

2299365

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE FORMATURA

TERMOPARES

Autor: Carlos Miyazaki  
Orientador: José Carlos de  
Carvalho Lisboa

ANO 1981

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METÉOROLÓGICA  
TRABALHO DE FOMATURA

TF-81  
M699t

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600007149

536.53 Miyazaki, Carlos  
M699t Termopares; orientador Prof. José Car-  
los de Carvalho Lisboa. São Paulo, EPUSP,  
1981.  
62p. ilus. tab. 32cm.  
Bibliografia: pg. 62  
Pirômetros termoelétricos 536.53  
t

## A G R A D E C I M E N T O

Desejo expressar o meu agradecimento a todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, em especial ao orientador Prof. José Carlos de Carvalho Lisboa.

## S U M Á R I O

Os processos para a medição de temperatura são infinitamente variáveis. O termopar, ou pirômetro termoelétrico é provavelmente o mais versátil instrumento pra medir temperaturas. Ele pode ser aplicado em uma extensa gama de temperaturas; desde temperaturas vizinhas ao zero absoluto até  $5400^{\circ}\text{F}$ . Na variação de  $1166.9^{\circ}\text{F}$  até  $1945.4^{\circ}\text{F}$ , ele é especificado na Escola Internacional de Temperaturas como o mais preciso e confiável de todos os instrumentos de medição de temperatura. O elemento sensor de temperatura do termopar pode ser arbitrariamente pequeno, facilitando portanto medidas precisas de temperatura em um ponto. A baixa capacidade térmica do elemento, resultante de seu pequeno tamanho torna as respostas rápidas e facilita a medida da temperatura instantânea.

Os instrumentos de indicação são geralmente muito elaborados. Estes, porém, podem ser colocados a distância do corpo e usados para leitura de um grande número de termopares alternadamente.

O termopar em si é muito barato e de fácil construção.

Este trabalho visa fornecer uma orientação para a escolha do tipo de termopar adequado para cada uso, suas características, limites de medida, bem como os procedimentos de verificação, montagem e instalação.

## Í N D I C E

### CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 - Introdução . . . . .	1
1.2 - Efeito Seebeck . . . . .	2
1.3 - Efeito Peltier . . . . .	2
1.4 - Efeito Thomson . . . . .	3

### CAPÍTULO 2 - LEIS DA TERMOELETRICIDADE

2.1 - Lei das temperaturas intermediárias . . . . .	6
2.2 - Lei dos metais intermediários . . . . .	6
2.3 - Lei das juntas . . . . .	7
2.4 - Aditividade das FEM'S termoeletricas . . . . .	7
2.5 - Distributividade da soma FEM'S . . . . .	7

### CAPÍTULO 3 - TERMOPAR - DEFINIÇÕES

3.1 - Geral. . . . .	9
3.2 - Elemento Termopar. . . . .	9
3.3 - Grupo termopar . . . . .	10
3.3.1 - Bloco de terminais . . . . .	10
3.3.2 - Cabeçote de ligação. . . . .	10
3.3.3 - Extensão do cabeçote de ligação . . . . .	11
3.3.4 - Tubo protetor . . . . .	11
3.3.5 - Poço térmico . . . . .	12

### CAPÍTULO 4 - MATERIAIS TERMOELÉTRICOS E COMPONENTES

4.1 - Materiais termoeletricos . . . . .	15
4.2 - Identificação dos fios de termopares . . . . .	16
4.3 - Junta de referência . . . . .	16
4.4 - Fios de compensação . . . . .	17

### CAPÍTULO 5 - CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES

5.1 - Platina-platina ródio (tipo S) . . . . .	21
5.2 - Cromel-Alumel (tipo K). . . . .	23
5.3 - Ferro-constantan (Tipo J) . . . . .	24
5.4 - Cobre-constantan (Tipo T . . . . .	24
5.5 - Tabela-Designações literais dos tipos termopares . . . . .	26
5.6 - Isolação dos condutores . . . . .	27

## CAPÍTULO 6 - LIMITES DE MEDIDAS E USO DAS TABELAS TEMPERATURA -EMF

6.1 - Limites superiores de temperatura . . . . .	28
6.2 - Limites de erro . . . . .	28
6.3 - Tabelas . . . . .	29
6.3.1 - Limites de temperatura superiores recomendados por termopares protegidos . . . . .	29
6.3.2 - Limites de erro para termopares. . . . .	30
6.4 - Tabelas de temperatura-EMF para termopares . . . . .	30
6.4.1 - Finalidade . . . . .	30
6.4.2 - Introdução . . . . .	30
6.4.3 - Emprego das tabelas de temperatura-EMF . . . . .	31

## CAPÍTULO 7 - TERMOPARES-PROCEDIMENTOS DE VERIFICAÇÃO

7.1 - Geral . . . . .	34
7.2 - Finalidade . . . . .	34
7.3 - Procedimento . . . . .	34
7.3.1 - Verificação . . . . .	34
7.3.2 - Tubo protetor . . . . .	35
7.3.3 - Temperatura . . . . .	36
7.3.4 - Cuidados . . . . .	36
7.3.5 - Precisão . . . . .	36

## CAPÍTULO 8 - MONTAGEM E INSTALAÇÃO DE TERMOPARES

8.1 - Montagem de termopares . . . . .	37
8.2 - Junta quente . . . . .	39
8.3 - Instalação de termopar . . . . .	44
8.3.1 - Considerações iniciais . . . . .	44
8.3.2 - Regras gerais . . . . .	44
8.4 - Juntas com conetores . . . . .	47

## CAPÍTULO 9 - TABELAS DE TEMPERATURA-EMF PARA OS VÁRIOS

TIPOS DE TERMOPARES . . . . .	48
-------------------------------	----

Bibliografia . . . . .	62
------------------------	----

## CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 - INTRODUÇÃO

Em 1821, Seebeck descobriu que, num circuito fechado, feito de fios de dois metais diferentes, a corrente elétrica fluiria se a temperatura de uma junção fosse elevada acima da temperatura da outra junção. Em 1866, Le Chatelier lançou um termopar composto de um fio de platina e outro de 90% platina - 10% ródio. Esta combinação, tipo S, continua sendo o padrão internacional para fins de regulação e aferição e define a Escala Prática Internacional de Temperaturas de 1968 desde o ponto de antimônio ao ouro. Pouco tempo depois ficou-se sabendo que um termoelemento composto de 87% platina e 13% ródio, tipo R, apresentaria uma capacidade em EMF (força eletromotriz) algo maior. Este tipo é frequentemente empregado na Indústria.

A combinação ferro-constantan (60% de cobre e 40% de níquel) vem sendo largamente adotada, tendo recebido a designação do tipo J.

Para temperaturas mais elevadas, foi criada uma liga denominada Chromel-Alumel conhecida como tipo K.

Uma outra combinação, cobre-constantan, tipo T, é adotada particularmente à temperaturas abaixo de zero.

Várias combinações valendo-se de tungstênio, rênio e respectivas ligas binárias são amplamente adotadas a altas temperaturas em atmosferas inertes ou redutoras e acham-se em vias de aceitação como combinação-padrão.

Na base do uso geral e do reconhecimento do NBS ( National Bureau of Standards) sete tipos de termopares (T, J, E, K, S, R e B) foram codificados.

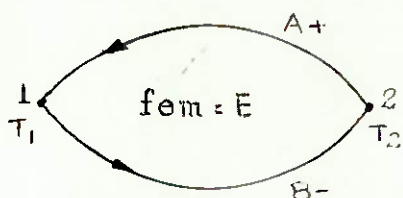
As cores empregadas para designar as várias composições e combinações de fios do termopar e de extensão foram originariamente escolhidas em base quase arbitrárias. Cores que haviam sido usadas por grandes fabricantes, receberam cuidadosa atenção, de modo que o mínimo possível de alterações se fizesse necessário, para o estabelecimento de uma padronização.

## CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.2 - EFEITO SEEBECK

Toda vez que em um circuito constituído por dois condutores metálicos, de natureza distinta, as juntas onde se unem os condutores são mantidas em temperaturas diferentes, o circuito é percorrido por uma corrente elétrica. Esse fenômeno foi estudado originalmente por Seebeck, e constitui o fundamento da termoeletricidade. Enquanto as temperaturas das juntas forem diferentes, a corrente termoelétrica continuará a circular no circuito formado pelos dois condutores. A fem que produz essa corrente é denominada fem termoelétrica e seu valor mantém uma certa relação de proporcionalidade com a diferença da temperatura das juntas. O circuito assim formado chama-se par termoelétrico.

A fig. 1 mostra esquematicamente um par termoelétrico, formado por dois condutores distintos A e B, unidos em ambas as extremidades, formando as juntas 1 e 2. Aquecendo a junta 2, de forma a manter a temperatura  $T_2 > T_1$ , desenvolve-se uma fem =  $\underline{E}$ , entre os condutores A e B, e o circuito é percorrido por uma corrente termoelétrica.



O condutor A é considerado positivo em relação a B quando a corrente, na junta fria, circula de A para B.

O condutor A é considerado positivo em relação a B quando a corrente, na junta fria, circula de A para B.

Fig. 1 - EFEITO SEEBECK

### 1.3 - EFEITO PELTIER

Das observações de Peltier, verifica-se que toda vez que uma corrente elétrica circula através da junção de dois metais distintos, ela provoca uma liberação ou absorção de calor. Invertendo o sentido de circulação da corrente da junta, inverte-se a troca térmica.

Em um circuito formado por dois condutores metálicos A e B de natureza distinta, unidos em ambas as extremidades formando as juntas 1 e 2 à mesma temperatura T, se fizermos circular uma corrente I, ao passar de A para B ela irá liberar uma quantidade de calor

$\Delta T$ , aquecendo  $T_1$ ; ao circular pela outra junta, passando de B para A, a quantidade de calor  $\Delta T$ , é absorvida, resfriando  $T_2$  (Fig. 2).

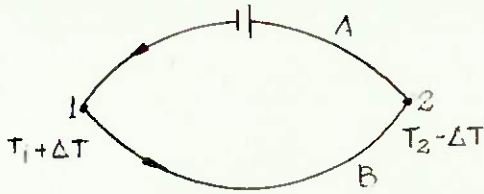


Fig. 2 - EFEITO PELTIER

Em um circuito termoeletrico, se a corrente composta circula no mesmo sentido da corrente termoeletrica, haverá absorção de calor na junta quente e liberação de calor na junta fria. (Fig. 3).

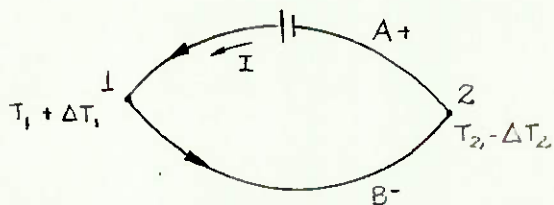


Fig. 3  
EFEITO DE PELTIER EM  
CIRCUITO TERMOELÉTRICO

O efeito, nesse caso, será reduzir a diferença de temperatura das juntas.

A quantidade de calor liberado ou absorvido é proporcional à quantidade de eletricidade que passa pela junta.

A quantidade de calor provocada pela passagem da quantidade unitária de eletricidade (1 - coulomb) define o efeito Peltier à temperatura da junta.

Quando a única corrente percorrendo o circuito é a corrente termoeletrica, o efeito Peltier tem ação muito reduzida, insuficiente para provocar alteração sensível na temperatura das juntas.

#### 1.4 - EFEITO THOMSON

O estudo dos circuitos termoeletricos, com aplicação dos princípios relativos ao efeito Peltier, levou Thomson (Lord Kelvin) a considerar que a fem termoeletrica de Seebeck era provocada por um fenômeno adicional, além da simples ação da corrente sobre as juntas.

Determinou dessa forma, que sempre que um condutor metálico

homogêneo sujeito a um gradiente de temperatura é percorrido por uma corrente elétrica, há liberação de calor quando a corrente circula dos pontos quentes para os pontos frios, ao passo que há absorção de calor se o sentido da corrente é invertido (no ferro os efeitos são contrários).

Esse fenômeno recebe o nome de efeito Thomson.

Esquemáticamente, conforme a Fig. 4, se aquecermos o ponto central  $P_2$  de uma barra de cobre à temperatura  $T_2$  os pontos  $P_1$  e  $P_3$  equidistantes de  $P_2$  assumirão a mesma temperatura  $T_1$ . Fazendo passar a corrente elétrica  $I$  pela barra, no ponto  $P_1$  ela terá sentido

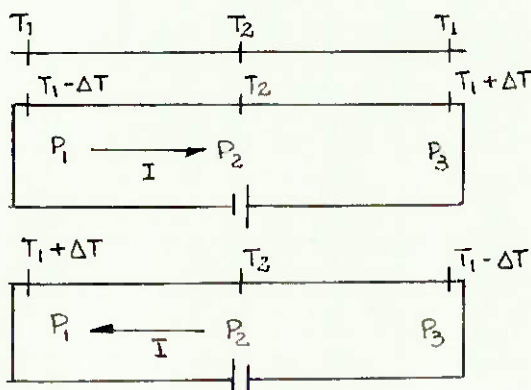


Fig. 4 - EFEITO THOMSON

contrário ao do gradiente térmico, absorvendo calor e baixando a temperatura  $T_1 - \Delta T$ , ao passo que em  $P_3$  seu sentido é o mesmo do gradiente térmico e o calor é liberado, aumentando a temperatura para  $T_1 + \Delta T$ . Invertendo o sentido da corrente os efeitos se invertem.

Em um circuito termoelétrico o efeito Thomson teria o efeito de diminuir o gradiente térmico entre as juntas (exceto no caso do ferro). Como no caso do efeito Peltier, se a única corrente circulante for a corrente termoelétrica, a ação do efeito Thomson é extremamente reduzida, não provocando alterações sensíveis nas temperaturas do circuito.

O efeito Thomson é um fenômeno reversível, da mesma forma que o efeito Peltier. Distingue-se deste por referir-se à condutores homogêneos e não às junções de condutores distintos.

A ação combinada dos efeitos Thomson e Peltier é responsável pela formação da fem termoelétrica, que é dada pela soma desses dois efeitos: é igual a soma das fem's de Peltier nas duas juntas e das fem's de Thomson ao longo dos dois condutores. O efeito resultante é a fem de Seebeck e explica-se, dessa forma, que esta não cresça linearmente com a diferença de temperatura das juntas. Com efeito, demonstra-se experimentalmente que a relação entre a fem

termoelétrica e a diferença de temperatura das juntas obedece aproximadamente a uma equação de segundo grau.

## CAPÍTULO 2 - LEIS DA TERMOELETRICIDADE

A teoria dos circuitos termoelétricos fundamenta-se nas leis da Termodinâmica e na teoria eletrônica dos metais. Entretanto a relação entre a natureza e a estrutura dos metais que constituem o par e as fem's termoelétricas correspondentes, é ainda obscura e não existem leis ou fórmulas que permitam predizer, com bases teóricas, o valor da fem gerada por um dado termoelétrico, quando submetido a uma diferença de temperatura. O trabalho existente a esse respeito é puramente empírico, determinadas experimentalmente as curvas temperaturas-fem para diversos metais, por método de comparação direta em temperaturas conhecidas e interpolados os valores entre os resultados obtidos.

Os circuitos termoelétricos obedecem, todavia, a certas leis bem determinadas baseadas no seu comportamento termodinâmico.

### 2.1 - LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS

As simples aplicações de calor não são suficientes para fazer circular uma corrente elétrica em um circuito constituído por um único metal homogêneo. Em consequência, em um par termoelétrico, cujas juntas são mantidas em temperaturas distintas  $T_1$  e  $T_2$  a fem resultante não depende do gradiente de temperatura e da sua distribuição ao longo dos condutores. É a lei das temperaturas intermediárias. (Fig. 5).

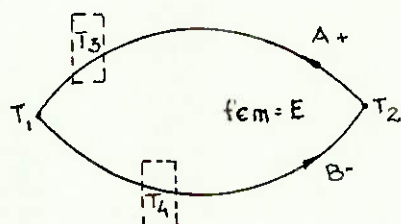


Fig. 5 - LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS

### 2.2 - LEI DOS METAIS INTERMEDIÁRIOS

Em um par termoelétrico constituído pelos condutores A e B, mantidas as juntas às temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , a fem gerada não se altera pela introdução de um terceiro metal homogêneo C entre qualquer dos condutores do par, desde que a temperatura de C seja manti

da uniforme em toda a sua extensão. Constitui a lei dos metais intermediários. (Fig. 6).

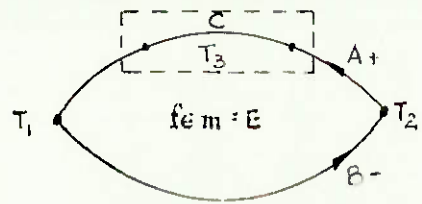


Fig. 6 - LEI DOS METAIS INTERMEDIÁRIOS

### 2.3 - LEI DAS JUNTAS

Das duas leis acima deduz-se que a fem gerada pelo par termoelétrico não se altera quando o terceiro metal é inserido na junta  $T_1$ , formando duas novas juntas A-C e C-B desde que estas sejam mantidas à mesma temperatura  $T_1$  a temperatura  $T_3$  do metal intermediário podendo ter qualquer valor. (Fig.7) Resulta -

$$E_{AC} + E_{CB} = E_{AB}$$

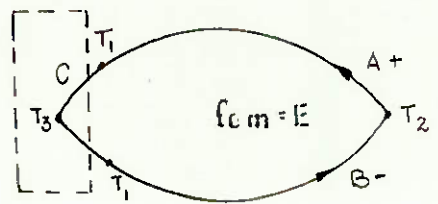


Fig.7 - LEI DAS JUNTAS

### 2.4 - ADITIVIDADE DAS FEM'S TERMOELÉTRICAS

Em consequência, podemos afirmar o princípio da composição das fem's termoelétricas: conhecidas as fem's termoelétricas de dois metais A e B em relação a um metal de referência, a fem resultante da combinação de A e B é a soma geométrica das fem's individuais em relação ao metal de referência. (Fig. 8)

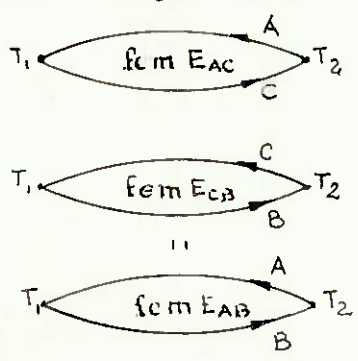
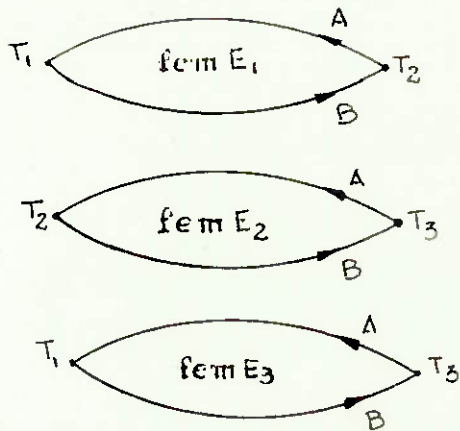


Fig. 8 -ADITIVIDADE DAS FEM'S TERMOELÉTRICAS

### 2.5 - DISTRIBUTIVIDADE DA SOMA FEM'S

A quarta lei termoelétrica estabelece a propriedade distri

buitiva da soma das fem's geradas por um par termoelétrico qualquer: a fem  $E_3$  gerada às temperaturas  $T_1 - T_3$  é a soma das fem's  $E_1$  e  $E_2$  geradas respectivamente às temperaturas  $T_1 - T_2$  e  $T_2 - T_3$  (Fig. 9).



É a lei da distributividade da soma das fem's termoelétricas.

Fig. 9 - DISTRIBUTIVIDADE DA SOMA FEM'S

$$E_3 = E_1 + E_2$$

Resulta o princípio geral de que a soma algébrica das fem's termoelétricas geradas em um circuito constituído por qualquer número de metais homogêneos distintos, é função apenas das temperaturas das juntas.

Se todas as juntas forem mantidas a uma mesma temperatura - de referência, menos uma das juntas, a fem gerada depende apenas da temperatura desta última e pode servir como medida da sua temperatura. Fica estabelecido, dessa forma, o princípio de operação dos termopares ou pirômetros termoelétricos.

### CAPÍTULO 3 - TERMOPAR - DEFINIÇÕES

Definidos o comportamento e as propriedades dos pares termoelétricos torna-se aparente a possibilidade de sua aplicação na termometria, como dispositivos primários de medição de temperatura, constituindo os pirômetros termoelétricos ou, na denominação mais comum, termopares.

A prática experimental demonstra que a diferença de temperatura entre as juntas de um par termoelétrico e a correspondente força termoeletromotriz, obedecem a uma relação perfeitamente definida e reproduzível. Uma vez determinada a curva representativa da correspondência  $\Delta t \times \text{fem}$ , é suficiente medir a força termoeletromotriz para obter o valor de  $\Delta t$ . Se uma das juntas for mantida em temperatura conhecida, o processo fornece imediatamente a temperatura da outra junta, cujo valor se deseja medir.

Essencialmente o termopar consiste de dois condutores de naturezas distintas, constituição homogênea, isolados entre si e soldados em uma extremidade que constitui a junta de medição ou junta quente. As extremidades livres são ligadas aos terminais de um instrumento medidor de tensão constituindo a junta de referência ou junta fria do termopar, mantidas em temperatura bem definida e constante. A introdução do instrumento de medição, como estabelecido anteriormente (lei das juntas) não altera o equilíbrio do circuito termoelétrico, desde que as duas extremidades da junta de referência estejam exatamente à mesma temperatura. A prática ideal seria manter a junta de referência em banho de gelo, garantindo a estabilidade da temperatura de referência em  $0^\circ\text{C}$ , de tal forma que a fem medida fornece diretamente a temperatura da junta quente. Conhecida a relação  $t \times \text{fem}$  para o termopar em questão, a escala do instrumento pode ser graduada diretamente em unidades de temperatura. O dispositivo assim constituído forma um pirômetro termoelétrico completo, capaz de medir a temperatura do meio em contato com a junta quente.

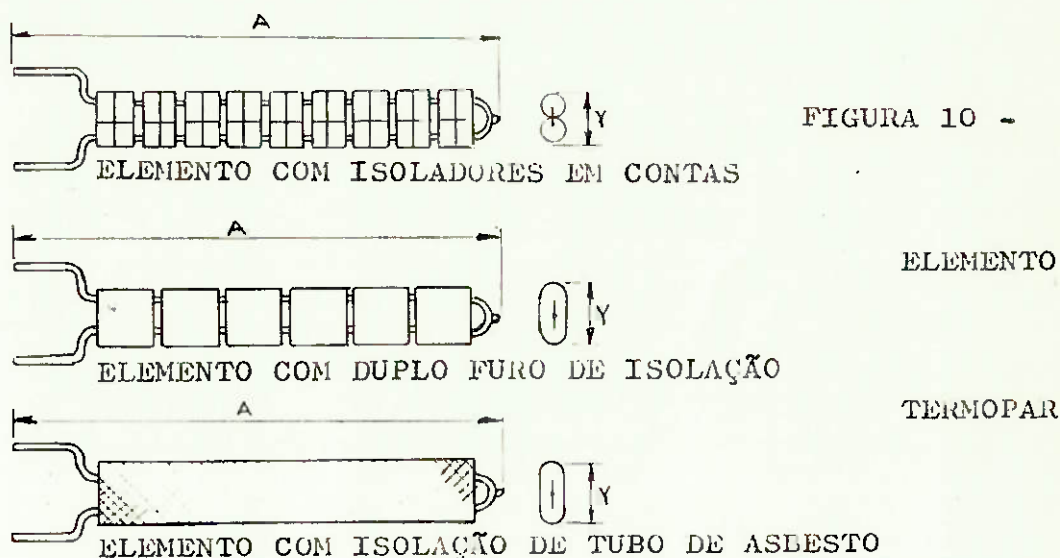
#### 3.1 - ELEMENTO TERMOPAR

Um elemento termopar é um par de termoelementos nus ou iso-

lados unidos em uma extremidade para formar uma junção de medição - destinado para uso como o termopar ou como parte de um grupo termopar (ver fig. 10).

O comprimento do elemento termopar é o comprimento total do elemento termopar e ao mesmo é atribuído o símbolo A.

O diâmetro do elemento termopar é a dimensão transversal máxima da parte isolada do elemento termopar e a ele é atribuído o símbolo Y.

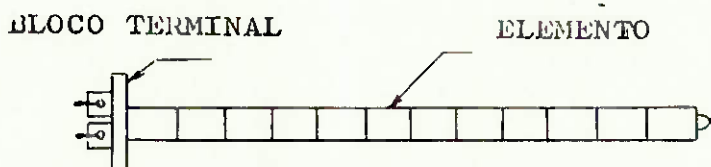


### 3.2 - GRUPO TERMOPAR

O grupo termopar é um conjunto formado por um elemento e uma ou mais partes correlatas, tais como bloco de terminais, cabeçote de ligação e o tubo protetor.

#### 3.2.1 - BLOCO DE TERMINAIS

O bloco de terminais é um bloco de material isolante empregado para apoiar e juntar o término dos condutores (ver figura 11).



#### 3.2.2 - CABEÇOTE DE LIGAÇÃO

O cabeçote de ligação é um alojamento que abriga o bloco de

terminais para um dispositivo sensor de temperatura elétrica e geralmente é dotada de aberturas roscadas para ligação a um tubo protetor e para ligação do eletroduto (ver figuras 12 e 13).

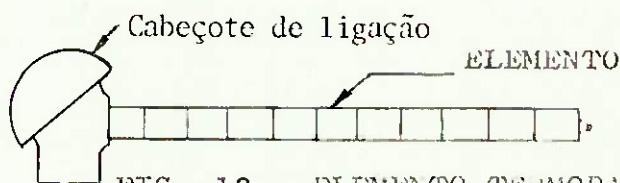


FIG. 12 - ELEMENTO TERMOPAR COM CABEÇOTE DE LIGAÇÃO

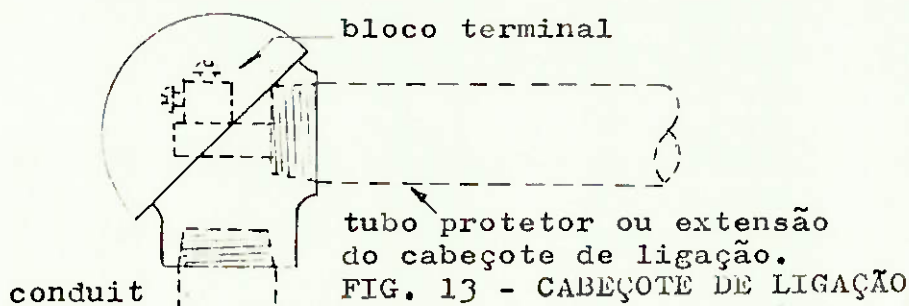


FIG. 13 - CABEÇOTE DE LIGAÇÃO

### 3.3.3 - EXTENSÃO DO CABEÇOTE DE LIGAÇÃO

A extensão de um cabeçote de ligação é uma guarnição roscada ou um conjunto de guarnições que se estendem entre o poço térmico ou adaptador angular e o cabeçote de ligação.

O comprimento da extensão do cabeçote de ligação é o comprimento total da extensão do cabeçote de ligação e a ele é atribuído o símbolo N.

### 3.3.4 - TUBO PROTETOR

Para maior durabilidade e resistência à ação das atmosferas de trabalho, os termopares são usualmente contidos no interior de tubos ou poços de proteção. Os tubos protetores, para aplicação em temperaturas elevadas, especialmente com termopares de platina, são construídos de cerâmicas refratárias especiais: silimanitas, porcelana, mulita, carbonato de silício. Como proteção adicional contra penetração de gases através da parede do tubo, particularmente em atmosferas redutoras, utilizam-se tubos cerâmicos de superfície vitrificada.

Nas temperaturas mais baixas, até 2100°F, utilizam-se tubos protetores metálicos, de constituição adequada à máxima temperatura de trabalho, selecionados de acordo com a resistência à oxidação e à

corrosão química pelo meio ambiente. Metais ferrosos e ligas especiais são especificamente indicados para as diferentes aplicações.

Quando se exige resistência à pressões elevadas, normalmente acima de 50 psig, a proteção é executada com poços metálicos, usinados em uma só peça, de formato cônico (drilled well), ou montados com juntas soldadas (built-up well). Poderá servir para conexão com um cabeçote de ligação, mas em princípio não é projetado para ligação hermética a um vaso. Uma bucha ou flange poderá ser instalada para a ligação de um tubo protetor a um vaso (ver figura 14, 15, 16 e 17).

O comprimento do tubo de proteção é o comprimento total de um tubo de proteção e a ele é atribuído o símbolo P (ver fig. 14).

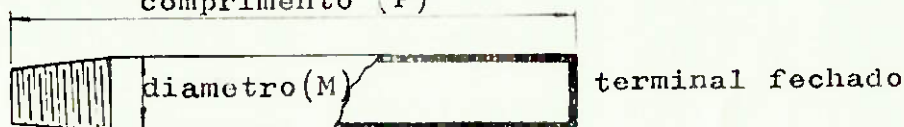


FIG. 14 - TUBO PROTETOR

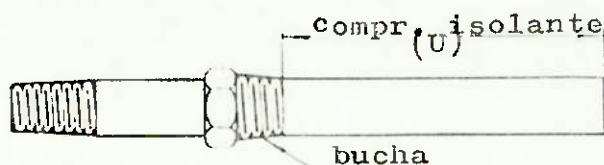


FIG. 15 - TUBO PROTETOR COM BUCHA DE MONTAGEM



FIG. 16 - TUBO PROTETOR COM FLANGE DE MONTAGEM

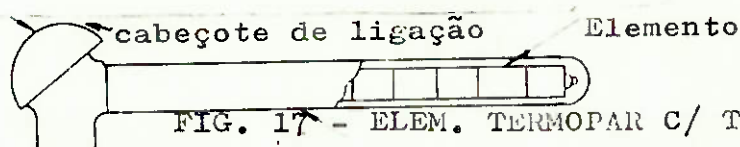


FIG. 17 - ELEM. TERMOPAR C/ TUBO PROTETOR E CABEÇOTE DE LIGAÇÃO

O diâmetro do tubo protetor é o diâmetro externo do tubo protetor e a ele é atribuído o símbolo M.

O tubo protetor tem uma extremidade fechada, a menos que se ja especificada como extremidade aberta (ver figura 18).

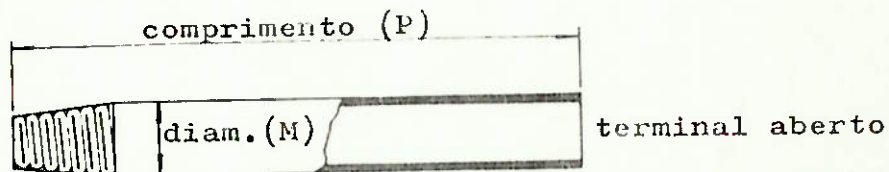


FIG. 18 - TUBO PROTETOR COM TERMINAL ABERTO

### 3.3.5 - POÇO TÉRMICO

O poço térmico é um recipiente a prova de pressão adaptado para receber um elemento sensor da temperatura e dotado de roscas externas ou outros dispositivos para ligação a prova de pressão a um vaso.

A extensão de isolamento térmico é aquela parte de um poço térmico acima das roscas, destinada a se estender através do isolamento térmico de um vaso. O comprimento da extensão de isolamento térmico é o comprimento entre a extremidade inferior das roscas externas do poço térmico e a extremidade superior da parte destinada a se estender através do isolamento térmico de um vaso, menos uma polegada da margem para as roscas e a ele é atribuído o símbolo T. (ver figura 19 e 20).



FIG.19- POÇO TÉRMICO

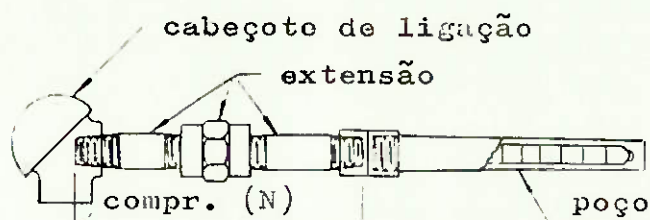


FIG. 20 - CONJUNTO TERMOPAR COM POÇO TÉRMICO

O comprimento de imersão de um poço térmico, tubo protetor, ou elemento termopar é o comprimento entre a extremidade livre e o ponto de imersão no líquido que está sendo medido e a ele é atribuído o símbolo R. (ver figura 21).

O comprimento de inserção de um poço térmico, tubo protetor ou elemento termopar é o comprimento desde a extremidade livre até mas, não inclusive, as roscas externas ou outros meios de conexão a um vaso, e a esse comprimento é atribuído o símbolo U (ver fig. 19 e 21).

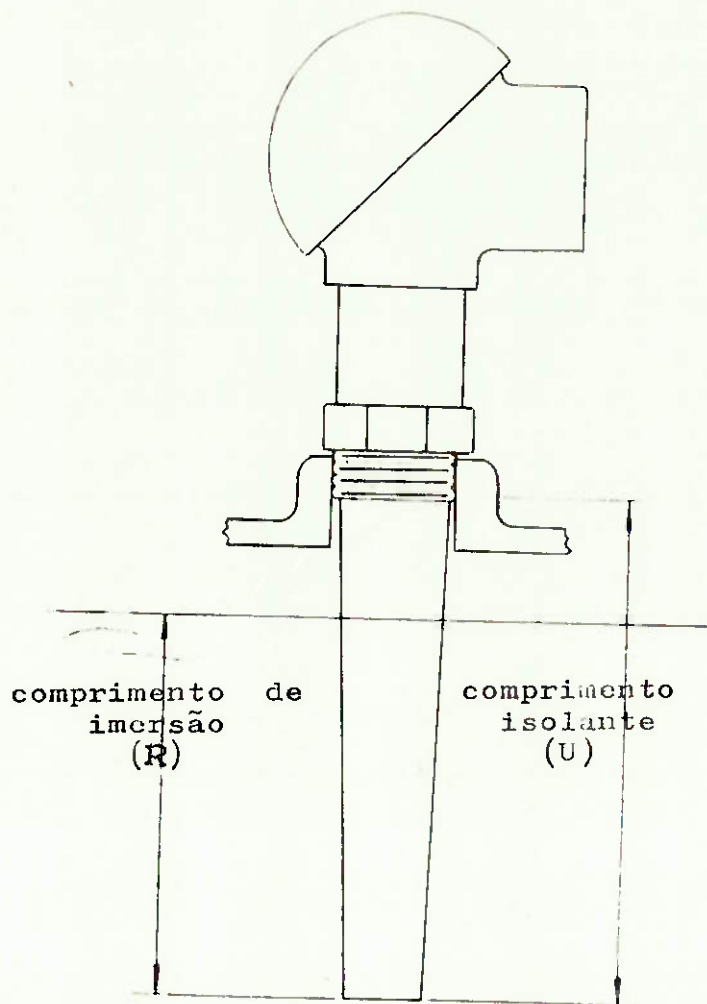


FIG. 21 - IMERSÃO E ISOLAÇÃO PARA  
CONJUNTO TERMOPAR COM POÇO  
TÉRMICO

## CAPÍTULO 4 - MATERIAIS TERMOELÉTRICOS E COMPONENTES

O valor da fem gerada por um par termoeletrico depende da natureza dos condutores que constituem o par. A enorme variedade de materiais condutores: metais, ligas e não metálicos, fornece um número quase infinito de combinações para a confecção de termopares.

Na aplicação prática esse número é reduzido, limitado pela imposição de que os pares devem possuir alto poder termoeletrico para boa sensibilidade de medida, devem ter boa estabilidade às temperaturas de trabalho, ponto de fusão elevado, boas qualidades mecânicas, devem ser facilmente reproduzíveis e de custo não elevado.

Os pares normalmente utilizados na prática usual ficam assim, limitados a um número bastante pequeno. Os mais importantes são: platina, platina ródio, cromel-alumel, ferro-constantan, cobre-constantan. Em escala mais reduzida são utilizados também pares de cromel-constantan.

### 4.1 - MATERIAIS TERMOELÉTRICOS

Níquel-níquel molibdenio, tungstênio-irídio, irídio-irídio ródio, etc.

As propriedades termoeletricas dos materiais são estabelecidas por determinação experimental de laboratório, medindo as fem's - geradas em temperaturas bem definidas, tomadas como pontos fixos. A medição é feita por comparação contra a platina pura, utilizada como referência.

A junta de referência do termopar assim formada é mantida rigorosamente a 0°C e a fem é medida como potenciômetro de laboratório de alta precisão.

Os valores obtidos são interpolados, resultando nas curvas termoeletricas de cada material. A combinação das curvas dos diversos materiais fornece as tabelas tx fem de cada par termoeletrico, referidas à temperatura de 0°C.

As relações tx fem assim obtidas não correspondem a uma ex

pressão linear: em primeira aproximação, as curvas podem ser consideradas parabólicas, correspondendo às expressões do tipo:  $E = aT + bT^2$ .

#### 4.2 - IDENTIFICAÇÃO DOS FIOS DE TERMOPARES

Os fios nus são facilmente identificados como segue: ferro e alumel são magnéticos, ao contrário de constante  $n_c$  cromel: platina pura é mais flexível que a liga platina-ródio, o que pode ser reconhecido dobrando as extremidades dos dois fios: o cobre é dotado de coloração característica, ao passo que o constantan tem superfície clara e brilhante.

#### 4.3 - JUNTA DE REFERÊNCIA

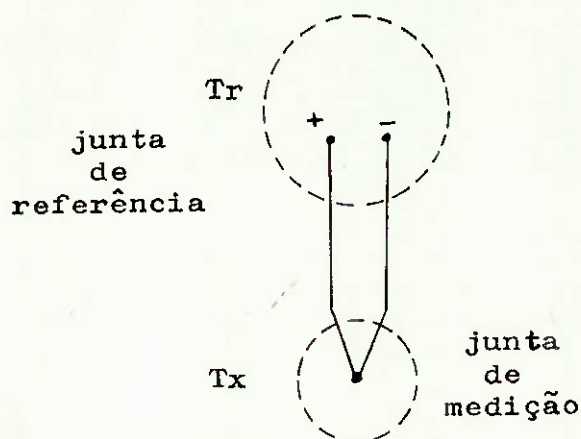


Fig. 22

O termopar típico obedece ao esquema da fig. 22. Na prática de laboratório, os terminais livres são mergulhados em banho de gelo. Dessa forma, a junta de referência é mantida a,  $0^\circ\text{C}$  ( $Tr = 0^\circ\text{C}$ ) e a fem medida é exatamente igual ao valor correspondente à temperatura da junta quente ( $Tx$ ), conforme indicado na tabela de valores  $tx$  fem para o termopar em questão.

O instrumento pode ser calibrado diretamente em unidades de temperatura. Na prática usual, nas medições industriais e testes de aferição, as condições de operação não permitem o uso de banhos de gelo. A junta de referência permanece, então em temperatura  $Tr$  diferente de  $0^\circ\text{C}$ , normalmente à temperatura ambiente ou à interna à caixa do instrumento.

A força termoeletromotriz, nessas condições, é a correspondente à diferença  $Tx - Tr$ , inferior à fem constante da tabela para a temperatura  $Tx$ . É necessário, portanto, corrigir a fem medida, referida à temperatura real de referência  $Tr$ , para o valor referido a  $0^\circ\text{C}$ , para obter o valor correto de  $Tx$ .

Essa correção é denominada compensação da temperatura de re

ferência ou, de uso mais comum, compensação de junta fria.

A compensação de junta fria pode ser executada manual ou automaticamente. Nos instrumentos de teste, de uso geral, graduados em milivolts, a compensação é manual. Os instrumentos graduados diretamente em temperatura, necessariamente, têm que ser dotados de dispositivo automático de compensação.

A compensação manual é processada facilmente, baseada na propriedade de distributividade da soma das forças termoeletromotriz. Com efeito, a fem total, correspondente às temperaturas  $T_x$  e  $T_0^\circ$  é dada pela soma das fem's parciais relativas às temperaturas  $T_x$ ,  $T_r$  e  $T_0^\circ$ . Resulta:  $E_{T_x-T_0} = E_{T_x-T_r} + E_{T_r-T_0}$ . Determinada  $E_{T_x-T_r}$  pela leitura do instrumento, basta medir a temperatura  $T_r$  da junta de referência com auxílio de um termômetro. Entretanto, com o valor de  $T_r$  na tabela tx fem do termopar em questão, obtemos o valor  $E_{T_r-T_0}$ . A soma das duas fem's fornece o valor da fem total  $E_{T_x-T_0}$ , referida a  $0^\circ\text{C}$  com o qual voltamos à tabela para ler o valor de  $T_x$ .

#### 4.4 - FIOS DE COMPENSAÇÃO

Na prática usual, o instrumento secundário que fornece a medida da fem termoelétrica, não é instalado junto ao ponto de aplicação do termopar. Os condutores que constituem o par, portanto, devem ser de comprimento suficiente para estender-se desde o ponto de medição até o local em que está montado o instrumento. Na maior parte das vezes essa prática não pode ser adotada, por razões diversas: o sistema torna-se muito oneroso (óbvio no caso dos termopares de platina), o material não é adequado para montagem em extensões longas (termopares de fio nº 8, muito rígidos) e não deve ser trabalhado a frio, a natureza da isolação não é apropriada, etc.

O recurso a utilizar, por conseguinte, é intercalar condutores auxiliares, ligando as extremidades da junta de referência aos terminais de entrada do instrumento.

Como vimos anteriormente, na prática de laboratório a junta de referência é mantida em banho de gelo, garantindo a perfeita i

gualdade e estabilidade da temperatura das extremidades livres. Pelas propriedades dos termopares, sabemos então que podemos conetar - entre esses pontos um condutor homogêneo, qualquer fio de cobre comum por exemplo, e estendê-lo até o instrumento secundário, sem alterar as condições de equilíbrio do circuito. O sistema se completa - dessa forma e a medição pode ser executada à distância, sem maiores problemas.

Nos casos em que não são empregados banhos de gelo, que constituem a totalidade das aplicações industriais, torna-se necessário, promover a transferência da junta de referência para os terminais de entrada do instrumento secundário. O recurso consiste em executar a ligação utilizando fiação especial, com os chamados fios ou cabos de compensação (ou fios / cabos compensados ou fios / cabos de extensão) (Fig. 23).

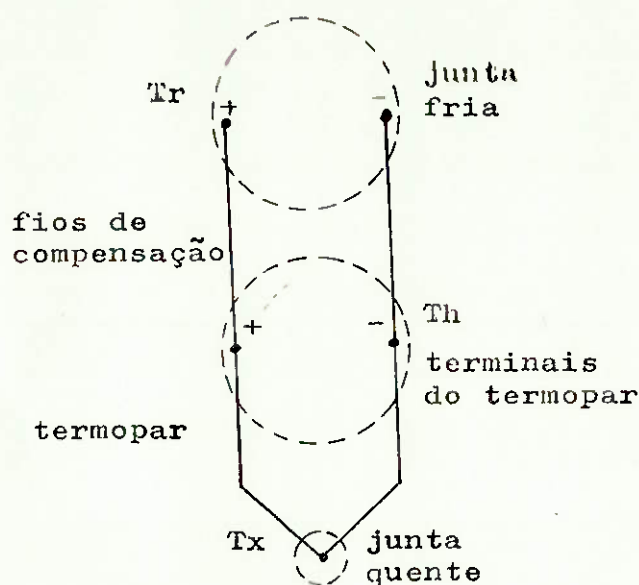


Fig. 23 - TERMOPAR COM FIOS DE EXTENSÃO

Os fios de compensação são condutores de constituição especial, que permitem efetuar a transferência de junta fria, dos terminais do termopar para os terminais de entrada do instrumento secundário, sem alterar as condições de equilíbrio do termoeletrico.

Para preencher essas funções, é claro que os fios de compensação devem possuir propriedades termoeletricas idênticas às do condutor que estão substituindo, na faixa de temperaturas - em que são chamados a operar. Por essa razão, os fios de compensação são fabricados especialmente, de forma que suas curvas termoeletricas se sobreponham às curvas dos condutores por eles "condensados", para as temperaturas normais encontradas entre os terminais do termopar e o instrumento secundário. (Th e Tr).

Nessas condições, é suficiente ligar o termopar ao instru-

mento utilizando os fios de compensação apropriados, sem maior preocupação quanto às temperaturas dos terminais livres  $T_h$ , que já não necessitam ser mantidos em equilíbrio térmico. O cuidado único é não permitir que  $T_h$  ultrapasse o limite de temperatura dentro da qual o fio de extensão "compensa" o material do termopar.

Uma vez que seus poderes termoelétricos são diferentes, cada tipo de termopar exige um par apropriado de fios de compensação. Os termopares de Pt - Pt / Rh utilizam como cabo compensado um par constituído por um condutor de cobre puro e outro de liga níquel -cobre denominada liga nº 11.

Como compensação para Cr - Al, utilizam-se cabos de cobre - constantan, ferro-cruponel ou de cromel-alumel. O cabo de cobre-constantan é uma solução barata, introduzindo erros que muitas vezes não podem ser ignorados; o ferro-cruponel tem características - mais aceitáveis porém, para obter-se a precisão recomendável de medida, é mais indicado o uso de cabo compensado de cromel-alumel. Na confecção de fios de compensação, não é necessário que o material - tenha a mesma qualidade dos fios destinados à confecção dos termopares; basta apenas que a característica termoelétrica seja obedecida na faixa de temperaturas de compensação, sempre inferior à  $400^\circ\text{F}$  - ( $\approx 200^\circ\text{C}$ ). O cabo compensado, nessas condições, é fabricado de materiais calibrados apenas dentro dessa faixa; muitas vezes é utilizado material inicialmente destinado à confecção de termopares que a calibração demonstra apresentar erros inaceitáveis acima de  $500^\circ\text{F}$ .

Não foram descobertos, até agora, materiais que substituam, com vantagem de preço, o ferro-constantan, o cobre constantan para uso como fios de compensação. Na fabricação deste, adota-se o mesmo critério descrito para os cabos de cromel-alumel.

Os fios de compensação são normalmente, de condutores unifilares de bitola 16 ou 14 (fios rígidos), ou sob a forma de cabos multifilares flexíveis (tipo "cabinho"). Cada fio é protegido individualmente com uma camada de verniz e recebe revestimento isolante de amianto; o conjunto é envolvido por uma capa protetora externa, também de amianto. Em aplicações especiais em que se exige proteção contra teor elevado de umidade, contra impregnação por óleos, etc, emprega-se revestimentos especiais à base de resinas plásticas, borrachas sintéticas ou fibras de vidro.

Para identificação da polaridade, o revestimento interno, envolvendo cada fio, obedece a um código de cores; dessa forma, ao elemento negativo é sempre atribuída coloração vermelha (nos fios de procedência européia, o vermelho indica o elemento positivo). Os diferentes tipos de cabos compensados da mesma forma, são identificáveis pela cor da capa externa; o código estabelecido pela ISA determina as cores verde (Pt - Pt / Rh), amarelo (Cr - Al), preto (Fe - Cons.) e azul (Cu - Cons.)

A instalação dos fios de compensação exige cuidados que respondem pela precisão da medida e boa operação do sistema. O fio deve ser estendido de forma ininterrupta, desde os terminais do termopar até o instrumento de medição, e protegido em conduit metálico. O conduit deve ser convenientemente aterrado para evitar os efeitos de descargas dos circuitos de força e de iluminação. O conduit não deve ficar exposto a áreas de temperaturas muito elevadas para evitar danificação do fio, por superaquecimento, e não deve ser instalado paralelamente a linhas de corrente alternada, para evitar o fenômeno de interferências.

A temperatura nos terminais do termopar deve ser no máximo de 200°F (excepcionalmente vai a 400°F), para evitar erros de medida e a possível danificação do fio compensado.

Quando utilizadas as chaves interruptoras, a resistência de contato deve ser de valor baixo e constante, e livre dos efeitos de forças termoeletromotriz parasitas.

Quando vários termopares são ligados ao mesmo instrumento de medição, devem ser usados cabos compensados individuais para cada par, sem interconexões, até a chave seletora do instrumento; esta, por sua vez, deve ser do tipo de contatos bipolares, de forma a conduzir os pares distintamente até o circuito de medição.

## CAPÍTULO 5 - CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES

### 5.1 - PLATINA - PLATINA RÓDIO (TIPO S)

Inventado por Le Chatelier, o termopar Pt - Pt/Rh 10% constitui, do ponto de vista científico, o mais importante dos pares termoelétricos, utilizado para definir a escala Internacional de Temperatura entre 630, 5°C (congelamento do antimônio) e 1063°C (ponto do ouro). Nas aplicações de laboratório, é empregado para medições de precisão entre 0 a 1500°C. Nos processos industriais é utilizado sempre que as qualidades de inércia química e estabilidade à ação de atmosferas oxidantes em altas temperaturas fazem sua escolha obrigatória, em lugar de termopares de metais não nobres.

Não é dotado de poder termoelétrico elevado, mas suas demais qualidades compensam com vantagem a sensibilidade relativamente baixa, a qual por seu lado não constitui maior problema face à excelente precisão dos instrumentos de medição modernos.

As características principais do par Pt -Pt /Rh 10% residem em suas excepcionais qualidades mecânicas (constroem-se termopares com fios até 0,1 polegadas de diâmetros) e químicas, baixa resistividade elétrica e constituição perfeitamente homogênea quando submetido a tratamento térmico adequado.

Sua falha mais importante consiste na deterioração rápida quando exposto a atmosferas redutoras, sob temperaturas elevadas, resultante da absorção dos gases do meio e da redução dos óxidos metálicos contidos no tubo protetor, com absorção dos metais reduzidos, pela platina.

Nas atmosferas oxidantes, acima de 1100°C, o ródio tende a volatilizar-se mais rapidamente que a platina, reduzindo gradualmente o teor de ródio na liga, com a conseqüente diminuição do seu poder termoelétrico.

O efeito se acelera se o ródio entrar em contato com o fio de platina pura, depositando-se sobre este; para evitar esta ocorrência, o termopar deve ser montado dentro de isolador capilar cerâmico contínuo, de furo duplo.

A platina é sujeita a crescimento de grão, que se manifesta de forma progressiva com o uso continuado, o que provoca a cristalização do metal, acelerando sua contaminação e volatilização, tornando o fio quebradiço.

Os termopares de platina são fornecidos em fios de bitolas nº 24 (+ - 0,5mm) e mais finas, até 0,1mm. Qualquer par fornecido por fabricante de boa qualidade obedece à curva termoelétrica padrão com erro máximo de + - 0,25% da fem medida. Como os desvios em relação ao valor tabular são praticamente constantes ao longo de toda a faixa de aplicação, basta um teste em uma única temperatura para verificar a calibração do termopar. Quando usado em temperaturas muito elevadas, da ordem de 1600°C, o termopar não deve ser posteriormente utilizado em temperaturas mais baixas, sem antes ser submetido a teste de calibração. Também quando exposto a atmosferas redutoras acima de 1000°C, mesmo protegido por tubos vitrificados, o termopar deve ser testado para verificar sua eventual descalibração - por contaminação.

Os fios do termopar não devem ser excessivamente trabalhados a frio (dobrados, esticados em excesso, sujeitos a esforços mecânicos), sob pena de perderem a homogeneidade, tornando-se inadequados para o uso.

É possível proceder ao recondicionamento dos pares tornados inoperantes por falta de homogeneidade ou por contaminação; é necessário proceder ao recozimento do material, aquecendo o par em temperatura de 1200 a 1300°C de forma a libertar tensões e oxidar impurezas.

Os óxidos metálicos e depósitos de metais reduzidos podem ser removidos deixando escorrer uma gota de bórax sobre os fios aquecidos.

Os fios do termopar não devem ser tocados com mãos nuas, para evitar depósitos de graxas, óleos ou grafite, provocando a contaminação do par, quando posteriormente aquecidos. Após manipulados, os fios devem ser limpos com álcool e enxugados com papel de filtro.

Os termopares de platina são adequados para medições de 0°C até 1600°C, podendo ser usados, em medições instantâneas, até 1800°C. Dado o custo mais competitivo dos termopares não nobres às baixas -

temperaturas, o uso industrial dos termopares de platina está reservado às temperaturas elevadas. A aplicação é executada com o par sempre protegido por tubo cerâmico termo-resistente; os fios são, ainda isolados com capilar cerâmico.

O termopar é adequado para uso em atmosfera oxidante, com tubo protetor simples. Quando utilizado em atmosfera redutora, especialmente a temperaturas elevadas, deve ser protegido com tubo protetor secundário, de preferência com superfície vitrificada.

O limite de erro dos termopares normais de platina é de  $\pm 2,5^\circ\text{F}$  entre  $0-1000^\circ\text{F}$  e de  $\pm 0,25\%$  da temperatura média entre  $1000-2700^\circ\text{F}$ .

Nas aplicações industriais encontram-se também termopares de Pt - Pt /Rh 13%; seu uso decorre do emprego inicial de pares verificados mais tarde corresponderem a platinas de menos pureza. A introdução do par Pt - Pt /Rh 13%, que apresenta poder termoelétrico ligeiramente superior à do par Pt - Pt / Rh 10%, evitou a inutilização dos instrumentos já fabricados.

## 5.2-CROMEL - ALUMEL (TIPO K)

É um termopar desenvolvido pela Hoskins Manufacturing Co., construído por ligas  $\text{Ni}_{90}\text{Cr}_{10}$  (Cromel P) e  $\text{Ni}_{94}\text{Mu}_3\text{Al}_2\text{Si}_1$  (alumel). É o par dotado de maior poder termoelétrico, característica praticamente linear desde  $250$  até  $1000^\circ\text{C}$ . Cobre faixa de aplicação desde  $-200^\circ\text{C}$  até  $1300^\circ\text{C}$ , sendo as aplicações mais importantes compreendidas entre  $700$  e  $1260^\circ\text{C}$ , em atmosferas oxidantes, com uso contínuo; pode ser usado nu, sem tubo protetor.

Apresenta deterioração rápida em atmosferas redutoras, particularmente às temperaturas mais altas, exigindo proteção com poço usinado ou tubo cerâmico vitificado.

Sofre contaminação, por redução de óxidos metálicos contidos nos isoladores cerâmicos, em atmosferas contendo hidrogênio, enxofre ou  $\text{CO}_2$ , a temperaturas elevadas.

O termopar Cr - Al é fornecido normalmente em fios de bitolas nº 8 ou 14, em aplicações para temperaturas mais baixas é empre

gado fio 20.

O limite de erro aceitável normal é de  $\pm 4^{\circ}\text{F}$  entre  $32-530^{\circ}\text{F}$  e  $\pm 0,75\%$  da temperatura medida entre  $530 - 2300^{\circ}\text{F}$ .

### 5.3- FERRO - CONSTANTAN (TIPO J)

Constitui o termopar de maior uso nas aplicações industriais, devido ao alto poder termoelétrico, adaptabilidade tanto a atmosferas oxidantes como redutoras, e baixo custo.

O termopar é constituído de ferro "comercialmente puro" e de constantan liga de Cu - Ni com composição aproximada 57-43. Os teores exatos da liga não são fixados rigidamente, mas ajustados de forma tal que o termopar obedeça a curva termoelétrica padrão estabelecida pela SAMA em 1955.

O termopar é fornecido com fios de bitola nº 8 para trabalho "pesado", sem necessidade de proteção externa, e bitolas 14 até 30 para temperaturas baixas.

A faixa de aplicação estende-se desde  $-200^{\circ}\text{C}$  até  $800^{\circ}\text{C}$  em operação contínua, podendo ser usado indiferentemente em atmosferas oxidantes ou redutoras. O termopar bitola 8, realmente, é formado com fios de ferro, um pouco mais grosso que o de constantan, para compensar a oxidação mais rápida do ferro, aumentando assim a vida útil do par.

O limite de erro aceitável do termopar normal é de  $\pm 4^{\circ}\text{F}$  entre  $-100$  a  $+530^{\circ}\text{F}$  e de  $\pm 0,75\%$  da temperatura medida entre  $530 - 1400^{\circ}\text{F}$ .

### 5.4-COBRE - CONSTANTAN (TIPO T)

Constitui um termopar de baixo custo, para a medição de temperaturas entre  $-200^{\circ}\text{C}$  e  $+350^{\circ}\text{C}$ , faixa em que é dotado de alto poder termoelétrico, fornecendo medida de grande precisão.

É constituído por fios de cobre "comercialmente puro" conforme a norma ASTM 33.45, e um tipo especial de constantan, conhecido como "tipo Adams", de constituição não definida, capaz de obedecer à curva termoelétrica estabelecida por Adams em 1.938.

É fornecido em fios, de bitolas 20 em diante, normalmente já dotados de capa protetora, plástica ou de fibra de vidro.

É aplicável tanto a atmosferas oxidantes como redutoras e sua faixa de aplicação principal corresponde às temperaturas abaixo de zero.

O limite de erro normal é de  $\pm 2\%$  da temperatura medida entre  $-150$  e  $-75^{\circ}\text{F}$ ,  $\pm 1,5^{\circ}\text{F}$  entre  $-75$  e  $+200^{\circ}\text{F}$ , e de  $\pm 0,75\%$  entre  $200$  e  $700^{\circ}\text{F}$ .

TABELA I

## 5.5 - DESIGNAÇÕES LITERAIS DOS TIPOS DE TERMOPARES

TIPO	Escala de Temperatura nominal	Temperatura - EMF Dados de Relacionamento	Identificação do Material (Material positivo em maiúsculas) <sup>2</sup>
T	+184 a 370°C -300 a 700°C	Consultar tabelas IX e X	COBRE contra constantana <sup>3</sup>
J	0 a 760°C 32 a 1400°C	Consultar tabelas XI e XII	FERRO contra constantana <sup>3</sup>
E	0 a 870°C 32 a 1600°C	Consultar tabelas XIII e XIV	NÍQUEL-10% CROMO <sup>3</sup> contra constantana <sup>3</sup>
K	0 a 1260°C 32 a 2300°C	Consultar tabelas XV e XVI	NÍQUEL-10% CROMO <sup>3</sup> contra níquel-5% (alumínio, silício) <sup>4</sup>
S	0 a 1480°C 32 a 2700°C	Consultar tabelas XVII e XVIII	PLATINA-13% RÓDIO contra platina
R	0 a 1480°C 32 a 2700°C	Consultar tabelas XIX e XX	PLATINA-13% RÓDIO contra platina
B	870 a 1705°C 1600 a 3100°C	Consultar tabelas XXI e XXII	PLATINA-30% RÓDIO platina-6% ródio.

<sup>1</sup>Qualquer combinação de materiais de termopar possuidores de relacionamentos EMF - Temperatura dentro dos limites de erro, para qualquer das supramencionadas tabelas trará a devida designação literal dessa tabela.

<sup>2</sup>A indicada polaridade dos materiais do termopar se aplica para condições em que a derivação de medição se acha a temperaturas mais elevadas que a derivação de referência.

<sup>3</sup> Não se deve concluir que os termoelementos usados com mais de um tipo de termopar são intercambiáveis ou têm os mesmos limites de erro em milivolts.

<sup>4</sup> Silício, ou alumínio e silício, podem estar presentes em combinações com outros elementos.

#### 5.6 - ISOLAÇÃO DE CONDUTORES

A função do isolamento do termopar e do fio de extensão é proporcionar isolamento elétrico. Se tal função não for executada, ou for de alguma forma comprometida a temperatura indicada poderá estar errada. Um isolamento do tipo não cerâmico, poderá ser afetado desfavoravelmente por umidade, abrasão, flexão, temperaturas extremas, ataque químico e radiação nuclear.

Cada tipo de isolamento possui suas próprias limitações. Um conhecimento destas limitações se torna indispensável para a realização de medições exatas e confiáveis.

## CAPITULO 6 - LIMITES DE MEDIDAS E USO DAS TABELAS TEMPERATURA - EMF

### 6.1 - LIMITES SUPERIORES DE TEMPERATURA

A tabela VII dá os limites superiores de temperatura recomendadas para os vários termopares e tamanhos de fio.

Estes limites se aplicam a termopares protegidos nos tradicionais tubos protetores de extremidade fechada.

Não se aplicam a termopares revestidos possuidores de isolamento compactado de óxido mineral.

Em qualquer recomendação geral de limites de temperatura de termopares, não é prático levar em conta casos especiais. Em funcionamento efetivo poderá haver exemplo em que os limites de temperatura recomendados podem ser ultrapassados. Da mesma forma, poderá haver aplicações em que vida útil satisfatória não será obtida nos limites de temperatura recomendados. Entretanto, em geral, os limites de temperatura são de modo a proporcionar vida útil satisfatória aos termopares quando os fios são trabalhados continuamente nessas temperaturas.

### 6.2 - LIMITES DE ÊRRO

O limite de erro de um termopar ou fio de extensão é o desvio máximo permissível em graus a partir dos valores padrão de EMF temperatura para o tipo de termopar em questão quando a temperatura de junção de referência se acha no ponto de congelação e a junção de medição se acha na temperatura a ser medida.

A tabela VIII dá os limites padrão e especiais de erro para termopares. Os limites de erro para cada tipo de termopar aplicam-se apenas à faixa de temperatura para a qual o tamanho de fio em questão é recomendado (ver tabela VII). Estes limites de erro só devem ser aplicados a tamanhos padrão de fio. Os mesmos limites talvez não sejam conseguidos em tamanhos especiais. Estes limites não incluem erros de ins-

talações ou de sistema.

Quando os limites de erro foram dados em porcentagem, na tabela VIII, a porcentagem aplica-se à temperatura que está sendo medida. Por exemplo, o limite padrão de erro do tipo J sobre a faixa de temperatura de 277°C a 760°C é de  $\pm 0,75\%$ . Se a temperatura que está sendo medida for 538°C, o limite de erro será de  $\pm 0,75\%$  da 538, ou sejam  $\pm 4,0^\circ\text{C}$ .

Para determinar o limite de erro em graus, Fahrenheit, multiplique o limite de erro em graus Celsius por 9/5.

Os limites de erro se aplicam aos termopares tal como fornecidas pelo fabricante. A calibração de um termopar poderá alterar-se durante o uso. O índice de alteração depende de fatores tais como temperatura, espaço de tempo e condições em que o termopar foi usado.

### 6.3 - TABELAS

#### 6.3.1 - LIMITES DE TEMPERATURA SUPERIORES RECOMENDADOS PARA TERMOPARES PROTEGIDOS

##### TABELA VII

Limite de temperatura superior para fios de vários tamanhos  
(AWG) . gr.C (gr.F)

Termopar Tipo	Bitola nº 08 (3,25 mm - 0,128 pol )	Bitola nº14 (1,63 mm 0,064 pol.)	Bitola nº 20 (0,81mm 0,032 pol.)	Bitola nº24 (0,51 mm - 0,020 pol.)	Bitola nº28 (0,33 mm - 0,013 pol.)
T		370(700)	260(500)	200(400)	200 (400)
J	760 (1400)	590(1100)	480(900)	370(700)	370 (700)
E	870 (1600)	650(1200)	540(1000)	430(800)	430 (800)
K	1260 (2300)	1090(2000)	980(1800)	870(1600)	870(1600)
R & S	-	-	-	1480(2700)	-
B	-	-	-	1700(3100)	-

TABELA VIII

## 6.3.2 - LIMITES DE ERRO PARA OS TERMOPARES - JUNÇÃO DE REFERÊNCIA 0°C

Termopar Tipo	Temperatura Escala °C	Padrão (qualquer que seja maior)	Limites de erro Especial (qualquer que seja maior)	
T	0 a 350	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	ou 0,4%
J	0 a 750	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$	ou 0,4%
E	0 a 900	$\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	ou 0,4%
K	0 a 1250	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$	ou 0,4%
R ou S	0 a 1450	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,25\%$	$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$	ou 0,1%
B	800 a 1700	$\pm 0,5\%$	-	
T*	-200 a 0°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 1,5\%$	**	
E*	-200 a 0°C	$\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 1\%$		
K	-200 a 0°C	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$		

## 6.4 - TABELAS DE TEMPERATURA - EMF PARA TERMOPARES

## 6.4.1 - FINALIDADE

Esta seção se aplica aos relacionamentos de temperatura-EMF dos materiais usados em termopares de medição de temperatura. Sua finalidade é oferecer tabelas de consulta de valores de temperatura-EMF para termopares dos tipos T, J, E, K, S, R e B, maneira conveniente para uso industrial e de campo.

## 6.4.2 - INTRODUÇÃO

Os valores nestas tabelas baseiam-se na Escala de Tempe-

ratura Prática Internacional de 1968 (IPTS-68) e unidades elétricas absolutas. Todos os dados nas tabelas IX e XXII foram extraídos das "Tabelas de Referência de Termopares Baseadas na IPTS-68", Monografia 125 do Escritório Nacional de Normas. Estas tabelas diferem ligeiramente de tabelas anteriores pelos seguintes motivos:

Medições e técnicas de análise de dados aperfeiçoados leves alterações nos materiais termopares comerciais, e também mudanças na escala de temperatura e nas unidades elétricas. A importância destes fatores, bem como a origem de cada uma das tabelas, são abordadas na referência NBS mencionada acima, a qual deverá ser consultada quente a detalhes.

Estas tabelas dão valores de EMF de três casas decimais (0,001 mV.) para intervalos de temperatura de 10 graus (tanto em C como em F). Se for necessária maior precisão, a supracitada referência NBS deverá ser consultada. Inclui tabelas com valores de EMF de quatro casas decimais (0,0001 mV.) bem como funções analíticas para cada tipo de termopar, o que permite um cálculo direto e preciso do relacionamento EMF-Temperatura.

Tabelas dando valores de EMF em três casas decimais (0,001 mV.) para cada grau de temperatura (tanto em °C como em °F) e também valores simples de EMF até Pt.67, são apresentados em ASTM-230-72 (ANSI MC 96.2).

#### 6.4.3 - EMPREGO DAS TABELAS DE TEMPERATURA-EMF

Estas tabelas de temperatura-EMF de referência (Cap.9) atendem duas utilíssimas finalidades, já que constituem um meio de converter a EMF de certas combinações de materiais termopares em

temperaturas equivalentes, a possibilitem a calibração e checagem de termopares e fios de extensão de termopares.

Se a junção de referência for mantida em  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ), a temperatura apropriada ou dados EMF poderão ser lidos diretamente das tabelas.

Quando não for prático manter a temperatura de derivação da referência a  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ), estas tabelas poderão ainda ser usadas aplicando-se-lhes uma adequada correção. O valor da correção poderá ser obtido destas tabelas. Segue-se um exemplo para ilustrar como obter e aplicar tal correção.

Suponhamos que um termopar do tipo J foi usado numa instalação para determinar a temperatura de um meio líquido e uma f.e.m de 18,070 mV. foi observada. Outrossim um termômetro de mercúrio bem próximo à derivação de referência do termopar produziu uma leitura de  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ).

Para se usar as tabelas tipo J a fim de se obter um valor para temperatura do meio líquido, a observada f.s.m do termopar deverá primeiro ser corrigida para compensar a diferença entre a temperatura de junção de referência efetivamente usada a  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ). O fator de correção é o valor F.s.m pela tabela tipo J na temperatura de derivação de referência efetivamente usada ( $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ )). Este valor f.s.m (1,019 mV.) é algebricamente adicionada à observada f.s.m para se obter o valor da f.s.m que o termopar produzirá se a junção de referência estivesse em  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ).

f.s.m do termopar tipo J observada:	18,070 mV.
Fator de correção (valor de tabela na temperatura de referência efetivamente usada) para a junção de referência a $20^{\circ}\text{C}$ ( $68^{\circ}\text{F}$ ):	<u>1,019 mV.</u>
f.s.m corrigida:	19,089 mV.

A f.e.m corrigida de 19,089 mV. é então adotada para se determinar a temperatura equivalente pelas tabelas tipo J|350°C(662°F).

## CAPÍTULO 7 - TERMOPARES - PROCEDIMENTOS DE VERIFICAÇÃO

### 7.1 - GERAL

Os novos termopares, materiais termopares e fios de extensão são controlados pelo fornecedor, no sentido de os mesmos se adequarem a uma tabela ou curva publicada de temperatura - f.c.m dentro de limites de erro estabelecidos. Os fios de extensão de termopares, normalmente retêm suas características originais, quando usados dentro dos limites de temperatura recomendados, mas os termopares que ficam expostos a altas temperaturas em diversas atmosferas, poderão alterar as características.

Para evitar o uso contínuo de termopares com excessivos desvios de características originais devido a essa exposição ou contaminação, é boa prática checar os termopares a intervalos regulares.

### 7.2 - FINALIDADE

Recomendações e sugestões são fornecidos a seguir à guisa de procedimentos simples e comumente adequados para checar termopares instalados. Estas não pretendem ser completamente auto-suficientes, entretanto, e geralmente será vantajoso consultar também tratamento mais detalhados.

### 7.3 - PROCEDIMENTO

#### 7.3.1 - VERIFICAÇÃO

A verificação de termopares instalados é complicada pela falta de uniformização termoelétrica resultante da contaminação ou deterioração dos elementos.

Os terminais não aquecidos do termopar usado normalmente parecerão novos - na verdade a junção, contaminada ou deteriorada, e o material intermediário afetado em vários graus.

A capacidade de um termopar contaminado ou deteriorado não será determinada pela temperatura da junção aquecida e da junção de

referência, como um novo termopar homogêneo, mas ainda pelo gradiente de temperatura entre as extremidades de medição e referência e o padrão de contaminação e de deterioração na zona do gradiente de temperatura. Por este motivo um termopar usado não deve ser removido de onde se acha instalado e colocado num forno de calibração, para aferimento, porquanto é altamente improvável que os gradientes de temperatura nas duas instalações sejam os mesmos.

Um termopar usado deve ser checado no seu local normal de instalação. A finalidade de checar um termopar instalado não é determinar suas características de temperatura f.e.m e sim determinar o erro de temperatura no serviço efetivo.

Isto pode mais rapidamente ser realizado através da instalação provisória de um termopar novo ou de verificação, ao longo do termopar de serviço, ou em seu lugar, e comparando-se as leituras.

Se o termopar instalado for utilizado para medir uma larga faixa de temperatura, deve ele ser aferido em mais de uma temperatura dentro da escala de seu uso.

O teste de um termopar numa temperatura única fornece alguma informação, mas não é seguro concluir que as alterações na fem do par são proporcionais à temperatura ou à f.e.m.

### 7.3.2 - TUBO PROTETOR

Quando o tubo protetor for suficientemente grande, um termopar aferidor poderá ser inserido ao lado do termopar de serviço. Recomenda-se que um instrumento extra de verificação seja usado para permitir o aferimento do instrumento de serviço, bem como do termopar de serviço.

Quando o tubo protetor não for suficientemente grande para permitir a inserção de um termopar adicional, faz-se necessário remover o termopar de serviço e substituí-lo por um termopar de aferimento.

Quando este método é adotado torna-se indispensável que sejam mantidas condições estáveis de temperatura. Em geral, quanto mais alta a temperatura ou mais contaminante a atmosfera, tantas -

mais frequentes verificações devem ser feitas.

### 7.3.3 - TEMPERATURA

Gradientes de temperatura grandes podem existir em comumente usados fornos e outros dispositivos e pontos fisicamente juntos uns dos outros, poderão achar-se a temperaturas surpreendentemente diferentes.

O procedimento de verificar uma instalação termopar por meio de um termopar de aferimento inserido, através de uma porta de forno ou senão, instalado em diferente partedo aparelho, a partir do termo par de serviço, não é recomendado, já que a leitura do termopar poderá deixar de combinar e ainda assim poderem ambos estar corretos.

### 7.3.4 - CUIDADOS

Os termopares de aferição ou padrão secundários devem ser homogêneos e não estar contaminados. Qualquer termopar novo poderá ser usado, mas deve-se verificar contra um padrão primário, devendo ser rotulado com seu desvio de curva padrão. Se o usuário não dispõe do equipamento e da técnica para fazê-lo existem à venda termopares calibrados e rotulados. O NBS ou outros laboratórios de padronização - fornecerão um relatório sobre as características de temperatura -fem de um termopar submetido.

### 7.3.5 - PRECISÃO

A precisão de um termopar de verificação ou padrão secundário torna-se-ã duvidosa após o uso. Normalmente pode-se confiar nos termopares de metal nobre, durante bom tempo de uso, com a ressalva de que as temperaturas de aferição não tenham sido excessivas e que a contaminação tenha sido evitada.

Os termopares de metal de base usados para fins comprobatórios devem ser verificados frequentemente.

NOTA: Os pares de metal base não devem ser usados para fins de verificação abaixo de 480°C (900°F) , se ficarem expostos entre as checagens a temperaturas acima de 760°C (1400°F).

## CAPITULO 8 - MONTAGEM E INSTALAÇÃO DE TERMOPARES

### 8.1 - Montagem de Termopares

A fabricação de termopares requer técnicas especiais. Se a aparelhagem e a habilidade necessárias para a adequada fabricação de termopares não se acharem à disposição, o usuário deverá adquirir termopares já fabricados, porquanto técnicas inadequadas poderão resultar em consideráveis erros em medições de temperatura.

Os fios para a confecção de termopares devem de preferência ser comprados em pares casados a fim de assegurarem precisão dentro dos limites-padrão de erro. Entretanto, os fios positivos e negativos para os termopares tipos E, K e T, adquiridos em diferentes ocasiões junto a diversos fornecedores, podem ser combinados intercambiavelmente. Fios para limites de erro especiais são obtidos através de seleção e devem sempre ser adquiridos em pares casados.

É indispensável que o termopar tenha a mesma calibração que o instrumento com que vai ser usado.

Isoladores extraduros de cerâmica são usados na maioria dos elementos termopares descobertos. Os isoladores são disponíveis com um, dois ou mais furos e numa série de formatos, tamanhos e comprimentos.

Para os termopares dos tipos B, R e S recomenda-se que os isoladores sejam de óxido de alumínio e em peça única, de comprimento completo para proporcionar o máximo de proteção contra contaminação. O isolador deve também ser de pouco peso ou ter o seu conjunto projetado para minimizar esforços mecânicos no fio de metal nobre.

Para os termopares de metal básico, o isolamento de vidro trançado, ou amianto, é às vezes empregado. Tais materiais não devem ser usados com elementos de metal nobre visto que contaminarão o termopar. Os termopares poderão ser feitos de fio termopar isolado contanto que o isolamento seja adequado para a temperatura de exposição e para o serviço a que se destina e que o mesmo não contaminará o termopar ou o meio.

Tubos protetores são usados na maioria das instalações de

termopares para evitar contaminação dos termopares e proporcionar proteção mecânica e apoio. O diâmetro mínimo do tubo protetor deve ser suficiente para abrigar o elemento termopar. Entretanto, tubos de maiores diâmetros frequentemente se fazem necessários para (a) resistência, (b) permitir a penetração de um termopar padrão ao longo do termopar de serviço e (c) proporcionar um diâmetro adequado na razão de comprimento para ajudar na manutenção de uma atmosfera oxidante para os termopares do tipo K ou E. São geralmente usados tubos com os tamanhos de 1/2, 3/4 e 1 polegada.

O comprimento do tubo protetor (e do elemento termopar) deve ser suficiente para colocar a derivação de medição do termopar bem dentro do meio líquido cuja temperatura vai ser medida. Um comprimento mínimo de imersão de 8 a 10 diâmetros do tubo é recomendado a fim de minimizar erros de condução.

Os tubos protetores devem estar limpos internamente e isentos de compostos sulfurosos, óleos e óxidos.

Vasta gama de tubos protetores metálicos e cerâmicas existem à venda. Dependendo da aplicação, o tubo protetor deve possuir algumas ou a totalidade das seguintes propriedades:

1. Resistência mecânica para suportar pressão e resistir à deformação a altas temperaturas.
2. Resistência térmica para suportar a temperatura que é medida; resistência ao choque térmico de modo que uma temperatura brusca não danifique o tubo.
3. Resistência à corrosão para evitar a ação química junto ao meio líquido no qual o tubo é imerso.
4. Resistência à erosão.
5. Baixa porosidade à temperatura operacional.

Isto se torna especialmente claro quando se trata de tubos protetores instalados em fornalhas já que os gases da fornalha são em geral danosos aos termopares.

Alguns dos materiais comuns dos tubos protetores e as temperaturas operacionais máximas são apresentadas na tabela da página seguinte.

## TUBOS PROTETORES

Materias dos Tubos Protetores	Temperatura Operacional Máxima	
	°C	°F
Aço carbono	540	1000
Ferro forjado	700	1300
Ferro fundido	700	1300
Aço Inoxidável 304	870	1600
Aço inoxidável 316	870	1600
Ferro cromo (446)	980	1800
Níquel	980	1800
Inconel*	1150	2100
Porcelana	1650	3000**
Carboneto de silício	1650	3000
Sillimanite*	1650	3000**
Óxido de alumínio	1760	3200**

\* Marca registrada.

\*\* Os tubos horizontais devem receber suporte adicional acima de 1480°C (2700°F).

Basicamente, a montagem do termopar compreende a execução da junta quente, isolação de condutores, colocação do tubo protetor, ligação do cabeçote de montagem e bloco conetor.

### 8.2 - Junta quente

A execução da junta quente é efetuada normalmente por processo de solda. Utilizam-se os processos de solda a gás, solda a arco com eletrodo simples ou duplo, solda prata, ou solda "brazing", conforme o tipo de termopar e bitola dos fios. O emprego da técnica correta garante a obtenção de solda perfeita com boa junção dos metais; sem bolhas ou vazios:

-homogênea, sem pontos carbonizados. A solda é executada com as extremidades dos fios enrolados (Twsted type) ou apenas apoiadas uma à outra (Gutt type). No primeiro caso a solda é mais robusta, dotada de maior resistência mecânica; a

lém disso, é de execução mais fácil. Em contraposição, a junta é mais volumosa, podendo apresentar gradiente térmico ao longo da solda.

Em geral os fios 20 e mais finos são soldados com as extremidades enroladas; para os fios 14 e 8 ambos os tipos de solda podem ser utilizados, conforme a conveniência. Os termopares de platina nunca têm as juntas enroladas, para evitar os esforços mecânicos daí resultantes.

Para formar a junta enrolada, os fios são presos a uma morσα, com extensão livre de 1 1/2" para fio 8, ou 3/4" para fios mais finos e enrolados formando 2 1/2 a 3 voltas no fio 8, ou cerca de 1/2" de comprimento nos fios mais finos. As espiras resultantes não devem ser comprimidas em excesso, para evitar o aparecimento de tensões internas elevadas nos fios que encurtariam a vida, do termopar.

Antes da execução da solda, as pontas dos fios devem ser limpas da película isolante que as protege devidamente lixadas na extensão de cerca de 1".

As figuras a seguir ilustram a execução correta da solda.

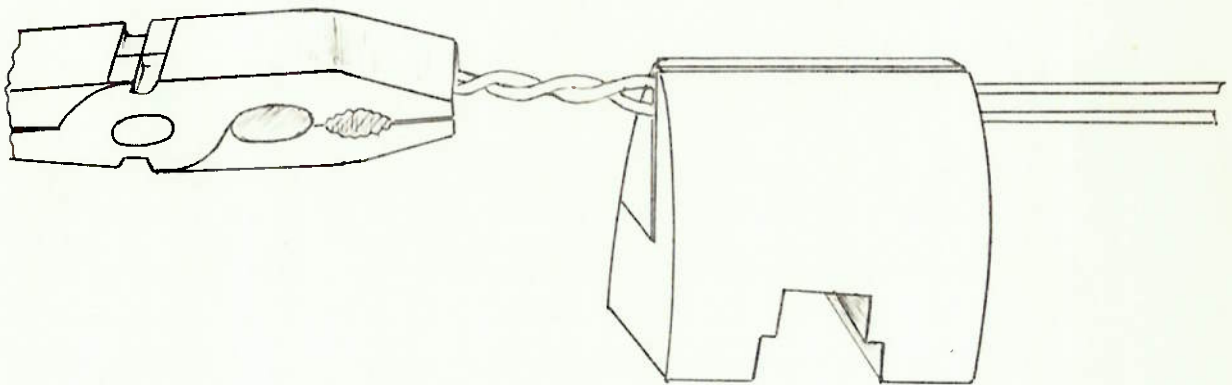


FIG. 24 - ENROLAMENTO DA JUNTA EM TERMOPAR DE FERRO-CONSTANTAN Nº 8

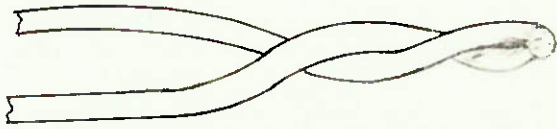


Fig. 25 - Junta enrolada em termopar de ferro constantan nº 8



Fig. 26 - Junta de encosto em termopar de cromel-Alumel nº 14

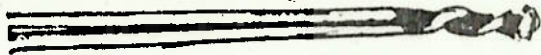


Fig. 27 - Junta enrolada em termopar de ferro-constantan nº 14



Fig. 28 - Junta enrolada em termopar de cromel-Alumel nº 20 com isolador de furo duplo.

Os termopares de ferro-constantan e cromel-Alumel são soldados a arco, com eletrodo simples, ou a gás com maçarico de oxigênio ou oxi-hidrogênio. Na solda a arco, emprega-se apenas um eletrodo de grafite, a própria junta fechando o circuito. O eletrodo normalmente será de diâmetro 1/2" para fios 8 e 14, e de 1/4" para fios mais finos. A junta é inicialmente umedecida e coberta com pó de ácido bórico (cristais moídos). Um arco de pequena extensão é usado para fundir o fluxo de bórax, após o que o arco é alargado para cerca de 1/4" de extensão e o eletrodo é girado em torno da junta para aquecer igualmente os dois metais. Como o ferro e o cromel têm pontos de fusão mais elevados que o constantan e o alumel, o arco deve ser iniciado sobre aqueles e o calor aplicado mais diretamente sobre os mesmos, de forma que ambos os metais atinjam instan-

taneamente a temperatura de fusão. Uma vez fundidos, os metais pas sam simultaneamente ao estado líquido, formando uma gota arredonda da, ocasião em que o arco é interrompido.

O fluxo de metal fundido deve ser mantido no mínimo, para formar uma gota perfeita, com diâmetro igual ou ligeiramente superior ao diâmetro combinado dos dois fios. O arco deve ser interrompido rapidamente, para evitar super-aquecimento ou carbonização da solda.

A junta, ainda quente, é mergulhada em água, para eliminar a camada vitrificada do fluxo de bórax.

As soldas queimadas por excesso de calor caracterizam-se pela formação de bolhas superficiais e vazios internos; resultando em estrutura mecanicamente fraca.

A robustez da solda pode ser testada aplicando-lhe uma pancada seca; se não estiver devidamente sólida, ela se trincará ou partirá completamente.

A solda a gás é usada com preferência nos fios finos. Utilizam-se indiferentemente maçarico de oxi-acetileno ou de oxi-hidrogênio, com bicos tamanho 0 ou 00. Para a solda de ferro constan tan é recomendável o uso de chama neutra, ao passo que o cromel -a lumel requer chama ligeiramente redutora. O processo de solda é o mesmo descrito acima, aplicando-se inicialmente o cone externo da chama para obter a fusão do fluxo de bórax; em seguida a junta é exposta à extremidade do cone interno da chama, até obter-se a fu são simultânea dos metais.

Os termopares de platina são soldados de preferência com arco de duplo eletrodo, ou então com solda a gás oxi-hidrogênio. As soldas com eletrodo simples ou oxi-acetileno não são aceitáveis por resultarem em excessiva absorção de carbono pela platina e contami nação do termopar. Emprega-se eletrodos de grafite extras-duros, diâ metros de 3/16", com as pontas devidamente afiladas. Nenhum fluxo é utilizado na solda de termopares de platina. O arco deve ser o me nor possível, cerca de 1/8", aplicado sobre a extremidade dos fios, de maneira a produzir o mínimo fluxo dos metais, resultando em sol da pequena, bem arredondada. No caso de solda a gás, a chama deve rá ser obrigatoriamente oxidante. (platina e platina-ródio absorvem gases das atmosferas redutoras, em temperaturas elevadas, deterio-

rando-se rapidamente). A solda deve ser interrompida imediatamente após a fusão dos metais, para evitar super-aquecimento dos fios.

Nos termopares de ferro-constantan emprega-se de preferência solda prata, utilizando solda de baixo ponto de fusão (Silvaloy 50 ou equivalente) e fluxo apropriado, com maçarico a oxi-acetileno ou oxi-hidrogênio. A chama deve ser neutra, aquecendo inicialmente o fluxo até este adquirir aparência vítrea; a junta é então posta em contato com o material de solda e a chama é removida antes que o metal em fusão ultrapasse a última espira dos fios enrolados. A solda é imediatamente resfriada em água por remoção completa do fluxo.

A figura 29 ilustra os diferentes tipos de chama obtidos no maçarico.

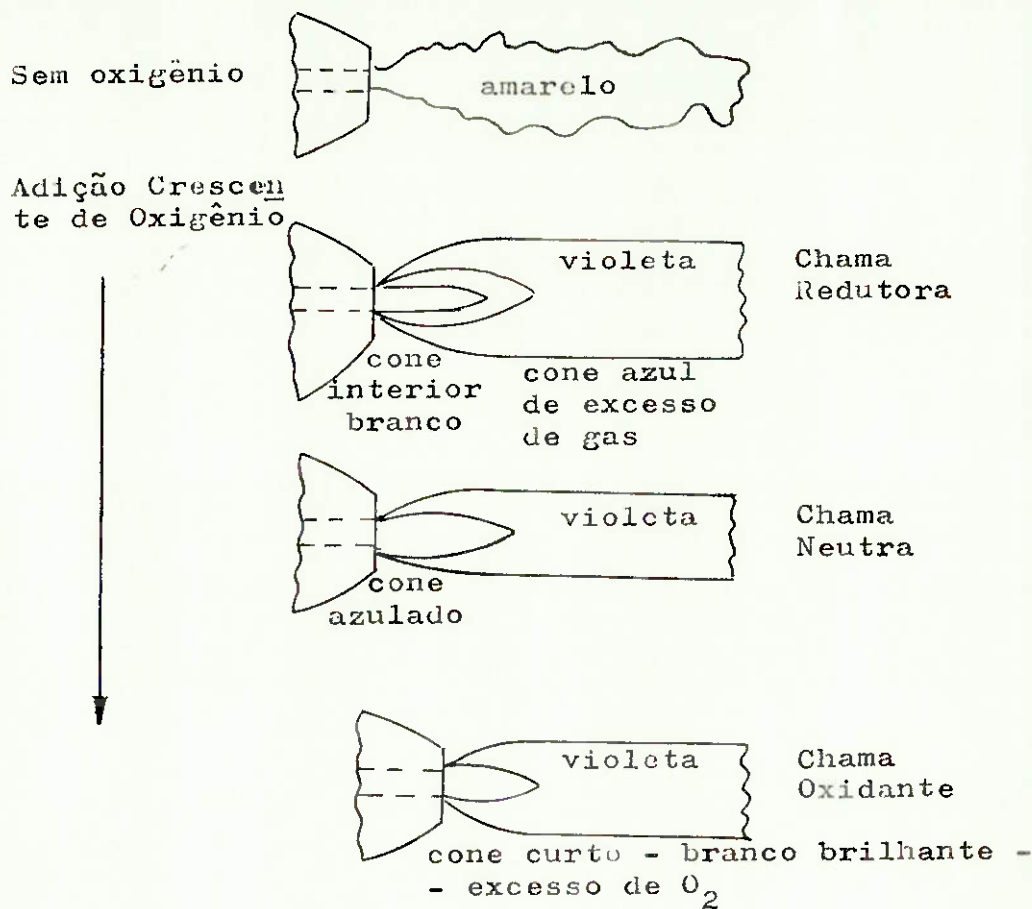


Fig. 29 - Chama de solda

### 8.3 - Instalação do termopar

#### 8.3.1 - Considerações iniciais

Não existem normas gerais quando à instalação correta dos termopares, dependente da aplicação e do tipo de medição a efetuar. Como precaução primária, os tubos protetores devem ser selecionados com vistas à relação adequada entre seus diâmetros e comprimentos, de forma a prevenir que venha a dobrar-se por efeitos do peso próprio nas temperaturas de trabalho, especialmente no caso de tubos cerâmicos instalados horizontalmente. Além disso, é necessário que a profundidade de inserção do tubo no meio a medir seja suficiente para garantir que a temperatura de sua extremidade não seja afetada pela condução de calor através da parede do tubo. Como verificação, deve-se aumentar progressivamente a profundidade de inserção, até o ponto que novos aumentos de profundidade não provoquem variação aparente da temperatura medida.

A temperatura do tubo protetor é grandemente afetada por radiação em relação às paredes da câmara de trabalho. Tratando-se da medição de temperaturas de massas gasosas, em que a temperatura do meio difere materialmente da temperatura das paredes, devem ser usadas blindagem anti-radiante.

#### 8.3.2 - Regras gerais

Durante a instalação dos termopares deve-se ter sempre em mente que a EMF produzida depende da diferença de temperatura entre a junção de medição e a junção de referência. Com uma junção fixa ou conhecida, o termopar, só é capaz de indicar a temperatura alcançada por essa junção de medição. Torna-se portanto necessário num processo particular assegurar que a junção de medição se acha na mesma temperatura dentro da precisão desejada que o fluido a ser medido. Os erros abordados alhures nas tabelas são desprezíveis comparados com aqueles que possam resultar ao não se realizar a instalação de tal maneira que a junção de medição atinja a temperatura do fluido.

A temperatura da junção de medição efetivamente obtida nu

ma instalação é o resultado do calor puro fornecido àquela junção pelas modalidades tradicionais de transferência térmica, isto é, condução, convecção e radiação. Quando numa instalação se fazem necessários tubos protetores ou poços, o problema é apenas agravado. Entre os muitos fatores que influem na temperatura da derivação de medição de determinada instalação acham-se:

1. Temperatura das cercanias.
2. Velocidade apropriada do fluido
3. Emissividade de superfície exposta
4. Condutividade térmica do termopar e materiais do poço
5. Razão das áreas de transferência de calor

Nas condições de instalação onde as temperaturas das cercanias (parede do duto) são consideravelmente diferentes das temperaturas do fluido no caso de gases, a troca de calor terá lugar pelo mecanismo de radiação pelo termopar e suas cercanias. Ademais, o calor fluirá do ou para o termopar pelo mecanismo da condução, e o calor será transferido por convecção. Dependendo-se de as temperaturas circundantes são superiores ou inferiores às temperaturas do gás, o termopar indicará temperatura mais alta ou mais baixa. Quando existirem grandes diferenças de temperatura entre o gás e as cercanias, publicações sobre transferência de calor devem ser consultadas que tratam o termômetro termopar como um tipo "thin-rod" de problema.

O termômetro termopar deve localizar-se numa posição em que a velocidade de massa seja tão alta quanto possível para assegurar boa transferência de calor por convecção; entretanto, se a velocidade ultrapassar 300 pés por segundo, neste caso uma sonda tipo estagnação especialmente projetada deverá ser empregada. Quando um termopar tiver de ser instalado em local em que a velocidade seja muito baixa, então talvez seja necessário induzir um fluxo de gases além da junção. Vários tipos espiradores de pirômetros existem para esta finalidade.

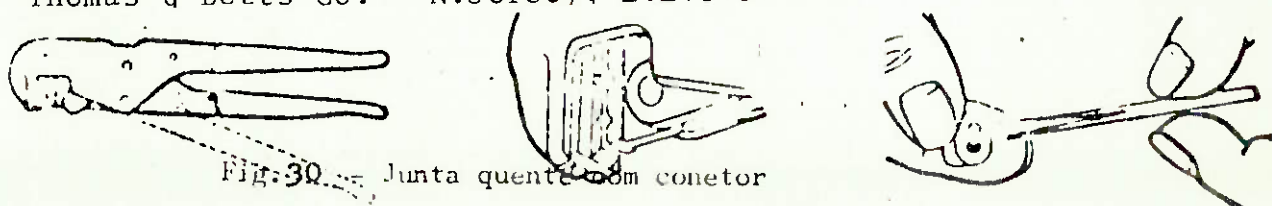
- Um cabeçote de ligação de termopar é recomendada para proporcionar ligações positivas entre o termopar e o fio de extensão. O cabeçote também permite fácil substituição do termopar.

- O tubo protetor deve prolongar-se além da superfície externa da fornalha do vaso ou equipamento processador de modo que a temperatura do cabeçote de ligação se aproxime da temperatura atmosférica ambiente. Isto se aplica especialmente aos termopares dos tipos B, R e S que usam fios de extensão compensadores. A temperatura do cabeçote de ligação nunca deve ultrapassar os limites de temperatura dados para fios termopares de extensão.
- Após todas as medidas acima descritas tiveram sido postas em prática, a efetiva instalação de um termopar ainda requer alguns cuidados. Tanto o termopar como o fio de extensão devem ser limpos antes de sua fixação no bloco de terminais para assegurarem bons contatos elétricos. Isolamento codificado por cores identifica os elementos positivos e negativos do fio de extensão. É necessário manter os fios do termopar rotulados, ou identificados de outra maneira, com referência à polaridade. As informações seguintes poderão ser atingidas para se determinar a polaridade no campo:
  1. Para fio de extensão que tenha isolamento por código de cores, o isolamento do fio negativo tem sempre a cor vermelha.
  2. Para o tipo E, o fio negativo é de aparência prateada. Possui resistência inferior em ohms/pé que o elemento positivo para o fio do mesmo tamanho.
  3. Para o tipo J o elemento positivo é frequentemente de aparência ferruginosa e é magnético. Possui resistência inferior em ohms/pé para fio de mesmo tamanho.
  4. Para o tipo K o elemento negativo é ligeiramente magnético. Possui resistência inferior em ohms/pé para fio do mesmo tamanho.
  5. Para os tipos R e S o fio negativo é mais brando que o fio positivo. O fio negativo também tem uma resistência inferior em ohms/pé para fio do mesmo tamanho.
  6. Para o tipo T o fio positivo é vermelho e o fio negativo é de aparência prateada. O fio positivo possui resistência inferior em ohms/pé para fio do mesmo tamanho.

- O assentamento do termopar no tubo protetor é frequentemente praticado para melhorar a resposta à mudança de temperatura. O assentamento neste caso ("bottoming") consiste em fazer com que a junção do termopar seja firmemente prensada contra a extremidade ou fundo ("bottom") do tubo protetor. Entretanto o assentamento poderá aterrar o termopar, o que, com alguns tipos de instalação, causa dificuldades.
- Deve-se ter em mente que erro zero é impossível. Além do erro instrumental o termopar e o fio de extensão introduzirão erros. Na **NBS** acham-se tabulados os limites dos erros que podem ser esperados de materiais novos. Os componentes instalados poderão deteriorar-se com o uso, a métodos de verificação da instalação são apresentados no Capítulo .

#### 8.4 - Juntas com conetores

Na técnica moderna, a solda da junta quente vem sendo substituída por conetores especiais, de montagem rápida, particularmente úteis quando se trata de executar grandes quantidades de termopares. Como mostrado na fig.30, o dispositivo consiste de um conector fixado aos fios do termopar por compressão em uma ferramenta de aperto que distribui pressões uniformes, formando união rápida e firme de metais. O conector é construído de material adequado ao tipo de termopar, com dimensões em acordo com o diâmetro dos fios correspondentes. Vantagem adicional do método é que o termopar não fica sujeito a contaminações e nem a tensões provocadas por choque térmico durante o processo de soldagem. O método não é aplicável aos termopares de platina e é objeto de patente de fabricação da firma Thomas & Betts Co. - N.Jersey, E.E.U.U.



CAPÍTULO 9 - TABELAS DE TEMPERATURA-EMF PARA OS VÁRIOS TIPOS DE TERMOPARES

TABLE IX  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE T THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
-400	-6.105	-6.150	-6.187	-6.217	-6.240	-6.254							-400
-300	-5.341	-5.439	-5.532	-5.620	-5.705	-5.785	-5.860	-5.930	-5.995	-6.053	-6.105	-300	
-200	-4.149	-4.286	-4.419	-4.548	-4.673	-4.794	-4.912	-5.025	-5.135	-5.240	-5.341	-200	
-100	-2.581	-2.753	-2.923	-3.089	-3.251	-3.410	-3.565	-3.717	-3.864	-4.009	-4.149	-100	
0	-0.674	-0.879	-1.081	-1.279	-1.475	-1.667	-1.856	-2.042	-2.225	-2.405	-2.581	0	
+ 0	-0.674	-0.467	-0.256	-0.043	0.173	0.391	0.611	0.834	1.060	1.288	1.518	+ 0	
100	1.518	1.752	1.980	2.226	2.467	2.711	2.958	3.206	3.458	3.711	3.967	100	
200	3.967	4.225	4.488	4.749	5.014	5.281	5.550	5.821	6.094	6.369	6.647	200	
300	6.647	6.926	7.207	7.490	7.775	8.062	8.350	8.641	8.933	9.227	9.523	300	
400	9.523	9.820	10.120	10.420	10.723	11.027	11.333	11.640	11.949	12.260	12.572	400	
500	12.572	12.885	13.200	13.516	13.834	14.153	14.474	14.795	15.118	15.443	15.769	500	
600	15.769	16.096	16.424	16.753	17.084	17.416	17.750	18.084	18.420	18.757	19.095	600	
700	19.095	19.434	19.774	20.116	20.458	20.801						700	

\* CONVERTED FROM DEGREES C(IPTS 1968).

TABLE IXa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
30	-0.043	-0.022	0.000	0.022	0.043	0.065	0.086	0.108	0.130	0.151	0.173	30	
40	0.173	0.195	0.216	0.238	0.260	0.282	0.303	0.325	0.347	0.369	0.391	40	
50	0.391	0.413	0.435	0.457	0.479	0.501	0.523	0.545	0.567	0.589	0.611	50	
60	0.611	0.634	0.656	0.678	0.700	0.722	0.745	0.767	0.789	0.812	0.834	60	
70	0.834	0.857	0.879	0.902	0.924	0.947	0.969	0.992	1.014	1.037	1.060	70	
80	1.060	1.082	1.105	1.128	1.151	1.173	1.196	1.219	1.242	1.265	1.288	80	
90	1.288	1.311	1.334	1.357	1.380	1.403	1.426	1.449	1.472	1.495	1.518	90	
100	1.518	1.542	1.565	1.588	1.611	1.635	1.658	1.681	1.705	1.728	1.752	100	
110	1.752	1.775	1.799	1.822	1.846	1.869	1.893	1.917	1.940	1.964	1.988	110	

TABLE X  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE T THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
-200	-5.003	-5.753	-5.889	-6.007	-6.105	-6.181	-6.232	-6.258					-200
-100	-3.378	-3.656	-3.923	-4.177	-4.419	-4.648	-4.865	-5.069	-5.261	-5.439	-5.603	-100	
0	0.000	-0.383	-0.757	-1.121	-1.475	-1.819	-2.152	-2.475	-2.788	-3.089	-3.378	0	
0	0.000	0.391	0.789	1.196	1.611	2.035	2.467	2.908	3.357	3.813	4.277	0	
100	4.277	4.749	5.227	5.712	6.204	6.702	7.207	7.718	8.235	8.757	9.286	100	
200	9.286	9.820	10.360	10.905	11.456	12.011	12.572	13.137	13.707	14.281	14.860	200	
300	14.860	15.443	16.030	16.621	17.217	17.816	18.420	19.027	19.638	20.252	20.869	300	
400	20.869											400	

TABLE Xa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).											REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.351	0.391	0
10	0.391	0.430	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.789	10
20	0.789	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.032	1.073	1.114	1.155	1.196	20
30	1.196	1.237	1.278	1.320	1.361	1.403	1.444	1.486	1.528	1.569	1.611	30
40	1.611	1.653	1.695	1.738	1.780	1.822	1.865	1.907	1.950	1.992	2.035	40

TABLE XI  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE J THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*											REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
-300	-7.519	-7.659	-7.791	-7.915	-8.030	-8.137						-300
-200	-5.760	-5.962	-6.159	-6.350	-6.516	-6.716	-6.890	-7.057	-7.218	-7.372	-7.519	-200
-100	-3.492	-3.737	-3.978	-4.215	-4.448	-4.678	-4.903	-5.124	-5.341	-5.553	-5.760	-100
0	-0.885	-1.158	-1.428	-1.695	-1.960	-2.223	-2.483	-2.740	-2.994	-3.245	-3.492	0
+ 0	-0.885	-0.611	-0.334	-0.056	0.224	0.507	0.791	1.076	1.363	1.652	1.942	+ 0
100	1.942	2.233	2.526	2.820	3.115	3.411	3.708	4.006	4.305	4.605	4.906	100
200	4.906	5.207	5.509	5.812	6.116	6.420	6.724	7.029	7.335	7.641	7.947	200
300	7.947	8.253	8.560	8.867	9.175	9.483	9.790	10.098	10.407	10.715	11.023	300
400	11.023	11.332	11.640	11.949	12.257	12.566	12.874	13.183	13.491	13.800	14.108	400
500	14.108	14.416	14.724	15.032	15.340	15.648	15.956	16.264	16.571	16.879	17.186	500
600	17.186	17.493	17.800	18.107	18.414	18.721	19.027	19.334	19.640	19.947	20.253	600
700	20.253	20.559	20.866	21.172	21.478	21.785	22.091	22.397	22.704	23.010	23.317	700
800	23.317	23.624	23.931	24.238	24.546	24.853	25.161	25.469	25.778	26.087	26.396	800
900	26.396	26.705	27.016	27.326	27.637	27.949	28.261	28.573	28.887	29.201	29.515	900
1,000	29.515	29.831	30.147	30.464	30.782	31.100	31.420	31.740	32.061	32.384	32.707	1,000
1,100	32.707	33.031	33.356	33.683	34.010	34.339	34.668	34.999	35.331	35.664	35.999	1,100
1,200	35.999	36.334	36.671	37.009	37.348	37.688	38.030	38.372	38.716	39.061	39.407	1,200
1,300	39.407	39.754	40.103	40.452	40.802	41.154	41.506	41.859	42.212	42.567	42.922	1,300
1,400	42.922											1,400

\* CONVERTED FROM DEGREES C(IPTS 1968).

\*\*TABLE XIa  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE J THERMOCOUPLES, EXTENDED RANGE  
(Correction to be added to observed EMF.)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*											REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
1,400	42.922	43.278	43.635	43.992	44.350	44.709	45.067	45.426	45.785	46.144	46.503	1,400
1,500	46.503	46.861	47.219	47.577	47.934	48.290	48.645	49.000	49.354	49.707	50.059	1,500
1,600	50.059	50.411	50.761	51.110	51.458	51.805	52.151	52.496	52.840	53.183	53.525	1,600
1,700	53.525	53.865	54.205	54.544	54.881	55.218	55.553	55.888	56.221	56.554	56.886	1,700
1,800	56.886	57.217	57.547	57.876	58.205	58.533	58.860	59.187	59.513	59.838	60.163	1,800
1,900	60.163	60.488	60.812	61.135	61.459	61.781	62.104	62.426	62.748	63.070	63.392	1,900
2,000	63.392	63.713	64.034	64.355	64.676	64.997	65.318	65.638	65.959	66.279	66.600	2,000
2,100	66.600	66.920	67.240	67.559	67.879	68.198	68.517	68.836	69.155	69.472		2,100

\* CONVERTED FROM DEGREES C(IPTS 1968).

TABLE XIb  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F

TEMPERATURES IN DEGREES F.*											REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
30	-0.056	-0.028	0.000	0.028	0.056	0.084	0.112	0.140	0.168	0.196	0.224	30
40	0.224	0.253	0.281	0.309	0.337	0.365	0.394	0.422	0.450	0.478	0.507	40
50	0.507	0.535	0.563	0.592	0.620	0.648	0.677	0.705	0.734	0.762	0.791	50
60	0.791	0.819	0.848	0.876	0.905	0.933	0.962	0.990	1.019	1.048	1.076	60
70	1.076	1.105	1.134	1.162	1.191	1.220	1.248	1.277	1.306	1.335	1.363	70
80	1.363	1.392	1.421	1.450	1.479	1.507	1.536	1.565	1.594	1.623	1.652	80
90	1.652	1.681	1.710	1.739	1.768	1.797	1.826	1.855	1.884	1.913	1.942	90
100	1.942	1.971	2.000	2.029	2.058	2.088	2.117	2.146	2.175	2.204	2.233	100
110	2.233	2.263	2.292	2.321	2.350	2.380	2.409	2.438	2.467	2.497	2.526	110

\*Values in Table XIa are given as a guide only. Thermoelectric properties of type J thermocouple are not stable above 760C (1400F) and the thermocouple should not be considered a standardized type above this temperature.

TABLE XII

## TEMPERATURE-EMF FOR TYPE J THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
-200	-7.890	-8.096										-200	
-100	-4.632	-5.036	-5.426	-5.801	-6.159	-6.499	-6.821	-7.122	-7.402	-7.659	-7.890	-100	
0	0.000	-0.501	-0.995	-1.481	-1.960	-2.431	-2.892	-3.344	-3.785	-4.215	-4.632	0	
0	0.000	0.507	1.019	1.536	2.058	2.585	3.115	3.649	4.186	4.725	5.268	0	
100	5.268	5.812	6.359	6.907	7.457	8.008	8.560	9.113	9.667	10.222	10.777	100	
200	10.777	11.332	11.887	12.442	12.998	13.553	14.108	14.663	15.217	15.771	16.325	200	
300	16.325	16.879	17.432	17.984	18.537	19.089	19.640	20.192	20.743	21.295	21.846	300	
400	21.846	22.397	22.949	23.501	24.054	24.607	25.161	25.716	26.272	26.829	27.388	400	
500	27.388	27.949	28.511	29.075	29.642	30.210	30.782	31.356	31.933	32.513	33.096	500	
600	33.096	33.683	34.273	34.867	35.464	36.066	36.671	37.280	37.893	38.510	39.130	600	
700	39.130	39.754	40.382	41.013	41.647	42.283	42.922					700	

\*TABLE XIIa

## TEMPERATURE-EMF FOR TYPE J THERMOCOUPLES, EXTENDED RANGE

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
700							42.922	43.563	44.207	44.852	45.498	700	
800	45.498	46.144	46.790	47.434	48.076	48.716	49.354	49.989	50.621	51.249	51.875	800	
900	51.875	52.496	53.115	53.729	54.341	54.948	55.553	56.155	56.753	57.349	57.942	900	
1,000	57.942	58.533	59.121	59.708	60.293	60.876	61.459	62.039	62.619	63.199	63.777	1,000	
1,100	63.777	64.355	64.933	65.510	66.087	66.664	67.240	67.815	68.390	68.964	69.536	1,100	
1,200	69.536											1,200	

TABLE XIIb

CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0	
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967	1.019	10	
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484	1.536	20	
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006	2.058	30	
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532	2.585	40	

\*\*Values in Table XIIa are given as a guide only. Thermoelectric properties of type J thermocouple are not stable above 760C (1400F) and the thermocouple should not be considered a standardized type above this temperature.

TABLE XIII  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE E THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*		REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.										
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
-400	-9.604	-9.672	-9.729	-9.775	-9.809	-9.830						-400
-300	-8.404	-8.561	-8.710	-8.852	-8.986	-9.112	-9.229	-9.338	-9.437	-9.526	-9.604	-300
-200	-6.471	-6.692	-6.907	-7.116	-7.319	-7.516	-7.707	-7.891	-8.069	-8.240	-8.404	-200
-100	-3.976	-4.248	-4.515	-4.777	-5.034	-5.287	-5.536	-5.776	-6.013	-6.245	-6.471	-100
0	-1.026	-1.339	-1.648	-1.953	-2.254	-2.552	-2.845	-3.134	-3.419	-3.700	-3.976	0
+ 0	-1.026	-0.709	-0.389	0.065	0.262	0.591	0.924	1.259	1.597	1.937	2.281	+ 0
100	2.281	2.627	2.977	3.329	3.683	4.041	4.401	4.764	5.130	5.498	5.869	100
200	5.869	6.242	6.618	6.996	7.377	7.760	8.145	8.532	8.922	9.314	9.708	200
300	9.708	10.103	10.501	10.901	11.302	11.706	12.111	12.518	12.926	13.336	13.748	300
400	13.748	14.161	14.576	14.992	15.410	15.829	16.249	16.670	17.093	17.517	17.942	400
500	17.942	18.368	18.795	19.223	19.653	20.083	20.514	20.947	21.380	21.814	22.248	500
600	22.248	22.684	23.120	23.558	23.996	24.434	24.873	25.313	25.764	26.195	26.637	600
700	26.637	27.079	27.522	27.966	28.409	28.854	29.299	29.744	30.199	30.636	31.082	700
800	31.082	31.529	31.976	32.423	32.871	33.319	33.767	34.215	34.664	35.113	35.562	800
900	35.562	36.011	36.460	36.909	37.358	37.808	38.257	38.707	39.157	39.606	40.056	900
1.000	40.056	40.505	40.955	41.404	41.853	42.303	42.752	43.201	43.650	44.098	44.547	1.000
1.100	44.547	44.995	45.443	45.891	46.339	46.786	47.234	47.681	48.127	48.574	49.020	1.100
1.200	49.020	49.466	49.911	50.357	50.802	51.246	51.691	52.135	52.578	53.022	53.465	1.200
1.300	53.465	53.907	54.349	54.791	55.233	55.674	56.115	56.555	56.995	57.434	57.873	1.300
1.400	57.873	58.312	58.750	59.188	59.626	60.063	60.499	60.935	61.371	61.806	62.240	1.400
1.500	62.240	62.675	63.108	63.542	63.974	64.406	64.838	65.269	65.700	66.130	66.559	1.500
1.600	66.559	66.988	67.416	67.844	68.271	68.698	69.124	69.549	69.974	70.398	70.821	1.600
1.700	70.821	71.244	71.667	72.088	72.509	72.930	73.350	73.769	74.188	74.606	75.024	1.700
1.800	75.024	75.441	75.858	76.274								1.800

\* CONVERTED FROM DEGREES CELSIUS (1968).

TABLE XIIIa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*		REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.										
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
30	-0.065	-0.033	0.000	0.033	0.065	0.098	0.131	0.163	0.196	0.229	0.262	30
40	0.262	0.295	0.327	0.360	0.393	0.426	0.459	0.492	0.525	0.558	0.591	40
50	0.591	0.624	0.658	0.691	0.724	0.757	0.790	0.824	0.857	0.890	0.924	50
60	0.924	0.957	0.990	1.024	1.057	1.091	1.124	1.158	1.192	1.225	1.259	60
70	1.259	1.292	1.326	1.360	1.394	1.427	1.461	1.495	1.529	1.563	1.597	70
80	1.597	1.631	1.665	1.699	1.733	1.767	1.801	1.835	1.869	1.903	1.937	80
90	1.937	1.972	2.006	2.040	2.075	2.109	2.143	2.178	2.212	2.247	2.281	90
100	2.281	2.316	2.350	2.385	2.419	2.454	2.489	2.523	2.558	2.593	2.627	100
110	2.627	2.662	2.697	2.732	2.767	2.802	2.837	2.872	2.907	2.942	2.977	110

TABLE XIV  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE E THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).											REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
-200	-8.824	-9.067	-9.274	-9.455	-9.604	-9.719	-9.797	-9.835	-8.273	-8.561	-8.824	-200
-100	-5.237	-5.680	-6.107	-6.516	-6.907	-7.279	-7.631	-7.963	-4.301	-4.777	-5.237	-100
0	0.000	-0.581	-1.151	-1.709	-2.254	-2.787	-3.306	-3.811	-4.301	-4.777	-5.237	0
+ 0	0.000	0.591	1.192	1.801	2.419	3.047	3.683	4.329	4.983	5.646	6.317	+ 0
100	6.317	6.996	7.683	8.377	9.078	9.787	10.501	11.222	11.949	12.681	13.419	100
200	13.419	14.161	14.909	15.661	16.417	17.178	17.942	18.710	19.481	20.256	21.033	200
300	21.033	21.814	22.597	23.383	24.171	24.961	25.754	26.549	27.345	28.143	28.943	300
400	28.943	29.744	30.546	31.350	32.155	32.960	33.767	34.574	35.382	36.190	36.999	400
500	36.999	37.808	38.617	39.426	40.236	41.045	41.853	42.662	43.470	44.278	45.085	500
600	45.085	45.891	46.697	47.502	48.306	49.109	49.911	50.713	51.513	52.312	53.110	600
700	53.110	53.907	54.703	55.498	56.291	57.083	57.873	58.663	59.451	60.237	61.022	700
800	61.022	61.806	62.588	63.368	64.147	64.924	65.700	66.473	67.245	68.015	68.783	800
900	68.783	69.549	70.313	71.075	71.835	72.593	73.350	74.104	74.857	75.608	76.358	900
1,000	76.358											1,000

TABLE XIVa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).											REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.295	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591	0
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.011	1.071	1.131	1.192	10
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.739	1.801	20
30	1.801	1.862	1.924	1.985	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.419	30
40	2.419	2.482	2.544	2.607	2.669	2.732	2.795	2.858	2.921	2.984	3.047	40

TABLE XV  
TEMPERATURE EMF FOR TYPE K THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
-400	-6.344	-6.380	-6.409	-6.431	-6.447	-6.456							-400
-300	-5.632	-5.730	-5.822	-5.908	-5.989	-6.064							-300
-200	-4.381	-4.527	-4.669	-4.806	-4.939	-5.067	-5.190	-5.308	-5.421	-5.529	-5.632		-200
-100	-2.699	-2.883	-3.065	-3.242	-3.417	-3.587	-3.754	-3.917	-4.075	-4.230	-4.381		-100
0	-0.692	-0.904	-1.114	-1.322	-1.527	-1.729	-1.929	-2.126	-2.320	-2.511	-2.699		0
+ 0	-0.692	-0.478	-0.262	-0.044	0.175	0.397	0.619	0.843	1.068	1.294	1.520		+ 0
100	1.520	1.748	1.977	2.206	2.436	2.666	2.896	3.127	3.358	3.589	3.819		100
200	3.819	4.049	4.279	4.508	4.737	4.964	5.192	5.418	5.643	5.868	6.092		200
300	6.092	6.316	6.539	6.761	6.984	7.205	7.427	7.649	7.870	8.092	8.314		300
400	8.314	8.537	8.759	8.983	9.206	9.430	9.655	9.880	10.106	10.333	10.559		400
500	10.560	10.787	11.015	11.243	11.472	11.702	11.931	12.161	12.392	12.623	12.854		500
600	12.854	13.085	13.317	13.549	13.781	14.013	14.246	14.479	14.712	14.945	15.178		600
700	15.178	15.412	15.646	15.880	16.114	16.349	16.583	16.818	17.053	17.288	17.523		700
800	17.523	17.759	17.994	18.230	18.466	18.702	18.938	19.174	19.410	19.646	19.883		800
900	19.883	20.120	20.356	20.593	20.830	21.066	21.303	21.540	21.777	22.014	22.251		900
1,000	22.251	22.488	22.725	22.961	23.198	23.435	23.672	23.908	24.145	24.382	24.618		1,000
1,100	24.618	24.854	25.091	25.327	25.563	25.799	26.034	26.270	26.505	26.740	26.975		1,100
1,200	26.975	27.210	27.445	27.679	27.914	28.148	28.382	28.615	28.849	29.082	29.315		1,200
1,300	29.315	29.547	29.780	30.012	30.244	30.475	30.706	30.937	31.168	31.399	31.629		1,300
1,400	31.629	31.859	32.088	32.317	32.546	32.775	33.003	33.231	33.459	33.686	33.913		1,400
1,500	33.913	34.140	34.366	34.593	34.818	35.044	35.269	35.494	35.718	35.942	36.166		1,500
1,600	36.166	36.390	36.613	36.836	37.058	37.280	37.502	37.724	37.945	38.166	38.387		1,600
1,700	38.387	38.607	38.827	39.046	39.266	39.485	39.703	39.922	40.140	40.358	40.575		1,700
1,800	40.575	40.792	41.009	41.225	41.442	41.657	41.873	42.088	42.303	42.518	42.732		1,800
1,900	42.732	42.946	43.159	43.373	43.585	43.798	44.010	44.222	44.434	44.645	44.856		1,900
2,000	44.856	45.066	45.276	45.486	45.695	45.904	46.113	46.321	46.529	46.737	46.944		2,000
2,100	46.944	47.150	47.356	47.562	47.767	47.972	48.177	48.381	48.584	48.787	48.990		2,100
2,200	48.990	49.192	49.394	49.595	49.796	49.996	50.196	50.395	50.594	50.792	50.990		2,200
2,300	50.990	51.187	51.384	51.580	51.776	51.971	52.165	52.360	52.553	52.747	52.939		2,300
2,400	52.939	53.132	53.324	53.515	53.706	53.897	54.087	54.277	54.466	54.656	54.845		2,400
2,500	54.845												2,500

\* CONVERTED FROM DEGREES C (IPTS 1968).

TABLE XVa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
30	-0.044	-0.022	0.000	0.022	0.044	0.066	0.088	0.110	0.132	0.154	0.176	30	
40	0.176	0.198	0.220	0.242	0.264	0.286	0.308	0.331	0.353	0.375	0.397	40	
50	0.397	0.419	0.441	0.464	0.486	0.508	0.530	0.553	0.575	0.597	0.619	50	
60	0.619	0.642	0.664	0.686	0.709	0.731	0.753	0.776	0.798	0.821	0.843	60	
70	0.843	0.865	0.888	0.910	0.933	0.955	0.978	1.00	1.023	1.045	1.068	70	
80	1.068	1.090	1.113	1.135	1.158	1.181	1.203	1.226	1.248	1.271	1.294	80	
90	1.294	1.316	1.339	1.362	1.384	1.407	1.430	1.452	1.475	1.498	1.520	90	
100	1.520	1.543	1.566	1.589	1.611	1.634	1.657	1.680	1.703	1.725	1.748	100	
110	1.748	1.771	1.794	1.817	1.839	1.862	1.885	1.908	1.931	1.954	1.977	110	

TABLE XVI

## TEMPERATURE-EMF FOR TYPE K THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
-200	-5.891	-6.035	-6.158	-6.262	-6.344	-6.404	-6.441	-6.458					-200
-100	-3.553	-3.852	-4.138	-4.410	-4.669	-4.912	-5.141	-5.354	-5.550	-5.730	-5.891		-100
0	0.000	-0.392	-0.777	-1.156	-1.527	-1.889	-2.243	-2.586	-2.920	-3.242	-3.553		0
0	0.000	0.397	0.798	1.203	1.611	2.022	2.436	2.850	3.266	3.681	4.095		+ 0
100	4.095	4.508	4.919	5.327	5.733	6.137	6.539	6.939	7.338	7.737	8.137		100
200	8.137	8.537	8.938	9.341	9.745	10.151	10.560	10.969	11.381	11.793	12.207		200
300	12.207	12.623	13.039	13.456	13.874	14.292	14.712	15.132	15.552	15.974	16.395		300
400	16.395	16.818	17.241	17.664	18.088	18.513	18.938	19.363	19.788	20.214	20.640		400
500	20.640	21.066	21.493	21.919	22.346	22.772	23.198	23.624	24.050	24.476	24.902		500
600	24.902	25.327	25.751	26.176	26.599	27.022	27.445	27.867	28.288	28.709	29.128		600
700	29.128	29.547	29.965	30.383	30.799	31.214	31.629	32.042	32.455	32.866	33.277		700
800	33.277	33.686	34.095	34.502	34.909	35.314	35.718	36.121	36.524	36.925	37.325		800
900	37.325	37.724	38.122	38.519	38.915	39.310	39.703	40.096	40.488	40.879	41.269		900
1,000	41.269	41.657	42.045	42.432	42.817	43.202	43.585	43.968	44.349	44.729	45.108		1,000
1,100	45.108	45.486	45.863	46.238	46.612	46.985	47.356	47.726	48.095	48.462	48.828		1,100
1,200	48.828	49.192	49.555	49.916	50.276	50.633	50.990	51.344	51.697	52.049	52.398		1,200
1,300	52.398	52.747	53.093	53.439	53.782	54.125	54.466	54.807					1,300

TABLE XVIa

CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397		0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798		10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162	1.203		20
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570	1.611		30
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981	2.022		40

TABLE XVII  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE S THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
- 0	-0.092	-0.119	-0.145	-0.170	-0.194	-0.218						- 0
+ 0	-0.092	-0.064	-0.035	-0.006	0.024	0.055	0.087	0.119	0.152	0.186	0.221	+ 0
100	0.221	0.256	0.291	0.328	0.365	0.402	0.440	0.478	0.517	0.557	0.597	100
200	0.597	0.637	0.678	0.719	0.761	0.803	0.846	0.889	0.932	0.976	1.020	200
300	1.020	1.064	1.109	1.154	1.199	1.245	1.291	1.337	1.384	1.431	1.478	300
400	1.478	1.525	1.573	1.620	1.669	1.717	1.765	1.814	1.863	1.912	1.962	400
500	1.962	2.011	2.061	2.111	2.161	2.211	2.262	2.313	2.363	2.414	2.465	500
600	2.465	2.517	2.568	2.620	2.672	2.723	2.775	2.828	2.880	2.932	2.985	600
700	2.985	3.037	3.090	3.143	3.196	3.249	3.302	3.356	3.409	3.463	3.516	700
800	3.516	3.570	3.624	3.678	3.732	3.786	3.840	3.895	3.949	4.004	4.058	800
900	4.058	4.113	4.168	4.223	4.278	4.333	4.388	4.443	4.498	4.554	4.609	900
1,000	4.609	4.665	4.721	4.776	4.832	4.888	4.944	5.000	5.057	5.113	5.169	1,000
1,100	5.169	5.226	5.283	5.339	5.396	5.453	5.510	5.567	5.625	5.682	5.740	1,100
1,200	5.740	5.797	5.855	5.913	5.971	6.029	6.087	6.146	6.204	6.263	6.321	1,200
1,300	6.321	6.380	6.439	6.498	6.557	6.616	6.675	6.734	6.794	6.853	6.913	1,300
1,400	6.913	6.972	7.032	7.092	7.152	7.212	7.272	7.333	7.393	7.454	7.514	1,400
1,500	7.514	7.575	7.636	7.697	7.758	7.819	7.880	7.942	8.003	8.065	8.126	1,500
1,600	8.126	8.188	8.250	8.312	8.374	8.436	8.498	8.560	8.623	8.685	8.748	1,600
1,700	8.748	8.811	8.874	8.937	9.000	9.063	9.126	9.190	9.253	9.317	9.380	1,700
1,800	9.380	9.444	9.508	9.572	9.636	9.700	9.764	9.829	9.893	9.958	10.023	1,800
1,900	10.023	10.087	10.152	10.217	10.282	10.348	10.413	10.478	10.544	10.609	10.675	1,900
2,000	10.675	10.740	10.806	10.872	10.938	11.004	11.070	11.136	11.202	11.268	11.335	2,000
2,100	11.335	11.401	11.467	11.534	11.600	11.667	11.734	11.800	11.867	11.934	12.001	2,100
2,200	12.001	12.067	12.134	12.201	12.268	12.335	12.402	12.469	12.536	12.604	12.671	2,200
2,300	12.671	12.738	12.805	12.872	12.940	13.007	13.074	13.142	13.209	13.276	13.344	2,300
2,400	13.344	13.411	13.478	13.546	13.613	13.681	13.748	13.815	13.883	13.950	14.018	2,400
2,500	14.018	14.085	14.152	14.220	14.287	14.354	14.422	14.489	14.556	14.624	14.691	2,500
2,600	14.691	14.758	14.826	14.893	14.960	15.027	15.094	15.161	15.228	15.295	15.362	2,600
2,700	15.362	15.429	15.496	15.563	15.630	15.697	15.763	15.830	15.897	15.963	16.030	2,700
2,800	16.030	16.096	16.163	16.229	16.296	16.362	16.428	16.494	16.560	16.626	16.692	2,800
2,900	16.692	16.758	16.824	16.890	16.955	17.021	17.086	17.152	17.217	17.282	17.347	2,900
3,000	17.347	17.412	17.477	17.542	17.607	17.672	17.736	17.801	17.865	17.929	17.993	3,000
3,100	17.993	18.056	18.119	18.182	18.245	18.307	18.369	18.431	18.492	18.552	18.612	3,100
3,200	18.612	18.672										3,200

\* CONVERTED FROM DEGREES C (IPTS 1968).

TABLE XVIII  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
30	-0.006	-0.003	0.000	0.003	0.006	0.009	0.012	0.015	0.018	0.021	0.024	30
40	0.024	0.027	0.030	0.033	0.037	0.040	0.043	0.046	0.049	0.052	0.055	40
50	0.055	0.058	0.062	0.065	0.068	0.071	0.074	0.077	0.081	0.084	0.087	50
60	0.087	0.090	0.093	0.097	0.100	0.103	0.106	0.110	0.113	0.116	0.119	60
70	0.119	0.123	0.126	0.129	0.133	0.136	0.139	0.142	0.146	0.149	0.152	70
80	0.152	0.156	0.159	0.163	0.166	0.169	0.173	0.176	0.179	0.183	0.186	80
90	0.186	0.190	0.193	0.197	0.200	0.203	0.207	0.210	0.214	0.217	0.221	90
100	0.221	0.224	0.228	0.231	0.235	0.238	0.242	0.245	0.249	0.252	0.256	100
110	0.256	0.259	0.263	0.266	0.270	0.274	0.277	0.281	0.284	0.288	0.291	110

TABLE XVIII  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE S THERMOCOUPLES

REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).

DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C
	THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS											
- 0	0.000	-0.053	-0.103	-0.150	-0.194	-0.236						- 0
+ 0	0.000	0.055	0.113	0.173	0.235	0.299	0.365	0.432	0.502	0.573	0.645	+ 0
100	0.645	0.719	0.795	0.872	0.950	1.029	1.109	1.190	1.273	1.356	1.440	100
200	1.440	1.525	1.611	1.698	1.785	1.873	1.962	2.051	2.141	2.232	2.323	200
300	2.323	2.414	2.506	2.599	2.692	2.786	2.880	2.974	3.069	3.164	3.260	300
400	3.260	3.356	3.452	3.549	3.645	3.743	3.840	3.938	4.036	4.135	4.234	400
500	4.234	4.333	4.432	4.532	4.632	4.732	4.832	4.933	5.034	5.136	5.237	500
600	5.237	5.339	5.442	5.544	5.648	5.751	5.855	5.960	6.064	6.169	6.274	600
700	6.274	6.380	6.486	6.592	6.699	6.805	6.913	7.020	7.128	7.236	7.345	700
800	7.345	7.454	7.563	7.672	7.782	7.892	8.003	8.114	8.225	8.336	8.448	800
900	8.448	8.560	8.673	8.786	8.899	9.012	9.126	9.240	9.355	9.470	9.585	900
1000	9.585	9.700	9.816	9.932	10.048	10.165	10.282	10.400	10.517	10.635	10.754	1000
1100	10.754	10.872	10.991	11.110	11.229	11.348	11.467	11.587	11.707	11.827	11.947	1100
1200	11.947	12.067	12.188	12.308	12.429	12.550	12.671	12.792	12.913	13.034	13.155	1200
1300	13.155	13.276	13.397	13.519	13.640	13.761	13.883	14.004	14.125	14.247	14.368	1300
1400	14.368	14.489	14.610	14.731	14.852	14.973	15.094	15.215	15.336	15.456	15.576	1400
1500	15.576	15.697	15.817	15.937	16.057	16.176	16.296	16.415	16.534	16.653	16.771	1500
1600	16.771	16.890	17.008	17.125	17.243	17.360	17.477	17.594	17.711	17.826	17.942	1600
1700	17.942	18.056	18.170	18.282	18.394	18.504	18.612					1700

TABLE XVIIIa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
	THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS											
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050	0.055	0
10	0.055	0.061	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.095	0.101	0.107	0.113	10
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.142	0.148	0.154	0.161	0.167	0.173	20
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.203	0.210	0.216	0.222	0.228	0.235	30
40	0.235	0.241	0.247	0.254	0.260	0.266	0.273	0.279	0.286	0.292	0.299	40

TABLE XIX  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE R THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
- 0	-0.089	-0.116	-0.141	-0.165	-0.180	-0.210						- 0	
+ 0	-0.089	-0.083	-0.035	-0.006	0.024	0.054	0.085	0.119	0.150	0.184	0.218	+ 0	
100	0.210	0.253	0.289	0.326	0.363	0.400	0.439	0.478	0.517	0.557	0.598	100	
200	0.598	0.639	0.681	0.723	0.766	0.809	0.852	0.897	0.941	0.986	1.032	200	
300	1.032	1.077	1.124	1.170	1.217	1.265	1.313	1.361	1.409	1.458	1.508	300	
400	1.508	1.557	1.607	1.657	1.708	1.758	1.810	1.861	1.913	1.964	2.017	400	
500	2.017	2.069	2.122	2.175	2.228	2.282	2.335	2.389	2.443	2.498	2.552	500	
600	2.552	2.607	2.662	2.718	2.773	2.829	2.885	2.941	2.997	3.053	3.110	600	
700	3.110	3.167	3.224	3.281	3.338	3.396	3.453	3.511	3.569	3.627	3.686	700	
800	3.686	3.744	3.803	3.862	3.921	3.980	4.039	4.099	4.158	4.218	4.278	800	
900	4.278	4.338	4.398	4.458	4.519	4.580	4.640	4.701	4.762	4.824	4.885	900	
1,000	4.885	4.947	5.008	5.070	5.132	5.194	5.256	5.319	5.381	5.444	5.507	1,000	
1,100	5.507	5.570	5.633	5.696	5.759	5.823	5.886	5.950	6.014	6.078	6.143	1,100	
1,200	6.143	6.207	6.272	6.336	6.401	6.466	6.532	6.597	6.662	6.728	6.794	1,200	
1,300	6.794	6.860	6.926	6.992	7.059	7.125	7.192	7.259	7.326	7.393	7.460	1,300	
1,400	7.460	7.527	7.595	7.663	7.731	7.799	7.867	7.935	8.004	8.072	8.141	1,400	
1,500	8.141	8.210	8.279	8.348	8.417	8.487	8.556	8.626	8.696	8.766	8.836	1,500	
1,600	8.836	8.907	8.977	9.048	9.118	9.189	9.260	9.331	9.403	9.474	9.546	1,600	
1,700	9.546	9.617	9.689	9.761	9.833	9.906	9.979	10.050	10.123	10.196	10.269	1,700	
1,800	10.269	10.342	10.415	10.488	10.562	10.636	10.709	10.783	10.857	10.931	11.006	1,800	
1,900	11.006	11.080	11.155	11.229	11.304	11.379	11.454	11.529	11.605	11.680	11.756	1,900	
2,000	11.756	11.831	11.907	11.983	12.059	12.135	12.211	12.287	12.363	12.440	12.516	2,000	
2,100	12.516	12.593	12.669	12.746	12.823	12.900	12.977	13.054	13.131	13.208	13.286	2,100	
2,200	13.286	13.363	13.440	13.518	13.595	13.673	13.751	13.828	13.906	13.984	14.062	2,200	
2,300	14.062	14.140	14.218	14.296	14.374	14.452	14.530	14.608	14.686	14.765	14.843	2,300	
2,400	14.843	14.921	15.000	15.078	15.156	15.235	15.313	15.391	15.470	15.548	15.627	2,400	
2,500	15.627	15.705	15.784	15.862	15.941	16.019	16.097	16.176	16.254	16.333	16.411	2,500	
2,600	16.411	16.490	16.568	16.646	16.725	16.803	16.882	16.960	17.038	17.116	17.195	2,600	
2,700	17.195	17.273	17.351	17.429	17.507	17.585	17.663	17.741	17.819	17.897	17.975	2,700	
2,800	17.975	18.053	18.130	18.208	18.286	18.363	18.441	18.518	18.595	18.673	18.750	2,800	
2,900	18.750	18.827	18.904	18.981	19.058	19.135	19.211	19.288	19.365	19.441	19.518	2,900	
3,000	19.518	19.594	19.670	19.746	19.822	19.898	19.974	20.050	20.125	20.200	20.275	3,000	
3,100	20.275	20.350	20.424	20.498	20.572	20.645	20.718	20.791	20.863	20.935	21.006	3,100	
3,200	21.006	21.077										3,200	

\* CONVERTED FROM DEGREES CELSIUS (1968).

TABLE XIXa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*												REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.	
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
30	-0.006	-0.003	0.000	0.003	0.006	0.009	0.012	0.015	0.018	0.021	0.024	30	
40	0.024	0.027	0.030	0.033	0.036	0.039	0.042	0.045	0.048	0.051	0.054	40	
50	0.054	0.057	0.060	0.064	0.067	0.070	0.073	0.076	0.079	0.082	0.086	50	
60	0.086	0.089	0.092	0.095	0.098	0.101	0.105	0.108	0.111	0.114	0.118	60	
70	0.118	0.121	0.124	0.127	0.131	0.134	0.137	0.141	0.144	0.147	0.150	70	
80	0.150	0.154	0.157	0.161	0.164	0.167	0.171	0.174	0.177	0.181	0.184	80	
90	0.184	0.188	0.191	0.194	0.198	0.201	0.205	0.208	0.212	0.215	0.218	90	
100	0.218	0.222	0.225	0.229	0.232	0.236	0.239	0.243	0.246	0.250	0.253	100	
110	0.253	0.257	0.261	0.264	0.268	0.271	0.275	0.278	0.282	0.286	0.289	110	

TABLE XX  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE R THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).													REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C		
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS														
0	0.000	-0.051	-0.100	-0.145	-0.188	-0.226							-	0
0	0.000	0.054	0.111	0.171	0.232	0.296	0.363	0.431	0.501	0.573	0.647		+	0
100	0.647	0.723	0.800	0.879	0.959	1.041	1.124	1.208	1.294	1.380	1.468			100
200	1.468	1.557	1.647	1.738	1.830	1.923	2.017	2.111	2.207	2.303	2.400			200
300	2.400	2.498	2.596	2.695	2.795	2.896	2.997	3.099	3.201	3.304	3.407			300
400	3.407	3.511	3.616	3.721	3.826	3.933	4.039	4.146	4.254	4.362	4.471			400
500	4.471	4.580	4.689	4.799	4.910	5.021	5.132	5.244	5.356	5.469	5.582			500
600	5.582	5.696	5.810	5.925	6.040	6.155	6.272	6.388	6.505	6.623	6.741			600
700	6.741	6.860	6.979	7.098	7.218	7.339	7.460	7.582	7.703	7.826	7.949			700
800	7.949	8.072	8.196	8.320	8.445	8.570	8.696	8.822	8.949	9.076	9.203			800
900	9.203	9.331	9.460	9.589	9.718	9.848	9.978	10.109	10.240	10.371	10.503			900
1000	10.503	10.636	10.768	10.902	11.035	11.170	11.304	11.439	11.574	11.710	11.846			1,000
1100	11.846	11.983	12.119	12.257	12.394	12.532	12.669	12.808	12.946	13.085	13.224			1,100
1200	13.224	13.363	13.502	13.642	13.782	13.922	14.062	14.202	14.343	14.483	14.624			1,200
1300	14.624	14.765	14.906	15.047	15.188	15.329	15.470	15.611	15.752	15.893	16.035			1,300
1400	16.035	16.176	16.317	16.458	16.599	16.741	16.882	17.022	17.163	17.304	17.445			1,400
1500	17.445	17.585	17.726	17.866	18.006	18.146	18.286	18.425	18.564	18.703	18.842			1,500
1600	18.842	18.981	19.119	19.257	19.395	19.533	19.670	19.807	19.944	20.080	20.215			1,600
1700	20.215	20.350	20.483	20.616	20.748	20.878	21.006							1,700

TABLE XXa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (IPTS 1968).													REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C		
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS														
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.027	0.032	0.038	0.043	0.049	0.054		0	
10	0.054	0.060	0.065	0.071	0.077	0.082	0.088	0.094	0.100	0.105	0.111		10	
20	0.111	0.117	0.123	0.129	0.135	0.141	0.147	0.152	0.158	0.165	0.171		20	
30	0.171	0.177	0.183	0.189	0.195	0.201	0.207	0.214	0.220	0.226	0.232		30	
40	0.232	0.239	0.245	0.251	0.258	0.264	0.271	0.277	0.283	0.290	0.296		40	

TABLE XXI  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE B THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES F.*													REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.
DEG F	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
0					-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002	-0.001	0	
100	-0.001	0.000	0.002	0.004	0.006	0.009	0.012	0.015	0.019	0.023	0.027	100	
200	0.027	0.032	0.037	0.043	0.049	0.055	0.061	0.068	0.075	0.083	0.090	200	
300	0.090	0.099	0.107	0.116	0.125	0.135	0.144	0.155	0.165	0.176	0.187	300	
400	0.187	0.199	0.210	0.223	0.235	0.248	0.261	0.275	0.288	0.303	0.317	400	
500	0.317	0.332	0.347	0.362	0.378	0.394	0.410	0.427	0.444	0.462	0.479	500	
600	0.479	0.497	0.515	0.534	0.553	0.572	0.592	0.612	0.632	0.652	0.673	600	
700	0.673	0.694	0.716	0.737	0.759	0.782	0.804	0.827	0.851	0.874	0.898	700	
800	0.898	0.922	0.947	0.972	0.997	1.022	1.048	1.074	1.100	1.127	1.153	800	
900	1.153	1.181	1.208	1.236	1.264	1.292	1.321	1.350	1.379	1.409	1.438	900	
1,000	1.438	1.468	1.499	1.529	1.560	1.591	1.623	1.655	1.687	1.719	1.752	1,000	
1,100	1.752	1.785	1.818	1.851	1.885	1.919	1.953	1.988	2.022	2.058	2.093	1,100	
1,200	2.093	2.128	2.164	2.201	2.237	2.274	2.311	2.348	2.385	2.423	2.461	1,200	
1,300	2.461	2.499	2.538	2.576	2.615	2.655	2.694	2.734	2.774	2.814	2.855	1,300	
1,400	2.855	2.896	2.937	2.978	3.019	3.061	3.103	3.146	3.188	3.231	3.274	1,400	
1,500	3.274	3.317	3.361	3.404	3.448	3.492	3.537	3.581	3.626	3.672	3.717	1,500	
1,600	3.717	3.762	3.808	3.854	3.901	3.947	3.994	4.041	4.088	4.136	4.183	1,600	
1,700	4.183	4.231	4.279	4.327	4.376	4.425	4.474	4.523	4.572	4.622	4.672	1,700	
1,800	4.672	4.722	4.772	4.823	4.873	4.924	4.975	5.027	5.078	5.130	5.182	1,800	
1,900	5.182	5.234	5.286	5.339	5.391	5.444	5.497	5.551	5.604	5.658	5.712	1,900	
2,000	5.712	5.766	5.820	5.875	5.930	5.984	6.039	6.095	6.150	6.206	6.262	2,000	
2,100	6.262	6.318	6.374	6.430	6.487	6.543	6.600	6.657	6.714	6.772	6.829	2,100	
2,200	6.829	6.887	6.944	7.003	7.061	7.120	7.178	7.237	7.296	7.355	7.414	2,200	
2,300	7.414	7.473	7.533	7.592	7.652	7.712	7.772	7.833	7.893	7.953	8.014	2,300	
2,400	8.014	8.075	8.136	8.197	8.258	8.319	8.381	8.442	8.504	8.566	8.628	2,400	
2,500	8.628	8.690	8.752	8.814	8.877	8.939	9.002	9.065	9.128	9.191	9.254	2,500	
2,600	9.254	9.317	9.380	9.443	9.507	9.570	9.634	9.697	9.761	9.825	9.889	2,600	
2,700	9.889	9.953	10.017	10.081	10.145	10.210	10.274	10.338	10.403	10.467	10.532	2,700	
2,800	10.532	10.596	10.661	10.726	10.790	10.855	10.920	10.985	11.050	11.115	11.179	2,800	
2,900	11.179	11.244	11.309	11.374	11.439	11.504	11.569	11.634	11.699	11.764	11.829	2,900	
3,000	11.829	11.894	11.959	12.024	12.089	12.154	12.219	12.284	12.349	12.413	12.478	3,000	
3,100	12.478	12.543	12.608	12.672	12.737	12.801	12.866	12.930	12.995	13.059	13.124	3,100	
3,200	13.124	13.188	13.252	13.316	13.380	13.444	13.508	13.572	13.635	13.699	13.763	3,200	
3,300	13.763											3,300	

\* CONVERTED FROM DEGREES CELSIUS (1968).

TABLE XXIa  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 32°F  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES F.*													REFERENCE JUNCTION AT 32 DEGREES F.
DEG F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG F	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
30	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	30	
40	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	40	
50	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	50	
60	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	60	
70	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	70	
80	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	80	
90	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	90	
100	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	100	
110	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	110	

TABLE XXII  
TEMPERATURE-EMF FOR TYPE B THERMOCOUPLES

TEMPERATURES IN DEGREES C (1PTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	DEG C.	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
0	0.000	-0.002	-0.003	-0.002	-0.000	0.002	0.006	0.011	0.017	0.025	0.033	0	
100	0.033	0.043	0.053	0.065	0.078	0.092	0.107	0.123	0.140	0.159	0.178	100	
200	0.178	0.199	0.220	0.243	0.266	0.291	0.317	0.344	0.372	0.401	0.431	200	
300	0.431	0.462	0.494	0.527	0.561	0.596	0.632	0.669	0.707	0.746	0.786	300	
400	0.786	0.827	0.870	0.913	0.957	1.002	1.048	1.095	1.143	1.192	1.241	400	
500	1.241	1.292	1.344	1.397	1.450	1.505	1.560	1.617	1.674	1.732	1.791	500	
600	1.791	1.851	1.912	1.974	2.036	2.100	2.164	2.230	2.296	2.363	2.430	600	
700	2.430	2.499	2.569	2.639	2.710	2.782	2.855	2.928	3.003	3.078	3.154	700	
800	3.154	3.231	3.308	3.387	3.466	3.546	3.626	3.708	3.790	3.873	3.957	800	
900	3.957	4.041	4.126	4.212	4.298	4.386	4.474	4.562	4.652	4.742	4.833	900	
1,000	4.833	4.924	5.016	5.109	5.202	5.297	5.391	5.487	5.583	5.680	5.777	1,000	
1,100	5.777	5.875	5.973	6.073	6.172	6.273	6.374	6.475	6.577	6.680	6.783	1,100	
1,200	6.783	6.887	6.991	7.096	7.202	7.308	7.414	7.521	7.628	7.736	7.845	1,200	
1,300	7.845	7.953	8.063	8.172	8.283	8.393	8.504	8.616	8.727	8.839	8.952	1,300	
1,400	8.952	9.065	9.178	9.291	9.405	9.519	9.634	9.748	9.863	9.979	10.094	1,400	
1,500	10.094	10.210	10.325	10.441	10.558	10.674	10.790	10.907	11.024	11.141	11.257	1,500	
1,600	11.257	11.374	11.491	11.608	11.725	11.842	11.959	12.076	12.193	12.310	12.426	1,600	
1,700	12.426	12.543	12.659	12.776	12.892	13.008	13.124	13.239	13.354	13.470	13.585	1,700	
1,800	13.585	13.699	13.814									1,800	

TABLE XXIII  
CORRECTION TABLE FOR REFERENCE JUNCTION OTHER THAN 0°C  
(Correction to be Added to Observed EMF)

TEMPERATURES IN DEGREES C (1PTS 1968).												REFERENCE JUNCTION AT 0 DEGREES C.	
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C	
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS													
0	0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	0	
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	10	
20	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	20	
30	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.000	30	
40	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	40	

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard method for calibration of thermocouples by comparison techniques. Standard E220-72. Philadelphia, ASTM, 1972.
2. \_\_\_\_\_ Manual on the use of thermocouples in temperature measurement. Special technical publication SPT-470A. Philadelphia, ASTM, 1974.
3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. Bibliography of temperature measurement. Monograph 27. NBS, June 1960.
4. \_\_\_\_\_ Reference tables for low temperature thermocouples. Monograph 124. NBS.
5. \_\_\_\_\_ Thermocouple reference tables based on the IPTS-68. Monograph 125. NBS.
6. \_\_\_\_\_ Precision measurement and calibration-temperature. NBS special publication, vol. II, 1968.
7. SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Information on standard reference junction ice baths. New York, SAE ARP 691, 1963.
8. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. Methods of testing thermocouple materials. Circular 590, 1956.
9. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Temperature measurement. Performance test codes supplement on instruments and apparatus. Part 3. PTC 19.3-1974.
10. THERMOCOUPLE thermometers. PMC standard n°8-10-1963. SAMA-PMC Section Inc.