Las oficinas de KOBOLD existen en los siguientes países:

ARGENTINA, AUSTRIA, BELGICA, CANADA, CHINA,
FRANCIA, ALEMANIA, INGLATERRA, PAISES BAJOS,
POLONIA, ITALIA, SUIZA, USA, VENEZUELA

KOBOLD Messring GmbH
Nordring 22-24
D-65719 Hofheim/Ts.
☎ (061 92) 2 99 - 0
Fax (061 92) 2 33 98
E-mail: info.de@kobold.com
Internet: www.kobold.com

Modelo:
TTM...

Descripción

Las termocuplas revestidas comprenden un cable flexible de pared delgada, revestida, hecha de acero inoxidable o Inconel. El cable contiene hilos revestidos en óxido de magnesio prensado a prueba de fuego. La buena transferencia de calor entre el revestimiento y la termocupla permite una respuesta, para grandes presiones de medición. El diseño a prueba de vibraciones asegura una larga vida de servicio.

El tubo de sonda flexible permite mediciones de temperatura en lugares de difícil acceso. El radio mínimo de doblado es 5 veces el diámetro exterior. La mínima longitud de montaje es >50mm para un diámetro de revestimiento de 0.5 a 2.0mm; >100mm para un diámetro de revestimiento de 3 a 6 mm

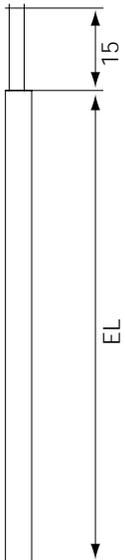
Termocupla según IEC 584-1 categoría 2 se usan en la inserción de medida como estándar. Termocuplas según DIN 43710 u otras versiones también están disponibles bajo pedido

Aplicaciones

Debido a sus características, los termómetros de vaina por resistencia, se utilizan en aplicaciones de difícil medición con vibraciones fuertes, así como en todas las posiciones de medición donde se necesiten flexibilidad y facilidad de reemplazo. Las áreas de aplicación están siendo encontradas en plantas químicas, estaciones de energía, motores, así como en la instalación de aparatos, construcción de máquinas y en aplicaciones industriales generales.

Termocuplas revestidas

con alambres de conexión (no aislados)

	(Tubo protector en acero inoxidable 1.4571) Rango de temperatura: -200 a +800°C				
	Número del modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión de cable
	TTM 804..	0.5 mm	..100..=100 mm	..J1..= 1 x FeCu-Ni, categoría 2	..0= (alambres no aislados)
	TTM 814..	1.0 mm	..200..=200 mm	..J2..= 2 x FeCu-Ni, categoría 2 ¹⁾	
	TTM 824..	2.0 mm	..300..=300 mm		
	TTM 834..	3.0 mm	..500..=500 mm		
	TTM 844..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
	TTM 864..	6.0 mm			
	(Tubo protector hecho de Inconel 2.4816) Rango de temperatura: -20 a +1150°C				
	Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión de cable
	TTM 80F..	0.5 mm	..100..=100 mm	..K1..= 1 x NiCr-Ni, categoría 2	..0= (alambres no aislados)
	TTM 81F..	1.0 mm	..200..=200 mm	..K2..= 2 x NiCr-Ni, categoría 2 ¹⁾	
	TTM 82F..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 83F..	3.0 mm	..500..=500 mm			
TTM 84F..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales			
TTM 86F..	6.0 mm				

Por favor especificar las longitudes especiales para el tubo protector por escrito ¹⁾ no para diámetro de revestimiento menor a 2.0 mm

Termocuplas revestidas

con manga reforzada y terminal de conexión aislado con silicona

	Tubo protector en acero inoxidable 1.4571 Terminal de conexión: silicona 0.5 mm ² con manga reforzadora Long. estándar del cable: 2500 mm, otros bajo pedido Rango de temperatura: -200 a +800°C			
	Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría
TTM 804..	0.5 mm	..100..=100 mm	..J1..= 1 x FeCu-Ni, categoría 2	..S= Cable de silicona
TTM 814..	1.0 mm	..200..=200 mm	..J2..= 2 x FeCu-Ni, categoría 2 ¹⁾	
TTM 824..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 834..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 844..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 864..	6.0 mm			
	Tubo protector de Inconel 2.4816 Terminal de conexión : silicona 0.5 mm ² con manga reforzadora Long. estándar del cable: 2500 mm, otros bajo pedido Rango de temperatura: -200 a +11500°C			
	Número de modelo	Funda Ø	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría
TTM 80F..	0.5 mm	..100..=100 mm	..K1..= 1 x NiCr-Ni, categoría 2	..S= Cable de silicona
TTM 81F..	1.0 mm	..200..=200 mm	..K2..= 2 x NiCr-Ni, categoría 2 ¹⁾	
TTM 82F..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 83F..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 84F..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 86F..	6.0 mm			

Por favor especificar las longitudes especiales para tubo protector por escrito 1)) no para diámetro de revestimiento menor a 2.0 mm

Termocuplas revestidas

con conector plano

	Tubo protector en acero inoxidable 1.4571 Conexión: conector plano, no térmico f.e.m. Long. estándar del cable: 2500 mm, otros bajo pedido Rango de temperatura: -200 a +800°C			
	Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría
TTM 804..	0.5 mm	..100..=100 mm	..J1..= 1 x FeCu-Ni, categoría 2	..F= conector plano
TTM 814..	1.0 mm	..200..=200 mm		
TTM 824..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 834..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 844..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 864..	6.0 mm			
	Tubo protector de Inconel 2.4816 Conexión: conector plano, no térmico e.m.f. Rango de temperatura -200 a +11500°C			
	Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría
TTM 80F..	0.5 mm	..100..=100 mm	..K1..= 1 x NiCr-Ni, categoría 2	..F= Conector plano
TTM 81F..	1.0 mm	..200..=200 mm		
TTM 82F..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 83F..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 84F..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 86F..	6.0 mm			

Por favor especificar los longitudes especiales para tubo protector por escrito

Termocuplas revestidas

con conexión de cuello MA sin proceso de conexión

Tubo protector en acero inoxidable 1.4571 Conexión: pequeña conexión de cuello compacta MA Rango de temperatura: -200 a +800°C				
Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión
TTM 804..	0.5 mm	..100..=100 mm	..J1..= 1 x FeCuNi, categoría 2	..M= Cabezal forma MA
TTM 814..	1.0 mm	..200..=200 mm	..J2..= 2 x FeCuNi, categoría 2 ¹⁾	
TTM 824..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 834..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 844..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 864..	6.0 mm	especiales		
Tubo protector en Inconel 2.4816 Conexión: pequeña conexión de cuello compacta MA T Rango de temperatura: -200 a +1150°C				
Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión
TTM 80F..	0.5 mm	..100..=100 mm	..K1..= 1 x NiCr-Ni, categoría 2	..M= Cabezal forma MA
TTM 81F..	1.0 mm	..200..=200 mm	..K2..= 2 x NiCr-Ni, categoría 2 ¹⁾	
TTM 82F..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 83F..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 84F..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 86F..	6.0 mm	especiales		

Por favor especificar las longitudes especiales para Tubo protector por escrito ¹⁾ no para diámetro de revestimiento menor que 2.0 mm

Termocuplas revestidas

con cuello de conexión forma MA , rosca de conexión de proceso G 1/2

Tubo protector en acero inoxidable 1.4571 Conexión: pequeña conexión de cuello compacta MA Rango de temperatura: -200 a +800°C				
Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión
TTM 104..	0.5 mm	..100..=100 mm	..J1..= 1 x FeCuNi, categoría 2	..M= Cabezal forma MA
TTM 114..	1.0 mm	..200..=200 mm	..J2..= 2 x FeCuNi, categoría 2 ¹⁾	
TTM 124..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 134..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 144..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 164..	6.0 mm	especiales		
Tubo protector en Inconel 2.4816 Conexión: pequeña conexión de cuello compacta MA Rango de temperatura: -200 a +1150°C				
Número de modelo	Revestimiento	Long. de inmersión	Sensor tipo/categoría	Conexión
TTM 10F..	0.5 mm	..100..=100 mm	..K1..= 1 x NiCr-Ni, categoría 2	..M= Cabezal forma MA
TTM 11F..	1.0 mm	..200..=200 mm	..K2..= 2 x NiCr-Ni, categoría 2 ¹⁾	
TTM 12F..	2.0 mm	..300..=300 mm		
TTM 13F..	3.0 mm	..500..=500 mm		
TTM 14F..	4.5 mm	..xxx..=longitudes especiales		
TTM 16F..	6.0 mm	especiales		

Por favor especificar las longitudes especiales para tubo protector por escrito ¹⁾ no para diámetro reforzado menor que 2.0 mm

Enchufe estándar sin f.e.m termal para temperaturas desde -60 a +200°C

Enchufes para termocuplas

No se produce f.e.m termal en las conexiones entre la termocupla y terminal compensador cuando el material contactante es del mismo material que la termocupla



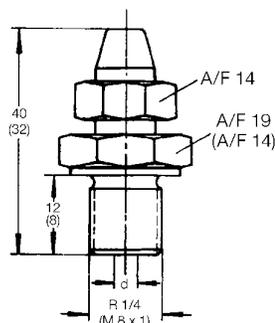
Sensor de medición	Núm. de orden	
	Conector	Conector de emparejamiento
K (NiCr-Ni)	TUZ S900K	TUZ S911K
J (Fe-CuNi)	TUZ S900J	TUZ S911J

Conectores de proceso

Conectores de proceso de abrazaderas para pasar a través de termocuplas revestidas con una arandela de presión hecha

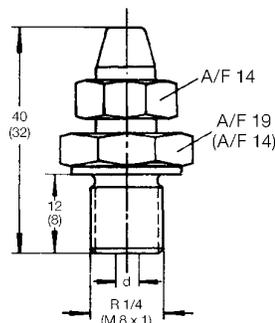
de teflón hasta 200°C, que puede ser removida o con un anillo cónico hecho de acero inoxidable para mayores temp. y presiones.

**Conexión de proceso
material: acero**



Revestimiento de de la termocupla Ø	Rosca	Arandela de presión de teflón orden no.	Con cuña de acero inox. Número de orden
1.0	M 8 x 1	TUZVS10T	TUZVS10V
2.0	M 8 x 1	TUZVS23T	TUZVS20V
3.0	M 8 x 1	TUZVS30T	TUZVS30V
4.5	R 1/4"	TUZVS45T	TUZVS45V
6.0	R 1/4"	TUZVS60T	TUZVS60V

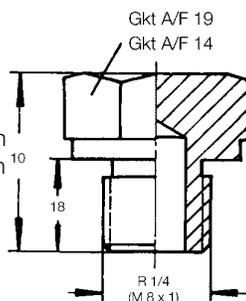
**Conexión de proceso
material: acero inoxidable,
material no. 1.4541**



Revestimiento de la termocupla Ø	Rosca	Arandela de presión de teflón orden No.	Con cuña de acero inox. Número de orden
1.0	M 8 x 1	TUZVV10T	TUZVV10V
2.0	M 8 x 1	TUZVV23T	TUZVV20V
3.0	M 8 x 1	TUZVV30T	TUZVV30V
4.5	R 1/4"	TUZVV45T	TUZVV45V
6.0	R 1/4"	TUZVV60T	TUZVV60V

Rosca de cuello soldada duramente

Para soldadura dura. Termocuplas revestidas tapadas según especificación o con hueco central de 3 mm



Rosca	Número de orden
M 8 x 1 (hasta 3.0 mm Ø)	TUZV408
Rosca R 1/4"	TUZV410

Por favor referirse a nuestro folleto A1...



...para tecnología analítica

Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel

Patricia Martínez - Marcelo Azuaga
Laboratorio IV - Dpto. de Física - UBA 1997

Las termocuplas son, tal vez, los sensores de temperatura más usados en la actividad científica y en la industria.

En lo que sigue, mostraremos como se procedió a calibrar una termocupla de Chromel - Alumel en el rango de $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $327\text{ }^{\circ}\text{C}$. La idea básica consistió en medir las diferencias de potencial originadas principalmente por efecto Seebeck, para ciertas temperaturas fijas correspondientes a puntos de fusión de sustancias conocidas y construir un gráfico de calibración.

I - FUNDAMENTOS TEORICOS :

Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica. Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos. Su funcionamiento, se basa en un descubrimiento hecho por Seebeck en 1821: *si se sueldan dos metales diferentes, cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una f.e.m. (llamada f.e.m Seebeck)*¹

Posteriormente, se mostró que esta f.e.m proviene en realidad de dos efectos diferentes:

- Uno resultante sólo del contacto entre dos metales disímiles y la temperatura de dicha unión. Este es el llamado “Efecto Peltier” y es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.¹
- Otro, debido a los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores en el circuito. Este es el llamado “Efecto Thompson” y es debido al flujo de calor entre los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos.¹

En la mayoría de los casos, la f.e.m. Thompson es bastante pequeña en comparación con la f.e.m. Peltier y, dependiendo de los materiales elegidos para la termocupla, la f.e.m. Thompson puede ser despreciada.

Históricamente, se llamó efecto Seebeck a la combinación de los efectos Thompson y Peltier. En realidad, esto sería así si no hubiera gradientes de temperatura en la zona aledaña a las uniones de la termocupla. Sin embargo, éste efecto de tipo espacial se manifiesta, por ejemplo cuando la termocupla está en presencia de un campo magnético. En general, se considera el efecto del campo sobre la f.e.m. desarrollada en las uniones solamente; sin embargo los gradientes de temperaturas generados a lo largo de los cables, son responsables de diferencias de potencial que en algunos casos son más que apreciables y deben ser tenidos en cuenta.³

En la mayoría de los casos, considerar los efectos Peltier y Thompson sumados es aceptable como una buena aproximación del efecto Seebeck.

Debemos mencionar también, que la inserción de un metal intermedio en el circuito de una termocupla no afecta la f.e.m. neta, si las dos uniones con el tercer metal se mantienen a la misma temperatura.

La mayoría de las tablas sobre termocuplas dan valores de voltajes en función de la temperatura.

Sin embargo, existen tablas que dan valores del *coeficiente Seebeck* en función de la temperatura. Veamos la relación existente entre el voltaje Seebeck y el coeficiente Seebeck. Definimos al coeficiente Seebeck como el cociente entre el voltaje generado en la termocupla (ΔV) por una pequeña diferencia de temperatura (ΔT) entre sus extremos y dicha diferencia de temperatura.²

Para cada metal, es posible determinar su coeficiente Seebeck absoluto formando una cupla con un metal de referencia. Por convención, el signo de dicho coeficiente se dice positivo, si la corriente inducida fluye hacia el metal de referencia. Podemos ver en la figura 1, las curvas para los coeficientes Seebeck del Chromel y del Alumel usados en la termocupla a calibrar.

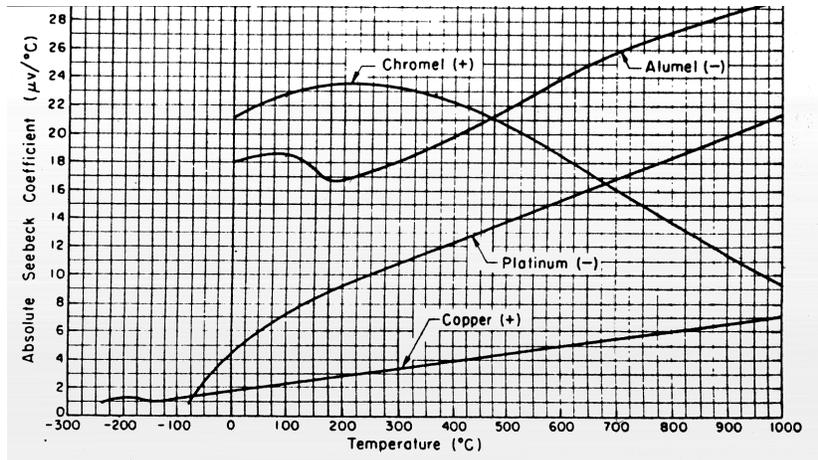


Figura 1 Coeficientes Seebeck absolutos en función de la temperatura, para distintos materiales usados comúnmente en la construcción de termocuplas.²

Para cada combinación de metales, podemos determinar el coeficiente Seebeck relativo a partir de los coeficientes absolutos de cada material, lo cual se observa en la figura 2 :

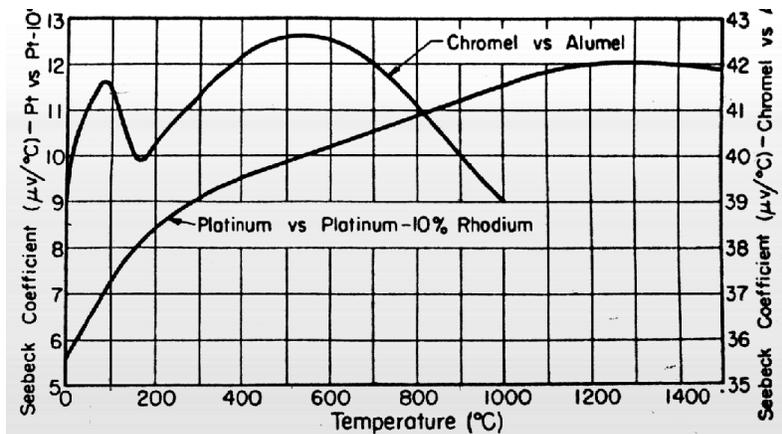


Figura 2 Coeficientes Seebeck relativos en función de la temperatura, para combinaciones de platino con platino y chromel con alumel. Se observa que para chromel-alumel, dicho coeficiente se encuentra acotado entre 39 y 43 $\mu V/^{\circ}C$.²

En una primera aproximación, para diferencias de temperatura muy pequeñas alrededor de una cierta T_0 , la f.e.m. Seebeck generada se puede calcular como :

$$V_s = S \times T_0 \quad (1)$$

Mediante ésta fórmula es posible relacionar las tablas confeccionadas para los coeficientes Seebeck de las distintas termocuplas con las tablas usuales que especifican las f.e.m. generadas por ellas.

Para finalizar, podemos decir que la importancia de las termocuplas en la investigación científica y en la industria es debida , entre otras cosas, a su bajo costo, versatilidad, alta velocidad de respuesta y amplio rango de uso. Por otro lado, es necesario contar con un punto de referencia, ya que éste dispositivo sólo mide diferencias de potencial.

II-ARREGLO EXPERIMENTAL :

La termocupla elegida para calibrar, fue una del tipo “K” : de Chromel (10% cromo y 90% níquel) y Alumel (2% aluminio, 90% níquel y el resto, silicio y manganeso)³ enfundada en una vaina de fibra de vidrio de 1,5 mm de diámetro. En primer lugar se procedió a realizar la soldadura entre los extremos de las aleaciones, retorciéndolas y utilizando un soldador de arco.

Por otro lado, se unieron los extremos libres de la termocupla a sendos cables de cobre (éstas son las llamadas *uniones de referencia*) que llevan la señal generada hasta un microvoltímetro marca KEITHLEY (midiendo en la escala de hasta 200 mV) que a su vez se conectó a una PC-XT a través de una interfaz. De esta manera, fue posible seguir la evolución de las mediciones a través de la pantalla del monitor.

Las dos uniones de referencia se introdujeron en un tubo de ensayo con aceite (deshidratado, para evitar el cortocircuito y al mismo tiempo mantener la temperatura homogénea alrededor de las uniones), y éste a su vez sumergido en un baño de agua con hielo. El arreglo se puede observar en la figura 3.

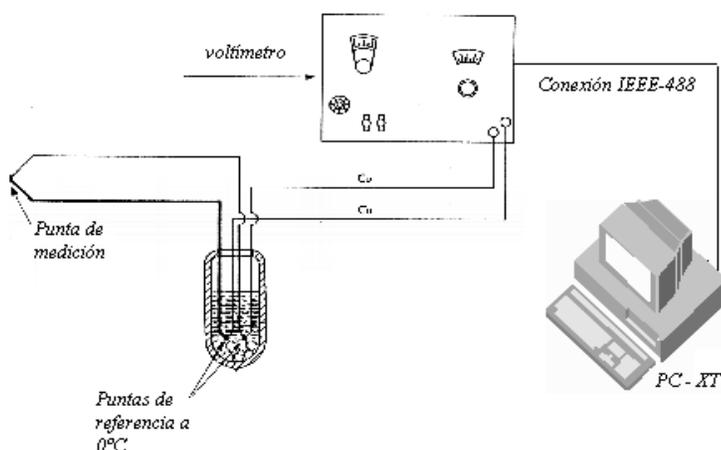


Figura 3 Disposición de los distintos componentes presentes en el arreglo experimental utilizado.

Para la calibración, utilizamos como puntos fijos , los puntos de fusión de distintas sustancias conocidas, obtenidos a través de tablas de constantes físicas.

Calibración a bajas temperaturas :

Las sustancias utilizadas fueron :

<i>Sustancia</i>	<i>Punto de fusión</i>
Tetracloruro de Carbono	-23°C
Mercurio	-38.87°C
Cloroformo	-63.05°C
Acetona	-94.8°C
Alcohol Eílico	-114.5°C

Tabla 1 *Puntos de fusión de las sustancias usadas para la calibración a bajas temperaturas*⁷

Para conseguir que estas sustancias solidifiquen, se procedió a colocar cada una de ellas (en forma sucesiva) en un tubo Pyrex (junto con la unión de las dos aleaciones) y éste a su vez dentro de un termo que contenía aire líquido (a alrededor de -170°C). Una vez solidificada la sustancia, retiramos el tubo del termo y comenzamos las mediciones. Cuando la sustancia alcanza la temperatura de fusión se observa el *plateau* (f.e.m constante durante el tiempo que dura el cambio de fase) en el monitor.

Se efectuaron, por lo menos, dos mediciones de cada sustancia.

Calibración para altas temperaturas :

1^{ra} Calibración :

Las sustancias utilizadas fueron :

<i>Sustancia</i>	<i>Punto de fusión</i>
Estaño	231.968°C
Plomo	327.502°C

Tabla 2 *Puntos de fusión de las sustancias usadas para la calibración a altas temperaturas*⁷

Para obtener temperaturas lo suficientemente altas para fundir las muestras, se empleó un horno con resistencia de Kantal, conectado a un variac alimentado por la tensión de línea.

En forma sucesiva, procedimos a fundir cada uno de los metales en un crisol. Colocamos cada vez la unión Chromel- Alumel dentro del metal fundido realizando una nueva soldadura cada vez, pues la junta queda contaminada luego de cada medición. Procedimos a medir de igual forma que para bajas temperaturas hasta observar el *plateau*.

Se efectuaron dos mediciones de cada metal.

Con el fin de obtener dos puntos más para esta calibración, medimos la f.e.m. correspondiente al agua a 0°C y a 100°C (colocando la punta de medición en el baño de hielo y en agua en ebullición, respectivamente).

2^{da} Calibración :

Dado que sólo disponíamos de dos metales para hacer la calibración a altas temperaturas, procedimos a hacer otra calibración contra termómetro. Para ello usamos un termómetro de mercurio de escala $-10^{\circ}\text{C} / 150^{\circ}\text{C}$, un recipiente con aceite (1 litro aproximadamente) y un calentador eléctrico por inmersión. Aseguramos la unión Chromel- Alumel al bulbo del termómetro para evitar gradientes de temperatura. Procedimos a hacer dos mediciones :

- a) Tomamos una muestra de unos pocos mililitros de aceite en un tubo Pyrex y tabulamos (manualmente) la temperatura medida con el termómetro y el voltaje registrado en el microvoltímetro.
- b) Repetimos la medición, pero ahora registrando la evolución térmica del total de aceite contenido en el recipiente.

III-RESULTADOS :

A partir de las mediciones realizada con las distintas sustancias usadas como patrón en ésta experiencia, se procedió a graficar su evolución térmica atravesando los correspondientes cambios de fase para cada una de ellas. (*figuras 4,5 6 y 7*)

En estos gráficos se pueden apreciar los *plateau* correspondientes a los cambios de fase de cada sustancia, durante los cuales la temperatura no varía apreciablemente. Se procedió en cada caso, a promediar los valores centrales de cada uno de estos “plateau” , adjuntando estos resultados y sus errores estadísticos correspondientes sobre los gráficos.

Cabe consignar que se realizaron dos ó hasta tres evoluciones temporales para cada sustancia con el fin de obtener una mejor definición de dichos *plateau*. Para ello se tuvo en cuenta la cantidad de muestra analizada en cada caso, ya que en algunos casos (por ejemplo, alcohol, estaño) los “plateau” eran apenas apreciables en una primera medición. Debido a los bajos calores de fusión de algunas de las sustancias estudiadas, al aumentar la cantidad de muestra se extendía la duración de los *plateau* lo cual era nuestro interés primordial en la experiencia.

Se muestran en los gráficos las evoluciones temporales con mayor definición de los registrados durante la experiencia, asignándose a cada resultado obtenido su correspondiente temperatura de fusión según figuran en tablas de constantes físicas de los materiales.

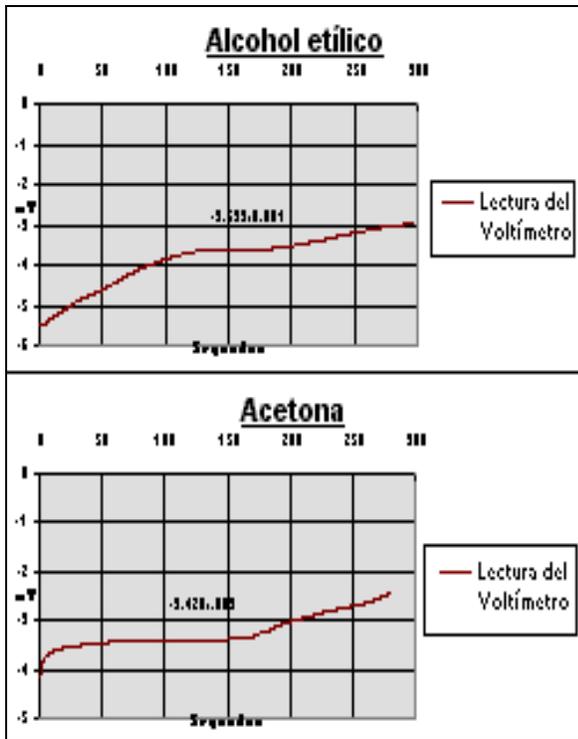


Figura 4 : Plateaux utilizados para la calibración con bajas temperaturas

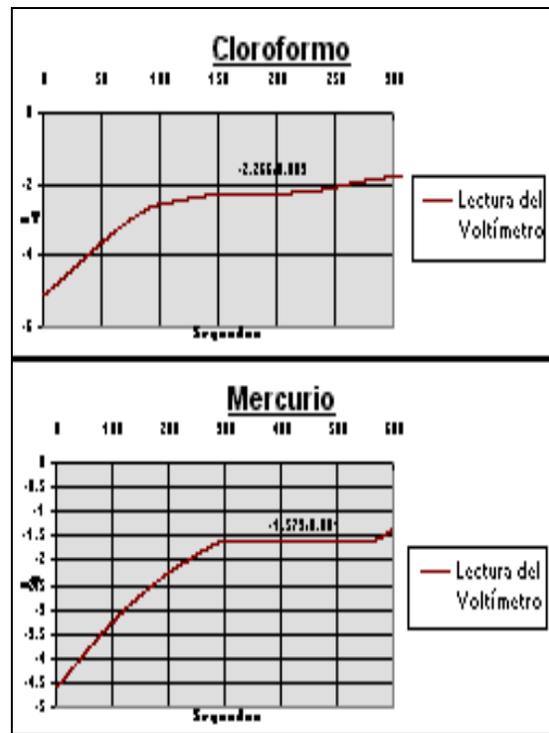


Figura 5 : Plateaux utilizados para la calibración con bajas temperaturas

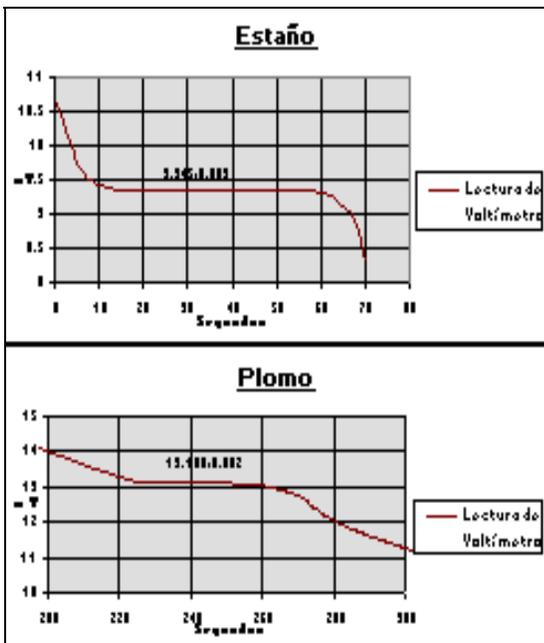


Figura 6 : Plateaux utilizados para la calibración con altas temperaturas

Calibración con bajas temperaturas :

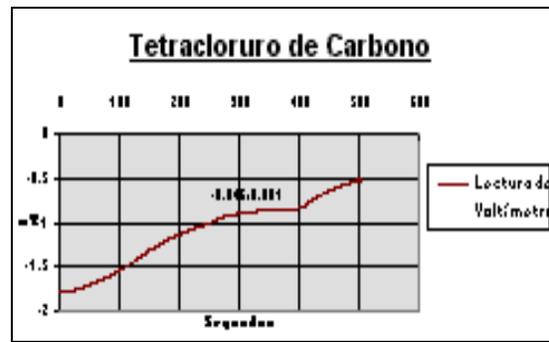


Figura 7 : Plateau utilizado para la calibración con bajas temperaturas

Las termocuplas tipo K ó de Chromel - Alumel son ideales para rangos de temperatura que van de 0°C a 1200°C ya que en el rango de bajas temperaturas pierde su linealidad, lo cual hace incómodo su uso en determinaciones de precisión.

Esta pérdida de linealidad se hizo evidente al graficar los datos correspondientes a los puntos fijos de las sustancias por debajo de los 0°C, por lo cual se procedió a realizar un ajuste de tipo polinómico sobre las mediciones realizadas con el fin de obtener una curva de calibración más apropiada para este rango de temperaturas.

En el gráfico de Calibración para bajas temperaturas (*figura 8*), se tabuló conjuntamente con la figura el resultado de dicho ajuste. La mejor aproximación a los datos medidos resultó ser un polinomio de grado cuatro al cual se le exigió contener al origen de coordenadas ya que se complementaron las mediciones colocando la unión de la termocupla en el baño de hielo usado como referencia. (obteniéndose una lectura idénticamente nula en el microvoltímetro)

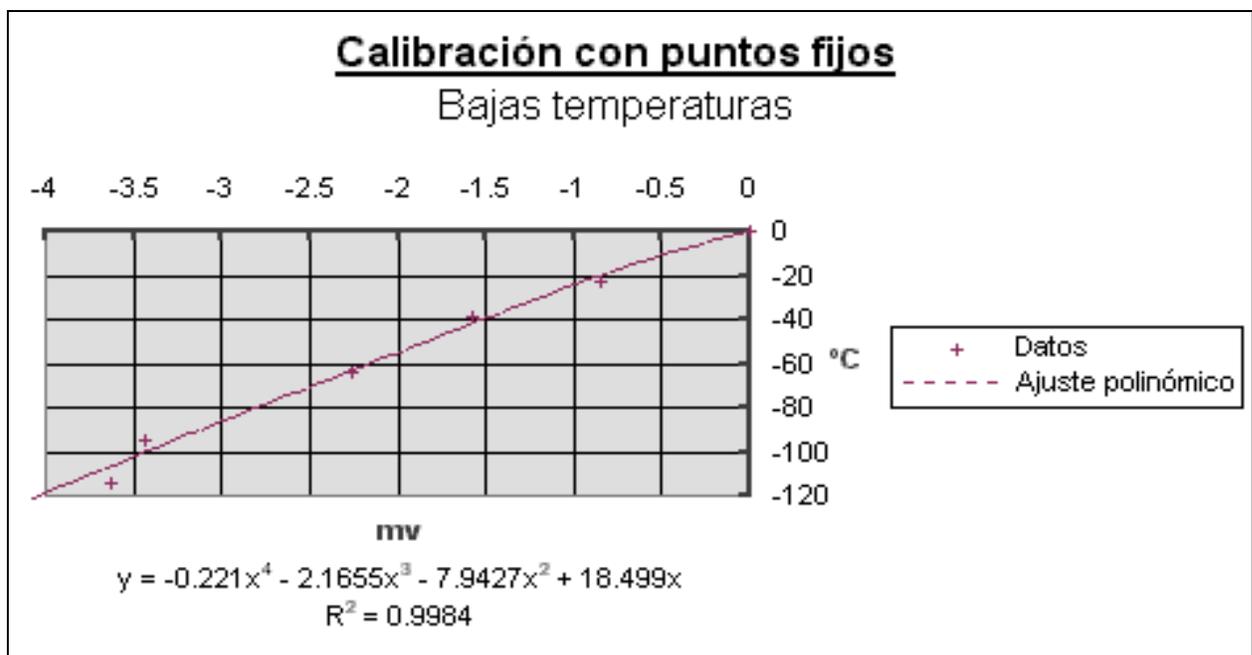


Figura 8 Calibración para bajas temperaturas. Se observan los datos obtenidos junto con el ajuste polinómico propuesto

En el siguiente gráfico (*figura 9*), se consignaron los valores medidos para los distintos puntos de fusión juntamente con la curva de calibración provista por el fabricante de la termocupla utilizada.

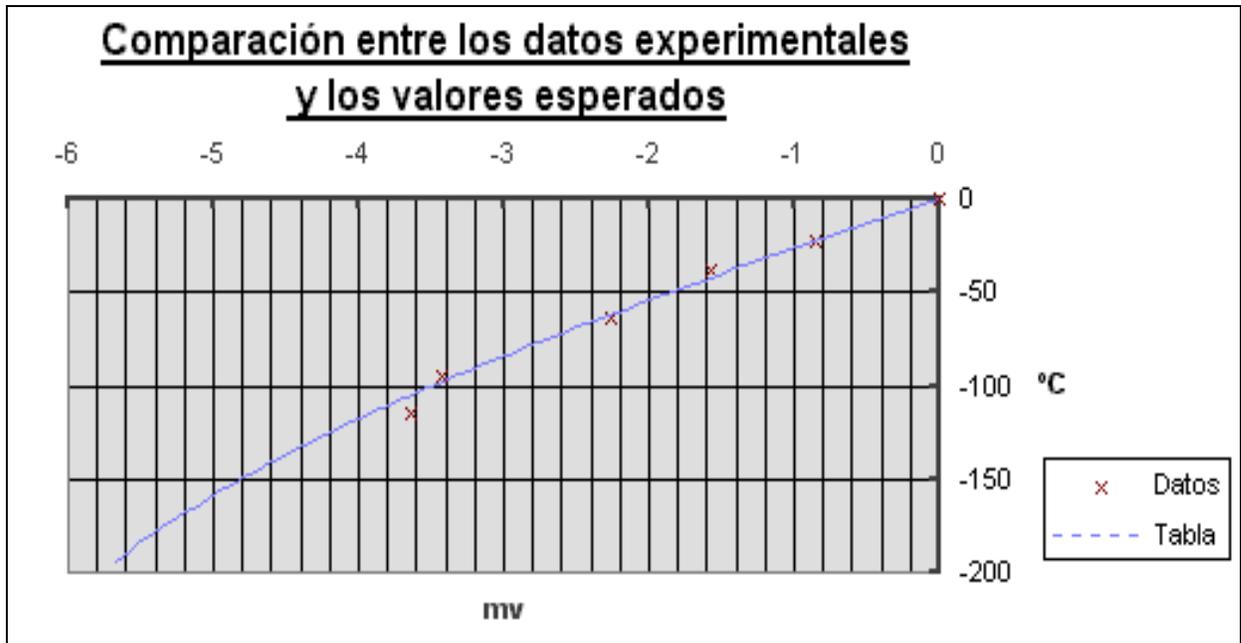


Figura 9 Comparación entre los datos experimentales obtenidos y los valores esperados.

Nota: En todos los gráficos de este informe se usa la siguiente convención de colores: datos experimentales y ajustes de dichos datos se muestran siempre en color rojo; en cambio valores esperados provistos por el fabricante se muestran en azul.

Del gráfico se puede observar que en líneas generales los datos siguen la tendencia de los esperados con algunas fluctuaciones más ó menos importantes, como en el caso del alcohol.

Posiblemente, la mayor fuente de error en estas mediciones haya sido la falta de pureza en las sustancias utilizadas como referencia para la calibración de la termocupla. Esto conlleva una asignación incorrecta de los puntos de fusión que corresponden a materiales en estado puro.

La asignación de un polinomio de grado cuatro para el ajuste de las mediciones obedeció no sólo a la relativa bondad del ajuste con los datos consignados sino a haber sabido que en general para este tipo particular de transductor (termocupla tipo K) los polinomios que, usualmente, mejor se apegan a los datos de los fabricantes son precisamente polinomios de orden cuatro ó cinco⁶. Así lo hicimos, ya que aventurar una curva de calibración de este tipo con tan pocos resultados hubiera sido arriesgado si no hubiéramos constatado con datos provenientes de la fabricación de dichos elementos.

Con los datos obtenidos (junto a sus errores $\pm 1\text{mv}$ para los potenciales medidos) se obtuvo entonces la siguiente curva de calibración para temperaturas desde -120°C hasta los 0°C :

$$y = -0.221x^4 - 2.1655x^3 - 7.9427x^2 + 18.499x$$

$$r^2 = 0.9984$$

$$S_a = 0.0829 \quad S_b = 0.618$$

$$S_c = 2.38 \quad S_d = 2.078$$

$$\text{con } y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$$

Calibración con

altas temperaturas :

En ésta etapa es donde se presentaron algunas dificultades debidas a la falta de suficientes sustancias para proceder a calibrar en forma confiable la termocupla, por lo cual se dividió la calibración según dos procedimientos distintos, como consignáramos anteriormente.

1. Calibración con puntos fijos :

Con los datos provenientes de los *plateau* observados para el plomo y el estaño, más la medición hecha en el baño de hielo y una medición adicional realizada en agua en ebullición completa, se procedió a calibrar la termocupla en el rango de los 0°C - 330°C.

Los resultados han sido volcados en el gráfico de Calibración con puntos fijos (*figura 10*) conjuntamente con los datos del ajuste lineal realizado sobre estas mediciones.

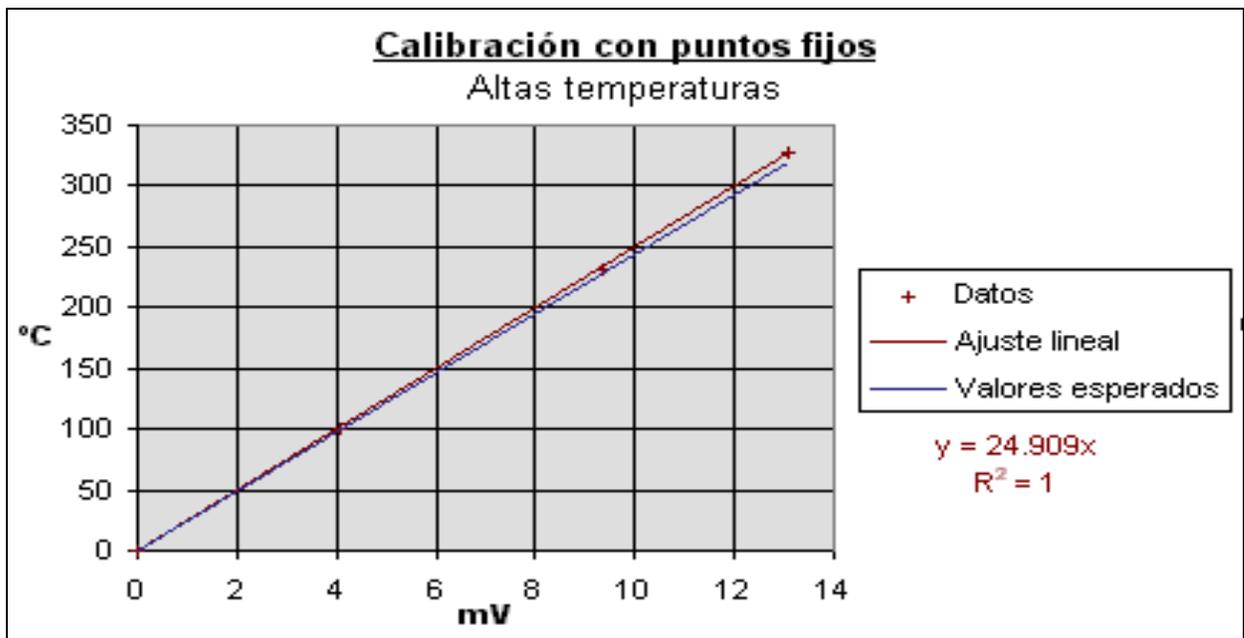


Figura 10 Calibración para altas temperaturas. Se observan los datos experimentales, su ajuste lineal y los valores esperados.

También en el gráfico, se muestra la recta de calibración esperada de acuerdo a datos del fabricante con la que concuerda, dentro del rango de error calculado.

Mediante el cálculo de la regresión lineal hecha para nuestros datos, se obtuvo la siguiente recta de calibración:

$$y = 24.909x$$

$$r^2 = 1$$

$$S_a = 0.798$$

$$S_b = 0.096$$

$$\text{con } y = a + b \cdot x$$

Del resultado de la pendiente de ésta recta de calibración obtenemos un parámetro importante de la termocupla: su sensibilidad. Según nuestros datos la sensibilidad resultó ser para la termocupla **K** analizada:

Sensibilidad = 24.9 ± 0.01 °C/mV

(los fabricantes suelen expresar dicha sensibilidad en términos inversos, es decir en mV/°C ; en este caso el resultado es 0.041 ± 0.002 mV/°C)

Este dato es de fundamental importancia en el uso de termocuplas, ya que nos permite elegir los transductores con mayor respuesta a los cambios de temperatura, lo cual redundará en mejor precisión en las mediciones a efectuar.

2. Calibración contra termómetro :

Como mencionamos anteriormente, se procedió a medir la temperatura de una muestra de aceite calentada previamente mediante un calentador eléctrico por inmersión, que luego se dejó evolucionar libremente en contacto con el medio ambiente. Se midió la temperatura con nuestra termocupla y paralelamente con un termómetro de mercurio.

En un principio, se realizó una primera medición con una muestra pequeña de aceite en un tubo Pyrex de pequeñas dimensiones, de manera que la evolución de la temperatura era muy rápida para obtener una medición precisa.

Por ello, medimos nuevamente pero directamente del recipiente conteniendo el total de aceite (capacidad aproximada de un litro) para lograr una evolución más lenta de su temperatura.

Los resultados obtenidos fueron graficados (junto al error de lectura estimado para el termómetro : ± 1 °C) conjuntamente con los valores esperados para la termocupla en el gráfico de Calibración contra termómetro. (figura 11)

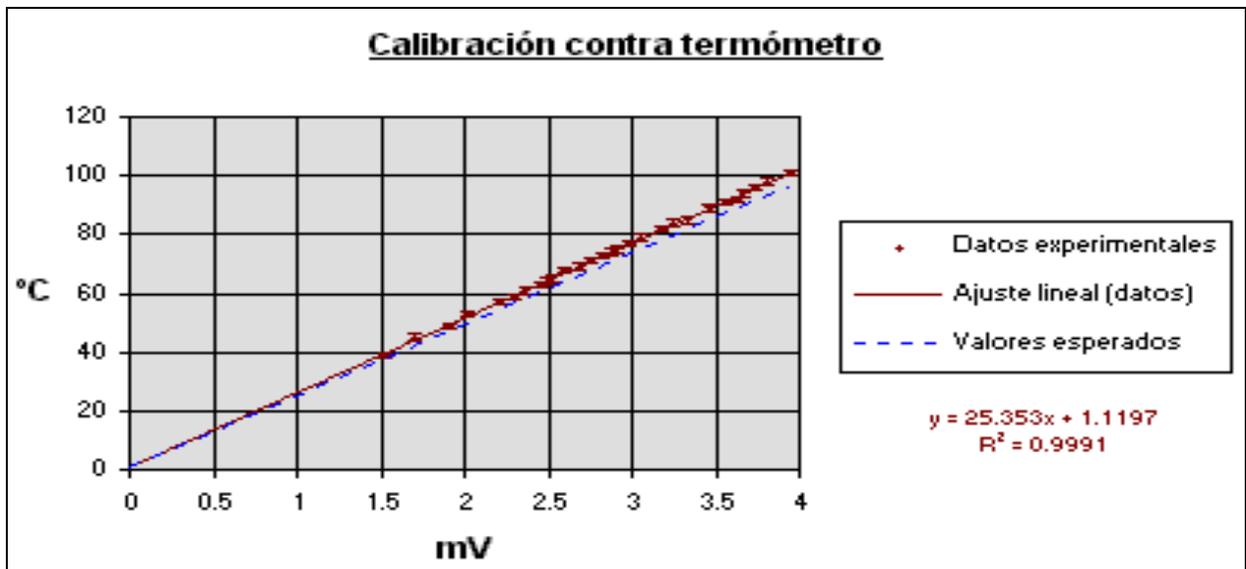


Figura 11 Calibración contra termómetro. Se observan los datos experimentales, su ajuste lineal y la comparación con los valores esperados.

Como se puede apreciar, los datos se apartan apreciablemente de los valores esperados aún incluyendo los respectivos errores de medición. Nuestra explicación del fenómeno está basada en la diferente velocidad de respuesta de ambos sensores de temperaturas utilizados en ésta calibración. Aquí se puede ver como el termómetro de mercurio arroja valores siempre

superiores a los consignados por la termocupla , siendo estas diferencias cada vez menores a medida que la temperatura desciende. Para confirmar nuestras sospechas sobre los distintos tiempos de respuesta de ambos dispositivos, realizamos algunas mediciones de éstos tiempos (utilizando un cronómetro, considerando como error 0.2seg) para la termocupla y el termómetro al producirse cambios bruscos de temperatura en una muestra de agua. El procedimiento seguido fue el siguiente: en el primer caso se colocaron ambos dispositivos en agua en ebullición e inmediatamente después se llevaron a un baño de agua con hielo . En el segundo caso se partió de agua a 40°C procediéndose de igual modo que en el caso anterior y en el tercer caso se partió de agua a 30°C y luego se expusieron ambos dispositivos a la temperatura ambiente. Estos resultados se hallan expresados en la Tabla 3.

<i>Diferencia de temperaturas</i>	<i>Dispositivos</i>	<i>Tiempo de respuesta</i>
De 100°C a 0°C	Termocupla / Termómetro	3.5 seg. / 50 seg.
De 40° a 0°C	Termocupla / Termómetro	1.8 seg. / 30 seg.
De 30°C a 22°C	Termocupla / Termómetro	0.5 seg. / 10 seg.

Tabla 3 Resultados obtenidos para los tiempos de respuesta de un termómetro de mercurio y una termocupla Chromel- Alumel.

De esta tabla se aprecia una marcada diferencia entre los tiempos de respuesta de ambos dispositivos por lo cual, cuando la termocupla estuvo midiendo la temperatura correcta, el termómetro se encontraba varios grados por encima.

Para una mejor comprensión del fenómeno se realizaron un par de mediciones ya no de los tiempos de respuesta sino de la diferencia en la medición de ambos dispositivos cuando la termocupla ya marcaba la temperatura correcta. Para ello medimos con los dos sensores la temperatura de sendos baños de agua a 32°C y 28°C y procedimos a sacarlos simultáneamente dejándolos evolucionar hasta temperatura ambiente.

El resultado fue que cuando la termocupla registraba la temperatura ambiente correcta el termómetro se hallaba 8°C y 7°C por encima.

Esto explica entonces que las diferencias entre las mediciones de la temperatura del aceite con ambos dispositivos fueran desde 7°C hasta unos 4°C para temperaturas más cercanas a la temperatura ambiente. La disminución en estas diferencias para temperaturas más bajas se debe a que el aceite se encuentra a una temperatura más cercana a la ambiente, por lo cual su evolución temporal es más lenta permitiendo que la medición del termómetro se acerque a la de la termocupla. Los resultados para la regresión lineal realizada fueron :

$$y=25\ 353x+1\ 1197$$

$$r^2=0.9991$$

$$S_a=0.434$$

$$S_b=0.151$$

$$\text{con } y=a+b \cdot x$$

IV -CONCLUSIONES:

A pesar de la simpleza del arreglo experimental usado, los resultados obtenidos para las distintas calibraciones con los puntos fijos de las sustancias de referencia, se adecuaron a lo esperado.

Sin embargo, el poder disponer de sustancias patrones de pureza comprobada mejoraría la calibración realizada. Sin duda la escasez de sustancias de referencia conspiraron contra una calibración más precisa como así también el no disponer de tubos distintos para cada muestra testada lo que contribuía a una posible contaminación de las mismas.

Para el caso de la calibración a bajas temperaturas, el ajuste polinómico propuesto aproxima en mejor medida los datos que el ajuste lineal sugerido en la práctica. Esto concuerda con las indicaciones especificadas por el fabricante que recomienda la utilización de ésta termocupla en un rango de 0° C a 1200°C, donde la linealidad está prácticamente asegurada. (Estrictamente, para una termocupla Chromel- Alumel, el ajuste debería responder a un polinomio de tercer grado, cuyos coeficientes cúbico y cuadrático son despreciables frente al coeficiente lineal. Por esta razón, es aceptable plantear una regresión lineal en éste rango de temperaturas)⁴. Para bajas temperaturas como las medidas, se sugiere utilizar una termocupla de Cobre - Constantan cuyo rango es de -200°C a 400°C.

Para altas temperaturas, se pudo apreciar la linealidad de la termocupla en el rango estudiado como se esperaba a partir de los datos del fabricante, como así, su sensibilidad. Con respecto a esto último, cabe consignar que a partir de datos del fabricante, la termocupla usada tiene menor sensibilidad que otras como por ejemplo una de Chromel - Constantan.

Otra de las desventajas de la termocupla usada es que la f.e.m. generada por ella va decayendo con el tiempo, lo cual no la hace muy confiable después de transcurrido cierto tiempo. Todo esto nos permite aseverar que una elección más adecuada para nuestro experimento hubiera sido la termocupla de Cobre - Constantan (tipo T).

La calibración contra termómetro adoleció de fallas de elección del arreglo experimental, debido a la dispar respuesta de los dispositivos usados. Una mejor manera hubiera sido asegurar baños de temperatura estables a ciertos intervalos, para así poder asegurar que la lectura de ambos sensores sea la correcta. De todas formas, el seguir en esa dirección nunca arrojaría resultados más precisos que los que se pueden obtener con una calibración a partir de los cambios de fase de sustancias puras.

Para evitar errores de estimación del voltaje Seebeck real generado por la termocupla, sugerimos para un mejor arreglo experimental, reemplazar al voltímetro por un potenciómetro, el cual no exigiría la circulación de corriente inducida a través de los conductores. La resistencia de dichos conductores merman la diferencia de potencial leída⁵.

Por otro lado, como se mencionó en la introducción, el evitar gradientes de temperatura bruscos en los conductores mejorarían la medición precisa del voltaje Seebeck.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- J.Beckwith, *Mechanical measurements* (Macmillan, London)- Capítulo 13
- 2- R.Heikes y R.Ure, *Science and Engineering of Thermoelectricity* (Clarendon Press Co.,1961) - Capítulos 1,2 y 10
- 3-J.Dike,*Thermoelectric Thermometry* (Interscience,New York,1956)
- 4-P.L.Walstrom, *American Journal of Physics* - Vol **56** ,Pág. 890-894.
- 5-A.M.Guenault, N.S.Lawson y S.D.Veazey, *American Journal of Physics* - Vol **46** ,Pág. 399-401.
- 6-Malmstadt-Enke-Crouch, *Electronic Analog Measurements and Transducers* (Ed. Benjamin/Cummings, California, 1974)
- 7-C.D.Hodoman, *Handbook of Chemistry and Physics* (Ed. McGraw Hill, New York, 1976)