

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL



## CARRERA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA:** ESTUDIO Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA  
CALIBRACIÓN EN BASE A BAÑO DE SALES PARA  
TERMÓMETROS DE ALTA TEMPERATURA QUE MIDA ENTRE  
400° C HASTA 800° C

**AUTOR:** FREIRE VILLACIS JOSE ARMANDO

**TUTOR:** ING. MSC. ESCOBAR CHARLES

2013

## DEDICATORIA

Mi proyecto realizado, esta dedicado con mucho cariño a mis padres ya que fueron unos de los pilares fundamentales para llegar a culminar mi carrera así como también en mi formación personal y académica, y de manera especial a mi familia que me apoyaron para cumplir mi objetivo y metas propuestas

A Sintya que con su apoyo incondicional me dio aliento para culminar mi carrera

A mis amigos que a pesar de la distancia y de tener rumbos diferentes estuvieron en momentos difíciles ayudándonos mutuamente para sobrellevar los obstáculos de una manera sincera y desinteresada.

Finalmente pero no menos importantes, a mis compañeros de aula que

Durante toda la carrera tuvimos que luchar hombro a hombro por un objetivo en Común, encontrando siempre ayuda desinteresada e incondicional.

## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a las personas que con su ayuda, este trabajo se lo pudo desarrollar y culminar.

A Dios, por bendecirme con una familia y amigos que están siempre a mi lado incondicionalmente en cualquier momento de mi vida.

Con mucho cariño a mis Padres que a más de darme la vida, han sido el cimiento para mi desarrollo, sin su cariño, comprensión, dedicación y entrega nada de lo que actualmente estoy viviendo y lo que soy hubiese sido posible.

A los profesores de la UISRAEL, quienes nos brindaron toda su experiencia y conocimientos en nuestro desarrollo académico y profesional.

A mis compañeros de clase, en los cuales encontré apoyo y entrega desinteresada.

Al Ing. Msc Charles Escobar por su valiosa aportación y conocimiento a esta investigación para culminar con éxito

## RESUMEN

En el siguiente proyecto se realizó el estudio y diseño de un sistema de calibración en base a baño de sales para termómetros de alta temperatura en el rango 400° C a 800° C.

Sistemas de calibración (baño de sales) de termómetros en rangos superiores a 400°C no existe en el país, problemática considerada en el presente proyecto, que en base a un proceso de investigación se determinó los parámetros, y sus valores para el diseño del sistema, como: exactitud, niveles de histéresis, estabilidad, gradientes térmicas, etc.

Lo que en el proceso de investigación se definió, con el objetivo de tener un sistema para calibrar termómetros analógicos, digitales aplicando las normas metrológicas y de acreditación como la MTE/MEN ISO/IEC17025

Para el baño de sales, en primera instancia se debe utilizar un sistema térmico apropiado, para lo cual el diseño debe estar acoplado a esta necesidad, así como también, deberá tener un sistema de calentamiento rápido, que se lo podría conseguir con resistencias eléctricas; además contará con un sistema de control apropiado que se escogerá de entre los diferentes tipos de control investigados, el cual permitirá manejar y manipular los diferentes elementos que intervendrán en el baño de sales; pero especialmente se tomará en cuenta la temperatura, que dependerá del tipo de termómetro a calibrar, para su medición térmica y validación deberá tener uno o más sensores, dependiendo del diseño y que puedan soportar este tipo de temperaturas, todo este sistema en conjunto y mediante la intervención química servirá para calibrar los termómetros en dicho rango.

En capítulo 1, se presentan los antecedentes, problema de la investigación, estudio de factibilidad, sistematización, objetivos generales y específicos, justificación, alcance limitaciones, así como también la metodología utilizada.

El capítulo 2, hace referencia al marco teórico para el diseño del proyecto, marco conceptual, marco legal y espacial

El capítulo 3 detalla el diseño del prototipo de calibrador de baño de sales para termómetros de alta temperatura

En el capítulo 4 se realizó un análisis económico con el fin de presentar valores de lo que implica realizar dicho proyecto, con su respectivo análisis costo – beneficio.

El capítulo 5, contiene las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## ABSTRACT

The parameters and their values for the design of the system, as accurately hysteresis levels, stability, thermal gradients, etc.

What in the research process will be defined, in order to have a system for calibrating The next project will be the study and design of a calibration system based on bath salts for high temperature thermometers in the range 400 ° C to 800 ° C.

Calibration systems (bath salts) of thermometers in ranges above 400 ° C does not exist in the country, issues considered in this project, based on a process of investigation will determine thermometers analog, digital applying metrological standards and accreditation as the MTE/MENISO/IEC17025.

For the bath salts, in the first instance you should use a proper thermal system, for which the design must be coupled to this need, and also must have a rapid heating system, which is what could be achieved with electric heaters; will also have a control system appropriate to choose between different types of control investigated, which will manage and manipulate the different elements that intervene in the salt bath, but will be taken into account especially the temperature, which depends on the thermometer to be calibrated, for measuring temperature and validation must have one or more sensors, and depending on the design that can withstand such temperatures, this system all together through chemical intervention serve to calibrate the thermometer in said range.

In Chapter 1 provides background, research problem, feasibility study, systematic, general and specific objectives, rationale, scope limitations, as well as the methodology used.

Chapter 2 refers to the theoretical framework for the design of the project, conceptual framework, legal framework and spatial.

Chapter 3 details the design of the prototype gauge bath salts for high temperature thermometers.

In Chapter 4, an economic analysis was performed in order to present values implying perform this project, with its own cost - benefit analysis.

Chapter 5 contains the conclusions and recommendations of the research.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIX
GLOSARIO .....	XX
CAPITULO I .....	21
1.1 INTRODUCCIÓN .....	21
1.1.2 ANTECEDENTES .....	22
1.1.3 PROBLEMA INVESTIGADO .....	23
1.1.3.1 Problema principal .....	24
1.1.3.2 Subproblema.....	24
1.1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	25
1.1.5 JUSTIFICACIÓN .....	25
1.2 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.....	26
1.2.1 TÉCNICA.....	26
1.2.2 OPERATIVA.....	26
1.2.3 ECONÓMICO .....	26
1.3 SISTEMATIZACIÓN.....	26
1.3.1 DIAGNOSTICO .....	26
1.3.2 PRONOSTICO .....	28
1.3.3 CONTROL DE PRONÓSTICO .....	28
1.4 OBJETIVOS .....	29
1.4.1 Objetivo Principal.....	29
1.4.2 Objetivos específicos.....	29
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	29
1.5.1 Justificación teórica.....	29

1.5.2	Justificación práctica .....	30
1.5.3	Justificación metodológica .....	30
1.6	ALCANCE Y LIMITACIONES .....	31
1.6.1	Alcance .....	31
1.6.2	Limitaciones .....	31
CAPITULO II.....		32
2.1	MARCO DE REFERENCIA.....	32
2.2	MARCO TEÓRICO .....	32
2.2.1	METROLOGIA .....	34
2.2.1.2	IMPORTANCIA Y BENEFICIOS DE LA METROLOGÍA.....	35
2.2.1.3	TIPOS DE METROLOGÍA.....	38
2.2.1.3.1	La Metrología Legal.....	38
2.2.1.3.2	La Metrología Industrial .....	39
2.2.1.3.3	La Metrología Científica.....	39
2.2.2	TERMOMETRÍA.....	39
2.2.2.1	Propiedades termométricas .....	41
2.2.3	TEMPERATURA.....	41
2.2.3.1	Equilibrio térmico.....	42
2.2.3.2	Medición de estados térmicos .....	44
2.2.3.4	Escala internacional de temperaturas.....	45
2.2.3.5	Temperatura de referencia .....	56
2.2.3.6	Exactitud.....	58
2.2.3.7	Verificación de termómetros .....	59
2.2.3.8	Verificación basada en un termómetro de infrarrojo.....	59
2.2.4	CALIBRACIÓN BAÑO DE SALES .....	60
2.2.5	HORNO DE BAÑO SALES .....	60
2.2.5.1	Hornos de Alta Temperatura .....	61
2.2.5.2	Hornos de Tratamiento Térmico .....	61
2.2.6	MODOS DE CALENTAMIENTO .....	62
2.2.7	DEFINICIÓN DE CONTROL .....	63
2.2.7.1	Generalidades .....	64

2.2.7.2	Conceptos básicos .....	65
2.2.7.3	Lazo abierto .....	65
2.2.7.4	Lazo cerrado.....	66
2.2.8	TERMOCUPLAS.....	67
2.2.8.1	La Termocupla práctica .....	67
2.2.8.2	Diseño de las termocuplas .....	70
2.2.8.3	Construcción con blindaje metálico .....	70
2.2.8.4	Leyes de las termocuplas .....	73
2.2.8.5	Ley de metales homogéneos.....	73
2.2.8.5.1	Ley de metales intermediarios a temperatura única.....	73
2.2.9	PIRÓMETROS .....	75
2.2.9.1	Teoría de los Pirómetros .....	75
2.2.10	SALES .....	78
2.2.10.1	Denominaciones .....	79
2.2.10.2	Clasificaciones de la sal.....	79
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	80
2.3.1	TIPOS DE TERMÓMETROS .....	80
2.3.1.1	Termómetro de expansión líquida. ....	80
2.3.1.2	Termómetros de Gas.....	82
2.3.1.3	Termómetros digitales .....	85
2.3.1.4	Termómetros por expansión metálica.....	86
2.3.1.5	Par térmico .....	87
2.3.1.6	Termómetros termistor .....	88
2.3.1.7	Termómetro Pt100.....	88
2.3.2	MÉTODOS DE CALIBRACIÓN .....	90
2.3.2.1	Método de punto de congelación.....	90
2.3.2.2	Método de punto de ebullición.....	91
2.3.2.3	Calibración de un termómetro de gas.....	91
2.3.2.4	Calibración de un termómetro basado en una termocupla .....	92
2.3.3	ALTERNATIVAS PARA CALIBRAR ALTAS TEMPERATURAS .....	95
2.3.3.1	SISTEMAS TERMALES DE CALIBRACIÓN.....	95

2.3.3.2	Punto de Hielo .....	95
2.3.3.3	Baños de Líquidos .....	96
2.3.3.4	Baño de sales .....	98
2.3.3.5	Bloques secos. ....	98
2.3.3.6	Cuerpos Negros.....	100
2.3.4	TIPOS DE HORNOS.....	101
2.3.4.1	HORNOS TIPO BATCH .....	101
2.3.4.1.1	Hornos de Baño Líquido.....	101
2.3.4.1.2	Hornos de Lecho Fluidizado.....	103
2.3.4.2	HORNOS PARA FUSIÓN.....	104
2.2.4.2.1	Hornos eléctricos.....	104
2.3.4.3	HORNOS DE CRISOL.....	107
2.3.4.3.1	Tipos de horno de crisol .....	108
2.3.4.3.2	Formas de calentamiento en los hornos de crisol .....	111
2.3.5	CLASIFICACIÓN DEL ACERO .....	112
2.3.5.1	Aceros al carbono.....	112
2.3.5.2	Aceros de aleación .....	112
2.3.5.3	Aceros de baja aleación ultra resistentes .....	112
2.3.5.4	Aceros inoxidable.....	112
2.3.5.5	Aceros de herramientas.....	113
2.3.6	CENSORES DE TEMPERATURA .....	114
2.3.6.1	SENSORES RESISTIVOS .....	114
2.3.6.1.1	Sensores PTC .....	115
2.3.6.1.2	Sensores NTC.....	115
2.3.6.1.2	Sensores Resistivos de Platino .....	116
2.3.6.1.3	Tipos de sensores resistivos .....	116
2.3.7	TIPOS DE TERMOCUPLAS .....	116
2.3.7.1	Tipo B ( PtRh 30% - PtRh 6%).....	116
2.3.7.2	Tipo R (PtRh 13% - Pt ) .....	117
2.3.7.3	Tipo S (PtRh 10 % - Pt ) .....	117
2.3.7.4	Tipo J (Fe - CuNi ) .....	118

2.3.7.5	Tipo K (NiCr Ni) .....	119
2.3.7.6	Tipo T (Cu - CuNi ) .....	120
2.3.7.7	Tipo E ( NiCr - CuNi ).....	120
2.3.8	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DADA PARA LA TERMOCUPLA.....	122
2.3.9	TIPOS DE PIRÓMETROS .....	125
2.3.9.1	Pirómetros Ópticos .....	125
2.3.9.2	Pirómetros de radiación.....	127
2.4	MARCO LEGAL.....	129
2.5	MARCO ESPACIAL.....	129
2.6	INVESTIGACIÓN .....	130
2.6.1	Procesó de investigación .....	130
2.6.2	Tipo de investigación.....	130
2.6.3	Método .....	130
2.6.4	Técnica.....	130
2.6.5	Instrumento .....	130
CAPÍTULO III.....		131
3.-	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BAÑO DE SALES PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE ALTA TEMPERATURA PARA UN RANGO DE 400°C A 800° C.....	131
3.1	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN, PARA PLANTEAR UN DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BAÑO DE SALES PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS.....	133
3.1.1	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN A UTILIZAR ....	136
3.1.2	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE HORNO.....	136
3.2	DISEÑO DE UN PROTOTIPO BAÑO DE SALES .....	138
3.2.1	CRISOL.....	138
3.2.1.1	Forma del crisol .....	138
3.2.1.2	Área del crisol .....	139
3.2.1.3	Volumen del crisol .....	139
3.2.1.4	Material del crisol.....	140

3.2.2	DISEÑO TERMODINÁMICO DEL HORNO .....	140
3.2.2.1	Cálculo tentativo para la dimensión del horno .....	141
3.2.3.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL HORNO .....	157
3.2.3.1	Resistencias .....	157
3.2.4	TERMOCUPLA.....	161
3.2.5	DISEÑO DEL CONTROL.....	161
3.2.5.1	Control de temperatura .....	161
CAPITULO IV.....		184
4.1	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	184
4.2	COSTO DE MATERIALES. ....	184
4.2.1	Materia prima directa (MPD). ....	184
4.2.2	Costos indirectos de fabricación (CIF). ....	186
4.2.3	Mano de obra directa (MOD).....	187
4.3	ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.....	188
4.4	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO .....	191
4.5	TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RETORNO (TEMAR).....	191
4.6	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	192
4.7	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	193
4.8	MATRIZ FODA. ....	194
CAPITULO V .....		195
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	195
5.1	CONCLUSIONES.....	195
5.2	RECOMENDACIONES.....	196
BIBLIOGRAFIA .....		197
ANEXOS.....		201

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Fig. 2.1 esquema del sistema de baño de sales.....	32
Fig. 2.2 Diagrama del equilibrio térmico.....	42
Fig. 2.3 Un sólido expuesto a una fuente de calor se dilata.....	43
Fig. 2.3. a El cuerpo A y el líquido B están en equilibrio térmico. ....	43
Fig. 2.4 Hornos de alta temperatura .....	61
Fig. 2.5 Horno tipo batch pequeño.....	63
Fig. 2.6 Diagrama esquemático de un sistema de control .....	64
Fig. 2.7 Diagrama esquemático de un sistema de control de lazo abierto.....	66
Fig. 2.8 Diagrama esquemático de un sistema de control de lazo cerrado.....	66
Fig. 2.9 Las termocuplas se basan para su funcionamiento en el efecto SEEBEK .....	67
Fig. 2.10 Termocupla practica .....	68
Fig. 2.11 Diseño de una termocupla con carcasa cerrada en el extremo .....	68
Fig. 2.12 Termocuplas no estándar .....	68
Fig. 2.13 Curvas de las diferentes aleaciones de las termocuplas .....	69
Fig. 2.14 Construcción de la junta de medición en termocuplas compactadas .	71
Fig. 2.15 Esquemmatización de la ley de metales intermediarios a temperatura única.....	74
Fig. 2.16 Esquemmatización de las leyes de termocuplas. ....	74
Fig. 2.17 Espectro de radiación electromagnética .....	76
Fig. 2.18 Absorción y emisión de radiación .....	77
Fig. 2.18a Superficie de un cuerpo negro .....	78
Fig. 2.18b Superficie de un cuerpo negro .....	78
Fig. 2.19 Sistema térmico sencillo para medir la temperatura industrial .....	81
Fig. 2.20 Termómetro por expansión líquida totalmente compensada.....	81
Fig. 2.21 El termómetro de gas a volumen constante.....	83
Fig. 2.23 termómetro por presión de gas.....	84
Fig. 2.24 Ejemplo de un termómetro digital .....	85
Fig. 2.25 Indicador de temperatura para uso industrial con un elemento bimetálico helicoidal.....	86

Fig. 2.26 hilos A y B de metales distintos formando un circuito cerrado, para producir una f.e.m.....	87
Fig. 2.27 Termómetros Pt 100 con 4 hilos de -199,9 a 850 °C .....	89
Fig. 2.28 Diagrama esquemático de un termómetro de gas. ....	92
Fig. 2.29 Diagrama esquemático de una termocupla, incluyendo el instrumento de medición y la temperatura de referencia.....	94
Fig. 2.30 Sistema de punto de hielo.....	96
Fig. 2.31 Calibrador de baños líquidos.....	97
Fig. 2.32 Temperaturas que alcanzan las sustancias para esta aplicación medida en °C.....	98
Fig. 2.33 Modelo de un horno de bloque en seco.....	99
Fig. 2.34 Temperaturas que alcanzan los elementos para esta aplicación medida en °C .....	100
Fig. 2.35 Principales tipos de hornos de sales.....	102
Fig. 2.36 Horno de resistencia con calentamiento indirecto.....	105
Fig. 2.37 Horno de crisol con calentamiento externo.....	105
Fig. 2.38 Formas de las resistencias metálicas. a) Helicoidal, b) Zig-Zag .....	106
Fig. 2.39 Posición de las resistencias no metálicas en los hornos. a) Montaje horizontal; b) montaje vertical. ....	107
Fig. 2.40 Modelo esquemático de un horno de crisol.....	108
Fig. 2.41 Distintos tipos de hornos de crisol .....	110
Figura 2.42 Variación no lineal con sensibilidad positiva o negativa.....	115
Figura 2.43.....	124
Figura 2.44.....	124
Fig 2.45.....	125
Fig. 2.46 Diagrama Esquemático de un pirómetro óptico .....	126
Fig. 2.47 Apariencia del filamento.....	127
Fig. 2.48 Esquema simplificado de un pirómetro de radiación.....	128
Fig. 3.1 Diagrama de bloques de los pasos para el diseño del sistema .....	134
Fig. 3.2 Diagrama de los elementos del horno .....	137
Fig. 3.3 Diagrama del crisol con su respectivo diámetro.....	139

Fig. 3.4 Diagrama del sistema .....	141
Fig. 3.5 Diagrama de la pared de la cámara.....	142
Fig. 3.6.a Diagrama de la pared lateral.....	143
Fig. 3.6.b Esquema de la conductividad térmica de los materiales de la pared lateral.....	143
Fig. 3.7 Diagrama de la pared superior.....	148
Fig. 3.8 Puente de Wheastone .....	161
Fig. 3.9 Circuito acondicionador .....	164
Fig. 3.10 Seguidor de tensión .....	165
Fig 3.11 transistor .....	166
Fig.3.12 Diagrama del circuito .....	166
Fig. 3.13 Diagrama de conexión del circuito .....	167
Fig. 3.14 Diagrama de bloques.....	167
Fig. 3.15 Diagrama de conexión del PIC16F628A.....	173
Fig. 3.16 Diagrama de conexión .....	175
Fig. 4.1 Punto de equilibrio. ....	190

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Ecuación de relación de variación de estado térmico .....	44
Ecuación 2.2 función lineal .....	44
Ecuación 2.3 .....	44
Ecuación 2.4 Temperatura termodinámica .....	50
Ecuación 2.5 relaciones entre la temperatura y la presión de vapor del $^3\text{He}$ y $^4\text{He}$ . .....	51
Ecuación 2.6 punto triple del neón con $^4\text{He}$ como sustancia termométrica .....	51
Ecuación 2.7 rango $T_{90}$ .....	52
Ecuación 2.8.a .....	52
Ecuación 2.8.b .....	52
Ecuación 2.9 temperatura del punto triple del agua.....	53
Ecuación 2.10 Funciones de referencia .....	53
Ecuación 2.11 Funciones de referencia .....	55
Ecuación 2.12 Termómetro de radiación .....	56
Ecuación 3.1 área de crisol.....	139
Ecuación 3.2 Volumen de crisol.....	139
Ecuación 3.3 Calculo perdida del flujo de calor .....	144
Ecuación 3.4 Resistencia térmica .....	144
Ecuación 3.5 Calculo perdidas de calor .....	145
Ecuación 3.6 Temperatura promedio.....	148
Ecuación 3.7 Coeficiente volumétrico de expansión térmica .....	149
Ecuación 3.8 Número de Grashof.....	149
Ecuación 3.9 Número de Raylesgh.....	150
Ecuación 3.10 Número de Nusselt.....	150
Ecuación 3.11 Coeficiente de convección térmica del aire .....	151
Ecuación 3.12 Área del Horno .....	151
Ecuación 3.13 Resistencia térmica .....	152
Ecuación 3.14 Resistencia termica .....	152
Ecuación 3.15 Perdida de calor en paredes .....	153

Ecuación 3.16 Perdida de calor total .....	153
Ecuación 3.17 Volumen .....	155
Ecuación 3.18 Área de contacto .....	156
Ecuación 3.19 Tiempo de enfriamiento del horno.....	156
Ecuación 3.20 Potencia .....	158
Ecuación 3.21 Volumen .....	158
Ecuación 3.22 Superficie .....	158
Ecuación 3.23 Area.....	158
Ecuación 3.24 Resistividad .....	158
Ecuación 3.25 Carga de La superficie .....	158
Ecuación 3.26 Longitud del hilo .....	159
Ecuación 3.27 Carga de la superficie .....	159
Ecuación 3.28.....	160
Ecuación 3.29 Combinación de ecuaciones .....	160
Ecuación 3.30 Resistencia final .....	162
Ecuación 3.31 Divisor de tensión.....	163
Ecuación 3.32 Divisor de tensión máximo .....	163
Ecuación 3.33 Voltaje mínimo .....	163
Ecuación 3.34 Voltaje máximo.....	164
Ecuación 3.35 Ganancia de un amplificador.....	164
Ecuación 3.36 .....	165
Ecuación 3.37 Voltaje de un seguidor de tensión .....	165
Ecuación 3.38 Resistencia de saturación del transistor.....	166
Ecuación 3.39 Función de transferencia de un horno.....	168
Ecuación 3.40 Coeficiente de amortiguamiento.....	168
Ecuación 3.41 Tiempo de estabilización.....	168
Ecuación 3.42 Punto de diseño .....	169
Ecuación 3.43 Modelo PID .....	169
Ecuación 3.44 LGR.....	169
Ecuación 3.45 condición de modulo .....	170
Ecuación 3.46 constante de calibración.....	171

Ecuación 3.47 constante de calibración.....	171
Ecuación 3.48 constante de calibración.....	171
Ecuación 4.1 Punto de equilibrio.....	189
Ecuación 4.2 Punto de equilibrio en cantidades .....	190
Ecuación 4.3 VAN.....	192

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores para las constantes $A_0$ , $A_1$ , $B_0$ , $B_1$ , $C_0$ , $C_1$ y $D_0$ de las funciones de referencia de las ecuaciones 2.10 y 2.11 respectivamente .....	54
Tabla 2.2 puntos fijos del rango IPTS-90.....	57
Tabla 2.3 Limitaciones ambientales de termocuplas (sin vainas) .....	72
Tabla: 2.4 Método del punto de congelación para calibrar un termómetro .....	90
Tabla: 2.5 Método del punto de congelación para calibrar un termómetro .....	91
Tabla 2.6 Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol. ....	111
Tabla 2.7 propiedades de algunos metales .....	113
Tabla 2.8 Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado .....	119
Tabla 2.9 Tolerancias de calibración para termocuplas estándar (referencia junta fría 0° C) según IEC 584 .....	121
Tabla 4.1 Materia Prima Directa .....	185
Tabla 4.2 Suministros y Materiales. ....	186
Tabla 4.3 Depreciación de Equipos. ....	186
Tabla 4.4 Servicios básicos y Arriendo .....	187
Tabla 4.5 Costos Indirectos de Fabricación. ....	187
Tabla 4.6 Costo de mano de obra directa. ....	187
Tabla 4.7 Costo de producción de una unidad. ....	188
Tabla 4.8 Punto de equilibrio. ....	188
Tabla 4.9 La tasa mínima atractiva de retorno.....	191
Tabla 4.10 Valor Actual Neto (VAN). ....	192
Tabla 4.11 Tasa Interna de Retorno (TIR). ....	193

## GLOSARIO

BAAS	British Association for de Advancement of Science
NIST	National Institute of Standards and Technology
NBS	National Bureau of Standards
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
CGPM	Conferencia General de Pesas y Medidas
IPTS	Instituto de Prospectiva Tecnológica
CIPM	Conferencia Internacional de pesas y medidas
RTDs	Detector de temperatura resistiva
DIN	Instituto Alemán de Normalización).
FEM	fuerza electromotriz
ISA	Arquitectura Estándar de la Industria
IEC	Comisión electrónica internacional
Invar	Metal que utiliza las cintas bimétricas
PTC	Potenciómetro de un termistor positivo
NTC	Potenciómetro negativa como en un termistor
Estabilidad	un sistema está en su estado de menor energía o equilibrio
Repetitividad	
Linealidad	
Chromel – Alumel	Material de una termocupla
Gradientes	Es el número de metros que tiene que subirse en la atmósfera para que la temperatura disminuya un grado.
Convección	Transferencia de calor
Termovaina	Metal donde se inserta la termocupla
Radiable	Emisión de luz, calor u otra energía
PDI	Proporcional de integración y derivación
LGR	Lugar geométrico de las raíces
PIC	Controlador de interfaz periférico

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se basa en el estudio y diseño de un prototipo para calibración en base a baño de sales para termómetros de alta temperatura que mida entre 400° C hasta 800° C con sus respectivos niveles de gradientes y estabilidad.

Estos procesos (baño de sales) no existen en Ecuador, lo cual es una necesidad a nivel nacional de las empresas que ocupan este tipo de termómetros, las mismas que al momento envían a calibrarlos al exterior.

Para la solución de estos inconvenientes, es importante implementar el sistema de baños de sales en el país, de tal modo que se puede calibrar los termómetros especialmente utilizados en las empresas siderúrgicas y petroleras de manera técnica, llegando a una exactitud con un error menor al 1% y en tiempos mucho menores que los utilizados para calibrar fuera del país.

El proyecto comprende el diseño en planos del sistema de baños de sales, previo a esto se realiza un estudio técnico y teórico para posteriormente hacer un estudio de factibilidad, en el mismo que se ha considerado todas las características para su implementación y especialmente para el cumplimiento de los objetivos; dando como resultado un prototipo baño de sales para calibrador de termómetros utilizados a altas temperaturas (400°C a 800° C) con niveles de gradientes y estabilidad requeridos.

El diseño gráfico fruto de este proyecto contiene; planos a escala como también los materiales con los que se debe fabricar cada componente del baño de sales, para su posterior sustento financiero.

Es así que en el presente capítulo, se expone en forma clara todos los componentes de la investigación, así como sus objetivos, antecedentes, la problematización la justificación y la metodología que impulso al investigador a desarrollar este proyecto.

### **1.1.2 ANTECEDENTES**

La explotación petrolera en Ecuador se inicia en 1924 con empresas explotadoras privadas como la Anglo, Shell y Texaco<sup>1</sup>, estas empresas cuentan con diferentes tecnologías que han ido evolucionando a lo largo de estos años con lo que ha permitido evolucionar los diferentes procesos de extracción y que continúa hasta la fecha, uno de los procesos es el de separación que sirve para dividir el petróleo de las impurezas como el agua, lodo, barro, gas, etc. Esta extracción es conducida a través de tuberías controladas bajo puntos de presión y temperatura dadas que luego es dirigida a los calentadores, que son recipientes de diferentes dimensiones donde se almacena el petróleo y a la vez se genera calor, el cual contiene varias cámaras conectadas por una serie de tuberías en cuyo interior circula el fluido que se desea calentar para separar de la impurezas del crudo, que luego se enviará por la cámara respectiva, para continuar con el siguiente ciclo, en dicho proceso el crudo alcanza temperaturas altas que son monitoreadas y medidas de acuerdo al requerimiento.

Para este tipo de mediciones se requieren de termómetros especiales superiores a los 550° C y que por su uso deben ser calibrados cada cierto tiempo indicado por el constructor el cual debe seguir las normas establecidas, necesidad latente que no se cuenta en el Ecuador.

De igual manera, la industria siderúrgica que alrededor del año 1961 parte su explotación con empresas como Acerías Nacionales del Ecuador (ANDEC),

---

1 Petroecuador, Folleto de la historia del petróleo en Ecuador, Pág. 5

Industria Procesadora de Acero (IPAC) y NOVACERO<sup>2</sup>, para elaborar sus productos utiliza algunos métodos entre ellos es el denominado método directo para fabricar hierro y acero a partir del mineral, sin producir arrabio. En este proceso se mezclan mineral de hierro y coque en un horno de calcinación rotatorio y se calientan a una temperatura de unos 750 °C por lo que es vital el control de temperatura para la obtención de sus productos finales, utilizando medidores de temperatura (termómetros) con capacidad de medir temperaturas hasta 800° C que luego de cierto tiempo de uso de estos medidores es necesario calibrarlos cumpliendo con las normas establecidas, tecnología que se requiere en el Ecuador.

### **1.1.3 PROBLEMA INVESTIGADO**

En Ecuador no existe un laboratorio que preste los servicios de calibración para termómetros en altas temperaturas, con niveles de exactitud e incertidumbre inferiores al 1%, prestaciones que se requiere en las industrias siderúrgicas y petroleras, entre otras.

El campo metrológico en el Ecuador ha sido relegado a segundo plano, en especial en centros de educación superior, no se tiene evidencias de investigaciones realizadas en el campo termométrico.

La falta de este tipo de sistemas y por el poco aporte para la investigación del mismo, no se puede contar con información que permita conocer y entender sobre este tipo de sistemas utilizados para calibrar termómetros de alta temperatura, y la información que se tiene es muy limitada

En el ámbito internacional, existen algunos fabricantes de sistemas de calibración

---

2 <http://www.holdingdine.com/content/blogcategory/14/44/>

para altas temperaturas. Estas empresas tienen una estructura totalmente cerrada, no permiten acceso a sus diseños y los costos son excesivamente altos.

Debido a que en el Ecuador no existen este tipo de diseños ni implementaciones sobre dichos sistemas, es muy difícil conocer su estructura así como su diseño por ende no se puede saber qué tipo de materiales son utilizados para su elaboración y se desconoce su funcionamiento físico-químico

La industria nacional, ha tomado alternativas para solucionar sus problemas sobre certificación de equipos de medición para altas temperaturas, ya que en el Ecuador no se cuenta con esta tecnología una alternativa es enviando al exterior a países que realizan este tipo de calibraciones, lo que representa un tiempo promedio de espera de tres meses, siendo mucho tiempo y a la vez costos elevados. Otra alternativa, es desarrollar un proceso en base a métodos y procedimientos no validados, recurriendo únicamente a verificaciones parciales, con las respectivas consecuencias: los certificados no son aceptados por las certificadoras de sistemas de calidad, y los productos a criterio internacional no son válidos.

La falta de este requerimiento es fundamental en el área de metrología, por lo que el INEN ha tomado en consideración realizar un estudio de un prototipo para calibración mediante baño de sales para termómetros de altas temperaturas, el mismo que será posteriormente implementado y validado de acuerdo a las normas NTE-INEN ISO/IEC 17025.

#### **1.1.3.1 Problema principal**

En el Ecuador no se cuenta con un diseño de baño de sales para calibración de termómetros de alta temperatura que oscilen en el rango de 400°C a 800°C

#### **1.1.3.2 Subproblema**

- 1.- La información es limitada para realizar el estudio y diseño del prototipo de baño de sales.
- 2.- No hay diseños en Ecuador ni implementaciones de este tipo de sistemas
- 3.- No se conoce la clase de materiales así como su funcionamiento químico-mecánico para el diseño del sistema

#### **1.1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá realizar el diseño de un prototipo de un horno calibrador de termómetros de alta temperatura en base a baño de sales con sus respectivos gradientes y estabilidad utilizando tecnología que existe en el Ecuador?

#### **1.1.5 JUSTIFICACIÓN**

Para sustentar la fundamentación teórica del proyecto, además de la información recopilada, es necesario un proceso amplio de investigación, ya que es un tema relativamente nuevo en el medio, con lo cual se tendrá un aporte técnico científico en este campo, y el INEN así como la UISRAEL dispondrá de la información que permita sustentar su trabajo en el proceso de calibración.

La normativa ISO/17025 de levantamiento de laboratorios, exige que el método aplicado en el proceso de calibración deba ser validado.

El proyecto a desarrollarse contará con información, sobre este tipo de sistema de baño de sales útil para su comprensión.

Se tendrá un diseño del prototipo de baño de sales para calibración de termómetros de alta temperatura, que con su implementación se logrará tener este tipo de servicio, lo cual beneficiará a empresas ecuatorianas, para así calibrar en Ecuador a precios bajos, y no tener que enviar fuera del país con costos elevados.

Con la investigación se mejorará los procesos, de calibración térmica de alta temperatura.

## **1.2 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD**

### **1.2.1 TÉCNICA**

El estudio que se realizó se toma como fuente principal, datos vía Internet y de material escrito que se tenga para poder realizar el proyecto, ya que la información disponible es limitada, por lo que será de gran aporte para futuras investigaciones e implementaciones

### **1.2.2 OPERATIVA**

Mediante este estudio será de gran impacto en la sociedad ya que contribuirá al desarrollo del país en el ámbito industrial y con la información se podrá a futuro implementar y construir este tipo de requerimientos para calibración de termómetros de alta temperatura siendo de gran ayuda

### **1.2.3 ECONÓMICO**

Se realizó un análisis financiero del sistema de calibración de termocuplas de alta temperatura de manera que se pueda dimensionar los costos del equipo en caso de una futura comercialización.

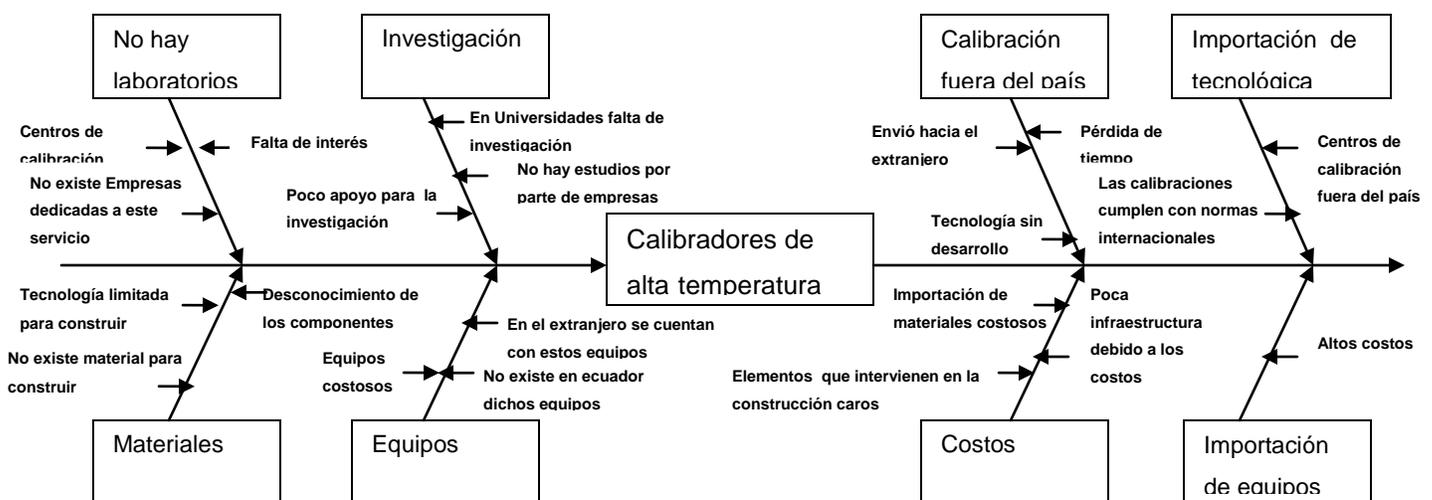
## **1.3 SISTEMATIZACIÓN**

### **1.3.1 DIAGNOSTICO**

En Ecuador no existe un laboratorio que preste los servicios de calibración para termómetros en altas temperaturas, ya que en el país el campo metrológico se lo

ha relegado a segundo plano, en especial en centros de educación superior, por lo que se analizó algunos aspectos que influyen negativamente tales como:

- No existen laboratorios que presten dichos servicios.
- La metrología en Ecuador no está muy explotada
- La tecnología en Ecuador no es la suficiente para desarrollar este tipo de sistemas
- Hay poco aporte de investigación en este campo
- No se cuenta con el material de apoyo para la construcción de este tipo de sistemas
- Las empresas extranjeras no permiten el acceso a la información de su estructura de este tipo de calibradores
- No existen en el país equipos para calibración a altas temperaturas
- No existe apoyo económico para desarrollar este tipo de sistemas
- Se envía los termómetros fuera del país para su calibración
- Las calibraciones que se realiza localmente no cumple con normas requeridas



### **1.3.2 PRONOSTICO**

Al no tener laboratorios especializados para este tipo de servicios, lo que se hace es enviarlos fuera del país, con esto se emplea tiempo el cual no es beneficioso provocando pérdidas.

La Investigación sobre este tipo de sistemas es fundamental, pero debido a la falta de interés en las empresas y en centros de educación superior, no se la ha realizado ya que no existe el apoyo suficiente, lo cual perjudica para el desarrollo tecnológico.

Con la información limitada que se tiene sobre el tipo de materiales que se necesita para la construcción de estos sistemas, no se puede contar con tecnología ni con materia prima para producirlos y por lo tanto se los importa teniendo costos muy elevados que perjudican a las empresas.

Debido a que estos equipos existen en el extranjero sus precios para su adquisición tienen costos elevados por ende no es conveniente, por lo que se optado por enviar los equipos a calibrar en el extranjero los mismos que cumplen con las normas, pero a la vez hay pérdida en tiempo.

Con las calibraciones locales las cuales utilizan métodos comparativos no se garantiza que cumplan con las normas que requieren estos sistemas, y ha su vez afecta a la calidad del producto final

### **1.3.3 CONTROL DE PRONÓSTICO**

Para poder solucionar los aspectos negativos lo que se debe hacer es:

- Implementar laboratorios que den este tipo de servicio.
- Invertir en investigación tanto en el sector público como en el privado para poder desarrollar este tipo de sistemas y así a futuro tener tecnología local que satisfaga las necesidades de las empresas que lo necesiten.
- Con el estudio realizado se podrá conocer de mejor forma la estructura de dichos sistemas, y así determinar qué tipo de materia prima se necesitara para su construcción para así producir localmente los elementos necesarios que intervendrían en la construcción.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Principal**

Diseñar un prototipo de baño de sales para calibración de termómetros de alta temperatura para un rango de 400°C a 800° C.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- 1.- Buscar y analizar la información, que permita plantear un diseño de un prototipo de baño de sales para calibración de termómetros.
- 2.- Realizar un diseño de un prototipo baño de sales
- 3.- Investigar los materiales idóneos para el sistema, buscando cumplir con las normas internacionales de calibración.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

### **1.5.1 Justificación teórica**

Para sustentar la fundamentación teórica del proyecto, además de la información recopilada, es necesario un proceso amplio de investigación, ya que es un tema

relativamente nuevo en nuestro medio, con lo cual se tendrá un aporte técnico científico en este campo, y el INEN así como la UISRAEL dispondrán de la información que permita sustentar su trabajo en el proceso de calibración.

La normativa ISO/17025 de levantamiento de laboratorios, exige que el método aplicado en el proceso de calibración deba ser validado.

### **1.5.2 Justificación práctica**

El proyecto a desarrollarse contará con información, sobre este tipo de sistema de baño de sales útil para su comprensión.

Se tendrá un diseño del prototipo de sistema de baño de sales para calibración de termómetros de alta temperatura, que con su implementación se logrará tener este tipo de servicio, lo cual beneficiará a empresas ecuatorianas, para así calibrar en Ecuador a precios bajos, y no tener que enviar fuera del país con costos elevados.

Con la investigación se mejorará los procesos, de calibración térmica de alta temperatura

### **1.5.3 Justificación metodológica**

Para la primera etapa, al no contar con este sistema de calibración y por falta de información sobre el tema para la investigación, se procederá a la recolección de datos, como también se utilizara otras fuentes primarias como la entrevista, que nos servirá de guía mediante preguntas a personas que conocen sobre el tema y que pondrán aportar con conocimientos del proyecto, para realizar un marco teórico que permita entender el sistema y así desarrollar el diseño del prototipo del proyecto por lo que se utilizará la metodología empírica.

Conociendo el marco teórico, se aportará con nuevos conocimientos y conceptos, que no estén claros para el entendimiento del sistema, por lo que se aplicará el método lógico deductivo.

Para la segunda etapa, luego de aplicar los anteriores métodos, se procederá a realizar el planteamiento del diseño del prototipo, con los diferentes tipos de materiales que intervendrán en su implementación, aplicando el método sistémico.

## **1.6 ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **1.6.1 Alcance**

Con el desarrollo del proyecto se tendrá un diseño de un prototipo de un calibrador de baño de sales entre 400 a 800 °C mismo que al implementarlo posteriormente se lo podrá validar y demostrar su funcionamiento, con lo que será de gran aporte en el aspecto tecnológico, que servirá de fuente para seguir desarrollando este tipo de calibradores para futuros proyectos, y a la vez se contara con la teoría que servirá como fuente de investigación, con esto se pretende reducir costos y tiempo resultando económicamente beneficioso para la industria del país y la sociedad en general sin tener que recurrir al extranjero.

### **1.6.2 Limitaciones**

En el proyecto no contara con la implementación del mismo solo será el estudio y diseño del prototipo, el mismo que a futuro se deberá construir y validar si es óptimo para su implementación por lo que será un prototipo de prueba, en el mismo se planteara el diseño y los elementos que intervendrán para su construcción mismos que se deberá comprobar, la información de la investigación será lo más clara posible pero no estará ciertas pautas que con el proceso de implementación se deberá investigar.

## CAPITULO II

### 2.1 MARCO DE REFERENCIA

Investigación y desarrollo que sirve para realizar un estudio y planteamiento a la solución del tema propuesto, ya que es una investigación tecnológica con el que se contribuirá a desarrollar este tipo de sistemas, debido a que en él En el Ecuador no se cuenta con un diseño de baño de sales para calibración de termómetros de altas temperaturas que oscilen en el rango de 400°C a 800°C

### 2.2 MARCO TEÓRICO

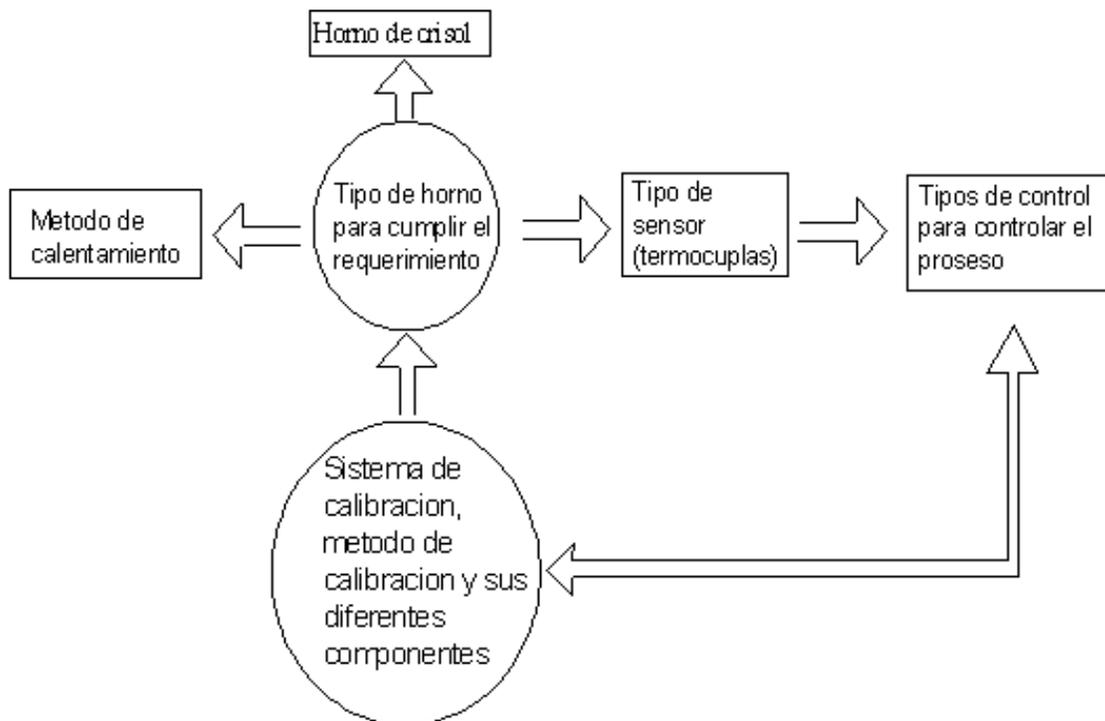


Fig. 2.1 esquema del sistema de baño de sales

Elaborado por: José Freire

El diseño del sistema parte del tipo de termómetro a calibrar, por lo que se considera a los termómetros que estén en el rango de los 400°C a 800°C, este sistema está diseñado para cumplir con el rango propuesto.

Para proceder con el diseño se determina el método de calibración que se utilizará y dependiendo de la temperatura a la que se calibrará; para este tipo de termómetros se lo hace mediante un baño de sales. Este tipo de sales vienen en estado sólido que al entrar en una determinada temperatura empieza a cambiar su estado de sólido a líquido, en este último estado trasmite las propiedades de estabilidad y gradientes que se necesita para la calibración del termómetro; para esto se necesita un horno adecuado que permita introducir tanto las sales como el termómetro, los más usados son los de tipo crisol ya que permiten removerlos, y fácilmente trasladarlos, con lo cual se puede realizar la limpieza de las sales.

Este sistema debe ser calentado, se aplicará un método apto para este tipo de horno como puede ser mediante resistencias eléctricas lo que permitiría utilizar la energía eléctrica.

Para poder censar la temperatura dentro del crisol se necesita una termocupla con las características apropiadas para medir temperatura en el rango ya especificado.

Para controlar todo este sistema se necesita de un adecuado tipo de control que permita manipular el sistema así como cada uno de los elementos que intervengan

Esta investigación estará basada en la siguiente temática:

- Metrología
- Termometría
- Escalas termométricas
- Tipos de termómetros
- Termodinámica
- Métodos de calibración
- Crisol
- Horno de baño de sales
- Sales
- Termocuplas
- Sistemas de control
- Pirómetros

### 2.2.1 METROLOGIA

La Metrología es la ciencia y arte de medir. Considera tanto los aspectos teóricos como prácticos de las mediciones en todos los niveles de exactitud y campos de aplicación, ya sean éstos el científico, industrial o legal<sup>3</sup>.

La Metrología tiene dos características muy importantes: el resultado de la medición y la incertidumbre de medida.

En la física como en la industria utilizan distintos instrumentos para llevar a cabo sus mediciones. Desde objetos sencillos, hasta potentes microscopios, y sofisticados equipos como medidores de láser e incluso aceleradores de partículas.

En países industrializados se conoce como "Infraestructura Nacional de la Calidad" que está compuesta por las actividades de: normalización, ensayos, certificación y acreditación, y estas a su vez dependen de las actividades métricas que aseguran la exactitud de las mediciones que se efectúan en los ensayos, en cuyos casos son la evidencia para las certificaciones. Con esto la metrología permite asegurar la comparabilidad internacional de las mediciones y por lo que se asegura el intercambio de los productos a nivel internacional.

Desde tiempo atrás esta disciplina ha pasado por diferentes etapas; inicialmente el objeto de su estudio fue el análisis de los sistemas de pesas y medidas antiguos, cuyo conocimiento se observa necesario para la correcta comprensión de los textos antiguos.

---

<sup>3</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%ADa>

Ya desde el siglo XVI, sin embargo, debido al interés por la determinación de la medida del globo terrestre y los trabajos que al efecto se llevaron a cabo en dicho siglo, se tuvo la necesidad de un sistema de pesos y medidas universal, con esto surgió la necesidad de crear la Oficina Internacional de Pesos y Medidas y la construcción de patrones para el metro y el kilogramo en por el año 1872.

### **2.2.1.2 IMPORTANCIA Y BENEFICIOS DE LA METROLOGÍA**

Las correctas mediciones tienen una gran importancia para los países, para las empresas y para la población en general, con esto se ayuda a ordenar y facilitar las transacciones comerciales. Comúnmente las cantidades y las características de un producto son resultado de un contrato entre el cliente y el proveedor; las mediciones facilitan dichos proceso y por lo que inciden en la calidad de vida de la población, así como también ayudando a preservar el medio ambiente y contribuyendo a usar racionalmente los recursos naturales.

En el mundo actual, con la dinamización del comercio a nivel mundial, la Metrología tiene mayor importancia y por lo que se toma mas en consideración la relación que existe entre ella teniendo presente la calidad, entre las mediciones y el control de la calidad, acreditadas en laboratorios, la trazabilidad y la certificación. Por lo que la Metrología actualmente es el núcleo central que permite el correcto funcionamiento de estas funciones y su operación planteadas con el objetivo final de mejorar y garantizar la calidad de productos y servicios<sup>4</sup>.

El desarrollo de la metrología es beneficios al mundo industrial, como se indica a continuación:

---

4 <http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%ADa>

- Promueve el desarrollo para ensayos exactos, necesarios para que la industria sea competitiva.
- Ayuda a la industria con las herramientas de medida necesarias para la investigación y desarrollo de campos determinados y para definir y controlar mejor la calidad de los productos.
- Perfecciona los métodos y medios de medición.
- De gran ayuda para el intercambio de información científica y técnica.
- Posibilita una mayor normalización internacional de productos en general, maquinaria, equipos y medios de medición.

Con la Metrología dentro en un país comparte la responsabilidad con varias instituciones autónomas o gubernamentales y, según sus funciones, el cual clasifica tanto la Metrología Científica, Legal ó Industrial, dependiendo de su aplicación.

La primera se encarga de la investigación que conduce a la elaboración de patrones sobre bases científicas y promueve su reconocimiento y la equivalencia de éstos a nivel internacional. Las otras dos se relacionadas con la diseminación a nivel local de los patrones en el comercio y en la industria. La Metrología Legal y busca garantizar, a todo nivel, que el cliente tenga la cantidad efectivamente pactada. La Metrología Industrial se relaciona con la industria manufacturera; persigue promover en la industria manufacturera y de servicios la competitividad a través de las continuas mejoras de las mediciones que inciden en la calidad.

Actualmente, con la dinamización del comercio a nivel mundial, la Metrología adquiere mayor importancia y se hace más énfasis en la relación que existe entre ella y la calidad, entre las mediciones y el control de la calidad, la calibración, la acreditación de laboratorios, la trazabilidad y la certificación. La Metrología es el núcleo central básico que permite el ordenamiento de estas funciones y su

operación coherente las ordena con el objetivo final de mejorar y garantizar la calidad de productos y servicios.<sup>5</sup>

La Metrología a nivel de país juega un papel único y se relaciona con el Gobierno, con las Empresas y con la Población, relación conocida como el modelo G.E.P.

A nivel de Gobierno, este modelo es esencial para entender el papel de una infraestructura que se requiere instalar y que sirve de apoyo en la elaboración de políticas y regulaciones para la elaboración y fabricación de productos y la prestación de servicios, tanto de origen nacional como de proveniencia extranjera.

A nivel de Empresa, la competitividad se mide entre otras cosas por la capacidad de innovar. La innovación se puede dar en procesos productivos o administrativos, en productos, en servicios, etc. Es básica para la búsqueda permanente de la calidad a través de la mejora continua de las actividades. El proceso de mejora continua es un procedimiento en el cual se usan parámetros de medición que nos permiten comparar lo que veníamos realizando con lo nuevo que se implementó, o sea que la medición forma parte integrante del proceso de innovación. En un medio de mejora continua lo único permanente es el cambio. Con la mejora continua de las actividades generalmente se busca que las empresas ganen mercados y puedan ampliar sus facilidades de producción lo cual, a su vez, abre la oportunidad de crecer y ampliar la oferta de nuevos empleos.<sup>6</sup>

Desde el punto de vista de la Población, la Metrología es fundamental para apoyar el control de los productos que se fabrican y su impacto sobre el bienestar de la población. La población permanentemente consume productos nacionales y extranjeros y es la Metrología la llamada a ayudar a determinar que esos productos de consumo respondan a normas o especificaciones sobre salud y

---

5 [http://www.science.oas.org/OEA\\_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin\\_mesp.htm](http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin_mesp.htm)

6 [http://www.science.oas.org/OEA\\_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin\\_mesp.htm](http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin_mesp.htm)

seguridad. Su relación con la población tiene un doble efecto: no solamente ayuda a la creación de nuevos empleos a través de impulsar el desarrollo de las empresas, sino también ayuda a la protección de ésta al velar por el contenido, la calidad y la seguridad de los productos que se consumen y su impacto en el medio ambiente.

En el plano internacional, con la apertura comercial, la Metrología toma mayor importancia con la creciente interdependencia entre naciones. Cada día los países se ven más comprometidos en la firma de convenios, de tratados, bilaterales o regionales, etc. En lo que involucran diferentes sectores tanto industria, comercio, salud, defensa, etc. Por lo que empresas se ven en la necesidad de mejorar los esquemas de tipo internacional para su funcionamiento tanto en la manufactura, suministro de materiales, comercialización. Si a esto se suma que los consumidores cada vez buscan patrones globales de consumo, en lo que es esencial contar con una infraestructura técnica que funcione como núcleo para la coordinación y ordenamiento a nivel global.

### **2.2.1.3 TIPOS DE METROLOGÍA.**

Tiene varios campos: metrología legal, metrología industrial y metrología científica divisiones globalizadas en el mundo<sup>7</sup>

#### **2.2.1.3.1 La Metrología Legal.**

La metrología legal comprueba los requisitos técnicos obligatorios con el fin de garantizar medidas correctas en áreas de interés público, como el comercio, la salud, el medio ambiente y la seguridad. La metrología legal dependerá de las reglamentaciones locales y puede variar de una nación a otro.

---

<sup>7</sup> <http://www.calidadlatina.com/pub/102-MAY-06.pdf>

### **2.2.1.3.2 La Metrología Industrial**

Se centra en las medidas que se aplica a la producción y el control de la calidad. Así como son los procedimientos e intervalos de calibración, y se encargan de controlar los procesos de medición y gestión de los equipos de medida.

Se utiliza frecuentemente para realizar las actividades metrológicas que se llevan a cabo en la industrial, se puede decir que es una parte que aporta a la industria.

Una de las características principales es que las personas tienen la alternativa de mandar su instrumento y su equipo a verificarlo, en el país o en el exterior.

### **2.2.1.3.3 La Metrología Científica**

También conocida como metrología general. Es la parte encargada de ocuparse de los problemas comunes en lo que tiene que ver a cuestiones metrológicas, independientemente de la magnitud de la medida.

Se ocupa de los problemas teóricos y prácticos relacionados con las unidades de medida (como la estructura de un sistema de unidades o la conversión de las unidades de medida en fórmulas), del problema de los errores en la medida; del problema en las propiedades metrológicas de los instrumentos de medidas aplicables independientemente de la magnitud involucrada.<sup>8</sup>

## **2.2.2 TERMOMETRÍA<sup>9</sup>**

Se encarga de medir la temperatura de cuerpos o sistemas. Para ello, se utiliza el termómetro, es un instrumento basado en la propiedad de dilatación de los cuerpos con el calor.

---

8 <http://www.calidadlatina.com/pub/102-MAY-06.pdf>

9 <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa><http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>

El termómetro para su construcción utiliza el Principio Cero de la Termodinámica que dice: Si un sistema A que está en equilibrio térmico con un sistema B, está en equilibrio térmico también con un sistema C, entonces los tres sistemas A, B y C están en equilibrio térmico entre sí<sup>10</sup>.

En la metrología la termometría es una parte que la integra, cuya misión consiste en asegurar la unidad de mediciones de la temperatura, establece escalas de temperatura, crea patrones, elaborar métodos para controlar la graduación y verificación de los medios de la temperatura.

La temperatura no se la mide directamente. La variación de la temperatura depende de varios factores y propiedades físicas como: volumen, presión, resistencia eléctrica, fuerza electromotriz, intensidad de radiación. Estos métodos para la medición de temperatura están relacionados con la determinación de una escala de temperaturas.

Por lo general, los termómetros tanto en la industria como en los laboratorios son de dos tipos: de vidrio o bimetalicos.

Este tipo de termómetros de vidrio y bimetalicos usan la expansión térmica para medir la temperatura. Dicho método consta con la medida directa de una transformación física y puede suministrar su medición no puede ser tan fiable.

Dichos sistemas no son adecuados debido a que su precisión y su rango son muy limitados. Los termómetros de vidrio son frágiles y peligrosos tanto para la salud como para el ambiente. Debido a esta necesidad surge la importancia de utilizar un método alternativo para medir la temperatura, como son los termómetros electrónicos que ofrecen una precisión elevada, seguridad y versatilidad en lo que

---

10 <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa>

tiene que ver con la temperatura para los procesos industriales, alimentarios y en los análisis de laboratorio.

En lo que tiene que ver con su velocidad de respuesta es vital cuando se trata de procesos que requieren ser monitorizados, ya que cambian rápidamente. Este tipo, usan sensores de pequeñas dimensiones con lo que permiten realizar la mediciones en áreas reducidas. A la vez se puede memorizar las medidas, no cambian sus características ante la tensión mecánica o las condiciones ambientales adversas que se pueden encontrar en las medidas de campo<sup>11</sup>.

### **2.2.2.1 Propiedades termométricas**

En la construcción de un termómetro, se establece puntos fijos, es decir en los cuales la temperatura permanece constante. Este tipo de procesos son los de ebullición y de fusión.

Los puntos generalmente utilizados para estos procesos se toman como base el del agua, durante los cuales la temperatura permanece constante.

Existen diferente tipo de escalas para medir temperaturas, entre ellas se tiene la escala Celsius, la escala Kelvin y la escala Fahrenheit.

### **2.2.3 TEMPERATURA.**

La temperatura es una magnitud que depende del nivel energético provocado por el movimiento de los átomos.

“La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que se mide en su movimiento medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su

---

11 <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa><http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>

tamaño. Los sólidos, líquidos y gases, cuando cambia su temperatura, experimentan diferentes transformaciones”<sup>12</sup>.

### 2.2.3.1 Equilibrio térmico.

Se produce cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas al ponerse en contacto se produce una transmisión de calor, con esto provoca que se igualen las temperaturas y con esto, se produce un EQUILIBRIO TÉRMICO<sup>13</sup> (Fig. 2.2)



Fig. 2.2 Diagrama del equilibrio térmico

Todos los cuerpos en general tienen una energía conocida como energía interna. La cantidad de energía interna de un cuerpo no se puede conocer debido a que las partículas que conforman a los cuerpos tienen energías diferentes. Tales como energías de tipo eléctrico, de rotación, de traslación y vibración dependiendo del tipo de movimientos que poseen, energías de enlace (relacionas con el aspecto químico) e incluso energía que provoque que la materia desaparezca para transformarse en energía <sup>14</sup>

“Al poner en contacto dos cuerpos a distinta temperatura, el de mayor temperatura cede parte de su energía al de menos temperatura hasta que sus temperaturas se igualan. Se alcanza el equilibrio térmico por lo que se puede determinar que, la temperatura en cualquier punto del cuerpo es la misma”. <sup>15</sup>

La mayor parte de cuerpos sólidos se dilatan cuando aumenta su temperatura, así como en condiciones ambientales. El cuerpo experimenta una variación en su volumen cuando su temperatura cambia. (Fig. 2.3)

12.[http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol//edu/thermal/temperature\\_sp\\_06sep01.html](http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol//edu/thermal/temperature_sp_06sep01.html)

13 Fermi E., Termodinámica, EUDEBA, 1985. .

14 Feynman R., Leighton R., Sands M., Física, Vol I, Addison Wesley Iberoamericana, 1987.

15 Guillermet A., Apúntes de Termodinámica, Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo

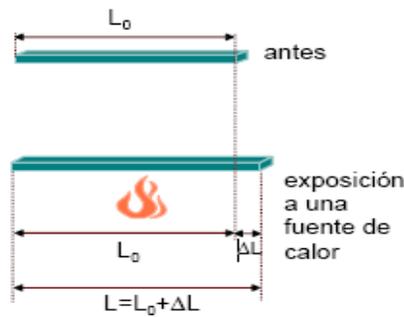


Fig. 2.3 Un sólido expuesto a una fuente de calor se dilata.

Si al tomar un cuerpo cualquiera A se introduce en un recipiente hermético que contiene un líquido B, y a la vez que no permita intercambio de energía con el exterior. Entonces el cuerpo varía su volumen por algún tiempo, luego de lo cual permanece sin cambios. (Fig. 2.3a)

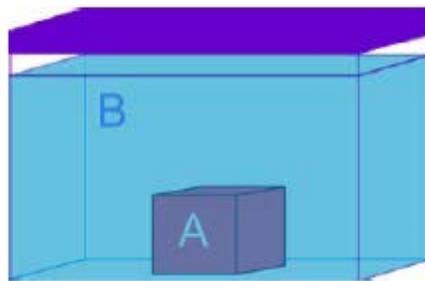


Fig. 2.3. a El cuerpo A y el líquido B están en equilibrio térmico.

El principio cero de la termodinámica se produce cuando dos sistemas están en equilibrio térmico y a la vez un tercero está en equilibrio.

Un sistema aislado llega al equilibrio térmico tomando un cierto tiempo en el mismo depende de algunas características.

El equilibrio térmico se alcanza cuando la temperatura es constante en todos los puntos del sistema.

### 2.2.3.2 Medición de estados térmicos<sup>16</sup>

En primera instancia se debe encontrar un patrón de estados térmicos. Otro paso para comparar se necesita asociar un número a cada estado térmico. Para esto se aplica las propiedades físicas como: la dilatación o cambio de volumen  $\Delta v$ . Para esto se utiliza la ecuación que relaciona variación de estado térmico  $\Delta E_t$  con  $\Delta v$ :

$$\Delta E_t = f(\Delta v)$$

Ecuación 2.1 Ecuación de relación de variación de estado térmico

La temperatura a medir es de tipo empírica. Para esto se necesita una función lineal, para mayor sencillez operativa:

$$\Delta E_t = k \cdot \Delta v + b$$

Ecuación 2.2 función lineal

“Para establecer la escala debe hallarse  $k$  y  $b$ . Si se establece estas constantes para una sustancia, para otra serán distintas, y si para un cuerpo se adopta una escala lineal, para otro cuerpo no funcionará. Por eso se utilizará una sola sustancia y con ella se medirá el estado térmico de las otras.

La sustancia elegida es la que más se dilata en estado líquido: el Hg (mercurio). El recipiente en donde se dilatará será un capilar, la forma más apropiada por permitir que se vea la más mínima variación de volumen, traducida en una variación de longitud ya que su sección será constante, la función pasa a ser:

$$\Delta E_t = f(\Delta l)$$

Ecuación 2.3

---

<sup>16</sup> Fermi E., Termodinámica, EUDEBA, 1985

Al capilar con Hg se le realiza la operación de sumergirlo en agua y hielo, es decir a la temperatura de cambio de estado de líquido a sólido, donde se sabe que permanece constante, y se marca la posición del Hg. Luego se lo sumerge en agua en ebullición, es decir a la temperatura de cambio de estado de líquido a gaseoso, donde se sabe que el estado térmico no varía, y allí se observará la dilatación del Hg, que tomará una nueva posición. Entre las dos marcas se realiza una división lineal, asignando a la marca inferior el valor de  $0^{\circ}\text{C}$  (cero grado centígrado o cero grado Celsius) y asignando a la marca superior el valor de  $100^{\circ}\text{C}$  (cien grados centígrados o Celsius)<sup>17</sup>.

#### **2.2.3.4 Escala internacional de temperaturas<sup>18</sup>.**

La temperatura cuantifica cuan caliente está algo. Para añadir algún valor, debe definirse una escala de valores numéricos y una interpolación a través de un instrumento de medida.

Las escalas comúnmente utilizadas son la Celsius y la Kelvin, pero la Kelvin es la única escala que tiene una base real en la naturaleza, ya que no se pueden alcanzar temperaturas menores que  $0^{\circ}\text{K}$ . Por su definición lineal, con un solo punto fijo se puede establecer la escala.

Cada instrumento de medición, ocupan distintas propiedades termométricas para medir, tales como: volumen, presión, resistencia eléctrica, resistividad, longitud de onda de la radiación, etc.

Pero para construir termómetros es muy compleja debido a que algunas de las propiedades no varían linealmente con la temperatura, ya que pueden cambiar de fase en rangos estrechos o sufren otras transformaciones que las neutraliza como propiedades termométricas en algunos rangos.

---

17 <http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>

18 <http://www.its-90.com/onref.html>

Desde hace tiempo atrás se viene persiguiendo instrumentos con propiedades termométricas y puntos fijos fácilmente reproducibles y exactos.

A nivel internacional se ha logrado establecer una escala de temperaturas absolutas estándar con puntos fijos e instrumentos con rangos específicos de interpolación de la curva, los cuales han venido sufriendo modificaciones debidas al avance de la física y la tecnología, cada cierto tiempo.

El comienzo por establecer un estándar de una escala se la denominó “Escala Práctica de Temperaturas” durante la reunión de 1889 de la British Association for the Advancement of Science (BAAS<sup>19</sup>).

En la cual se propuso adoptar un termómetro de resistencia de platino calibrado con los puntos fijos correspondientes al punto de congelamiento del agua y de ebullición del agua y azufre. Con lo que se la denominó “Escala de temperaturas de la Asociación Británica” y a la vez se la relacionó con la escala ideal de temperaturas tomando como punto de partida un termómetro de gas calibrado con el punto de ebullición del azufre.

Los laboratorios tanto de Alemania (Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Inglaterra (National Physical Laboratory) y Estados Unidos (National Institute of Standards and Technology, NIST<sup>20</sup>, en aquel tiempo conocidos como National Bureau of Standards, NBS<sup>21</sup>) crean una Escala Internacional que fue ampliamente discutida por la comunidad internacional, interviniendo la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM<sup>22</sup>) y la Universidad de Leiden. Con esta escala, acordada en 1925, fue aceptada en 1927 por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM<sup>23</sup>) y se considera un termómetro de resistencia de platino para temperaturas entre  $-139^{\circ}\text{C}$  y  $650^{\circ}\text{C}$  calibrado a  $0^{\circ}\text{C}$ , a  $100^{\circ}\text{C}$  y a  $444,5^{\circ}\text{C}$  (punto de ebullición del azufre).

---

19 Glosario

20 Glosario

21 Glosario

22 Glosario

23 Glosario

Entre 650°C y 1100°C la escala fue definida a través de una Termocupla (Pt-10 % Rh/Pt) calibrada mediante los puntos de congelación del antimonio (630°C), de la plata (960°C) y del oro (1063°C). las curvas de interpolación de los termómetros eran cuadráticas. Sobre el punto de congelación del oro se recomendó una curva que seguía la Ley de Wien. En la práctica se usaba un pirómetro óptico.

En 1948, durante la novena CGPM realiza la primera revisión de la Escala Práctica Internacional de Temperaturas, con el apoyo el Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS<sup>24</sup>) que es un instituto de investigación con el apoyo del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, utilizando la norma (IPTS-48) encargada de regular los controles y sensores de temperatura y material , se cambio el nombre, grado centígrado por grado Celsius, así como también el límite inferior del termómetro de resistencia a - 182,97°C (punto de ebullición del hidrógeno) y el superior a 630,5°C (punto de congelación del antimonio). El punto de congelación de la plata fue modificado desde 960,5°C a 960,8°C y la Ley de Wien fue cambiada por la Ley de Planck.

En 1954, en la décima CGPM<sup>25</sup> adoptó la propuesta realizada por Kelvin en 1854 definiendo la unidad de temperatura termodinámica en términos del intervalo entre el cero absoluto y solo un punto fijo. Se adoptó el punto triple del agua (temperatura a la cual el agua coexiste en equilibrio en las fases sólida, líquida y gaseosa) como punto fijo, cuyo valor es 273,16K, equivalentes a 0,01K.

“En 1958 la Conferencia Internacional de pesas y medidas, CIPM<sup>26</sup> adoptó una escala de presión de vapor en base al Helio ya que tiene el punto de solidificación más bajo de todos los elementos químicos, siendo el único líquido que no puede solidificarse bajando la temperatura, ya que permanece en estado líquido en el cero absoluto a presión normal, y su temperatura crítica es de tan sólo 5,19K o -

---

24 Glosario

25 Glosario

26 Glosario

267.96 grados centígrados. Los sólidos  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$  son los únicos en los que es posible, incrementando la presión, reducir el volumen más del 30%. El calor específico del gas helio es muy elevado y el helio vapor muy denso, expandiéndose rápidamente cuando se calienta a temperatura ambiente<sup>27</sup>.

“El isótopo más común del helio es el  $^4\text{He}$ , cuyo núcleo está constituido por dos protones y dos neutrones. Su excepcional estabilidad nuclear se debe a que tiene un número másico de nucleones, es decir, una cantidad que se distribuye en niveles completos (de modo análogo a como se distribuyen los electrones en los orbitales). Numerosos núcleos pesados se desintegran emitiendo un núcleo de  $^4\text{He}$ ; éste proceso, que se denomina desintegración alfa y por el que al núcleo emitido se le llama *partícula alfa*, es el origen de la mayoría del helio terrestre<sup>28</sup>.

El helio tiene un segundo isótopo, el  $^3\text{He}$ , así como otros más pesados que son radiactivos. El helio-3 es prácticamente inexistente en la tierra, dado que la desintegración alfa produce exclusivamente núcleos de helio-4 y tanto éstos como el helio atmosférico escapan al espacio en periodos geológicos relativamente cortos.

Por lo que la CIPM adopta la escala de presión de vapor en base de  $^4\text{He}$  versus temperatura basada en datos provenientes de un termómetro de gas ajustada mediante termometría magnética (y por cálculos teóricos termodinámicos bajo los 2,2K) para el rango de temperaturas entre 0,5K y 5,23K. Esta escala se conoce como Escala de  $^4\text{He}$  de 1958 y a las temperaturas medidas por ella se denominan  $T_{58}$  (en 1962 el CIPM realizó cambios en la escala basados en la comparación entre las escalas de presión de vapor del  $^3\text{He}$  con la escala de presión de vapor de  $^4\text{He}$  de 1958 sobre 0,9K y con cálculos termodinámicos bajo 0,9K.

Mediciones con esta nueva escala se denominan  $T_{62}$ .

En 1968 se realizó la segunda revisión de la escala internacional de temperaturas (ITS-68), en la que se eliminó la distinción entre los métodos de definir temperatura a través de procedimientos termodinámicos y prácticos.

---

27 <http://es.wikipedia.org/wiki/Helio>

28 [http://es.wikipedia.org/wiki/Elemento\\_qu%C3%ADmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Elemento_qu%C3%ADmico)

A partir de IPTS-68 la unidad fue definida como  $\frac{1}{273.16}$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

También allí se cambió la denominación “grados Kelvin (°K)”, por la denominación “Kelvin (K)”.

IPTS fue confeccionada en cuatro etapas:

Entre 13,81K y 273,15K la escala fue definida en términos de un conjunto de 6 puntos fijos de bajas temperatura y una función de referencia.

Entre 0°C a 630,74°C la escala fue definida en términos de la Antigua ecuación cuadrática modificándola para considerar los valores nuevos encontrados para los puntos fijos a partir del termómetro de gas.

Entre 630,74°C a 1064,43°C se definió como instrumento la Termocupla Tipo S el cual tiene un rango de funcionamiento de (-40°C a 1600°C), calibrada a 630,74°C y los puntos de congelación de la plata y del oro, usando una fórmula de interpolación cuadrática.

Sobre 1064,43 °C la escala fue definida en términos de la radiación emitida por un cuerpo negro y descrita por la ecuación de Planck. Se levanta la restricción de luz visible, cambiándola por radiación.

En 1976 la CIPM (Comité Internacional de Pesos y Medidas) establece la denominada Escala Provisional de temperaturas, IPTS-76 para el rango entre 0,5K y 30K en términos de 11 puntos fijos en ese rango, en conjunto con las diferencias entre algunas de las siguientes escalas: IPTS-68; las escalas de presión de vapor de  $^4\text{He}$ -1958 y  $^3\text{He}$ -1962; NPL-75 y la versión NBS de IPTS-68.

En contraste con IPTS-68, la IPTS-76 puede ser construida de la manera antes descrita, con la ayuda de unas tablas proporcionadas por la CIPM, o usando un de gas o un termómetro magnético (ambos interpolados termodinámicamente) y calibrados con uno o más puntos fijos especificados en IPTS-76.

En 1990 se realizó la última modificación, que será descrita en forma más extensa por constituir el estándar actual.

### Escala T90

La unidad de la cantidad física fundamental denominada temperatura termodinámica, símbolo T, es el Kelvin, símbolo K, definida como la fracción de  $\frac{1}{273.16}$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

Debido a la anterior definición de temperatura, es usual expresar una temperatura en términos de su diferencia con 273,15, el punto de fusión del hielo.

Una temperatura termodinámica expresada de esa forma, se denomina temperatura Celsius, símbolo t, definida como:

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{^{\circ}\text{K} - 273.15}$$

#### Ecuación 2.4 Temperatura termodinámica

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo °C, el cual es por definición, de igual magnitud que el Kelvin.

Una diferencia de temperatura puede ser expresada en Kelvin o en grados Celsius.

IPTS-90 define temperaturas denominadas  $T_{90}$  en Kelvin y  $t_{90}$  en grados Celsius.

Las definiciones dadas en IPTS-90 consisten en una serie de rangos interpolados. Esto produce que para algunos rangos de temperatura existan diferentes definiciones de  $T_{90}$ , todas las cuales tienen igual validez. Las definiciones adoptadas allí producen valores mucho más precisos a los teóricos proporcionados por la escala termodinámica, y son más fáciles de reproducir. Se observan tres rangos mayores y varios subrangos, brevemente descritos a continuación:

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

$$\frac{T_{90}}{K} = A_0 + \sum_{i=1}^{i=9} A_i \left[ \frac{\ln\left(\frac{P}{Pa}\right) - B}{C} \right]$$

Ecuación 2.5 relaciones entre la temperatura y la presión de vapor del  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$ .

los valores de las constantes  $A_0$ ,  $A_i$  B y C vienen dadas en una tabla para  $^3\text{He}$  en el rango entre 0,65K y 3,2K; y para  $^4\text{He}$  en el rango entre 1,25K y 2,1768K en el rango entre 1,25K y 2,1768 y en el rango entre 2,1768 y 5,0K.

Entre 3,0 y el punto triple del Neón (24,5561K),  $T_{90}$  se define mediante un termómetro de gas de volumen constante con  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$ , calibrado por el punto triple del neón (24,5561K), el punto triple del hidrógeno (13,8033K) y una temperatura entre 3,0K y 5,0K determinada mediante un termómetro de presión de vapor de  $^3\text{He}$  o  $^4\text{He}$  según un procedimiento especificado por la IPTS-90.

Esto puede realizarse de dos maneras distintas:

i) Desde 4,2K al punto triple del neón con  $^4\text{He}$  como sustancia termométrica. En este rango  $T_{90}$  se define a través de la expresión:

$$T_{90} = a + bp + cp^2$$

Ecuación 2.6 punto triple del neón con  $^4\text{He}$  como sustancia termométrica

Donde p es la presión en el termómetro de gas y a,b,c son constantes obtenidas con un procedimiento parecido al usado en el rango anterior.

Desde 3.0K hasta el punto triple del neón con  $^3\text{He}$  o  $^4\text{He}$  como sustancia del termómetro de gas. Cuando estos termómetros sean usados, debe tomarse en cuenta la no linealidad del gas bajo 4,2K, a través de coeficientes ( $B_3$  y  $B_4$ ).

En este rango  $T_{90}$  es definida por la expresión:

$$T_{90} = \frac{a + bp + cp^2}{1 + Bx(T_{90}) \frac{N}{V}}$$

Ecuación 2.7 rango  $T_{90}$ 

Donde  $p$  es la presión en el termómetro de gas,  $a, b, c$  son constantes obtenidas con un procedimiento parecido al usado en el rango anterior;  $N/V$  es la densidad del gas,  $N$  es la cantidad de gas y  $V$  el volumen del bulbo; multiplicado por 3 o 4 dependiendo del isótopo del gas usado y los valores de los coeficientes son determinados por las expresiones siguientes:

Para  $^3\text{He}$ :

$$\frac{B_3(T_{90})}{\text{m}^3\text{mol}^{-1}} = \left[ \begin{array}{l} 16,69 - 336,98 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-1} + \\ 91,04 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-2} - 13,82 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-3} \end{array} \right] 10^{-6}$$

## Ecuación 2.8.a

Para  $^4\text{He}$ :

$$\frac{B_4(T_{90})}{\text{m}^3\text{mol}^{-1}} = \left[ \begin{array}{l} 16,708 - 374,05 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-1} - \\ 383,53 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-2} + 1799,2 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-3} - \\ 4033,2 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-4} + 3252,8 \left( \frac{T_{90}}{\text{K}} \right)^{-5} \end{array} \right] 10^{-6}$$

## Ecuación 2.8.b

La precisión obtenida para  $T_{90}$  con estas expresiones depende del diseño del termómetro utilizado y de la densidad del gas.

Entre el punto triple del Hidrógeno (13,8033K) y el punto de congelación de la plata (961,78°C)  $T_{90}$  es definido por medio de termómetros de resistencia de platino.

Las temperaturas se determinan en términos de la razón  $[W(T_{90})]$  entre la resistencia  $R [R(T_{90})]$  a la temperatura  $T_{90}$  y la resistencia  $R [R(273,16)]$  a la temperatura del punto triple del agua, definida como:

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R(273,16)}$$

## Ecuación 2.9 temperatura del punto triple del agua

Un termómetro aceptable debe estar construido en base de platino puro, y debe satisfacer a lo menos una de las siguientes relaciones:

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

$$W(38,8344^{\circ}\text{C}) \geq 0,844235$$

Además, si se quiere usar a la temperatura del punto de congelación del platino, debe satisfacer la relación:

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

Este rango está dividido en dos rangos mayores (entre 13,8033K y 0°C) y (entre 0°C y 961,78°C) y varios subrangos sobrepuestos.

Entre 13,8033K y 0°C las funciones de referencia son:

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

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

Ecuación 2.10 Funciones de referencia

Las constantes  $A_0$ ,  $A_i$ ,  $B_0$ , y  $B_i$  están dados en la tabla 2.1

A0	-2.135 347 29	B0	0.183 324 722	B13	-0.091 173 542
A1	3.183 247 20	B1	0.240 975 303	B14	0.001 317 696
A2	-1.801 435 97	B2	0.209 108 771	B15	0.026 025 526
A3	0.717 272 04	B3	0.190 439 972		
A4	0.503 440 27	B4	0.142 648 498		
A5	-0.618 993 95	B5	0.077 993 465		
A6	-0.053 323 22	B6	0.012 475 611		
A7	0.280 213 62	B7	-0.032 267 127		
A8	0.107 152 24	B8	-0.075 291 522		
A9	-0.293 028 65	B9	-0.056 470 670		
A10	0.044 598 72	B10	0.076 201 285		
A11	0.118 686 32	B11	0.123 893 204		
A12	-0.052 481 34	B12	-0.029 201 193		
C0	2.781 572 54	D0	439.932 854		
C1	1.646 509 16	D1	472.418 020		
C2	-0.137 143 90	D2	37.684 494		
C3	-0.006 497 67	D3	7.472 018		
C4	-0.002 344 44	D4	2.920 828		
C5	0.005 118 68	D5	0.005 184		
C6	0.001 879 82	D6	-0.963 864		
C7	-0.002 044 72	D7	-0.188 732		
C8	-0.000 461 22	D8	0.191 203		
C9	0.000 457 24	D9	0.049 025		

Tabla 2.1 Valores para las constantes  $A_0$ ,  $A_i$ ,  $B_0$ ,  $B_i$ ,  $C_0$ ,  $C_i$  y  $D_0$  de las funciones de referencia de las ecuaciones 2.10 y 2.11 respectivamente

Un termómetro puede calibrarse para el uso en el rango entero, o para rangos más estrechos con límite superior 0°C y rangos menores determinados por los puntos fijos 24,5561 K; 54,3584 K y 83,8058 K.

Lo subrangos determinados son:

- i) Entre el punto triple del hidrógeno (13,8033K) y el punto triple del agua (273,16K) el termómetro debe calibrarse con el punto triple del hidrógeno, neón (24,5561 K), oxígeno (54,3584), argón (83,8058), mercurio (234,3156) y del agua.
- ii) Entre el punto triple del oxígeno y el punto triple del agua, el termómetro debe calibrarse con el punto triple del oxígeno, argón, mercurio y del agua.
- iii) Entre el punto triple del argón y el punto triple del agua, el termómetro debe calibrarse con el punto triple del argón, mercurio y del agua.

Entre 0°C y 961,78 las funciones de referencia son:

$$W(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^{i=9} C_i \left[ \frac{T_{90} - 754,151,5}{K} \right]$$

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

Ecuación 2.11 Funciones de referencia

Las constantes  $C_0$ ,  $C_i$ ,  $D_0$  y  $D_i$  están dadas en la tabla 2.1

Un termómetro puede calibrarse para el uso en el rango entero, o para rangos más estrechos con límite inferior 0°C y rangos superiores determinados por los puntos fijos 660,323°C; 419,527°C; 231,928°C; 156,5985°C o 29,7646°C.

Lo subrangos determinados son:

- i) Entre el punto triple del agua y el punto de congelación de la plata (961,78°C) el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua (0,01°C) y los puntos de congelación del estaño (231,928°C), zinc (419,527°C) y de la plata.

- ii) Entre 0°C y el punto de congelación del aluminio (660,323°C) el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua, y los puntos de congelación del estaño, zinc y del aluminio.
- iii) Entre 0°C y el punto de congelación del zinc el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua, y los puntos de congelación del estaño, y del zinc.
- iv) Entre 0°C y el punto de congelación del estaño el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua, y los puntos de congelación del indio (156,5985), y del estaño.
- v) Entre 0°C y el punto de congelación del indio el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua, y el punto de congelación del indio (156,5985).
- vi) Entre 0°C y el punto de congelación del galio el termómetro debe calibrarse con el punto triple del agua, y el punto de fusión del galio (29,7646).

Sobre el punto de congelación de la plata,  $T_{90}$  es definido en términos de un punto fijo definido y la Ley de radiación de Planck, debe usarse un termómetro de radiación.

La ecuación de referencia es:

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

Ecuación 2.12 Termómetro de radiación

Donde  $T_{90}(x)$  a uno de los siguientes puntos de congelación:  $T_{90}(\text{Ag})=1234,93\text{K}$ ;  $T_{90}(\text{Au})=1337,33\text{K}$ ; o  $T_{90}(\text{Cu})=1357,77\text{K}$ .

$LIT_{90}$  y  $LI[T_{90}(x)]$  son las concentraciones espectrales de la radiación de un cuerpo negro a la longitud de onda (en el vacío) para  $T_{90}$  y para  $T_{90}(x)$  respectivamente.

$C_2 = 0,014388 \text{ mK}$ .

$T_{90}(x)$  puede ser el punto de la plata, del oro o del cobre.

### 2.2.3.5 Temperatura de referencia

En 1990, la NIST<sup>29</sup> estableció los 17 puntos fijos del rango internacional de temperatura (LIPTS-90)<sup>30</sup>, el cual considero como base los fenómenos físicos naturales reproducibles. Los puntos fijos del IPTS-90 han sido enumerados en la tabla 2.2 que se indica a continuación:

Punto de equilibrio	K	°C
Punto presión de vapor del helio	de 3 a 5	de -270.15 a -268.19
Punto triple del hidrógeno	13.8033*	-259.346
Punto de ebullición del hidrógeno a 33.330.6 Pa	17.042 *	-256.108*
Punto triple del neón	27.102	-246.048
Punto triple del oxígeno	54.361	-218.789
Punto triple del argón	83.8058	-189.3442
Punto triple del mercurio	234.3156	-38.8344
Punto triple del agua	273.16	0.01
Punto triple del galio	302.9146	29.7646
Punto de fusión del indio	429.7485	156.5985
Punto de fusión del estaño	505.078	231.928
Punto de fusión del zinc	592.677	419.527
Punto de fusión del aluminio	933.473	660.323
Punto de fusión de la plata	1234.93	961.78
Punto de fusión del oro	1337.33	1064.18
Punto de fusión del cobre	1357.77	1084.62

Tabla 2.2 puntos fijos del rango IPTS-90<sup>31</sup>

Las RTDs<sup>32</sup> (Detector de temperatura resistiva) están diseñadas de tal manera que presenten una resistencia determinada para una temperatura (normalmente 0°C). Por lo que se tiene las Pt25, Pt100, Pt1000, Ni100, Cu1000. Para la relación entre resistencia y temperatura se encuentran tabuladas el cual sigue una ecuación

---

29 Glosario

30 Glosario

31 [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_termometro.asp?k=62](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_termometro.asp?k=62)

32 Glosario

determinada, publicada en normas internacionales como son las DIN<sup>33</sup>, BS o en ISO. En las mismas se indican diferentes clases de precisión y tolerancias para cada una de ellas. Por ejemplo la norma DIN define 100 ohm  $\pm 0.12\%$  para la clase B y  $\pm 0.06\%$  para clase A. Con estas normas permite el intercambio de sensores, dentro de las tolerancias asignadas.

Aplicando dichas normas facilita tanto la precisión exigida a los termómetros como los puntos de calibración necesarios para un buen uso, así como las desviaciones máximas permitidas en los diferentes rangos de temperatura.

### 2.2.3.6 Exactitud<sup>34</sup>

En instrumentos digitales es fácil señalar resoluciones de 0.1 grados °C. La resolución no se relaciona con la precisión de las medidas.

Existen algunas causas que determinan errores en un sistema de medida tales como:

- Los instrumentos puede tener un amplio rango, con ello se puede obtener 19000 puntos de medida. Dentro de este rango en los 19000 puntos, el instrumento puede tener comportamientos diferentes debido a la linealidad interna.
- Cada componente electrónico tiene una desviación que depende la temperatura del ambiente. Con lo cual, la precisión del instrumento dependerá de una temperatura específica entre 20°C o 25 °C, por lo que para su desviación se anota para cada grado de variación respecto a la temperatura de referencia.

---

33 Glosario

34 Física. J.W. Kane y M.M. Sternheim. Editorial Reverté S.A.

- Alguno de los componentes electrónicos tienen limitaciones en lo que tiene que ver con su temperatura (de 0 a +70 °C). Para temperaturas mas altas se utiliza instrumento que usan componentes militares que ensanchan el campo de empleo de -55 a +125 °C.
- Para los LCD. Los cristales líquidos tienen limitado campo de empleo en función de la temperatura. El campo normal es de 0 a 50 °C. También existen para temperaturas de -20 °C hasta +70 °C
- Los sensores de medida tiene un error propio. Este error sumado al error del instrumento se obtiene el error total.

#### **2.2.3.7 Verificación de termómetros**

La verificación de los termómetros se las debe realizar constantemente para con esto asegurarnos que con esto den las temperaturas exactas. Se puede comprobar con un instrumento de medición calibrado con alta confiabilidad con otro que no tenga esa confiabilidad

#### **2.2.3.8 Verificación basada en un termómetro de infrarrojo.**

La verificación de termómetros digitales en base a un termómetro infrarrojo es un método eficaz ya que este tipo de termómetros dan una medida exacta.

Para realizar esta verificación se toma como base la temperatura de agua caliente o fría con la termocupla del termómetro infrarrojo, al mismo tiempo se introduce el sensor de digital y se espera a que los dos termómetros den una medición para comparar la lectura del digital contra el infrarrojo. La variación que puede existir es de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , si es mayor a esto el termómetro digital se desecha por lo que debería ser reemplazado.

#### 2.2.4 CALIBRACIÓN BAÑO DE SALES<sup>35</sup>

Para la calibración de instrumentos de temperatura se emplean baños de temperatura (calibradores de bloque metálico, de baño de arena y de baño de comprobadores potenciométricos)

#### 2.2.5 HORNO DE BAÑO SALES<sup>36</sup>

El calentamiento por inmersión de las piezas en un líquido tiene un principio diferente a los hornos de atmósfera gaseosa. Comúnmente una de las prácticas antiguas era la de sumergir la pieza en un metal líquido (usualmente plomo). Esta práctica con el tiempo ha sido desplazada debido al uso de sales fundidas debido a que el plomo es muy denso, el cual es una de las principales causas ya que las piezas tienden a flotar, y además el plomo se adhiere a la superficie del acero dificultando algunos tratamientos (como el temple) causando problemas en su limpieza.

Los baños de sales fundidas se utilizan como un medio eficiente de calentar metales, principalmente aceros, aunque algunas composiciones son compatibles con metales y aleaciones no ferrosas. Las sales fundidas tienen algunas ventajas:

- Ofrecen en conjunto un rango de operación de 175°C a 1260°C;
- La superficie de las piezas queda totalmente protegida
- En el temple éste se ve facilitado gracias a que una delgada película de sal permanece en la superficie durante la transferencia desde el horno al medio de temple
- Existe una amplia gama de sales, incluyendo las que pueden cambiar la condición superficial del acero.

---

<sup>35</sup> Paul A. Tipler, La física para la ciencia y tecnología

<sup>36</sup> Fundamentos de los tratamientos térmicos. Autor: José Apraiz

Una desventaja es que al calentar piezas en sales fundidas es necesario limpiar aquellas después del tratamiento, lo cual puede ser difícil, especialmente en piezas de geometría compleja.

Estos tipos de hornos son muy versátiles, se recomienda que los recipientes deban ser hechos de una aleación níquel-cromo para que tengan una vida útil aceptable.

#### 2.2.5.1 Hornos de Alta Temperatura<sup>37</sup>

Con este tipo de hornos se puede calibrar a temperaturas de 1500°C. Disponen de algún bloque isoterma que da homogeneidad al sistema. Sus incertidumbres obtenidas son mucho mayores que las de medio líquido, debido a las temperaturas tan elevadas. (Fig. 2.4)



Fig. 2.4 Hornos de alta temperatura<sup>38</sup>

#### 2.2.5.2 Hornos de Tratamiento Térmico

Existen muchos tipos de hornos para tratamientos térmicos, los mismos pueden variar en diseño, tamaño, fuente térmica, temperaturas de operación, modo de

---

37 <http://www.arqhys.com/arquitectura/electricos-hornos.html>

38 <http://www.tbe-spain.com/Titelphoto1.jpg>

calentamiento, medio de transferencia de calor, modo de operación por lo que para dar una clasificación exacta resulta imposible.

En lo que respecta a sus tamaños existen diferentes tipos desde pequeños modelos con capacidad de unos pocos gramos, hasta hornos de base móvil que permiten calentar cientos de toneladas en una sola intervención. También existen hornos que pueden calentarse con combustible en forma directa, por lo que la pieza a tratar queda expuesta a los gases de combustión, o indirectamente, en el que la pieza queda aislada de los gases. También hay hornos que se calientan por resistencia eléctrica.

### 2.2.6 MODOS DE CALENTAMIENTO<sup>39</sup>

Los modos básicos de transmisión de calor conocidos son conducción, convección y radiación. Pueden utilizarse solos o en combinación.

- La Conducción de calor en un sólido, es la transferencia de calor desde una parte del sólido a otra, bajo la influencia de un gradiente de temperatura y sin desplazamiento apreciable de las partículas. Si la temperatura superficial de una pieza es elevada, el flujo calórico hacia el centro ocurre por un mecanismo molecular. La conducción involucra la transferencia de energía cinética desde una molécula a otra en una reacción en cadena. El flujo calórico continúa hasta alcanzarse el equilibrio. El tiempo involucrado depende de la conductividad del metal, siendo en general relativamente rápido.
- La Convección involucra la transferencia de calor por mezcla de una parte del fluido (líquido o gas) con otra. El movimiento del fluido puede deberse enteramente a la diferencia de densidad producto de la diferencia de temperatura, como en la convección natural, o puede producirse por medios

---

<sup>39</sup><http://www.metalurgiausach.cl/intranet/a14/Hornos%20y%20Medicion%20de%20temperatura.pdf> Pag.39-41

mecánicos, como en la convección forzada. Usualmente se utilizan ventiladores para incrementar el coeficiente de transferencia térmica del sistema.

- **Radiación** Cuando se coloca una pieza de trabajo en un horno y se la expone a calor por radiación, su velocidad de calentamiento depende de su superficie. Un objeto altamente reflectante (por ejem. Acero inoxidable pulido) absorbe calor a menor rapidez que un objeto oscuro.

Los hornos de tratamientos térmicos en gran parte y que operan en temperaturas superiores a 600°C principalmente son calentados por radiación, sin importar su tamaño, ni tampoco si son calentados por elementos de resistencia eléctrica, directamente por medio de la radiación de quemadores y las paredes del horno, o indirectamente por quemadores contenidos en tubos (tubos radiantes). Un horno típico de tratamiento térmico es calentado por radiación, el horno batch del tipo caja simple. En muchos hornos de gran tamaño se emplea adicionalmente la convección forzada por medio de ventiladores para aumentar la eficiencia de calentamiento y la uniformidad de temperatura como se indica en la siguiente (Fig. 2.5)

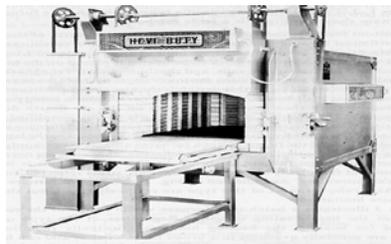


Fig. 2.5 Horno tipo batch pequeño<sup>40</sup>

### 2.2.7 DEFINICIÓN DE CONTROL

El control se puede definir como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema conocido como planta a través de otro sistema de control. (fig. 2.6)

---

<sup>40</sup>[http://www.directindustry.es/cat/maquinas-y-equipos-hornos-intercambiadores-refrigeracion/equipos-termicos-para-laboratorios-P-528-\\_91.html](http://www.directindustry.es/cat/maquinas-y-equipos-hornos-intercambiadores-refrigeracion/equipos-termicos-para-laboratorios-P-528-_91.html)

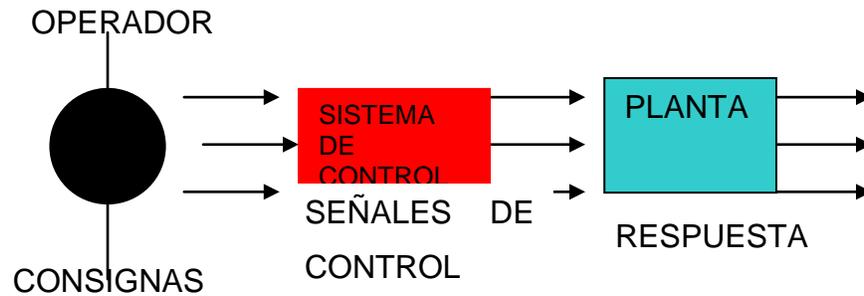


Fig. 2.6 Diagrama esquemático de un sistema de control<sup>41</sup>

Un sistema de control tiene como principio el de una respuesta de una planta, sin que necesariamente el recurso humano intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Por lo que el operador se encarga de las magnitudes de consigna y el sistema de control se encarga de controlar dicha salida a través de los parámetros designados.

El sistema de control opera, en general magnitudes de baja potencia conocidas como señales y controla unos accionamientos que son los encargados de modular la potencia entregada a la planta.

### 2.2.7.1 Generalidades

En la industria una operación o secuencia de operaciones en el que las variables que intervienen en el proceso sean éstas: temperaturas, desplazamientos, tiempos, etc. están debidamente identificadas para obtener resultados requeridos.

Gran parte de los procesos industriales requieren coordinación, supervisión o control. Así como también la automatización de estas funciones que se las puede llevar a cabo de diferentes formas, esto consiste en el control de secuencias de operación en mayor parte basados en cuadros de relés así también utilizando módulos especiales para control de variables continuas como la temperatura y tableros indicadores.

<sup>41</sup> [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico](http://www.sapiensman.com/control_automatico)

El control, no solo sirve para una parte de la ingeniería sino que también se la aplica a varias ramas de la ingeniería como: aeronáutica, química, mecánica, medio ambiente, civil, electrónico, etc.

En uno de los principales campos mas utilizados es en los sistemas de control eléctrico debido a que son muy útiles para el funcionamiento y protección de la de equipos electrónicos, viniéndose por lo que es una herramienta fundamental dentro del Control Industrial.

Una de sus desventajas es que al momento de cambiar de sistema implica modificaciones sustanciales tanto del sistema de control como de los procesos por lo que existe perdida de tiempo así como de inversión económica. El control industrial tiene un amplio campo de aplicación que va desde un circuito de arranque y parada de un motor hasta la automatización en la industria.

### **2.2.7.2 Conceptos básicos**

Lazo abierto

Lazo cerrado

### **2.2.7.3 Lazo abierto**

En los sistemas de lazo abierto la variable entrada controlada y la entrada de referencia no son comparables. Al variar la entrada indicara se tendrá una posición de funcionamiento establecida en los elementos de control como se indica en la siguiente (Fig. 2.7)

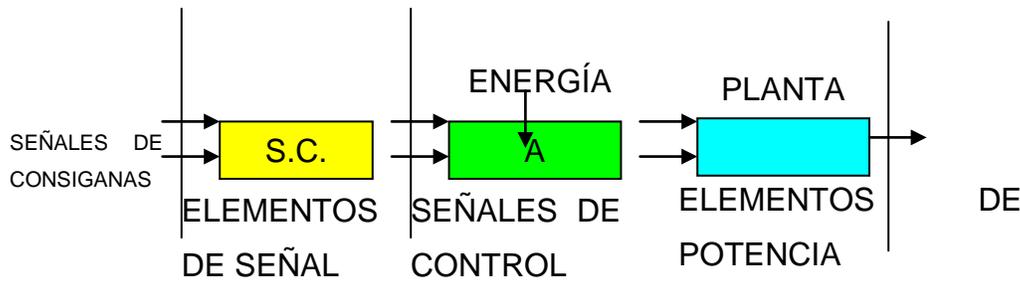


Fig. 2.7 Diagrama esquemático de un sistema de control de lazo abierto<sup>42</sup>

#### 2.2.7.4 Lazo cerrado

Aplicando esto se tiene una realimentación que va desde los sensores de la planta hacia el sistema de control.

El lazo cerrado permite tener una realimentación del sistema, la salida vuelve al principio para analizar la diferencia y en una segunda opción ajuste mas, por lo que se convierte en un ciclo que dura hasta que el error sea 0.(Fig. 2.8)

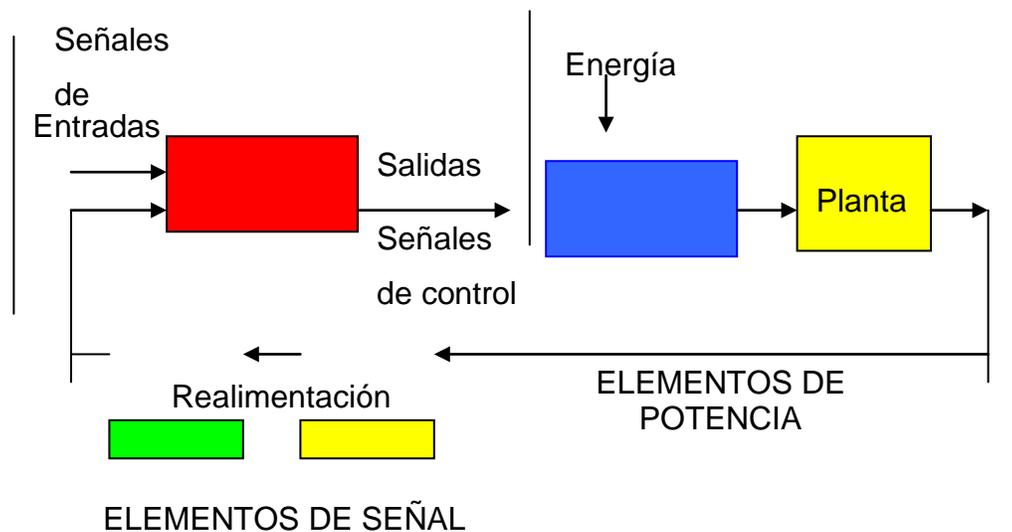


Fig. 2.8 Diagrama esquemático de un sistema de control de lazo cerrado<sup>43</sup>

<sup>42</sup> [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico/](http://www.sapiensman.com/control_automatico/)

<sup>43</sup> [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico/](http://www.sapiensman.com/control_automatico/)

## 2.2.8 TERMOCUPLAS<sup>44</sup>

Si se presenta un gradiente de temperatura en un conductor eléctrico, el flujo de calor creará un movimiento de electrones y con ello se generará una fuerza electromotriz (FEM<sup>45</sup>) en dicha región. La magnitud y dirección de la FEM será dependientes de la magnitud y dirección del gradiente de temperatura del material que conforma al conductor. Las termocuplas se basan para su funcionamiento en el efecto SEEBEK indicada en la siguiente (Fig. 2.9)

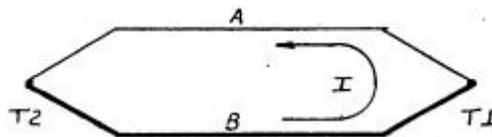


Fig. 2.9 Las termocuplas se basan para su funcionamiento en el efecto SEEBEK

### 2.2.8.1 La Termocupla práctica

Los termo elementos se los puede utilizar para aplicaciones simples el cual se lo puede hacer usando cables con algún tipo de aislante adecuado para cada caso.

La unión de medición se forma en un extremo soldando los dos alambres conductores fundiéndolos entre sí bajo una atmósfera inerte de argón.

La principal condición para esto es establecer una conexión eléctrica adecuada entre los conductores como se indica en la siguiente (Fig. 2.10)

---

44 Dieter Weber, Matthias Nau. Electrical Temperature Measurement (with Thermocouples and Resistance thermometers). Tercera edición. Fulda (Germany): JUMO technical publication, Marzo 2000

45 Glosario



Fig. 2.10 Termocupla practica

Existen infinidad de termocuplas con diferentes rangos estilos tipos dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar en la industria y en campo científico.

Por lo general el termoelemento va introducido en una carcasa cerrada en su extremo (termopozo) el cual está fabricada de alguna aleación metálica el cual tiene que ser resistente a la corrosión o al calor y, también se puede utilizar un material refractario (Fig. 2.11)



Fig. 2.11 Diseño de una termocupla con carcasa cerrada en el extremo

Una alternativa de construcción es utilizando como aislamiento mineral; en este caso, por lo que sus cables están envueltos en un polvo mineral inerte y no conductor fuertemente compactado. Todo esto unido va con una camisa metálica (de acero inoxidable o aleaciones de níquel) y así cerrada herméticamente.

Este tipo de ensamblaje se puede obtener en diámetros externos desde 0.25 hasta 19 mm inclusive y longitudes de unos pocos milímetros hasta cientos de metros en la (Fig. 2.12) se tiene un ejemplo



Fig. 2.12 Termocuplas no estándar

Existen diferentes tipos de materiales que se usan para la construcción de las mismas y se utilizan letras para identificar su tipo las encargadas son la ISA<sup>46</sup> (Arquitectura Estándar de la Industria) y la IEC<sup>47</sup> (Comisión electrónica internacional). Las termocuplas estandarizadas con las normas internacionales exhiben características especiales que no se encuentran en los tipos estándar, por tanto las hace especiales para cierto tipo de aplicaciones. Las características y la fem de salida pueden variar de un fabricante a otro, por lo que se debe consultar dependiendo del fabricante en base a las aplicaciones específicas.

Hay una aleación en particular, que se debe considerar por separado. Se trata de la aleación hierro-constantán Fe - CuNi. Una de las más difundidas antes de la homologación de las normas ANSI MC 96.1 (IPTS - 68) y DIN 43710.

En la fig 2.13 se indican las curvas de algunas aleaciones, identificadas por IEC, como se puede observar la curva L presenta una diferencia con la Tipo J, aún cuando sus composiciones químicas sean similares, de casi 13° C en 800° C. Sin embargo se la confunde con su similar Tipo J.

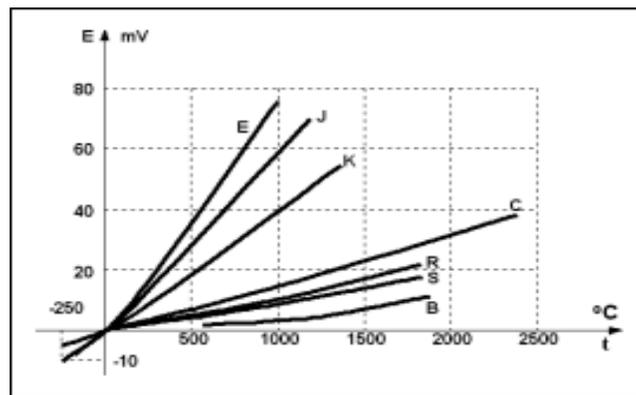


Fig. 2.13 Curvas de las diferentes aleaciones de las termocuplas<sup>48</sup>

46 Glosario

47 Glosario

48 [http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos///sensores\\_termocupla.pdf](http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos///sensores_termocupla.pdf)

### 2.2.8.2 Diseño de las termocuplas<sup>49</sup>

Los requerimientos más importantes que deben cumplir los materiales de termocuplas son:

- Ser mecánicamente robustos y resistentes químicamente.
- Deben producir una salida eléctrica mensurable, y estable.
- Deben tener la precisión requerida.
- Deben responder con la velocidad necesaria
- Debe considerarse la transferencia de calor al medio y viceversa para no afectar la lectura.
- Deben, en algunos casos, estar aislados eléctricamente de masa

Hay una gran variedad de diseños de termocuplas para numerosas aplicaciones. En su diseño más común, los conductores (alambres) de los materiales deseados se juntan, normalmente mediante soldadura, para formar la junta de medición. Los alambres son separados, después de la junta soldada y aislados, normalmente por medio de una sustancia como ser fibra de vidrio, resina fluorocarbonada (por ejemplo, Teflón). Aisladores cerámicos, fibra cerámica, polvo cerámico, etcétera. Los alambres pueden usarse desprotegidos o instalados dentro de un tubo o vaina de protección. Los tubos y las vainas de protección se usan casi siempre con las termocuplas básicas mientras las termocuplas provistas de blindaje protector metálico pueden brindar suficiente protección química y mecánica sin tubo o vaina en la mayoría de los casos.

### 2.2.8.3 Construcción con blindaje metálico<sup>50</sup>

Las termocuplas con blindaje metálico, normalmente llamadas compactadas como se indica en la (Fig. 2.14), suelen compactarse con óxido de magnesio, pero se puede utilizar otros materiales como puede ser óxido de aluminio y óxido de

49 [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

50 [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

berilio. Las termocuplas compactadas se construyen insertando la aislación en forma de polvo, o como cordones especiales sobre los alambres dentro del tubo metálico. Posteriormente se procede a reducir el diámetro del tubo trafilándolo, aplastando así los aisladores o comprimiendo el polvo hasta formar una masa más densa. La unidad, finalmente, es tratada térmicamente para aliviar las tensiones provocadas por la reducción del diámetro y para eliminar cualquier humedad residual.

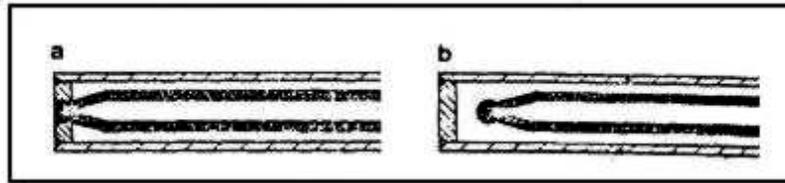


Fig. 2.14 Construcción de la junta de medición en termocuplas compactadas<sup>51</sup>.

a. Solidaria; construcción especial para lograr una mayor velocidad de respuesta  
 b. Aislada; construcción normal de las termocuplas. También se la puede construir expuesta, tratándose de una construcción especial que ofrece la máxima velocidad de respuesta y la mínima resistencia a los agentes corrosivos por estar la junta fuera de la vaina protectora.

La junta de medición de las termocuplas con blindaje metálico puede tener tres configuraciones distintas: soldada al extremo del blindaje, aislada del extremo del blindaje o expuesta fuera del extremo del blindaje.

Soldando los alambres al extremo del blindaje se logra hacer masa con el blindaje, se los protege de daños mecánicos y condiciones ambientales adversas, y se asegura una construcción hermética a la presión. La velocidad de respuesta de este tipo de construcción se encuentra entre la velocidad de la junta expuesta (la más rápida) y la aislada (la más lenta).

La junta aislada es similar a la junta puesta a masa, salvo hallarse aislada del blindaje y tener una respuesta más lenta. Su construcción elimina la tensión entre

<sup>51</sup> [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

los alambres y el material del blindaje provocada por las diferencias en los coeficientes de dilatación.

La junta expuesta posee la respuesta más rápida de las tres configuraciones, pero no es hermética a la presión o a la humedad y los alambres se hallan expuestos al ambiente. Esto podría llevar a la corrosión y/o cortocircuito eléctrico debido a la conductividad del medio del proceso.

La termocupla blindada es mecánicamente más fuerte que la termocupla común con alambre aislado, y se la puede doblar o conformar con radios de curvatura muy reducidos inclusive dos veces el diámetro del blindaje. Esta termocupla puede ser cargada a resorte dentro de un tubo o vaina de protección (cuando se requiere protección adicional) para el contacto con el fondo de la vaina o el tubo a fin de obtener una respuesta rápida.

Se dispone de termocuplas blindadas con diámetros externos desde 1 hasta 9.5 mm. Los blindajes pueden hacerse de una gran variedad de materiales, siendo los más comunes los de aleaciones de níquel-cromo y aceros inoxidable.

Tipo	Atmósfera oxidante	Atmósfera reductora	Atmósfera inerte	Vacío	Atmósfera sulfurosa	Temperaturas subcero	Vapores metálicos
B	SI	NO	SI	SI durante corto tiempo	NO	NO	NO
R	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
S	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
J	SI	SI	SI	SI	NO > 500°C	NO	SI
K	SI (1)	NO	SI	NO	NO	SI	SI
T	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
E	SI	NO	SI	NO	NO	SI (2)	SI

Tabla 2.3 Limitaciones ambientales de termocuplas (sin vainas)<sup>52</sup>

En la tabla 2.3 se muestra que las termocuplas E, J o T su temperatura está por encima de 550°C y la E es la más satisfactoria para temperaturas subcero.

<sup>52</sup> [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

#### 2.2.8.4 Leyes de las termocuplas<sup>53</sup>

Aparte de obtener una tabla de calibración para los diferentes tipos de materiales que se utiliza en la construcción de una termocupla. Mediante Experimento se han podido establecer leyes que se indica a continuación.

#### 2.2.8.5 Ley de metales homogéneos.

Una corriente termoeléctrica no puede ser sostenida en un único metal homogéneo, sin importar la variación en la sección transversal, por solo la aplicación de calor.

Esta ley implica que si los hilos  $A$  y  $B$  de la figura 2.15 fueran del mismo material el valor  $V_{ij}$  medido sería nulo, no existiría fem alguna. También se deduce a partir de esta ley que no importa cuál sea la posición del voltímetro el valor  $V_{ij}$  medido será el mismo, ya sea que este esté a lo largo del hilo  $A$ , el hilo  $B$  o incluso en una unión entre ambos.

##### 2.2.8.5.1 Ley de metales intermediarios a temperatura única.

La suma algebraica de fem termoeléctricas en un circuito compuesto por cualquier número de metales distintos es nula si todo el circuito se mantiene a la misma temperatura.

Esta ley muestra la importancia de mantener a distintas temperaturas las uniones. Si  $T_1$  fuera igual a  $T_2$  el valor  $V_{ij}$  medido sería nulo, no importa cuáles sean los materiales  $C$  y  $D$  la medición de  $V_{ij}$  será la misma siempre que estos estén homogeneizados en temperatura, es decir que la suma algebraica de las fem's dadas en las uniones  $A-C$  y  $C-B$  será nula, repitiéndose el resultado para el material  $D$ .

---

<sup>53</sup> H. Duckworth, *Electricity and Magnetism*, Holt, Rinehart & Winston, Inc., 5edición, Hamilton(1980).

Combinando las leyes mencionadas, se han logrado grandes avances en la termometría con termocuplas. El agregado de hilos de un único material metálico a la termocupla no tiene efecto en el valor  $V_{ij}$  medido, permitiendo alejar el instrumento de medición del lugar donde se realiza la medición disminuyendo la pérdida de señal (esto, por supuesto, si se escoge adecuadamente el material que compone el metal a agregar). Además es posible colocar estas conexiones con el metal que prolonga los brazos de la termocupla a una temperatura de referencia. La Fig. 2.16 esquematiza la aplicación en conjunto de las leyes mencionadas como ya fúe enunciado. En este caso El valor  $V_{ij}$  medido será el correspondiente a las temperaturas  $T_1$  y  $T_{ref}$ . Esta temperatura de referencia permitiría realizar una comparación entre distintos tipos de termocuplas utilizando una temperatura de referencia común a todas ellas. En la Fig. 2.15 se ve que todas las señales coinciden en el punto  $(0; 0)$  pues la temperatura de referencia es  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura se logra sumergiendo las uniones correspondientes en un baño de agua con hielo

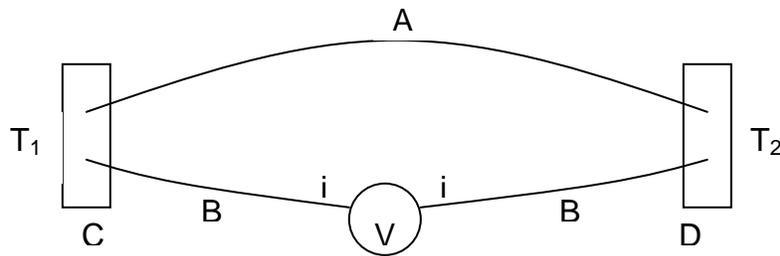


Fig. 2.15 Esquematación de la ley de metales intermedios a temperatura única

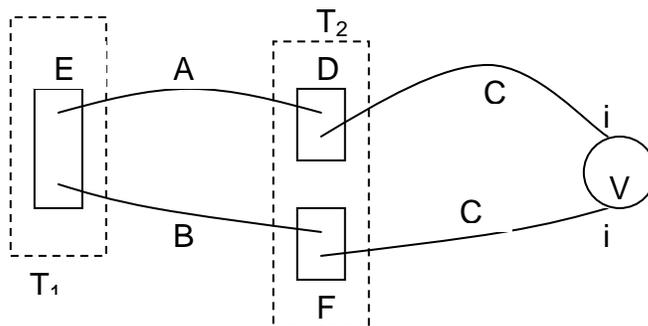


Fig. 2.16 Esquematación de las leyes de termocuplas.

### 2.2.9 PIRÓMETROS<sup>54</sup>

Un pirómetro es un instrumento utilizado para medir, por medios eléctricos, elevadas temperaturas por encima del alcance de los termómetros de mercurio. Este término abarca a los pirómetros ópticos, de radiación, de resistencia y termoeléctricos.

Los pirómetros de radiación se fundan en la ley de Stefan - Boltzman y se destinan a medir elevadas temperaturas, por encima de 1600 °C mientras que los pirómetros ópticos se fundan en la ley de distribución de la radiación térmica de Wien y con ellos se han definido puntos por encima de 1063 °C en la Escala Internacional de Temperaturas.

Las medidas pirométricas, exactas y cómodas, se amplían cada vez más, incluso para temperaturas relativamente bajas (del orden de 800 °C)

#### 2.2.9.1 Teoría de los Pirómetros<sup>55</sup>

La palabra pirómetro se deriva de la palabra griega *Pyros*, que significa “Fuego” y *Metron* que significa “Medida”. La teoría de los pirómetros se basa en el hecho de que todos los cuerpos arriba del cero absoluto de temperatura irradian energía, de lo cual parten para medir la temperatura de los cuerpos. La radiación es un modo de propagación de la energía a través del vacío, de forma análoga a la luz. Cuando se habla de la radiación de los cuerpos se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de dichos cuerpos, esta energía es radiante y es transportada por las ondas electromagnéticas que viajan en el vacío a una

---

54 Industrial Instrumentation Fundamentals, Fibrance, Austin E., Mc. Graw Hill Company, Nueva York, 1962

55 Instrumentation for Engineering Measurements, Dally, James W., John Wiley & Sons, Nueva York, 1984.

velocidad de  $3 \times 10^8$  m/s. La radiación electromagnética se extiende a través un ancho rango de frecuencias, como se indica en la fig 2.17

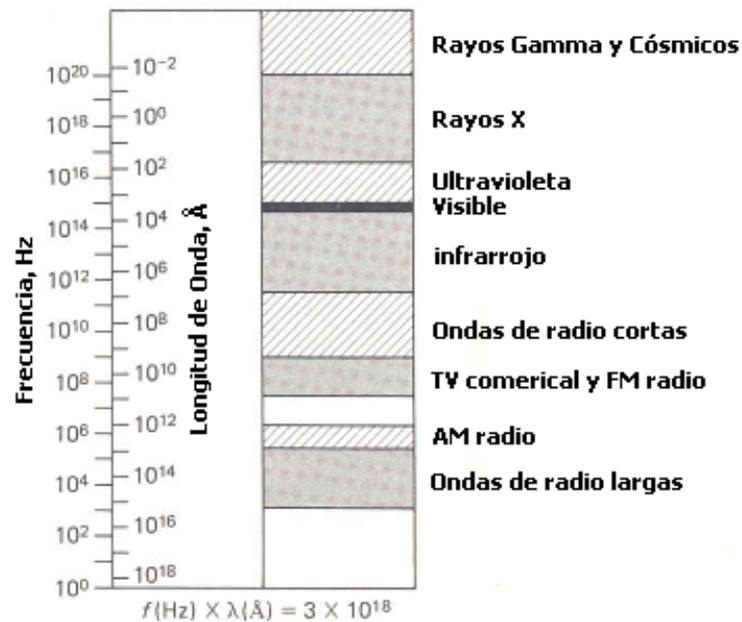


Fig. 2.17 Espectro de radiación electromagnética<sup>56</sup>

Los cuerpos no sólo irradian o emiten energía, sino que también reciben y absorben de otras fuentes. Sobre la superficie de un cuerpo incide constantemente energía radiante, tanto desde el interior como desde el exterior, la que incide desde el exterior procede de los objetos que rodean al cuerpo. Cuando la energía radiante incide sobre la superficie una parte se refleja y la otra parte se transmite. Si la superficie es como la de un espejo, la mayor parte de la energía incidente se refleja, el resto atraviesa la superficie del cuerpo y es absorbido por sus átomos o moléculas. La proporción de energía que incide es igual a la suma de la reflejada y la absorbida. Asimismo, la misma proporción de la energía radiante que incide desde el interior se refleja hacia dentro, y se transmite cierta proporción que se propaga hacia fuera, lo que se denomina energía radiante emitida por la superficie. Dependiendo de las características de la superficie del cuerpo, es la cantidad de energía que se refleja y absorbe, de la fig 2.18 se muestra una superficie que refleja la mayor parte de la energía que incide y por lo

<sup>56</sup> Instrumentación Industrial, Creus, Antonio, Publicaciones Marcombo, Mexico, 1981

tanto absorbe una mínima cantidad de ella, y otra que refleja una pequeña cantidad de energía incidente pero absorbe en su mayoría la cantidad restante.

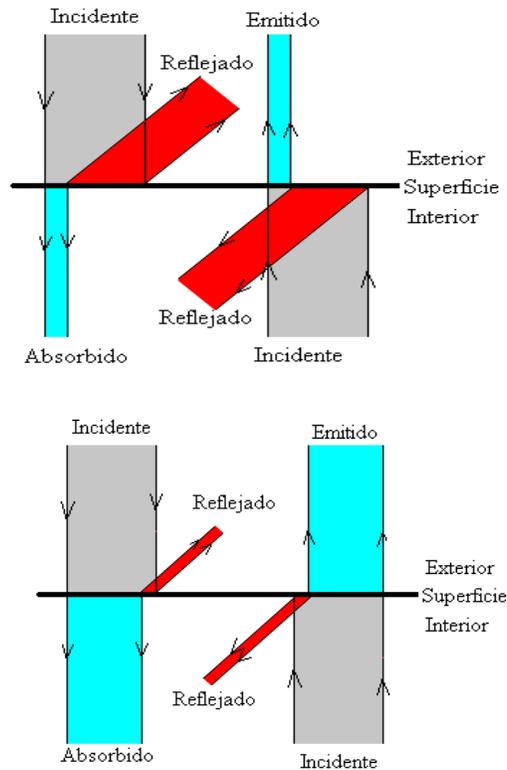


Fig. 2.18 Absorción y emisión de radiación

También se puede decir, que un buen reflector es un mal emisor, y un mal reflector es un buen emisor.

La superficie de un cuerpo negro es un caso límite, en el que toda la energía incidente desde el exterior es absorbida, y toda la energía incidente desde el interior es emitida como en la siguiente (Fig. 2.18a)

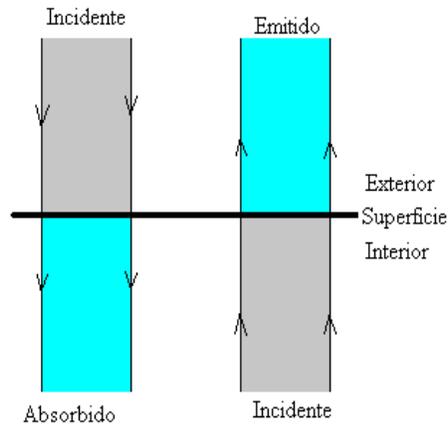


Fig. 2.18a Superficie de un cuerpo negro

No existe en la naturaleza un cuerpo negro, incluso el negro de humo refleja el 1% de la energía incidente. Sin embargo, un cuerpo negro se puede sustituir con gran aproximación por una cavidad con una pequeña abertura. La energía radiante incidente a través de la abertura, es absorbida por las paredes en múltiples reflexiones y solamente una mínima proporción escapa (se refleja) a través de la abertura. Se puede decir por tanto, que toda la energía incidente es absorbida. (Fig. 2.18b)

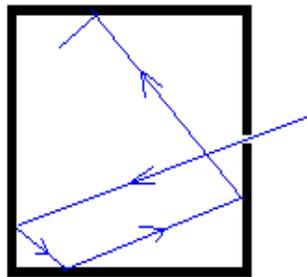


Fig. 2.18b Superficie de un cuerpo negro

### 2.2.10 SALES<sup>57</sup>

La sal es un compuesto químico formado por cationes (iones con carga positiva) enlazados a aniones (iones con carga negativa). Son el producto típico de una

<sup>57</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Sal\\_\(qu%C3%ADmica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Sal_(qu%C3%ADmica))

reacción química entre una base y un ácido, la base proporciona el catión y el ácido el anión.

La combinación química entre un ácido y un hidróxido (base) o un óxido y un hidróxido (base) origina una sal más agua, lo que se denomina neutralización.

En general, las sales son compuestos iónicos que forman cristales. Son generalmente solubles en agua, donde se separan los dos iones. Las sales típicas tienen un punto de fusión alto, baja dureza, y baja compresibilidad. Fundidos o disueltos en agua, conducen la electricidad.

#### **2.2.10.1 Denominaciones**

Las sales se denominan de acuerdo con el ácido del que derivan:

- Acetatos son las sales del ácido acético
- Carbonatos son las sales del ácido carbónico
- Cloratos son las sales del ácido hidroclicóric
- Fosfatos son las sales del ácido fosfórico
- Nitratos son las sales del ácido nítrico
- Nitritos son las sales del ácido nitroso
- Sulfatos son las sales del ácido sulfúric
- Citratos son las sales del ácido cítrico
- Carboxilatos son las sales de cualquier ácido carboxílico, así se tiene:
  - Acetatos, sales del ácido acético
  - Formiatos, sales del ácido fórmico o metanoico
  - Salicilatos, sales del ácido salicílic

#### **2.2.10.2 Clasificaciones de la sal.<sup>58</sup>**

---

<sup>58</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Sal\\_\(qu%C3%ADmica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Sal_(qu%C3%ADmica))"

Las sales se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Sal hidrácida
- Sal oxiácida , Oxisales u Oxosales
- Sal ácida
- Sal doble
- Sal hidratada

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1 TIPOS DE TERMÓMETROS**

#### **2.3.1.1 Termómetro de expansión líquida.**

Este termómetro su funcionamiento esta basado de acuerdo a las características de dilatación o contracción de algunos líquidos dependiendo de las condiciones de temperatura.

El termómetro más común es el común o seco, el cual consta de un depósito de vidrio (bulbo) unido a un tubo (capilar), cerrado en el otro extremo. El líquido termométrico ocupa el bulbo y una mayor o menor parte del capilar de acuerdo a la temperatura.

Estos termómetros utilizan sustancias como son mercurio, alcohol y éter de petróleo. En cuanto al sistema mecánico de los instrumentos para medir la temperatura, ya sea por expansión líquida o por presión de gas o vapor utiliza un bulbo que esta expuesto a la temperatura que se va a medir así como un dispositivo expansible, generalmente un tubo Bourdon, que hace funcionar una aguja indicadora o una pluma registradora. (fig. 2.19)

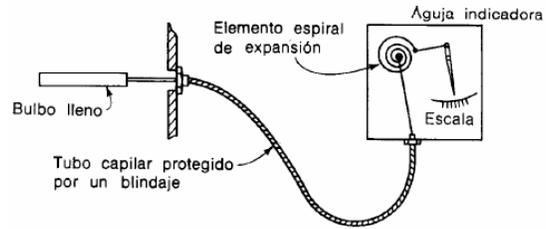


Fig. 2.19 Sistema térmico sencillo para medir la temperatura industrial <sup>59</sup>

Los cambios que se produce por la temperatura a lo largo del tubo capilar y en la caja también esto producirán una expansión y contracción del líquido; por tanto se requiere alguna forma de compensación.

En la siguiente Fig. 2.20 se muestra un termómetro por expansión líquida totalmente compensado, con un sistema idéntico, sin el bulbo, arreglando de manera que los movimientos se sustraigan o anulen

Algunos de los líquidos empleados y las temperaturas que se utilizan son:

Mercurio  $-35^{\circ}\text{F}$  a  $+950^{\circ}\text{F}$

Alcohol  $-110^{\circ}\text{F}$  a  $+160^{\circ}\text{F}$

Pentano  $+330^{\circ}\text{F}$  a  $+85^{\circ}\text{F}$

Creosota  $+20^{\circ}\text{F}$  a  $+400^{\circ}\text{F}$

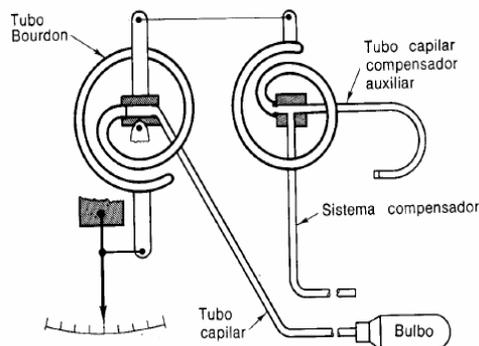


Fig. 2.20 Termómetro por expansión líquida totalmente compensada <sup>60</sup>

Todo este sistema cuenta con un software el mismo que registra las temperaturas tomadas durante un periodo de tiempo y a la vez crea graficas para una mejor interpretación del control.

Para calibrarlos se lo realiza por medio de computadora con un software especial el cual mantiene al aparato en condiciones óptimas de trabajo.

### **2.3.1.2 Termómetros de Gas<sup>61</sup>.**

El termómetro de gas de volumen constante es muy exacto, y tiene un rango de aplicación desde -27 °C hasta 1477 °C. , a este se lo emplea como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros.

Este tipo de termómetros de gas a volumen constante se compone de una ampolla con gas -helio, hidrógeno o nitrógeno, dependiendo de la temperaturas deseada y un manómetro medidor de la presión. Se pone la ampolla del gas en el ambiente cuya temperatura hay que medir, y se ajusta entonces la columna de mercurio (manómetro) que está en conexión con la ampolla, para darle un volumen fijo al gas de la ampolla. La altura de la columna de mercurio indica la presión del gas. A partir de ella se puede determinar la temperatura.<sup>62</sup>

---

60 <http://www.geocities.com/ferpilot/TERMOMETROS.htm>

61 <http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro>

62 [www.directindustry.es/fabricantes-industreial/TERMOMETROS](http://www.directindustry.es/fabricantes-industreial/TERMOMETROS)

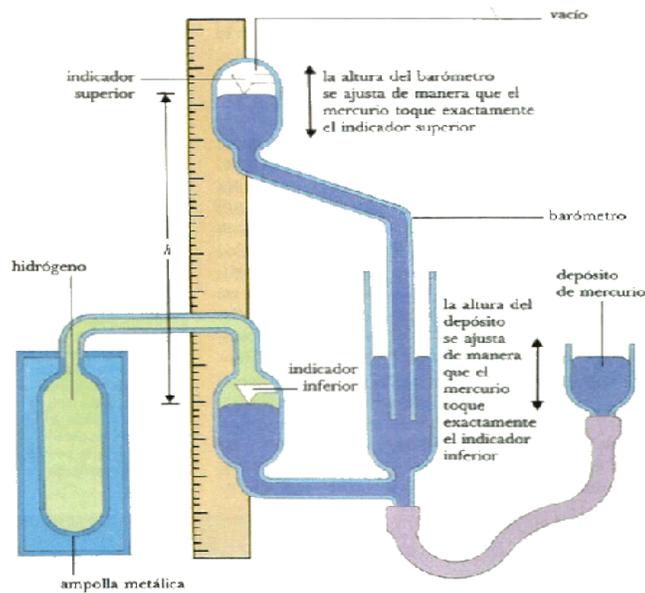


Fig. 2.21 El termómetro de gas a volumen constante<sup>63</sup>

Para usos industriales, un termómetro por presión de gas consta de un elemento que mide la presión, como el tubo Bourdon conectado por un tubo capilar a una ampolla que se expone a la temperatura que se va a medir. El sistema se llena, a presión, con un gas inerte, ordinariamente el nitrógeno.

Como el gas del elemento medidor y del tubo de conexión no está a la temperatura del bulbo, el volumen de éste tiene que ser grande para que los errores introducidos por la diferencia de temperatura del elemento medidor de la presión y del tubo capilar resulten insignificantes. El bulbo debe tener por lo menos cuarenta veces el volumen del resto del sistema. Por ello, y a causa del retardo en la transmisión de los cambios de presión por el tubo capilar, la longitud de éste se limita a un máximo de 60 m,.

La presión inicial en el termómetro de gas es ordinariamente de 10 a 35 Kg/cm<sup>2</sup>. Las dimensiones de la escala menores de 50 grados centesimales no son recomendadas. Con una dimensión de escala de 200 grados centesimales. El

<sup>63</sup> Fuente: [www.directindustry.es/fabricantes-industreial/TERMOMETROS](http://www.directindustry.es/fabricantes-industreial/TERMOMETROS)

tiempo de respuesta tiende a ser largo, en parte a causa de la necesidad de transmitir los cambios de presión por medio de un tubo de calibre fino y en parte a causa del gran volumen y escasa conductividad térmica del nitrógeno. Para el volumen suficiente, el bulbo tiene ordinariamente 22 mm., de diámetro, lo que da una respuesta lenta<sup>64</sup>.

La temperatura es indicada por una aguja que se mueve sobre una escala graduada o se registra en un papel de gráficas sobre un cilindro por una pluma accionada por el elemento que mide la presión. La escala para los registradores rara vez es menor de 100 grados centesimales, pero en los aparatos indicadores el campo puede ser menor.

Los termómetros de gas a presión se emplean en temperaturas entre -450 °F. y + 1000 °F. (-268 °C. y + 538 °C.), lo cual queda parcial o enteramente fuera de los límites de los sistemas de vapor a presión y en aplicaciones en que la menor exactitud y el mayor tamaño del bulbo no exigen la elección de un termómetro de alto costo del tipo de expansión de líquido. (fig. 2.23)

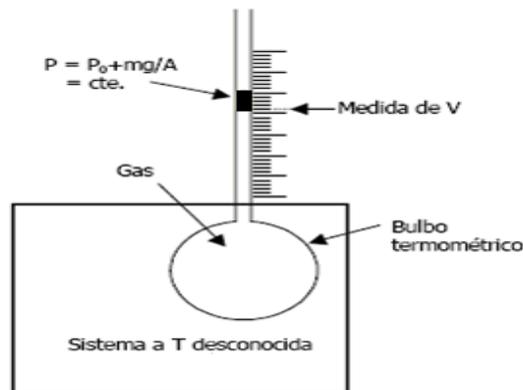


Fig. 2.23 termómetro por presión de gas<sup>65</sup>

64 <http://reocities.com/madisonavenue/6883/trabajos/12termometria/Image143.gif&im>

65 <http://www.textoscientificos.com/imagenes/fisica/Termometro-gas-presion-constante.gif&imgrefurl>

### 2.3.1.3 Termómetros digitales

Este tipo de termómetros miden la temperatura utilizando una punta metálica o área censorsa. El cual nos da la lectura de las temperaturas por medio de una pantalla digital de fácil lectura e interpretación. Por lo que el valor que se indica en el termómetro será el valor de la temperatura que tiene el sensor. Por lo que su ubicación estará alejado de los dispositivos de enfriamiento y calefacción.

Estos normalmente no tienen sistema de calibración, por lo que al momento que la lectura no es correcta hay que desecharlos.

Los termómetros digitales incorporan integrados que tienen la capacidad de percibir las variaciones de temperatura de manera lineal.

Las pequeñas variaciones realizadas por el transductor de temperatura deben ser acopladas para poder ser monitorizadas. Se utiliza algún convertidor análogo digital (ADC) el cual permite convertir el valor de voltaje a un número binario. En cuyo caso será necesario adaptar las variaciones del transductor a la sensibilidad del ADC.

Acoplado a una etapa de demultiplexado con la cual pueda desplegarse la temperatura en un display.<sup>66</sup> Como se indica en la siguiente figura (fig. 2.24)



Fig. 2.24 Ejemplo de un termómetro digital<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)

#### 2.3.1.4 Termómetros por expansión metálica

La mayor parte de los metales se expanden cuando se calientan, la cantidad de expansión varía el cual influye factores como la temperatura y del coeficiente de expansión de cada metal. Este principio se aplica en la cinta bimetalica que se utiliza en el termostato común.

Esta cinta bimetalica se emplea como indicador industrial de temperatura, usualmente se encuentran enrolladas en forma de espiral, uno de sus extremos se encuentra fijo, de manera que cuando hay expansión se obtiene automáticamente un movimiento rotatorio en el otro extremo. Como se indica en la (fig. 2.25)

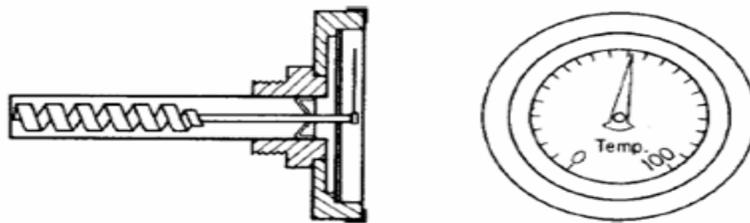


Fig. 2.25 Indicador de temperatura para uso industrial con un elemento bimetalico helicoidal<sup>68</sup>

Las cintas bimétricas utilizan el metal llamado Invar<sup>69</sup> como uno de los elementos, por su bajo coeficiente de expansión, y latón amarillo como el otro elemento metálico utilizado para temperaturas bajas, o una aleación de níquel para temperaturas altas. Ambos se pueden usar en el intervalo de - 100 a 1000°F, son muy resistentes por lo que no requieren de mantenimiento constante.

---

67 [wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)

68 [www.fao.org/docrep/003/F0752S/F0752S72.gif](http://www.fao.org/docrep/003/F0752S/F0752S72.gif)

69 glosario

Una desventaja es que, al encerrar el elemento en un tubo protector, la velocidad de respuesta puede ser menor que la de otros instrumentos.

### 2.3.1.5 Par térmico<sup>70</sup>

Un par térmico consta de dos cables de metales diferentes unidos, el mismo producen un voltaje el cual varía con la temperatura de la conexión. Se utilizan diferentes pares de metales para las distintas gamas de temperatura, teniendo un amplio margen de temperatura: desde  $-248\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El par térmico es el termómetro más preciso en la gama de  $-631\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$  y, debido a que es pequeño, puede responder rápidamente a los cambios de temperatura.

Considerado también como un circuito eléctrico, cuando se sueldan dos hilos de metales distintos forman un circuito cerrado, el cual produce una fuerza electromotriz siempre que las soldaduras A y B estén a distintas temperaturas. Como se indica en la (fig. 2.26)

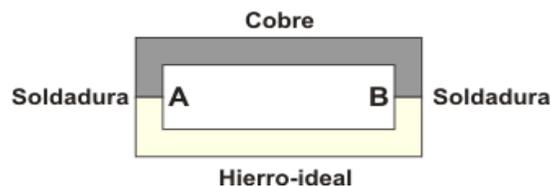


Fig. 2.26 hilos A y B de metales distintos formando un circuito cerrado, para producir una f.e.m<sup>71</sup>

El par termoeléctrico se lo utiliza como termómetro al colocar una soldadura en contacto con el cuerpo cuya temperatura se quiere medir, sabiendo que la otra esta a una temperatura conocida (generalmente  $0^{\circ}\text{C}$ ), y midiendo la fuerza electromotriz.

<sup>70</sup><http://www.textoscientificos.com/imagenes/termometria.gif&imgrefurl>

<sup>71</sup> [www.textoscientificos.com/.../termometria.gif](http://www.textoscientificos.com/.../termometria.gif)

### 2.3.1.6 Termómetros termistor<sup>72</sup>

El termistor es un dispositivo resistivo con semiconductores termo sensibles cuya resistividad varía en función de la temperatura (T).

Se basan en la variación de la resistencia en los metales en función de la temperatura. Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia. El coeficiente de temperatura es el parámetro que determina la variación de resistividad en positiva, como en un termistor PTC<sup>73</sup>, o negativa como en un termistor NTC<sup>74</sup>.

Son instrumentos potentes y flexibles que han sido diseñados utilizando tecnología de microprocesadores para permitirle efectuar mediciones fiables y precisas. Las características estándar incluyen sondas intercambiables, detección de batería baja, capacidad de auto-desconexión.

Los sensores del termistor NTC son adecuadas para medidas en el rango de temperatura desde -50 °C a + 150 °C, con el límite superior establecido ya que superando el límite producirían daños al material del semiconductor y dando resultados sin óptima precisión, debido a la elevada sensibilidad de este dispositivo.

### 2.3.1.7 Termómetro Pt100<sup>75</sup>

Este tipo de termómetros se caracteriza por el aumento de la resistencia eléctrica de los conductores metálicos RTD con el incremento de la temperatura. En 1871, Sir William Siemens describió la aplicación de esta propiedad utilizando el platino, introduciendo de este modo, una innovación en la construcción de los sensores de temperatura. Los termómetros con resistencia de Platino han sido el estándar

---

72 [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_termometro.asp?k=62](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_termometro.asp?k=62)

73 Glosario

74 Glosario

75 [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_termometro.asp?k=62](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_termometro.asp?k=62)

internacional para mediciones de temperatura entre el punto triple del hidrógeno a 131.81 K y el punto de congelación del antimonio a 630.75 °C. El platino, metal noble, no sólo proporciona un mayor rango de medición de temperatura, de -251 a 899 °C, sino que también es el más lineal.

Los termómetros RTD de Platino, en los años 70 fueron los más utilizados. En la actualidad existen sensores termistor, debido a sus masas reducidas y a su respuesta rápida al variar la temperatura.

El sensor RTD más difundido, en lo que respecta al platino, es el Pt100, que significa una resistencia de 100  $\Omega$  a 0. °C con un coeficiente de temperatura de 0.00385 por grado Celsius. Se pueden también obtener sensores de platino a 250, 500 ó 1000  $\Omega$  (Pt 1000) a costos mas elevados.

Una desventaja de este tipo de sondas RTD es la resistencia eléctrica introducida en el sistema debido al cable de conexión. Esta resistencia impide el uso de cables estándar de doble hilo para longitudes de varios metros ya que influye en la precisión de la medida.

Por este motivo y con el fin de obtener una elevada precisión en las aplicaciones industriales y de laboratorio, se recomienda el uso de un sistema de 3 ó 4 hilos. En la figura a continuación se indica un ejemplo (Fig. 2.27)



Fig. 2.27 Termómetros Pt 100 con 4 hilos de -199,9 a 850 °C<sup>76</sup>

---

<sup>76</sup> [wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)

Los modelos Pt100 son muy conocidos como los más precisos, con la mejor estabilidad<sup>77</sup>, repetitividad<sup>78</sup> y linealidad<sup>79</sup> entre los termómetros. El sistema de 4 cables garantizan hacerlo insensible a la longitud del cable de plomo. Ambos termómetros presentan una resolución<sup>80</sup> de 0,1 °C en el rango de -199,9 a ± 199,9 °C y luego cambia automáticamente a 1 °C de 200 a 850 °C.

## 2.3.2 MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

### 2.3.2.1 Método de punto de congelación

Se sumerge el sensor en una mezcla de hielo y agua. Para el termómetro de tallo bimetalico se espera a que la agua se detenga, después se usa una pequeña llave para girar la perilla de calibración hasta que el termómetro indique 32 °F o 0 °C; para un termocupla o termómetro digital, se prueba con una batería nueva o que el fabricante o un servidor de reparación verifique la unidad.

PASO	PROCESO	NOTAS
1	Se Llena de hielo molido un recipiente grande, se agregue agua hasta llenar	Se agita bien la mezcla
2	Se pone la varilla o la sonda del termómetro en el agua con hielo hasta que el área sensora esté totalmente sumergida. Se espere 30 segundos hasta que el indicador deje de moverse	No dejar que la varilla o la sonda toquen los lados ni el fondo del recipiente.
3	Se marca el termómetro hasta dejar en 32°F (0°C)	En algunos termocupla o termistores es automático

Tabla: 2.4 Método del punto de congelación para calibrar un termómetro<sup>81</sup>

---

77 Glosario

78 Glosario

79 Glosario

80 Glosario

81 Fuente: [www.nraef.org/nfsem/2002/images/pdfs/Semana3.pdf](http://www.nraef.org/nfsem/2002/images/pdfs/Semana3.pdf)

### 2.3.2.2 Método de punto de ebullición

Se introduce el sensor en agua hirviendo, se deja un cierto tiempo hasta que el agua se detenga, se gira la tuerca de calibración hasta que indique 212°F (100°C).

PASO	PROCESO	NOTAS
1	En un recipiente se pone a hervir agua	
2	Se pone la varilla o la sonda del termómetro en al agua hirviendo hasta que el área sensora esté totalmente sumergida. Se deja por 30 segundos o hasta que el indicador deje de moverse	No dejar que la varilla o la sonda toquen los lados ni el fondo del recipiente. La varilla o la sonda del termómetro deben permanecer en el agua hirviendo
3	Se mueva la tuerca de calibración hasta que marque 210°F (100°C) o la temperatura apropiada hasta el punto de ebullición según sea su altura sobre el nivel del mar	El punto de ebullición del agua se 1°F (0.5°C) menos por cada 550 pies (168m) sobre el nivel del mar. En algunos termocuplas es automática

Tabla: 2.5 Método del punto de congelación para calibrar un termómetro<sup>82</sup>

### 2.3.2.3 Calibración de un termómetro de gas

Para ésto se hace uso de un recipiente de un 1/4 litro aproximadamente, estancado y conectado a un sensor de presión. La señal de presión puede leerse con un multímetro o conectando el sensor que pueda tomar datos por computadora. Se requiere además un baño térmico, el que puede ser agua que lo cubra totalmente, a tal punto que el recipiente de gas llegue al equilibrio, su temperatura sea la del agua en el siguiente grafico se muestra (Fig. 2.28).

---

82 Fuente: [www.nraef.org/nfsem/2002/images/pdfs/Semana3.pdf](http://www.nraef.org/nfsem/2002/images/pdfs/Semana3.pdf)

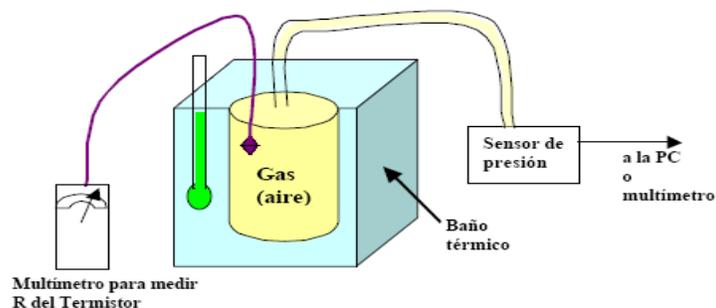


Fig. 2.28 Diagrama esquemático de un termómetro de gas.

El recipiente de gas debe ser de un metal de buena conductividad térmica, para con ello tener condiciones de equilibrio rápidamente. En el interior del gas se coloca un sensor de presión conectado a la PC, también y a la vez se conecta un multímetro en dicho baño con este proceso servirá para medir el R del Termistor y se pueda medir la temperatura del gas.

Es recomendable antes de empezar el proceso calentar el tubo de gas para eliminar la humedad del mismo.

#### 2.3.2.4 Calibración de un termómetro basado en una termocupla<sup>83</sup>

Las termocuplas son, sensores de temperatura más usados en la parte científica y de la industria.

Para calibrar una termocupla de Chromel - Alumel<sup>84</sup> en el rango de  $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $327^{\circ}\text{C}$ . Se debe medir las diferencias de potencial originadas principalmente por efecto Seebeck, para ciertas temperaturas fijas correspondientes a puntos de fusión de sustancias conocidas.

Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica. Está compuesta por dos

---

<sup>83</sup>Análisis Instrumental, de Skoog

[http://www.sapiens.itgo.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiens.itgo.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm)

<sup>84</sup> Glosario

alambres de metales diferentes, los que unidos generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos. Esta basado en el descubrimiento hecho por Seebeck en 1821 en el que indica que si se sueldan dos metales diferentes, cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una f.e.m. (llamada f.e.m Seebeck).

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

Uno resultante sólo del contacto entre dos metales diferentes y la temperatura de dicha unión. Este es el llamado “Efecto Peltier” y es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.

Otro, debido a los gradientes de temperatura<sup>85</sup> a lo largo de los conductores en el circuito. Este es el llamado “Efecto Thompson” y es debido al flujo de calor entre los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos.

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

Históricamente, se llamó efecto Seebeck a la combinación de los efectos Thompson y Peltier.

En realidad, esto sería así si no hubiera gradientes de temperatura en la zona aledaña a las uniones de la termocupla. Sin embargo, este efecto de tipo especial se manifiesta, cuando la termocupla está en presencia de un campo magnético. En general, se considera el efecto del campo sobre la f.e.m. desarrollada en las uniones solamente por lo que los gradientes de temperatura generados a lo largo

---

85 Glosario

de los cables, son responsables de diferencias de potencial que en algunos casos son más que apreciables y deben ser tomados en cuenta.

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

La mayoría de las tablas sobre termocuplas dan valores de voltajes en función de la temperatura<sup>86</sup>. Existen tablas que dan valores del *coeficiente Seebeck* en función de la temperatura. Relación existente entre el voltaje Seebeck y el coeficiente Seebeck. Se define al coeficiente Seebeck como el cociente entre el voltaje generado en la termocupla (V) por una pequeña diferencia de temperatura (T) entre sus extremos y dicha diferencia de temperatura. Para cada metal, es posible determinar su coeficiente Seebeck absoluto formando una cupla con un metal de referencia. Por convención, el signo de dicho coeficiente se dice positivo, si la corriente inducida fluye hacia el metal de referencia.

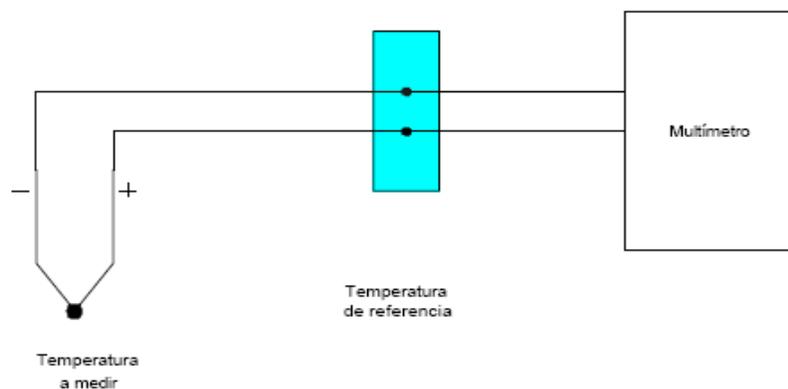


Fig. 2.29 Diagrama esquemático de una termocupla, incluyendo el instrumento de medición y la temperatura de referencia<sup>87</sup>.

86 Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel- Patricia Martínez y Marcelo Azuaga  
 87 [http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)

Una termocupla, mide diferencias de temperaturas y no temperaturas absolutas. Esto hace necesario el uso de una temperatura de referencia, por lo que suele emplearse un baño de agua con hielo (0°C).

### **2.3.3 ALTERNATIVAS PARA CALIBRAR ALTAS TEMPERATURAS**

Existen algunos tipos de métodos que se utiliza para realizar calibración para altas temperaturas y que dependiendo de la temperatura como de otros factores a lo que se quiere llegar se utiliza el método más adecuado, a continuación se tiene los siguientes métodos.

#### **2.3.3.1 SISTEMAS TERMALES DE CALIBRACIÓN<sup>88</sup>**

Punto de Hielo, (Baños Líquidos)

Punto de Vapor, (Baños de Sales)

Puntos Fijos Secundarios, (Hornos de Pozo Seco)

Puntos Fijos de la ITS-90, (Hornos de Cuerpo Negro)

Lámparas.

#### **2.3.3.2 Punto de Hielo<sup>89</sup>**

La temperatura más usada para la calibración es 0 °C. El punto de fusión de hielo es un sistema físico, se realiza mediante una mezcla de agua y hielo debe estar con agua destilada suficiente para cubrir los huecos que quedan entre las partículas y evitando burbujas de aire, para así poder obtener una incertidumbre de la reproducción de este punto de  $\pm 2$  °K a  $\pm 5$  °K.

---

88 [http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES.html&usg=\\_\\_jp-cEJaKPaWb5vxDjyWUmY](http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES.html&usg=__jp-cEJaKPaWb5vxDjyWUmY)

89 <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-04-08-Termale.pdf>

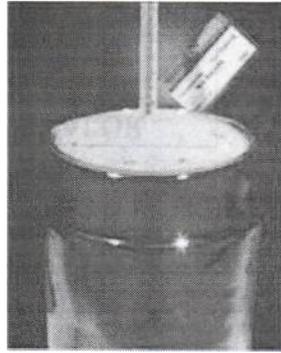


Fig. 2.30 Sistema de punto de hielo<sup>90</sup>

El punto de fusión de hielo estuvo incluido en la escala internacional de temperatura de 1927 (ITS-27) y 1948 (ITS-48), la misma que fue sustituida desde 1948 (IPTS-48) por el punto triple del agua<sup>91</sup>.

### 2.3.3.3 Baños de Líquidos

Los baños líquidos usualmente se utilizan para calibraciones de alta exactitud, en la siguiente Fig. 2.30 se tiene un ejemplo para calibración de termómetros de líquido en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas sean un poco complejas. Por su alta estabilidad y uniformidad es ideal en calibraciones donde se requiere de una incertidumbre baja. Actualmente existe una gran variedad de baños que permiten incluso que algunos de ellos sean portátiles o aquellos que ocupan poco espacio y son semi-portátiles (baños compactos). A continuación se indica las principales características de los baños líquidos.

- Alta exactitud

---

90

[http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006l/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006l/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)

91 ASTM E 77 (1998). Standard Test Method for Inspection and Verification of Thermometers, American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.

- Adaptable a distintos diámetros y profundidad de inmersión de termómetros
- Normalmente no son portátiles
- Cambios de temperatura lentos
- Requiere de termómetro de referencia externo
- Es crítica la selección del fluido
- Intervalo de temperatura de uso restringido

Este sistema esta compuesto por un tanque de acero inoxidable que puede trabajar con aceite carbonos, mezclas de alcohol, agua y aceites siliconados dependiendo del alcance de operación del baño, en la siguiente Fig. 2.31 se muestra un ejemplo, también cuenta con un agitador o recirculador, un termómetro de referencia de alta exactitud y un controlador de temperatura que controla las resistencias calefactores, la agitación es necesaria para que el líquido recircule en el sistema para homogenizar la temperatura y disminuir gradientes.

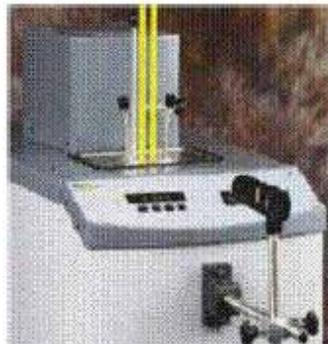


Fig. 2.31 Calibrador de baños líquidos<sup>92</sup>

La aplicación principal de estos equipos es la calibración de termómetros de líquido en vidrio, termómetros de resistencia, termistores, bimetálicos y termopares.

---

<sup>92</sup>[http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)



Fig. 2.32 Temperaturas que alcanzan las sustancias para esta aplicación medida en °C<sup>93</sup>

#### 2.3.3.4 Baño de sales

El sistema de sales es parecido al de líquido entre las principal diferencia es que este requiere sales especiales como nitrato de potasio o nitrato de sodio. Con este tipo de sistema se logra temperaturas de trabajo de 40 °C hasta 900 °C.

Su principal aplicación es la calibración de termómetros de líquido en vidrio, termómetros de resistencia y termopares<sup>94</sup>.

#### 2.3.3.5 Bloques secos.

Los bloques secos son usados para la calibración de RTDs y termopares, no se usa para calibración de termómetros de líquido en vidrio. En ciertos casos, si la incertidumbre permite, se excluye el uso del termómetro de referencia externo y emplear únicamente el sensor interno del bloque cuya lectura aparece en el display, pero se debe consultar la exactitud del mismo antes de emplearlo. Otra ventaja de los bloques secos es el hecho de que alcanzan temperaturas más altas que los baños líquidos. A continuación se indica las principales características de los bloques.

<sup>93</sup>[http://images.google.com/ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://images.google.com/ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)

<sup>94</sup> *Instrumentación Industrial*, 5° Edición, Editorial: Marcombo, México-Barcelona. HART SCIENTIFIC (2004). *Temperature Calibration and Measurement Product*, [www.hartscientific.com/products/index.html](http://www.hartscientific.com/products/index.html).

- Exactitud moderada
- Diámetro de huecos fijos
- Profundidad de inmersión fija
- Secos y limpios
- Portátiles
- Cambios de temperatura rápidos
- Sensor de referencia interno
- Intervalo de temperatura normalmente amplio

Alcanza temperaturas altas utilizando resistencias calefactores las cuales se controlan mediante sensores tipo termopar. La transmisión del calor depende del material de los bloques utilizados; por conducción cuando se utilizan metales como el bronce, cobre o aluminio, para altas temperaturas por radiación cuando se utiliza cerámicas. En la siguiente Fig. 2.41 b se muestra un ejemplo



Fig. 2.33 Modelo de un horno de bloque en seco<sup>95</sup>

Su principal aplicación es la calibración de termómetros de resistencia y termopares.

---

<sup>95</sup>[http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg)

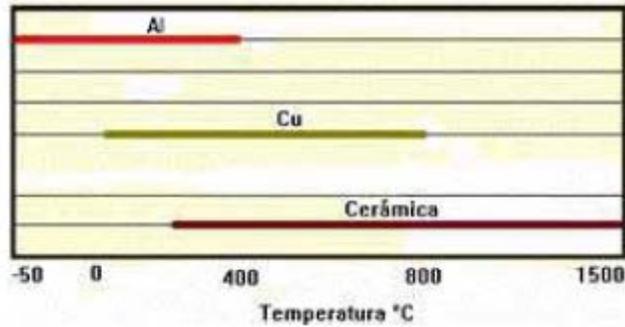


Fig. 2.34 Temperaturas que alcanzan los elementos para esta aplicación medida en °C<sup>96</sup>

### 2.3.3.6 Cuerpos Negros

Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la radiación que incide en él y no refleja ninguna; posee una emisividad igual a la unidad y emite la máxima energía radiante. Los cuerpos cuyo coeficiente de emisión es menor que la unidad se conoce como cuerpos opacos<sup>97</sup>.

Se utilizan como mejor referencia para determinar cuantitativamente la energía irradiada por un objeto caliente.

Un cuerpo negro se construye experimentalmente mediante una cavidad hueca con un pequeño orificio al exterior. Las paredes internas de la cavidad se recubren con hollín por lo que toda la radiación que entra por el orificio es absorbida.

La boca del orificio se comporta como un cuerpo negro. Un metal a altas temperaturas se comporta aproximadamente también como un cuerpo negro.

<sup>96</sup>[http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg)

<sup>97</sup> . MetAs (2004) Pirometría de Radiación. La Guía MetAs de febrero del 2004, MetAs, Metrólogos Asociados.

Nava, H. Pezet, F. Mendoza, J. & Hernández, J. (1997). El Sistema Internacional de Unidades (SI), Publicación técnica CNM-MMM-PT-003, CENAM, México.

Este tipo de sistemas manejan un alcance de trabajo de 50 °C hasta 2 300 °C. En este tipo de equipos se realizan calibraciones de termómetros de radiación (pirómetros ópticos, infrarrojos).

#### **2.3.4 TIPOS DE HORNOS<sup>98</sup>**

##### **2.3.4.1 HORNOS TIPO BATCH**

Un Horno tipo Batch se refiere a uno que se carga y se cierra para que cumpla un ciclo de calentamiento preestablecido. Al completar el ciclo de calentamiento, la carga puede enfriarse en el horno a una velocidad determinada, así como también extraerse para enfriarla al aire o en un medio de temple.

Por lo general son de tamaño pequeños aunque no existe un estándar de tamaño específico.

Estos hornos se encuentran en un amplio rango de tamaños y pueden calentarse con gas, petróleo o electricidad. Algunos emplean elementos calefactores metálicos, lo que permite una operación hasta unos 1000°C. Pero al utilizar elementos de carburo de silicio permite alcanzar temperaturas de hasta 1300°C. No se recomienda para temperaturas inferiores a 650°C, solo que contuvieran algún medio de ventilación para su circulación. La atmósfera puede ser natural o cualquiera preparada de acuerdo a lo requerido.

En general se los diseña para manejar una amplia variedad de ciclos térmicos.

##### **2.3.4.1.1 Hornos de Baño Líquido**

Par este tipo existe una gran variedad de sistemas de calentamiento utilizados para los baños de sales. El más sencillo, es el que se aplica a temperaturas de

---

98 Técnicas Experimentales en Metalurgia (Área Ingeniería de Materiales)

Dra. Stella Ordoñez - Depto. de Ingeniería Metalúrgica -

175 a 350°C, es un recipiente metálico con calefactores eléctricos de inmersión, lleno de una sal de bajo punto de fusión.

En La Fig. 2.34.a se muestra un horno calentado con combustible, puede llegar hasta 900°C se puede alcanzar mayores temperaturas, pero los componentes del horno se deterioran en exceso.

El horno mostrado en la fig. 2.34 b es similar al anterior, con la diferencia que utiliza resistencia eléctrica. En este el recipiente se encuentra rodeado constantemente por una atmósfera oxidante, de modo que su vida útil se acorta con el constante uso a altas temperaturas.

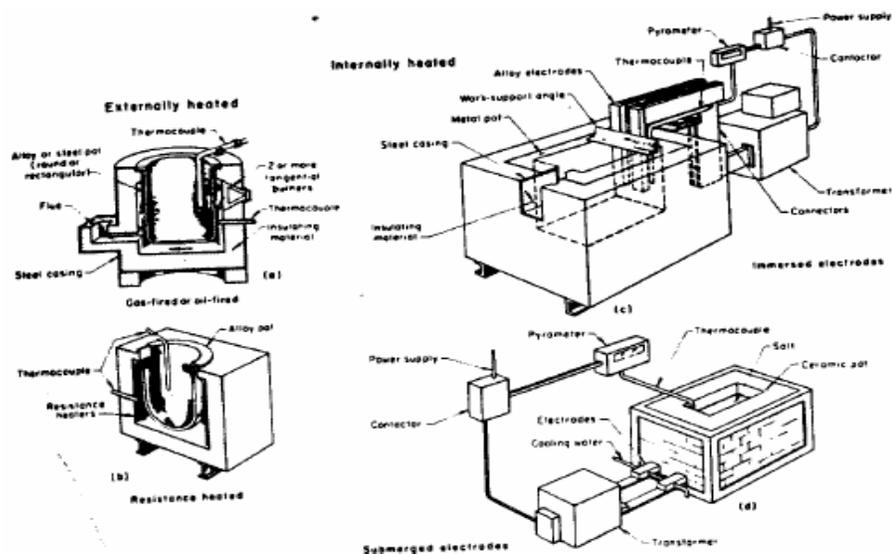


Fig. 2.35 Principales tipos de hornos de sales<sup>99</sup>

Los dos tipos de hornos son adecuados pero sus recipientes deben ser hechos de una aleación níquel-cromo de alto costo para que tengan una larga vida útil.

Los hornos de la Fig. 2.34.c y 2.34.d son de tipo electrodo inmerso y sumergido respectivamente, son utilizados para tratamientos que requieren temperaturas de 750 a 1250°C. en estos tipos de hornos el calor es generado por resistencia al flujo de corriente a través de la sal fundida desde un electrodo a otro por lo que

<sup>99</sup> Técnicas Experimentales en Metalurgia (Área Ingeniería de Materiales)

Dra. Stella Ordoñez - Depto. de Ingeniería Metalúrgica -

genera una agitación en el sector de los electrodos, consiguiendo así temperaturas uniformes dentro del baño.

Los dos se prestan para operación batch o continua, pero en el primero su dificultad es en el encendido cuando las sales se encuentran solidificadas.

Una desventaja principal del tipo electrodo inmerso es que los electrodos se deterioran sobre la línea de sal donde el calor es intenso. El que es de tipo electrodo sumergido no cuenta con esta desventaja pero para esto cuenta con un recipiente de cerámica refractaria, pero esto a la vez no son compatibles con todas las composiciones de sales.

Los hornos de sales se calientan por radiación y conducción. Los que son de tipo electrodo inmerso y sumergido se añade la convección<sup>100</sup> causado por la agitación generada. Por lo tanto, la velocidad de calentamiento en cualquier baño de sal es mucho mayor que en los hornos de atmósfera gaseosa.

#### **2.3.4.1.2 Hornos de Lecho Fluidizado**

Este método para calentar metales es la utilización de un lecho fluidizado. El calentamiento se lo realiza en un lecho de partículas inertes, comúnmente óxido de aluminio. Dichas partículas se encuentran suspendidas por la combustión cuya mezcla con aire fluye hacia arriba a través del lecho. Los componentes se encuentran inmersos en este lecho fluidizado y se calientan por la acción del lecho fluido. Las velocidades de transferencia calórica en un lecho fluidizado son hasta diez veces superiores a las alcanzadas en hornos convencionales de calentamiento directo y también son mayores que las obtenidas en baños de sales.

---

100 glosario

## **2.3.4.2 HORNOS PARA FUSIÓN<sup>101</sup>**

### **2.2.4.2.1 Hornos eléctricos**

Este tipo de hornos comenzó su ahuje a mitad del siglo XVIII. Su utilización a escala industrial se inició después de 1900, en el que alcanzo su maxima aceptación después de la segunda Guerra Mundial, cuando la energía eléctrica comenzó a decrecer de precio tornándose competitiva con los combustibles tradicionales.

#### **2.3.4.2.1.1 Hornos de Resistencia<sup>102</sup>**

Este tipo de hornos de resistencia se caracterizan por utilizar el calor disipado por efecto Joule en una resistencia ohmica, que está constituida por la carga misma a ser calentada o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las misma circula corriente eléctrica.

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos, ofreciendo una resistencia al paso de la corriente, y calentándose. Estos hornos encuentran aplicación en la fabricación de electrodos de grafito, en el tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes.

En la siguiente fig. 2.36 se destacan los elementos principales de un horno de resistencia de calentamiento indirecto y el curso del flujo térmico.

---

101 Principios de Fundicion, Autor:Luis Casco Pag: 346-378

102 Hornos metalurgicos Industriales, Autor: Arturo Lobato Flores

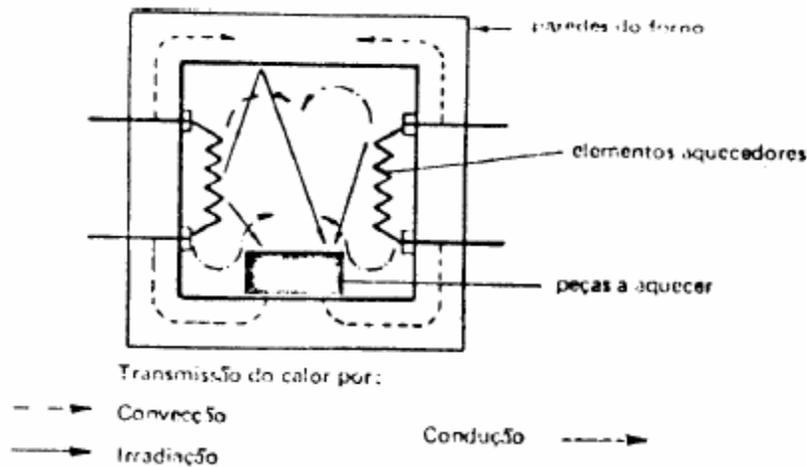


Fig. 2.36 Horno de resistencia con calentamiento indirecto.

Entre las aplicaciones metalúrgicas de estos hornos se encuentran la fusión y mantención de temperatura de metales y el tratamiento térmico de metales.

Los hornos indirectos se clasifican en función de su uso:

- Procesos de fusión
- Mantención de cargas líquidas (fig. 2.37)
- Calentamiento de cargas sólidas

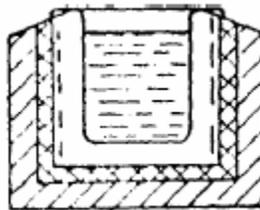


Fig. 2.37 Horno de crisol con calentamiento externo.

Los materiales para resistencia deben poseer, entre otras características, una elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, y resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas. El tipo de resistencia para un horno se debe analizar bajo que parámetros de temperatura trabaja con el que se tienen algunas clasificaciones:

a) Resistencias metálicas

a.1) Aleaciones austeníticas. Son aleaciones Ni-Cr-Fe para temperaturas de hasta 850°C, u 80Ni-20Cr para temperaturas de 850 a 1100°C

a.2) Aleaciones ferríticas. Son aleaciones Cr-Fe-Al (Supercalor, Kanthal, etc.) para temperaturas de 1100 a 1300°C.

b) Resistencias no metálicas.

b.1) Tubos a base de carburo de silicio para temperaturas de hasta 1500 °C

b.2) Silicato de molibdeno para temperaturas de hasta 1700 °C.

b.3) Grafito y molibdeno (en pastillas, cilindros o granulados en tubos) para temperaturas de hasta 1800°C.

Las resistencias metálicas se utilizan en forma de hilos con diámetros variables de fracción de mm a unos 6 mm, comúnmente enrollados en forma helicoidal (Fig. 2.38a), o en forma de cintas dispuestas en zig-zag (Fig. 2.38b).

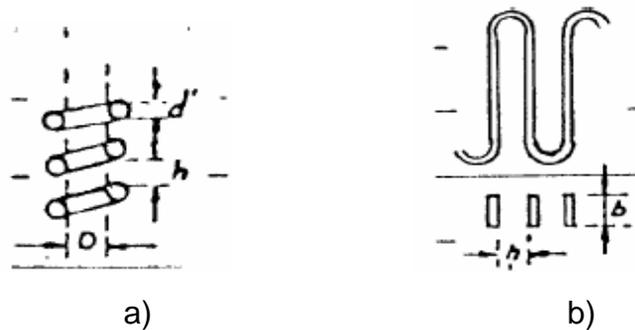


Fig. 2.38 Formas de las resistencias metálicas. a) Helicoidal, b) Zig-Zag

Las resistencias no metálicas están constituidas por astas (o tubos) fijados horizontalmente entre dos paredes del horno o verticalmente entre el suelo y la cubierta (Fig. 2.39 a y b).

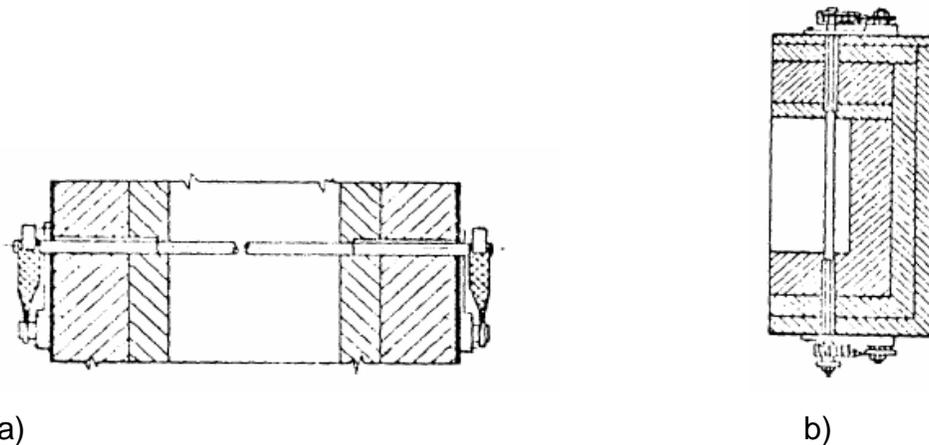


Fig. 2.39 Posición de las resistencias no metálicas en los hornos. a) Montaje horizontal; b) montaje vertical.<sup>103</sup>

### 2.3.4.3 HORNOS DE CRISOL<sup>104</sup>

El horno de crisol es utilizado para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal que se fundirá se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito o carburo de silicio. Este crisol se posiciona en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero, como se indica la siguiente Fig. 2.40 El revestimiento refractario normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales y posee la finalidad de resistir el elevado calor existente en el interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto. El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor.

El crisol se posiciona en el centro de la cámara de combustión y se apoya sobre un pedestal, también confeccionado a partir de material refractario. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor e impedir la salida libre de la llama.

<sup>103</sup> <http://www.slideshare.net/paulsalascalderon18/horno-elctricos-fame>

<sup>104</sup> <http://www.google.com.ec/#hl=es&q=Hornos+de+crisol+Del+horno+de+crisol+es+un+equipo+utilizado+principalmente+para+la+fusi>

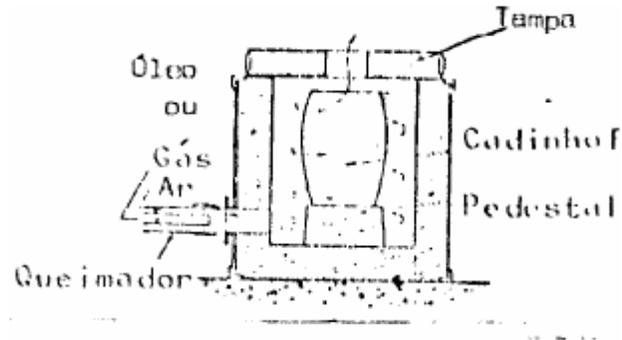


Fig. 2.40 Modelo esquemático de un horno de crisol.

Otra característica importante es que el metal prácticamente no entra en contacto con la fuente de calentamiento (hecho por vía indirecta), y por esto, está sujeto a poca contaminación.

#### 2.3.4.3.1 Tipos de horno de crisol<sup>105</sup>

Los diferentes tipos de horno de crisol se clasifican en:

- 1) Hornos - pozo, indicado en la siguiente Fig.2.41a El crisol se remueve del horno y se lleva hasta los moldes para vaciar el metal. Este horno es fijo. Existen en una variedad de tamaño para acomodar crisoles desde 15 a 150 kg de capacidad de latón. Son muy flexibles, tanto en relación a las aleaciones como a las cantidades. Se pueden usar crisoles distintos para diferentes aleaciones así como también de distinto tamaño en un mismo horno.
- 2) Hornos Bale-out, indicado en la siguiente Fig. 2.41 b El metal es retirado del crisol con cucharas y se transfiere a los moldes. Se utilizan, principalmente, para fundición bajo presión, donde se necesitan pequeñas cantidades a intervalos

<sup>105</sup><http://www.metalurgiausach.cl/intranet/a14/Hornos%20y%20Medicion%20de%20temperatura.pdf> Pag 57-61

frecuentes. Capacidades que van en el rango de 50 a 500 kg de aluminio y 110 a 330 kg de latón.

3) Hornos Basculantes, como se indica en la siguiente figura 2.41.c Son hornos movibles apoyados sobre un sistema de sustentación.

Son utilizados cuando es necesaria una producción grande de una aleación determinada. El metal es transferido a los moldes en una cuchara o un crisol precalentado, con la excepción de algunos casos en que es vaciado directamente. El tipo original de horno basculante, con capacidades de 70 a 750 kg de latón, báscula en torno a un eje central. Para superar este inconveniente se desarrolló un horno basculante de eje en la piqueta<sup>106</sup>, con capacidad de 200 a 750 kg de latón, y el modelo moderno es basculado por pistones hidráulicos, otorgando la ventaja de un mayor control en la operación de vaciado.

4) Horno de crisol inmerso, como se indica en la figura Fig. 2.41 d Es el inverso del horno normal de crisol, ya que su llama quema dentro del crisol que está inmerso en el baño de aleación de zinc o aluminio, el cual se encuentra en un recipiente refractario. Estos hornos son fabricados con capacidad de fusión de 300 a 1000 kg de aluminio por hora. Sus ventajas principales respecto de hornos de llama abierta son una mayor eficiencia, que alcanza a un 40%, y pérdidas de metal de tan sólo un 1 ó 2%, otorgando una considerable economía financiera.

5) Horno rotativo de crisol, como se indica en la Fig. 2.41.e Se utilizan para la recuperación de viruta, escoria y otros tipos de chatarra menuda. El horno contiene un crisol con forma de garrafa, con capacidad de 300 kg de limadura de latón y trabaja a un ángulo aproximado de 50° con respecto a la vertical. El cuerpo del horno y el crisol giran constantemente durante la fusión, trayendo el metal para el lado caliente del crisol y tirando la limadura no fundida hacia adentro y abajo del metal ya fundido. De esta forma, la rotación proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol, como ocurre frecuentemente con los hornos convencionales. El formato del crisol, y especialmente el cuello estrecho, junto con las condiciones neutras o reductoras

dentro del crisol, eliminan las pérdidas por oxidación de las cargas y aseguran una alta recuperación de metal (un porcentaje típico es la recuperación de un 94% del metal de limadura de latón).

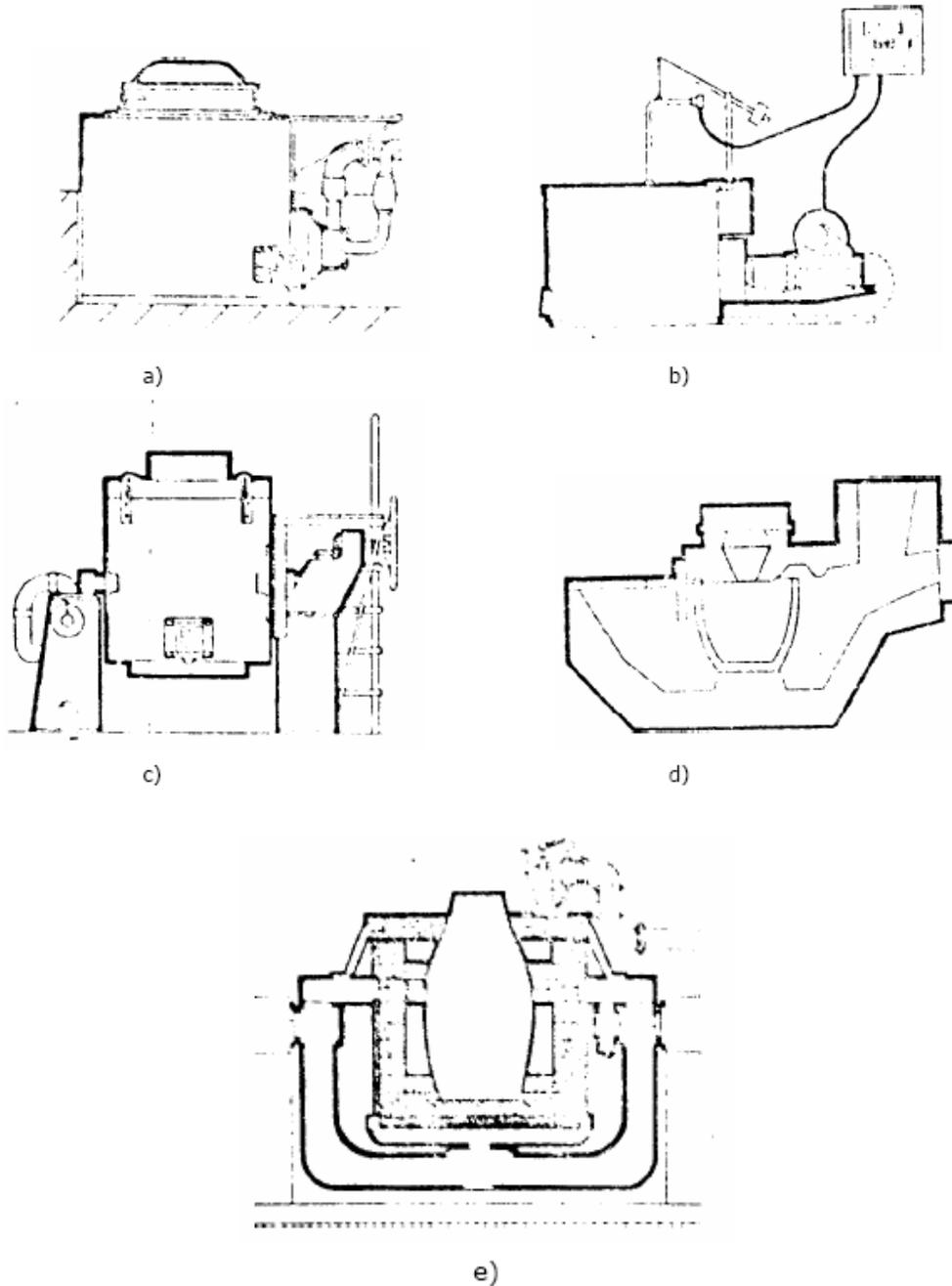


Fig. 2.41 Distintos tipos de hornos de crisol

La selección del tipo y tamaño de horno dependerá de la aplicación (por ejem. si es para fusión, mantención o baño de sales), del número de aleaciones, la producción diaria de cada aleación, la mayor pieza a ser fundida, la continuidad de alimentación de metal, el tipo de combustible.

### 2.3.4.3.2 Formas de calentamiento en los hornos de crisol

En relación a la forma de energía utilizada, los hornos de crisol pueden ser operados a través de energía eléctrica o de combustibles. En relación a la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción. En cuanto a los combustibles, se puede utilizar una serie de formas diferentes (tabla 2.8). Cada forma de energía, sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas, o en función de la política de abastecimiento adoptada por la empresa.

Combustible	Tipo	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Sólido	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
Líquido	Gasolina	10200
	Petróleo diesel	11000 Kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo - Fuel-oil	9820
	- OC4	10000
Gaseoso	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Metano	8500

Tabla 2.6 Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol.

En la práctica, los combustibles más utilizados son petróleo y gas. El petróleo no combustiona en su estado líquido original, la manera de alcanzar una gasificación

rápida consiste en proyectarlo finamente subdividido hacia el interior de la cámara de combustión. El elemento mecánico que realiza tal operación es el quemador

## **2.3.5 CLASIFICACIÓN DEL ACERO**

### **2.3.5.1 Aceros al carbono**

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre

### **2.3.5.2 Aceros de aleación**

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales

### **2.3.5.3 Aceros de baja aleación ultra resistentes**

Esta familia es la más reciente de las clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros de aleación convencional ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono

### **2.3.5.4 Aceros inoxidables<sup>107</sup>**

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la

---

107 [http://html.rincondelvago.com/acero\\_8.html](http://html.rincondelvago.com/acero_8.html)

acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidable son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas muy rigurosas. El acero inoxidable se emplea para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

### 2.3.5.5 Aceros de herramientas

Estos aceros se emplean para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

En la tabla 2.7 se indica algunas propiedades de los diferentes tipos de metales con los que se utiliza para la elaboración de algunas herramientas

Aleaciones			
Ni	> Resistencia	< Oxidación	
Cr	> Resistencia	> Dureza	
Cr-Ni	>> Resistencia	< Oxidación > Dureza	18% Cr- 8% Ni – Inox
			2% Cr- 5% Ni
Si > 0,3%	> Elasticidad		Resortes
Mg	Neutraliza al azufre	para temple	p/alto desgaste
Al 1%		para nitruración	
Mb	> Resistencia tracción	para temple	
V	< Fragilidad		Resortes y herramientas
W	> Dureza		Herramientas
Co-W	>> Dureza		Herramientas
Ti	< Oxidación		

Tabla 2.7 propiedades de algunos metales

### 2.3.6 CENSORES DE TEMPERATURA<sup>108</sup>

Un termopar es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje siempre y cuando los metales se encuentren a temperaturas diferentes. En electrónica, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. El grupo de termopares conectados en serie recibe el nombre de termopila. Tanto los termopares como las termopilas son muy usados en aplicaciones de calefacción a gas. Su funcionamiento se basa en el efecto Seebeck.

#### 2.3.6.1 SENSORES RESISTIVOS<sup>109</sup>

Los sensores resistivos tienen diversas aplicaciones, en especial, a la medición de la temperatura.

Los sensores resistivos de temperatura o termistores son resistores variables con la temperatura, basados en semiconductores.

Se dividen en dos grandes grupos de acuerdo a su coeficiente de temperatura

-PTC (Positive Temperature Coeficient)

- NTC (Negative Temperature Coeficient)

Los símbolos respectivos se dan en la siguiente Fig. 2.42 donde el trazo horizontal en el extremo de la línea inclinada indica que se trata de una variación no lineal, con sensibilidad positiva o negativa.

---

108 Sense. Sensores e Instrumentos. [www.sense.com.br](http://www.sense.com.br) Sao Paulo--SP--Brasil.

109 <http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura>

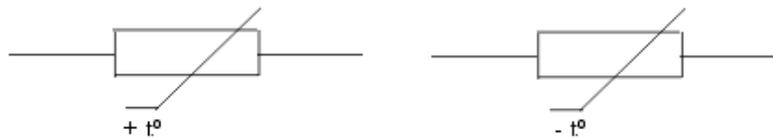


Figura 2.42 Variación no lineal con sensibilidad positiva o negativa

### 2.3.6.1.1 Sensores PTC

Los sensores de coeficiente de temperatura positiva, varían su resistencia de acuerdo al aumento de la temperatura. Está constituido por conductores metálicos. Los principales metales utilizados son: el platino, níquel e iridio dopado con silicona. El más utilizado es el sensor resistivo de platino.

### 2.3.6.1.2 Sensores NTC

Están constituidos por ciertos metales óxidos cuya resistencia decrece con el incremento de la temperatura. Estos se los conoce también como "conductores calientes", debido a que estos deben alcanzar antes, una alta temperatura para proporcionar una buena conductividad eléctrica.

Debido a la naturaleza de este proceso básico, el número de electrones en conducción incrementa en forma exponencial con la temperatura.

Esta pronunciada no linealidad, es una desventaja de este tipo de sensores y limita considerablemente su utilidad a un alcance por sobre los 50° C. Estos sensores pueden ser lineales en algunas partes, y es la parte generalmente utilizada. Debido a estas características, su campo de aplicación se ve limitado solamente al monitoreo e indicación de temperaturas no mayores a 200° C y su exactitud de unos pocos °C, son aceptables.

### **2.3.6.1.2 Sensores Resistivos de Platino<sup>110</sup>**

En la tecnología de mediciones industriales la resistencia del material de platino, tiene una gran aceptación. Su ventaja incluye estabilidad química, relativa fácil fabricación, la posibilidad de encontrarlo en forma pura, y una buena reproductibilidad de las propiedades eléctricas.

El rango de temperatura se extiende entre -200 a 850°C. La serie de valores de referencia esta dividida en dos partes: de -200 a 0°C y de 0 a 850°C.

### **2.3.6.1.3 Tipos de sensores resistivos**

Cerámicos: Son utilizados para rangos de temperatura de -200 a 800°C.

Vidrio: Su rango se extiende de 200°C a 400°C, en algunos casos hasta 550°C.

Película delgada: Desde -50 a 400°C, dependiendo de la construcción hasta 600°C.

## **2.3.7 TIPOS DE TERMOCUPLAS<sup>111</sup>**

### **2.3.7.1 Tipo B ( PtRh 30% - PtRh 6%)**

Las ventajas de la termocupla Tipo B sobre la Tipo R o Tipo S son su capacidad para medir temperaturas levemente más altas, su mayor estabilidad y resistencia mecánica, y su aptitud de ser utilizada sin compensación de junta de referencia para fluctuaciones normales de la temperatura ambiente. Las termocuplas Tipo B resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes o inertes inertes a temperaturas hasta 1.700°C. También resultan satisfactorias durante cortos períodos de tiempo en vacío.

---

110 Ramón Pallas Areny. Sensores y Acondicionadores de Señal. Segunda edición. Barcelona: Marcombo, 1994.

111 [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

Las desventajas de la termocupla Tipo B son su baja tensión de salida y su incapacidad para ser utilizada en atmósferas reductoras (como ser hidrógeno o monóxido de carbono) y cuando se encuentran presentes vapores metálicos (eso es, de plomo o zinc ) o no metálicos (eso es, de arsénico, fósforo o azufre). Nunca se la debe usar con un tubo de protección metálico o termovaina<sup>112</sup>

### **2.3.7.2 Tipo R (PtRh 13% - Pt )**

Las termocuplas Tipo R se puede utilizar en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1.400° C. No son tan estables como las Tipo B en vacío. La ventaja de la termocupla Tipo R sobre la Tipo B es su mayor fem de salida. La ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) establece las siguientes limitaciones que se aplican al uso de las termocuplas Tipo R: Nunca se las deben usar en atmósferas reductoras, ni tampoco en aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducidos, a menos que se las protejan adecuadamente con tubos protectores no metálicos. Nunca deben ser insertadas directamente dentro de una vaina metálica.

### **2.3.7.3 Tipo S (PtRh 10 % - Pt )**

La termocupla Tipo S es la termocupla original platino-rodio. Es el estándar internacional (Escala Práctica Internacional de Temperaturas de 1968, IPTS-68) para la determinación de temperaturas entre el punto de solidificación del antimonio 630,74° C (1.167,33° F ) y el punto de solidificación del oro 1.064,43° C (1.917° F).

Las termocuplas Tipo S, igual que las Tipo R, pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1.480° C. Tienen las mismas limitaciones que las termocuplas Tipo R y Tipo B y también son menos estables que la termocupla Tipo B cuando se las utiliza en vacío.

#### 2.3.7.4 Tipo J (Fe - CuNi )

La termocupla Tipo J, conocida como la termocupla hierro - constantán, es la segunda más utilizada en los EE.UU. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, por lo que se requiere alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J:

No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.

A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C .

No deben someterse a ciclos por encima de 760° C , aún durante cortos períodos de tiempo

El constantán utilizado para termocuplas Tipo J no es intercambiable con el constantán de las termocuplas Tipo T y Tipo E, ya que el constantán es el nombre genérico de aleaciones cobre-níquel con un contenido de cobre entre 45 % y 60 %. Los fabricantes de las termocuplas Tipo J regulan la composición del conductor de cobre-níquel de manera que la fem de salida de la termocupla siga la curva de calibración publicada. Los elementos fabricados por las distintas empresas, con frecuencia no son intercambiables para el mismo tipo de termocupla.

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (1) (en °C)	Diámetro del alambre apropiado (2)	F.e.m.en mV (3)
B	Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ... 1.500 (1.800)	0,35 y 0,5 mm	0...10,094 (13,585)
R	Platino-rodio 13% vs. platino	PtRh 13% - PT	0...1.400 (1.700)	0,35 y 0,5 mm	0.16,035 (20,215)
S	Platino-rodio 10% vs. platino	PtRh 10% - PT	0...1300(1.600)	0,35 y 0,5 mm	0...13,155 (15,576)
J	Hierro vs. constatán	Fe – CuNi	-200 ... 700 (900) -200 ... 600 (800)	3 mm 1mm	-7.89 ... 39,130 (51,875) -7.89 ... 33,096 (45,498)
K	Niquel-cromo vs. níquel (Chromel vs. Alumel )	NiCr – Ni	0...1000(1.300) 0 ... 900 (1.200)	3 ó 2 mm 1,38 mm	0...41,269 (52,398) 0...37,325 (48,828)
T	Cobre vs. constatán	Cu – CuNi	-200 ... 700 (900)	0,5 mm	-5,60 ... 14,86 (20,86)
E	Niquel-cromo vs. constatán (Chromel vs. constatán )	NiCr – CuNi	-200 ... 600 (800)	3 mm	-9,83 ... 53,11 (68,78) -8,83 ... 45,08 (61,02)

Tabla 2.8 Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintas termocuplas.

En la tabla 2.10 se observa algunas características específicas para cada tipo de Termocuplas indicando sus parámetros

- Los valores entre paréntesis son los admitidos en intervalos cortos (no permanentes )
- Los diámetros de alambres no son indicativos, los valores de fem (mV) en función de ° C , referencia junta fría 0° C.

### 2.3.7.5 Tipo K (NiCr Ni)

La termocupla Tipo K se la conoce también como la termocupla Chromel-Alumel (marcas registradas de Hoskins Manufacturing Co., EE.UU.). El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una

aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, por lo que la norma IEC la especifica NiCr - Ni. La Tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J.

Las termocuplas Tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1.260°C y constituyen el tipo más satisfactorio de termocupla para uso en atmósferas reductoras o sulfurosas o en vacío.

#### **2.3.7.6 Tipo T (Cu - CuNi )**

La termocupla Tipo T se conoce como la termocupla de cobre constantán. Se usa en forma continua en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes. Su desventaja es el límite máximo de temperatura que es de 370° C para un diámetro de 3,25 mm.

Aunque las termocuplas Tipo T resulten adecuadas para mediciones debajo de 0° C , la ASTM aconseja para ese propósito a las termocuplas Tipo E.

#### **2.3.7.7 Tipo E ( NiCr - CuNi )**

La termocupla Tipo E, o Chromel-constantán, posee la mayor fem de salida de todas las termocuplas estándar, según la tabla 2.10. Para un diámetro de 3,25 mm su alcance recomendado es - 200° C a 980° C.

Estas termocuplas se desempeñan bien en atmósferas oxidantes e inertes, y resultan adecuadas para uso en atmósferas húmedas a temperaturas subcero a raíz de su elevada fem de salida y su buena resistencia a la corrosión. La termocupla Tipo E es mejor que la Tipo T, para este propósito a causa de su mayor salida y puesto que la conductividad térmica del alambre de Chromel es menor que la del alambre de cobre de la termocupla Tipo T

Termocupla	Rango	Clase 1 . Desviación máxima ( $\pm$ ) (1)
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a 1.000 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R .	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1. 100)°C
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1. 600°C	1 °C ó 1 + 0,003 ( t - 1.100)°C
Platino-rodio30%vs.platino-rodio 6%, Tipo B	--	
Termocupla	Rango	Clase 2 . Desviación máxima ( $\pm$ ) (1)
Cobre vs. cobre-níquel, Tipo T	-40a+ 350°C	1°C ó 0,0075(t)
Hierro vs. cobre-níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a + 1.200°C	2. 5 °C ó 0.0075 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+ 600 a + 1700 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Termocupla	Rango	Clase 3(2) . Desviación máxima ( $\pm$ ) (1)
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-200 a + 40 °C	1 °C ó 0,015 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	--	--
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+600 a + 1.700 °C	4 °C ó 0,005 (t)

Tabla 2.9 Tolerancias de calibración para termocuplas estándar (referencia junta fría 0° C) según IEC 584

En la tabla 2.9 se indica sus diferentes tolerancias que soportan al ser calibradas de acuerdo a las normas preestablecidas

-La desviación máxima se debe calcular como el mayor valor de las dos expresiones: el valor en °C o su equivalente calculado reemplazando (t) por la temperatura en cuestión.

-Normalmente, las termocuplas y los cables compensados se suministran con tolerancias especificadas por encima de -40 °C. Para termocuplas utilizadas por debajo de -40 °C. Se Debe entender que sus tolerancias, para ese material son mayores que las especificadas en Clase 3.

### **2.3.8 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DADA PARA LA TERMOCUPLA<sup>113</sup>**

El primer instrumento, después del sensor,(termocupla) es un instrumento que condiciona la señal al igual que un dispositivo llamado transmisor de temperatura. Los transmisores de temperatura se emplean para convertir la señal producida por el sensor en una señal eléctrica que pueda ser el instrumento final. Los transmisores de temperatura son de dos tipos básicos; de cuatro cables y de dos cables.

Los transmisores de 4 cables usan una entrada de alimentación que está separada de los cables que transportan la señal. Los transmisores de dos cables emplean una fuente de alimentación que alimenta al transmisor por los mismos dos cables que se usan para transmitir la señal como en la siguiente fig. 2.43

Más de un transmisor de dos cables pueden ser alimentados por la misma fuente mientras el consumo de los transmisores no exceda la capacidad de la fuente (fig. 2.44). Los transmisores para termocupla y termorresistencias tienen ventajas sobre la transmisión directa de la señal del sensor al instrumento receptor, ya sea

---

113 Autor: Arnoldo Galetto

con cable de extensión de termocupla en el caso de las termocuplas o cable común de cobre en el caso de las termorresistencias.

Se debe tener en cuenta que con las termocuplas que se trata tienen señales del orden de los milivoltios que al ser transmitidos por medio de alambres de extensión de termocupla por distancias largas, son muy susceptibles a la interferencia por ruido eléctrico generado por la maquinaria cercana. Este ruido puede hacer a la señal de la termocupla inútil. Los circuitos de termocupla son también propensos a problemas con lazos de tierra, los que ocasionan lecturas erróneas.

Los transmisores de termocupla convierten los pocos milivoltios de salida de una termocupla en una señal de corriente continua entre 4 a 20mA que es inmune al ruido y a las caídas de tensión sobre distancias muy largas. Los transmisores de termocuplas aislados eliminan el problema de los lazos de tierra aislando la entrada del transmisor de la salida del mismo.

Los transmisores para termorresistencia de platino convierten la medición de resistencia en una señal de corriente y así eliminan los problemas inherentes en la transmisión de señales de termorresistencia por cable que es la resistencia del cable. Los errores en los circuitos con termorresistencia (especialmente con dos y tres cables) son causados a menudo por la resistencia agregada de los cables entre el sensor y el instrumento como se indica en la siguiente Fig. 2.44

Si la distancia entre el sensor y el instrumento receptor es sustancial, la diferencia en costo entre el cable especial y el alambre de cobre usado con el transmisor es más costoso. Lo mismo sucede con las termorresistencias, el cable de extensión es de cobre, pero se deben usar tres conductores en lugar de dos y también es necesario que sean de mayor sección para disminuir su resistencia.

Otra razón para usar transmisores es que muchos instrumentos no aceptan la señal producida por termocuplas y termorresistencias en forma directa. Gran parte de la instrumentación actual consiste en sistemas basados en computadoras y en controladores de lógica programable (PLC). Estos sistemas normalmente aceptan la corriente de un transmisor sin problema sin importar que se requiera la adición

de circuitería electrónica para convertir la señal de termocuplas o termorresistencias en una que sea aprovechable por el sistema<sup>114</sup>.

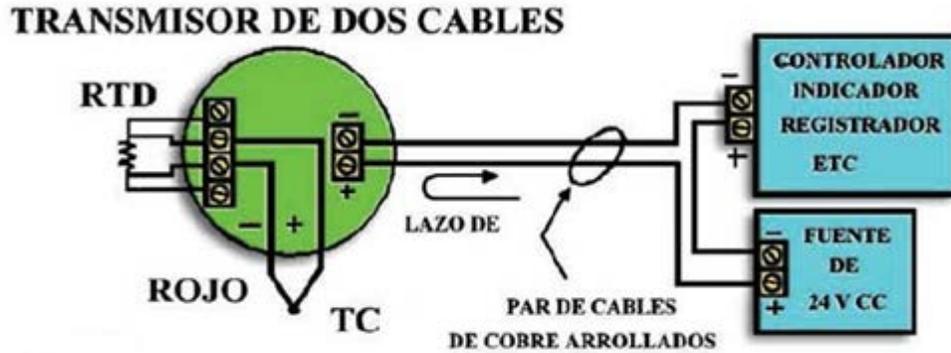


Figura 2.43

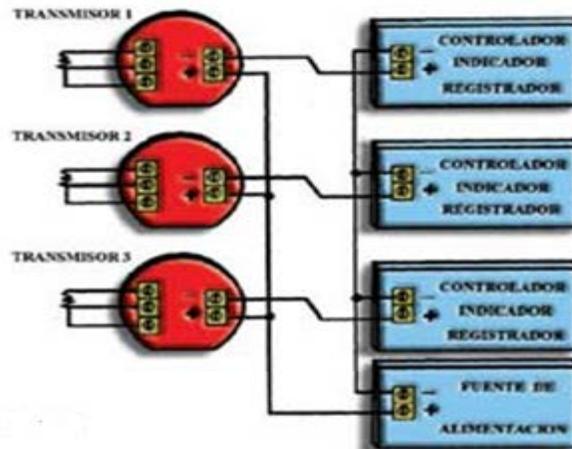


Figura 2.44

114 Guides to Pollution Prevention: The Fabricated Metal Industry (Appendix B) de USEPA, Guides to Pollution Prevention: the Metal Finishing Industry (Appendix B) de USEPA y Waste Audit Study de DHS (1989, 1990)



Fig 2.45

### 2.3.9 TIPOS DE PIRÓMETROS<sup>115</sup>

Existen 3 tipos de pirómetros: los de radiación, los ópticos y los infrarrojos.

#### 2.3.9.1 Pirómetros Ópticos

Los pirómetros ópticos se emplean para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700°C. A esas temperaturas los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia. El color con el que brilla un objeto caliente varía con la temperatura desde el rojo oscuro al amarillo y llega casi al blanco a unos 1 300° C. Este tipo de pirómetros utilizan un método de comparación como base de operación. En general, una temperatura de referencia se proporciona en forma de un filamento de lámpara eléctricamente calentada, y la medición de temperatura se obtiene de comparar de manera óptica la radiación visual del filamento contra la de la fuente de calor a medir. En principio, la radiación de una

<sup>115</sup> Mechanical Measurement, Beckwith, Thomas G., Addison-Wesley Pub Co., 3a Edición, 1982.

de las fuentes, como ve el observador, es ajustada hasta coincidir con la radiación de la otra fuente. Existen dos métodos:

- 1) La corriente a través del filamento es controlada eléctricamente mediante un ajuste de resistencia.
- 2) la radiación aceptada por el pirómetro de la fuente desconocida es ajustada ópticamente mediante algún aparato absorbente como un filtro polarizante. En ambos casos el ajuste es requerido para la lectura de la temperatura.

La Fig. 2.46 indica de forma esquemática la estructura de un pirómetro de intensidad variable.

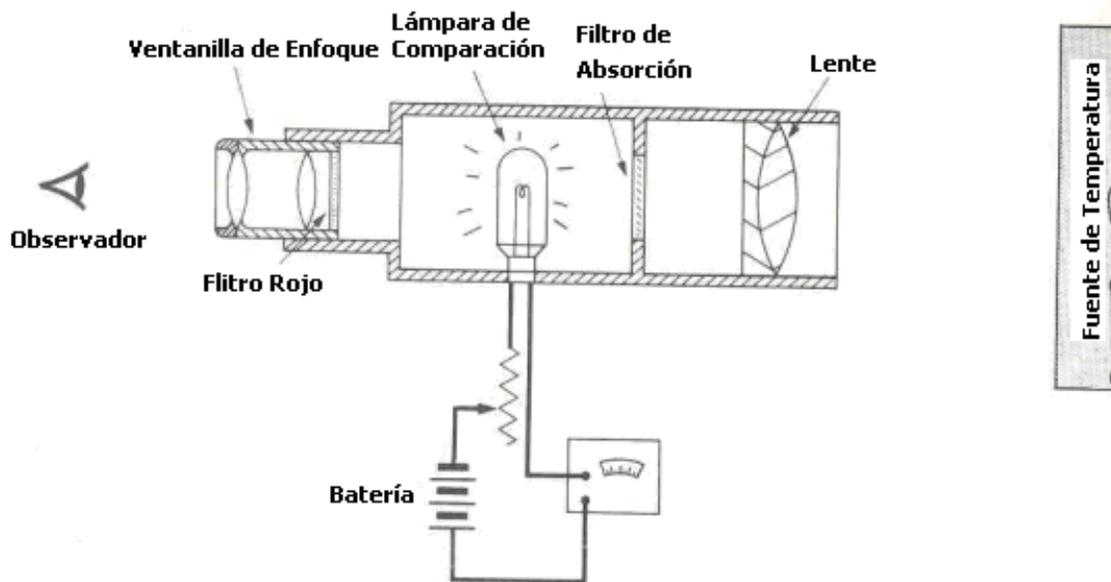


Fig. 2.46 Diagrama Esquemático de un pirómetro óptico

En uso, el pirómetro es puesto en dirección de la fuente u objeto a analizar a una distancia adecuada para que el lente del pirómetro enfoque la fuente en el plano del filamento. La ventanilla de enfoque se ajusta de tal forma que el filamento y la fuente aparezca uno puesto sobre otro. En general, el filamento aparecerá más caliente que la fuente o más frío que ella (Fig. 2.47). Ajustando la corriente en la batería, el filamento debe desaparecer Fig. 2.47 c. La corriente medida en el

indicador conectado a la lámpara y a la batería es usado para asignar la temperatura de la fuente.

Un filtro rojo en general es usado para obtener aproximadamente condiciones monocromáticas, y el filtro de absorción se utiliza para que el filamento opere a una intensidad reducida y así prolongar su vida.



Fig. 2.47 Apariencia del filamento

Este pirómetro es de uso manual, pero existen los pirómetros ópticos automáticos, los cuales son parecidos a los de radiación infrarrojos y consisten esencialmente en un disco rotatorio que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en un fototubo multiplicador. Éste envía una señal de salida en forma de onda cuadrada de impulsos de corriente continua que convencionalmente acondicionada modifica la corriente de alimentación de la lámpara estándar hasta que coincide en brillo la radiación del objeto y la lámpara; en ese momento, la intensidad de corriente que pasa por la lámpara es función de la temperatura.

### 2.3.9.2 Pirómetros de radiación<sup>116</sup>

Los pirómetros de radiación se emplean para medir temperaturas mayores de 550°C hasta 1600°C captando toda o gran parte de la radiación emitida por el

116 Instrumentación Industrial, Creus, Antonio, Publicaciones Marcombo, Mexico, 1981.

<http://www.sereetron.com/Medida%20temp%20en%20industria%20vidrio.pdf>

cuerpo a analizar. Este tipo de pirómetros se fundamenta en la ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir,  $W = KT^4$ , donde

$W$  (potencia emitida)= Flujo radiante por unidad de área.

$K$  =Constante de Stefan - Boltzman (cuyo valor es  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$ ).

$T$  =Temperatura en Kelvin

La fig. 2.48 muestra, de forma simplificada, la forma de operación de un pirómetro de radiación. La parte esencial del dispositivo consiste en una especie de lente de pirex sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de pequeñas dimensiones y montadas en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares. Su reducida masa los hace muy sensibles a pequeñas variaciones de energía radiante y además muy resistente a vibraciones o choques. La parte de los termopares expuesta a la radiación está ennegrecida para comportarse como un cuerpo negro, aumentando así sus propiedades de absorción de energía y propiciando la fuerza electromotriz máxima.

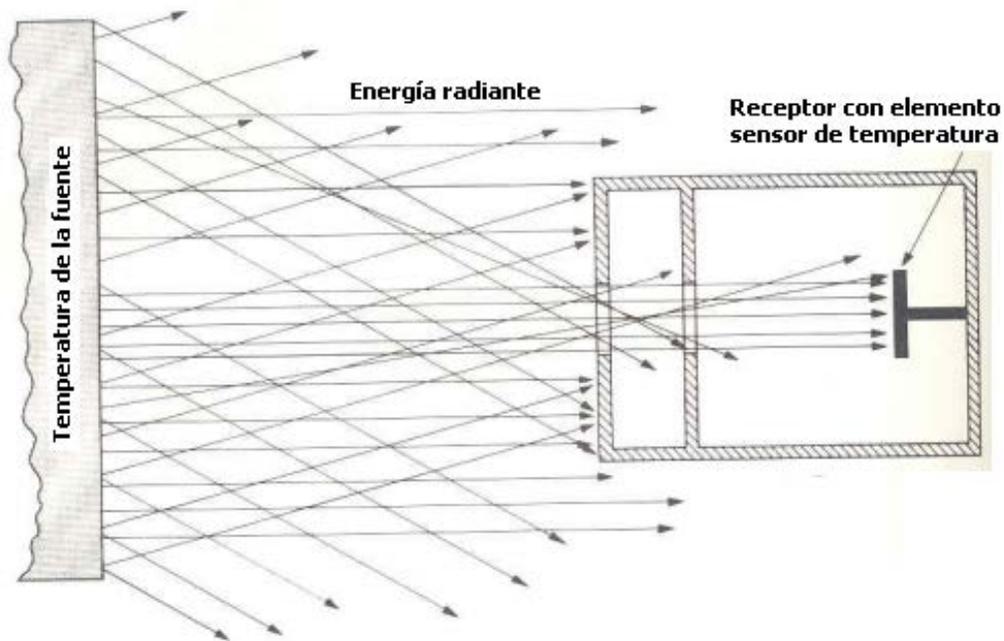


Fig. 2.48 Esquema simplificado de un pirómetro de radiación

La f.e.m. que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría; esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura del ambiente. La compensación de ésta se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro y colocada en su interior de modo que su temperatura es siempre igual a la del cuerpo de éste. Al aumentar la temperatura ambiente aumenta el valor de la resistencia de la bobina de níquel, lo que compensa la pérdida de f.e.m. de la termopila que acompaña el calentamiento del cuerpo del instrumento. Esta compensación se utiliza en temperaturas ambientes mínimas a 120°C, a mayor temperatura se emplean dispositivos de refrigeración.

El medio de enfocar la radiación que le llega puede ser una lente o un espejo cóncavo. El espejo cóncavo es a veces preferido como medidor para enfocar por dos razones:

- La imagen de la fuente se enfoca igualmente bien en el receptor para todas las longitudes de onda, puesto que el espejo no produce aberración cromática, en tanto que la lente puede dar una imagen neta para una sola longitud de onda.
- Las lentes de vidrio o de sílice vítrea absorben completamente una parte considerable de la radiación de largas longitudes de onda

## **2.4 MARCO LEGAL**

El proyecto está sustentado y aprobado por el INEN

## **2.5 MARCO ESPACIAL**

El tiempo estimado en el desarrollo del proyecto e 12 meses y so lo realiza para el INEN

## **2.6 INVESTIGACIÓN**

### **2.6.1 Procesó de investigación**

El proceso de la investigación se lo realiza en el INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización así como también en instituciones de educación superior y la intranet en donde se contara con la documentación de la investigación.

### **2.6.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es de tipo exploratoria ya que es un tema relativamente nuevo con lo que se utiliza este método para su desarrollo.

### **2.6.3 Método**

Método inductivo ya que se toma de un caso en particular para poder determinar la conclusión general.

### **2.6.4 Técnica**

La técnica que se aplica es la entrevista ya que se basa en la entrevista con algunas personas que tengan conocimiento sobre el tema.

### **2.6.5 Instrumento**

Se lo realiza con preguntas abiertas por lo que no hay límite en sus relatos el cual sirve para recopilar información.

## CAPÍTULO III

### 3.- DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BAÑO DE SALES PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE ALTA TEMPERATURA PARA UN RANGO DE 400°C A 800° C.

#### INTRODUCCIÓN

El diseño del sistema parte del tipo de termómetro a calibrar, por lo que se considera a los termómetros que estén en el rango de los 400°C a 800°C, este sistema está diseñado para cumplir con el rango propuesto.

Para proceder con el diseño se determina el método de calibración que se utilizará y que va a depender de la temperatura a la que se calibrará, para este tipo de termómetros se lo hace mediante un baño de sales. Este tipo de sales vienen en estado sólido que al entrar en una determinada temperatura empieza a cambiar su estado de sólido a líquido, en este último estado transmite las propiedades de estabilidad y gradientes que se necesita para la calibración del termómetro; para esto se necesita un horno adecuado que permita introducir tanto las sales como el termómetro, los más usados son los de tipo crisol ya que permiten removerlos, y fácilmente trasladarlos, con lo cual se puede realizar la limpieza de las sales.

Este sistema debe ser calentado, se aplicará un método apto para este tipo de horno como puede ser mediante resistencias eléctricas lo que permitiría utilizar la energía eléctrica.

Para poder censar la temperatura dentro del crisol se necesita una termocupla con las características apropiadas para medir temperatura en el rango ya especificado.

Para controlar todo este sistema se necesita de un adecuado tipo de control que permita manipular el sistema así como cada uno de los elementos que intervengan

Este capítulo contiene el diseño del sistema utilizando los elementos que mejor cumplen las especificaciones requeridas en el proyecto, así como pruebas de simulación en la parte electrónica del mismo.

### **3.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN, PARA PLANTEAR UN DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BAÑO DE SALES PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS.**

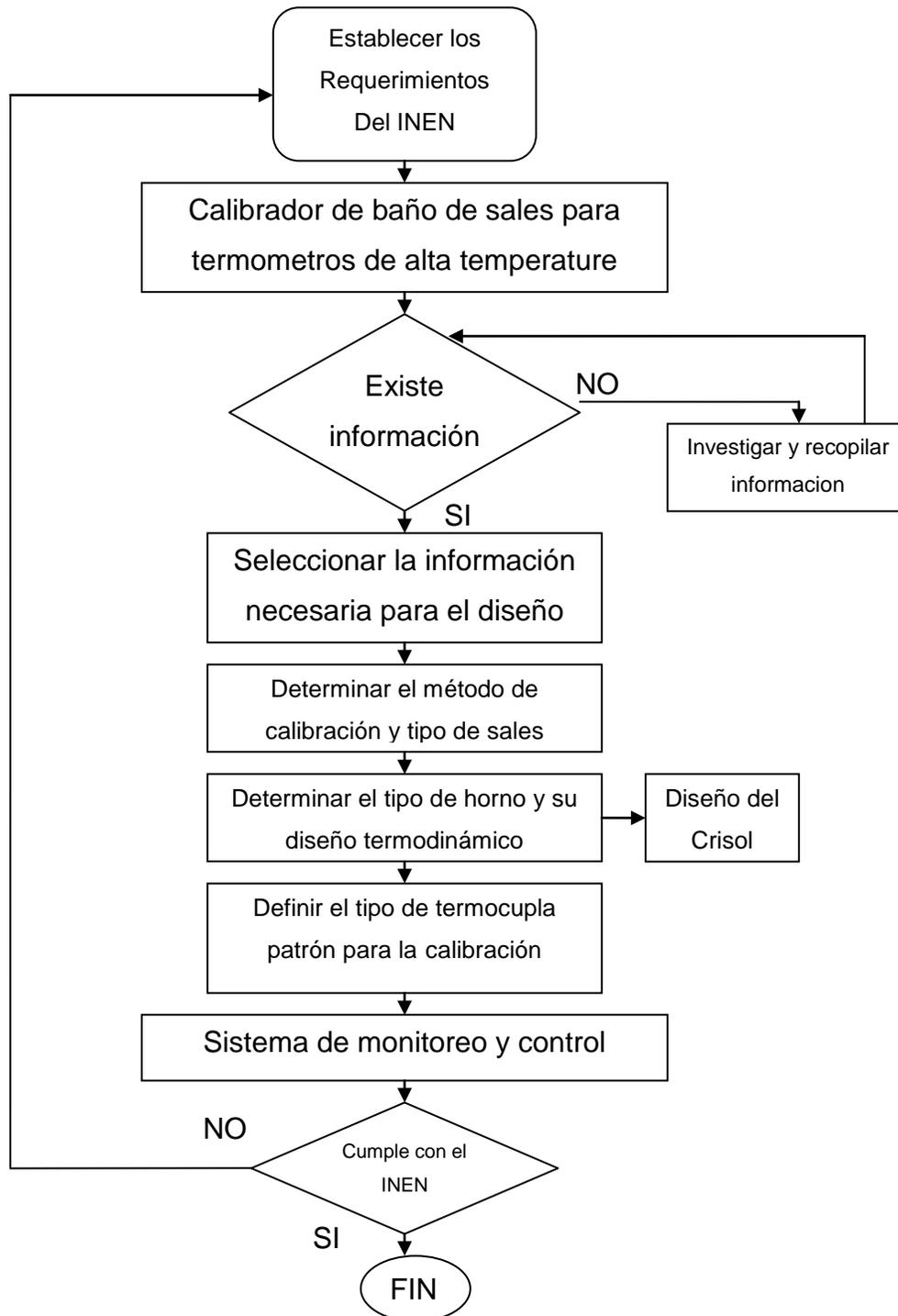


Fig. 3.1 Diagrama de bloques de los pasos para el diseño del

Elaborado por: Jose Freire

El INEN en el campo metrológico, debido al incremento de la industrias en el país ha visto la necesidad de contar con un sistema de calibración para termómetros de

alta temperatura, por lo que se ha considerado que se realice una investigación para implementar este servicio a futuro, ya que actualmente cuenta con calibradores de termómetros de baja temperatura, y; para las industrias siderúrgicas y petroleras se requiere calibradores de termómetros de alta temperatura. El sistema deberá calibrar en un rango de temperatura entre los 400 a 800 °C, el mismo utilizara un método de calibración que se ajuste a dichas condiciones incluyendo el tipo de horno adecuado para este tipo, para el análisis del procesó deberá contar con un sistema de control y monitoreo para fijar las temperaturas a las que se desea calibrar dependiendo del tipo de termómetro y así tomar los respectivos datos para sus validaciones.

De acuerdo a los requerimientos del INEN para su diseño se consideró aspectos tales como se menciona continuación.

- Para la altura del horno se tendrá en cuenta los materiales que lo componen así como también se considerara, la altura promedio aproximada de los termómetros a calibrar es de 30 cm.
- El tipo de calibración será mediante baño de sales
- El Diámetros del horno que se utilizara será el necesario para introducir el termómetro a calibrar así como también el patrón de calibración y las sales que intervendrán en el proceso
- El volumen y diseño del crisol se lo determinara con las leyes de la termodinámica así como también dependerá del tipo de termómetro y de la inmersión de los mismos

La Fig. 3.1 muestra el diagrama que indica los pasos para el diseño así como las diferentes partes que fueron estudiadas y diseñadas para conformar el sistema de calibración de temperatura.

### **3.1.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN A UTILIZAR**

Como se describe en el capítulo 2 los métodos de calibración conocidos son: Punto de Hielo o baños líquidos, Punto de Vapor o baños de sales, Puntos Fijos Secundarios u hornos de pozo seco, Puntos Fijos de la ITS-90 u Hornos de Cuerpo Negro. Para el diseño se optó por el baño de sales ya que se ajusta al rango propuesto en el proyecto. Posée alta exactitud para calibración de termómetros de líquido en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas sean un poco complejas. Por su alta estabilidad y uniformidad es perfecto en calibraciones donde se requiere de una incertidumbre baja.

El tipo de sal que se utiliza para calibrar es de cianuro de sodio, ya que es ideal para este tipo de procesos y transmitirá sus propiedades de estabilidad y gradientes en el rango propuesto. También se puede utilizar cianuro de potasio pero sus vapores son más peligrosos que la de cianuro de sodio.

### **3.1.2 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE HORNO**

Existe una variedad de sistemas de calentamiento que se utilizan para los baños de sales. El más simple, aplicable a temperaturas de 175°C a 850°C, es un

recipiente metálico con calefactores eléctricos internos mencionado en el capítulo 2.

Para el método de baño de sales propuesto, el horno más adecuado es el de tipo crisol como se muestra en la Fig. 3.2.

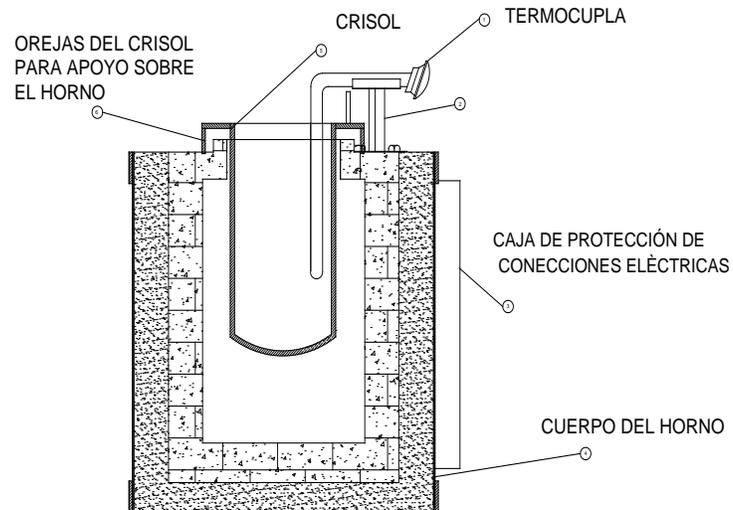


Fig. 3.2 Diagrama de los elementos del horno

Elaborado por: José Freire

Este tipo de horno consta de un crisol en el cual se introduce las sales, la termocupla y el termómetro a calibrar, forma geométrica cilíndrica. El crisol se posiciona en el centro de la cámara de calentamiento y se apoya sobre las orejas del crisol, este se lo puede retirar para así trasladarlo para limpiar las sales, su calentamiento será internamente a partir de material refractario. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor.

## **3.2 DISEÑO DE UN PROTOTIPO BAÑO DE SALES**

### **3.2.1 CRISOL**

Para el diseño del tamaño y volumen, del crisol dependerá de los termómetros a sumergir para su calibración por lo que se tomara una medida promedio de los diferentes termómetros así como también de los sensores que se disponga en el mercado y con ello determinar su altura y volumen adecuado del crisol para así tener correctamente introducido todos los elementos que intervendrán en el sistema.

Datos impuestos por el INEN

Altura: 37 cm

Diámetro: 19.5 cm

#### **3.2.1.1 Forma del crisol**

Tomando en cuenta las leyes de la termodinámica la forma ideal es la cilíndrica. Adoptando esta forma se logra repartir el calor uniformemente en todos los lados indicado en la Fig. 3.3.

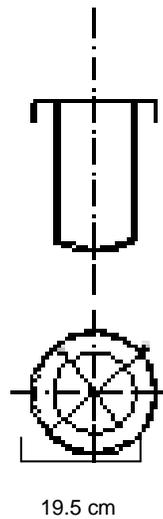


Fig. 3.3 Diagrama del crisol con su respectivo diámetro

Elaborado por: José Freire

### 3.2.1.2 Área del crisol

$$AT=2.\pi.r.(h+r) \quad (\text{ecu. 3.1) área de crisol}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

h= altura

r= radio (cm)

$$A=2*3.1416*9.75(37+9.75)$$

$$A=2863.96 \text{ cm}^2$$

### 3.2.1.3 Volumen del crisol

$$V= \pi.r^2.h \quad (\text{ecu 3.2) Volumen de crisol}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

h= altura

r= radio(cm)

$$V= 3.1416*9.75*9.75*37$$

$$V= 11049.98 \text{ cm}^3$$

#### **3.2.1.4 Material del crisol**

El material que se usa para este tipo de tratamientos son de acero inoxidable aunque los crisoles son de diferentes materiales, para este caso será de acero inoxidable, existen algunos tipos de aceros inoxidables unos con mejores propiedades que otros.

Espesor del material que se plantea es: 6mm

#### **3.2.2 DISEÑO TERMODINÁMICO DEL HORNO**

En la Fig. 3.4 se observa un diagrama, en el cual se presentan los componentes a analizar en el diseño para dimensionarlos y seleccionarlos y saber cómo está constituido.

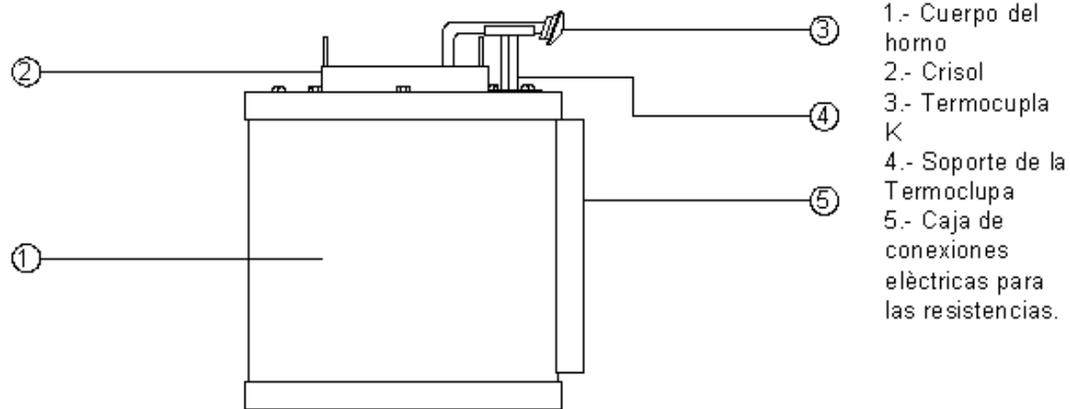


Fig. 3.4 Diagrama del sistema

Elaborado por: José Freire

### 3.2.2.1 Cálculo tentativo para la dimensión del horno

#### a) Diseño termodinámico de la cámara del horno.

En la Fig. 3.5 se muestra la composición de las paredes de la cámara así como, los diámetros de las mismas, para luego proceder al cálculo de la pérdida de calor que se den por las paredes, temperaturas entre las chapas y el espesor del aislante.

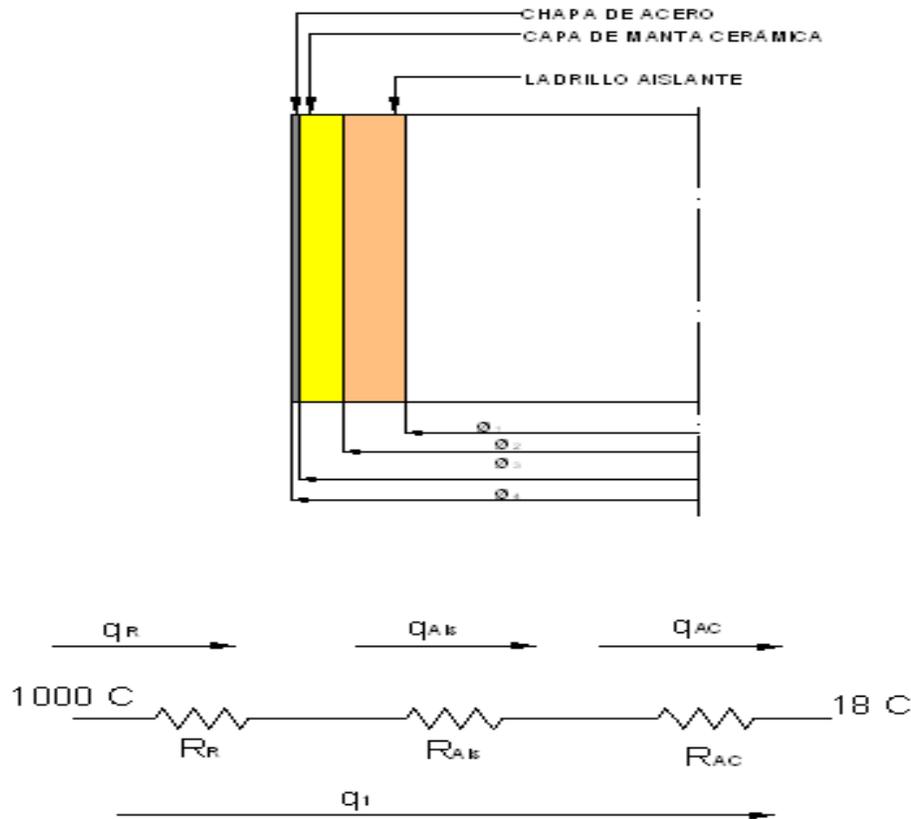


Fig. 3.5 Diagrama de la pared de la cámara

Elaborado por: José Freire

### a.1) Cálculo de la pérdida de calor en la cámara

#### Cálculo tentativo 1

En la pared lateral se calcula las pérdidas sabiendo que la misma tiene la forma de un cilindro; para el cálculo del flujo de calor que se pierde por ella se usa la ecuación 3.3; en la figura 3.6 se muestra el diagrama de la conductividad térmica. El espesor de la chapa de acero exterior es despreciable por lo tanto se considera que la temperatura exterior es de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que es la máxima temperatura exterior.

La temperatura interior de la cámara es de 1000 °C, en la Fig. 3.6 se muestra la forma de la pared.

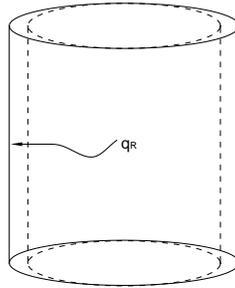


Fig. 3.6.a Diagrama de la pared lateral

Elaborada por: Jose Freire

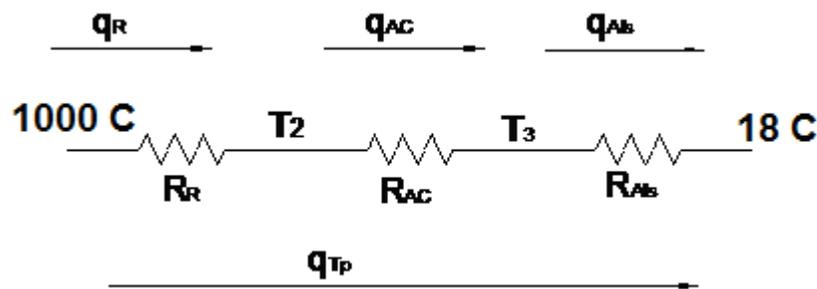


Fig. 3.6.b Esquema de la conductividad térmica de los materiales de la pared lateral

Elaborado por: Jose Freire

Y partiendo de datos conocidos según los materiales y los fabricantes, se tiene tablas estandarizadas se toma como datos:

Espesor del ladrillo = 229mm

Espesor de la manta = 25.4mm

Espesor del tool negro = 6mm

- Ø 1= diámetro de la cámara= 300mm
- Ø 2= diámetro en la pared del ladrillo= 758mm
- Ø 3= diámetro en la pared de la manta= 808.8mm
- Ø 4= diámetro en la pared del tool negro= 820.8mm

$$q = \frac{\Delta T}{R_L + R_{MC} + R_{AC}} \quad (\text{ecu. 3.3}) \text{ Calculo perdida del flujo de calor}$$

Donde:

q= Flujo de calor (KW)

$\Delta T$ = Variación de temperatura (°C)

$R_L$ = Resistencia del ladrillo refractario (°K / W)

$R_{AC}$ = Resistencia del acero (°K / W)

$R_{MC}$ = Resistencia del manta (°K / W)

Pero si se sabe que la resistencia es igual a:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{2\pi K l} \quad (\text{ecu. 3.4}) \text{ Resistencia térmica}$$

Donde:

R= Resistencia térmica (°K / W)

$R_o$ = Radio exterior (m)

$R_i$ = Radio interior (m)

K= coeficiente de conductividad térmica del material (W / m °K).

l= Longitud de la pared.

En las tablas # 2, 3 y 4 del anexo 1 se observan los valores de K para los distintos materiales que intervienen en los cálculos, dichos valores se deben interpolar para luego multiplicar por el factor de conversión a SI. (Parte baja de la tabla # 3 del anexo 1) (W/m-K).

Combinando la ecuación 3.4 con la 3.5 se tiene la ecuación para el cálculo de las pérdidas de calor.

$$q_{R1} = \frac{\Delta t}{\frac{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{2\pi KL}} \quad (\text{ecu. 3.5) calculo perdidas de calor}$$

$$q_{R1} = \frac{(1000 - 18)}{\frac{\ln\left(\frac{0.379}{0.150}\right)}{2 * \pi * 0.22 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.4044}{0.379}\right)}{2 * \pi * 0.16704 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.4104}{0.4044}\right)}{2 * \pi * 47 * 0.420}}$$

$$\mathbf{q_{R1} = 563.13W}$$

Como se puede observar el diseño está sobredimensionado, y además el costo del mismo sería alto ya que se usarían muchos materiales para la construcción del mismo por lo tanto se procede a realizar otro calculo.

## **Cálculo Tentativo 2**

Para este cálculo se basará los siguientes datos.

Espesor del ladrillo = 114mm

Espesor de la manta = 101.6mm

Espesor del tool negro = 2mm

Ø 1= diámetro de la cámara= 300mm

Ø 2= diámetro en la pared del ladrillo= 528mm

Ø 3= diámetro en la pared de la manta= 731.2mm

Ø 4= diámetro en la pared del tool negro= 735.2mm

$$q_{R1} = \frac{(1000 - 18)}{\frac{\ln\left(\frac{0.264}{0.150}\right)}{2 * \pi * 0.22 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.3656}{0.264}\right)}{2 * \pi * 0.16704 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.3676}{0.3656}\right)}{2 * \pi * 47 * 0.420}}$$

$$q_{R1} = 573,26W$$

De la misma manera el equipo sigue sobre dimensionado ya que el diámetro total del horno no debe superar en más del 90% el diámetro de la cámara por lo tanto se procede al siguiente calculo.

### Calculo Real

Para este cálculo se varía los siguientes datos

Espesor del ladrillo = 63mm

Espesor de la manta = 63.5mm

Espesor del tool negro = 3mm

Ø 1= diámetro de la cámara= 300mm

Ø 2= diámetro en la pared del ladrillo= 426mm

Ø 3= diámetro en la pared de la manta= 553mm

Ø 4= diámetro en la pared del tool negro= 559mm

$$q_{R1} = \frac{(1000 - 18)}{\frac{\ln\left(\frac{0.213}{0.150}\right)}{2 * \pi * 0.22 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.2765}{0.213}\right)}{2 * \pi * 0.16704 * 0.420} + \frac{\ln\left(\frac{0.280}{0.2765}\right)}{2 * \pi * 47 * 0.420}}$$

$$q_{R1} = 721,068W$$

Como se puede observar las medidas del horno están dentro de los parámetros antes planteados por el cual se procede al cálculo de las pérdidas por las paredes planas que es la base plana del equipo

#### **b) Cálculo de la pérdida de calor por la pared superior**

Las pérdidas en la tapa superior se calculan considerando una pared plana, ya que el flujo de calor es perpendicular a la superficie, también se usa la conductividad del aire, del ambiente con una temperatura promedio de 18 °C partiendo de una temperatura interior de 1000 °C. Fig. 3.7

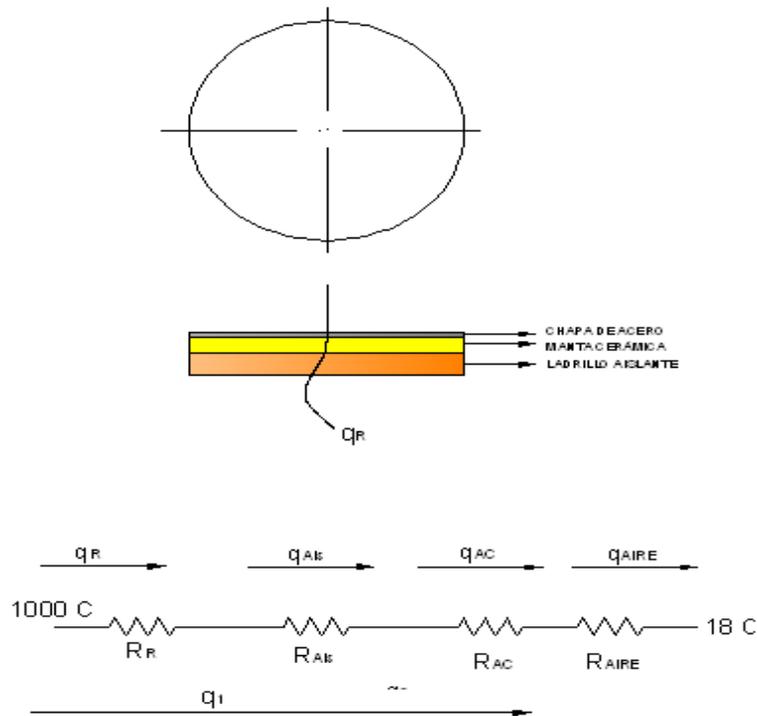


Fig. 3.7 Diagrama de la pared superior

Elaborado por: José Freire

Para calcular la pérdida de calor primero se debe determinar la resistencia térmica del aire a temperatura promedio.

$$T_F = \frac{(T_s + T_{ext})}{2} \quad (\text{ecu. 3.6) temperatura promedio}$$

Dónde:

$T_F$  = Temperatura promedio (°C)

$T_s$  = Temperatura de la superficie

$T_{ext}$  = Temperatura exterior

$$T_F = \frac{(1000 + 18)}{2}$$

$$T_F = 509 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow 783 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Se calcula el coeficiente volumétrico de expansión térmica con la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{1}{\delta} * \frac{P}{RT^2} \quad (\text{ecu. 3.7) coeficiente volumétrico de expansión térmica}$$

Dónde:

$\beta$  = coeficiente volumétrico de expansión térmica (1/°K)

$\delta$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

P= Presión atmosférica (N/m<sup>2</sup>)

T= Temperatura promedio (°K).

R= Constante del Gas

$$\beta = \frac{1}{0.451464} * \frac{91.2036}{185.94735 * (783)^2}$$

$$\beta = 1.77204 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ K}$$

Una vez que se calcula  $\beta$  se procede al cálculo del número de Grashof, que es un equivalente al número de Reynolds.

$$G_{rL} = \frac{g\beta(T_{ext} - T_s) * L^3}{\nu^2} \quad (\text{ecu. 3.8) Número de Grashof}$$

Donde:

$G_{rL}$  = Número de Grashof (adimensional)

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

$L$  = Longitud expuesta (m)

$u$  = Viscosidad ( $m^2/s$ ) (tabla # 4y5 del anexo1)

$$G_{rL} = \frac{9.81 * 1.77204 * 10^{-6} (1000 - 18) * (0.063)^3}{(7.9463 * 10^{-5})^2}$$

$$G_{rL} = 675.998$$

Se calcula la relación entre las fuerzas de empuje y la viscosidad

$$R_{aL} = G_{rL} * Pr \text{ (ecu. 3.9) Número de Raylesgh}$$

Donde:

$R_{aL}$  = Número de Raylesgh (adimensional)

$Pr$  = Número de Prandt (adimensional) (tabla #1 del anexo 1)

$$R_{aL} = 675.998 * 0.68792$$

$$R_{aL} = 465.032$$

Por último para calcular el coeficiente de convección del aire se calcula el número de Nusselt.

$$\overline{N_u} = 0.59(RaL)^{\frac{1}{4}} \quad \text{(ecu. 3.10) número de Nusselt}$$

Donde:

$\overline{N_u}$  = Número de Nusselt (a dimensional)

$$\overline{N_u} = 0.59(465.032)^{\frac{1}{4}}$$

$$\overline{N_u} = 2.7998$$

Se determina el coeficiente de convección térmica del aire, mediante la expresión:

$$h = \frac{K * \overline{N_u}}{D}$$

(ecu. 3.11) Coeficiente de convección térmica del aire

Donde:

h= Coeficiente de convección térmica del aire (W / m<sup>2</sup>°K)

K= Coeficiente de conductividad térmica del material. (Tabla # 4 y 5 del anexo1)  
(W / m °K)

D= Diámetro (m).

$$h = \frac{0.0328284 * 2,7398}{0.560}$$

$$h = \frac{0.1066W}{m^2K}$$

Luego se calcula el área expuesta que será:

$$A = r^{2*}\pi \quad (\text{ecu. 3.12) Área del Horno}$$

Donde:

r= radio del horno

$$A= (0.28)^2 * \pi$$

$$A= 0.246\text{m}^2$$

Para las pérdidas de calor por la pared superior se aplica una combinación entre la ecuación 3.4 y la ecuación 3.13 y 3.14

El cálculo de la resistencia térmica por conducción para una pared plana, se da mediante la expresión:

$$R = \frac{L}{K * A} \quad (\text{ecu. 3.13) Resistencia térmica}$$

Donde:

R= Resistencia térmica (°K / W)

L= Longitud de la pared (m)

K= Coeficiente de conductividad térmica del aire. (Tabla # 5 del anexo 1) (W / m °K)

A= Área de contacto (m<sup>2</sup>).

Cálculo de la resistencia térmica por convección en una pared plana.

$$R = \frac{1}{h_c * A} \quad (\text{ecu. 3.14) resistencia termica}$$

Donde:

R= Resistencia térmica ( $^{\circ}\text{K}/\text{W}$ )

$h_c$ = Coeficiente de convección ( $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}$ ).

A= Área de contacto ( $\text{m}^2$ )

Combinando las tres ecuaciones se tiene:

$$q = \frac{\Delta T}{R_L + R_{MC} + R_{Ac} + R_{aire}} \quad (\text{Ecuación 3.15) pérdida de calor en paredes}$$

$$q_{R2} = \frac{(1000 - 18)}{\frac{0.063}{0.22 * 0.246} + \frac{0.0508}{0.16704 * 0.246} + \frac{0.003}{47 * 0.246} + \frac{1}{0.1606 * 0.246}}$$

$$q_{R2} = 35.43\text{W}$$

Una vez calculado el calor que se pierde por cada una de las paredes se calcula la pérdida total de calor.

$$q_{Tp} = q_{R1} + q_{R2} \quad (\text{ecu. 3.16) pérdida de calor total}$$

$q_{Tp}$ = Flujo de la pérdida de calor (KW)

$$q_{Tp} = 721,068 + 35,43$$

$$q_{Tp} = 756,498\text{W}$$

**c) Cálculo del tiempo de enfriamiento del horno**

Para determinar el tiempo de enfriamiento del horno, se utiliza el principio de la conducción de calor transitorio, conociendo que el horno se enfría por convección natural.

Para calcular la convección natural se aplican las ecuaciones 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11. Previamente se determina la temperatura de trabajo con la siguiente ecuación:

$$T_F = \frac{(T_s + T_{ext})}{2}$$

$$T_F = \frac{1000 + 18}{2}$$

$$T_F = 509 \text{ C} = 783 \text{ K}$$

El coeficiente volumétrico de expansión térmica de la ecuación 3.8:

$$\beta = \frac{1}{1.1665} * \frac{91.2036 \times 10^3}{185.94735 * 312^2}$$

$$\beta = 4.32 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{K}}$$

El número de Grashof, que es un equivalente al número de Reynolds (ecuación 3.9).

$$G_{rL} = \frac{9.81 * 4.5798 * 10^3 (1000 - 18) * (1.78)^3}{(1.6 * 10^{-3})^2}$$

$$G_{rL} = 54.610 * 10^3$$

La relación entre las fuerzas de empuje y la viscosidad (Ecuación 3.10):

$$R_{\alpha L} = 54.610 * 10^3 * 0.70734$$

$$R_{\alpha L} = 38.627 * 10^3$$

Por último el coeficiente de convección del aire (h) (Ecuación 3.11, 3.12):

$$\overline{N_u} = 0.1 (R_{\alpha L})^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{N_u} = 0.1 (13.99 * 10^9)^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{N_u} = 240.95$$

$$h = \frac{0.02644 * 240.95}{0.86}$$

$$h = 7.4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Para calcular el tiempo en el que se enfría el horno primero, se requiere el volumen del lugar donde se encuentra el material a enfriar y el área de contacto:

$$V = \frac{D_i^2 * \pi}{4} * L \quad (\text{ecu. 3.17) Volumen}$$

Donde:

V= Volumen (m<sup>3</sup>)

D<sub>i</sub>= Diámetro interno del tanque (m)

L= Alto del tanque (m)

$$V = \frac{(0.7)^2 * \pi * L}{4}$$

$$V = 0.685 \text{ m}^3$$

$$A_s = D_e * \pi * L \quad (\text{ecu. 3.18}) \text{ área de contacto}$$

Donde:

A<sub>s</sub>= Área de contacto (m<sup>2</sup>)

D<sub>e</sub>= Diámetro exterior (m)

$$A_s = 0.86 * \pi * 1.78$$

$$A_s = 4.81 \text{ m}^2$$

Una vez que se determina el volumen y el área, se procede al cálculo del tiempo de enfriamiento del tanque:

$$t = \frac{\delta * V * C_p}{h * A_s} * \frac{\ln(T_i - T_{ext})}{T - T_{ext}} \quad (\text{ecu. 3.19}) \text{ tiempo de enfriamiento del horno}$$

Donde:

$t$ = Tiempo de enfriamiento del horno (Horas)

$\delta$  = Densidad del aire dentro del tanque ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$C_p$ = Calor específico ( $\text{J}/\text{Kg } ^\circ\text{K}$ )

$h$ = Coeficiente de convección ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ ).

$T_i$ = Temperatura interna (C).

$T_{\text{ext}}$ = Temperatura exterior (C).

$T$ = Temperatura a la que se quiere llegar (C).

$$t = \frac{\delta * V * C_p}{h * A_s} * \frac{\ln(T_i - T_{\text{ext}})}{T - T_{\text{ext}}}$$

$$t = \frac{0.2397 * 0.685 * 1225.27}{7.4 * 4.81} * \frac{\ln(1200 - 20)}{40 - 20}$$

$$t = 26.96 \text{ Horas}$$

### 3.2.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL HORNO

#### 3.2.3.1 Resistencias

Kanthal A-1 se utiliza en este tipo de hornos, soporta temperaturas de hasta 1400  $^\circ\text{C}$ , su resistividad es de  $1.45 \mu\Omega\text{-m}$ , y se encuentra en hilos de entre 0.05 y 10 mm de diámetro.

Para calcular la resistencia, se debe tomar en cuenta el voltaje de alimentación, la potencia radiable por unidad de superficie, la temperatura de uso.

Para el cálculo se emplea las siguientes ecuaciones:

$P = V I$	(ecu 3.20) Potencia
$V = IR$	(ecu 3.21) Volumen
$S = \pi r d$	(ecu 3.22) superficie
$A = (\pi/4)d^2$	(ecu 3.23) Area
$R = \rho l/A$	(ecu 3.24) Resistividad
$K = P/S$	(ecu 3.25) Carga de La superficie

Donde:

$l$  = es la longitud del alambre.

$d$  = es el diámetro del alambre.

$A$  = es el área de la sección del alambre.

$S$  = es la superficie expuesta del alambre.

$\rho$  = es el diámetro interno de la espira

$R$  = es la resistividad del material.

$V$  = es el voltaje de alimentación.

$K$  = es la carga superficial (potencia radiable por unidad de superficie).

$P$  = es la potencia consumida.

V es 230 V, la potencia radiable por unidad de superficie viene dada por el diseño, y para 1000 °C, con resistencias soportadas en acanaladuras, K debe ser menor de 2.3 W cm<sup>2</sup> de acuerdo al anexo

Con la potencia de 700 W de acuerdo con el cálculo que se realizó. Con las especificaciones del hilo Kanthal y extrapolar para el kanthal A-1, el hilo debe tener más de 1 mm de diámetro para temperaturas de 1000 °C.

Se calcula la longitud con la ecuación:

$$l = \frac{\pi V^2 d^2}{4 \rho P} \quad (\text{ecu 3.26}) \text{ longitud del hilo}$$

$$l=37.4 \text{ m}$$

Para la carga superficial se aplica la siguiente ecuación:

$$K = \frac{P}{S} = \frac{R}{l \pi d} = \frac{V^2 \pi d^2}{4 \rho l} = \frac{V^2 d}{4 \rho l^2} \quad (\text{ecu 3.27}) \text{ carga de la superficie}$$

De la ecuación 3.26 se obtiene 37.4 m, que es una cantidad de hilo considerable para poder fijar en las paredes del horno.

Para obtener un cálculo más adecuado se puede cambiar el voltaje de alimentación o la carga superficial de 2.22 Wcm<sup>2</sup>, y con un diámetro de 1.5 mm para la resistencia. Aplicando las ecuaciones 3.22 y 3.26, se obtiene

$l = 6.7$  m, que es una longitud que sí se puede fijar en las paredes del horno una vez convertida en espiral.

Combinando las ecuaciones 3.21, 3.22, 3.24 y 3.25 se puede deducir el voltaje de alimentación necesario, que resulta 63.3 V.

$$V = \sqrt{PR} = \sqrt{P\left(\frac{l\rho}{A}\right)} = \sqrt{P\left(\frac{l\rho}{\frac{\pi d^2}{4}}\right)} = \sqrt{\frac{4l\rho P}{\pi d^2}} \quad (\text{ecu 3.28})$$

Este cambio en el diámetro de la resistencia proporciona como beneficios una vida más larga de la resistencia debida a una menor temperatura en su superficie (menor carga superficial) y un menor precio de la resistencia por su menor longitud (y masa).

Tomando la máxima carga superficial admisible con el montaje en ranuras ( $2.3\text{Wcm}^2$ ), y las ecuaciones 3.26 y 3.27, se puede ver que se está cerca del máximo:

$$P = K\pi l d = 705\text{W} \quad (\text{ecu 3.29}) \text{ combinación de ecuaciones}$$

Potencia calculada en el horno la resistencia se enrolla formando una espiral, la cual irá en las acanaladuras de los ladrillos, dando por tanto entre 1 y 3 vueltas por la pared.

### 3.2.4 TERMOCUPLA

Existen gran variedad de termocuplas pero para el diseño de este sistema y que está dentro del rango propuesto es la termocupla tipo k, las especificaciones se describen en el (anexo 3).

### 3.2.5 DISEÑO DEL CONTROL

#### 3.2.5.1 Control de temperatura

Tomando como base la termocupla y con las especificaciones de la misma de acuerdo al (anexo ) se tiene los siguientes datos:

Rango de medición: - 250 a 1000°C

Tasa de variación de temperatura: 0.0319 /°C

a) Con los datos de la termocupla se calcula mediante el puente de weastone una resistencia variable que permite ajustar dentro de un rango de temperatura

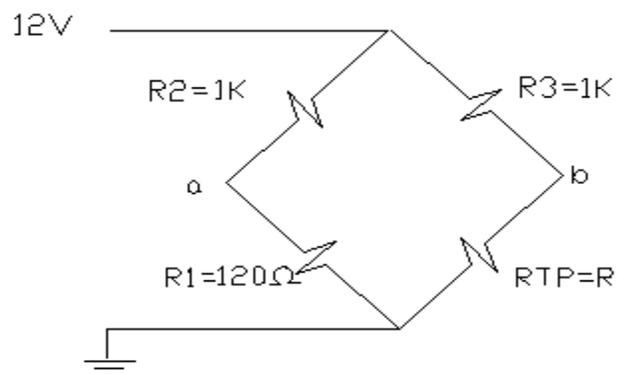


Fig. 3.8 Puente de Wheastone

Elaborado por: Jose Freire

Con la ecuación 3.21 se calcula el rango de la resistencia para la variación de la temperatura a la que se calibrara mediante el puente de Wheastone

Datos de la termocupla (anexo )

$R_0 = 100\Omega$  a  $0^\circ\text{C}$

$\alpha = 0.0319 / ^\circ\text{C}$

$$R = R_0 [1 + \alpha \Delta T] \quad (\text{ecu 3.30) resistencia final}$$

R= Resistencia final

$R_0$  = Resistencia inicial

$\alpha$ = Tasa de variación de temperatura

El valor de  $\Delta T$  es la temperatura ambiente ( $18^\circ\text{C}$ )

$$R = 100[1 + 0.0319 (18)]$$

$$R = 100.5 \approx 110 \Omega$$

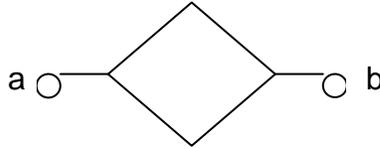
El valor de  $\Delta T$  es la temperatura máxima ( $1000^\circ\text{C}$ )

$$R = 100[1 + 0.0319(1000)]$$

$$R = 3290 \Omega$$

**b)** Cálculo del divisor de tensión en a y b

Cálculo del divisor de tensión en a del puente de wheastone



$$V_a = \frac{V_{int}(R_1)}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ecu 3.31) Divisor de tensión}$$

$$V_a = \frac{12(120)}{120 + 1000}$$

$$V_a = 1.28 \text{ V}$$

Cálculo del divisor de tensión máximo en b

$$V_b = \frac{V_{int}(R)}{R + R_2} \quad (\text{Ecu 3.32) divisor de tensión máximo}$$

$$V_b = \frac{12(452.8)}{452.8 + 1000}$$

$$V_b = 3.74 \text{ V}$$

Voltaje mínimo en (a-b)

$$V(b-a) = V_b - V_a \quad (\text{ecu 3.33) voltaje mínimo}$$

$$V(b-a) = (1.28 - 1.28) \text{ V}$$

$$V(b-a) = 0 \text{ V}$$

Voltaje máximo en (a-b)

$$V(b-a) = V_b - V_a \quad (\text{ecu 3.34}) \text{ Voltaje máximo}$$

$$V(b-a) = (3.74 - 1.28) \text{ V}$$

$$V(b-a) = 2.46 \text{ V}$$

c) Circuito a acondicionador

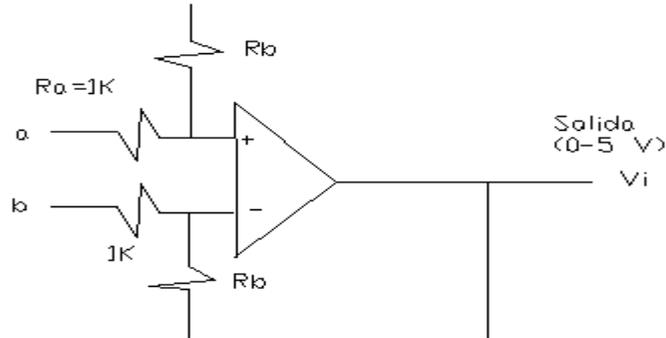


Fig. 3.9 Circuito acondicionador

Elaborada por: Jose Freire

Cálculo de la ganancia del amplificador (G)

$$G = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (\text{Ecu 3.35}) \text{ ganancia de un amplificador}$$

$$G = \frac{5}{2.16}$$

$$G = 2$$

Cálculo de la resistencia Ra se asume Ra = 1K

$$R_b = G R_a \quad (\text{ecu 3.36})$$

$$\text{Asumo } R_a = 1K$$

$$R_b = 2(1K)$$

$$R_b = 2K\Omega$$

**d) Seguidor de tensión**

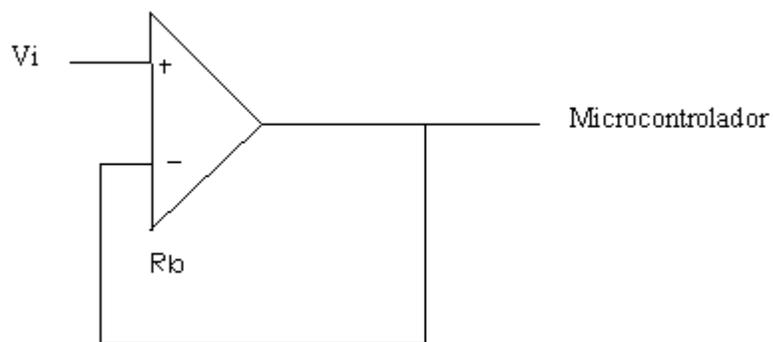


Fig. 3.10 Seguidor de tensión

Elaborado por: Jose Freire

$$V_{\text{microcontrolador}} = V_i \quad (\text{ecu 3.37}) \text{ Voltaje de un seguidor de tensión}$$

$$V_i = 2.16V$$

**e) Circuito de Fuerza**

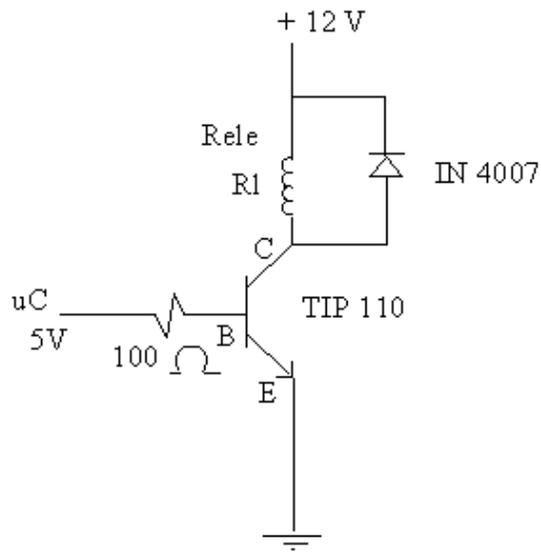


Fig 3.11 transistor

Elaborado por: Jose Freire

Cálculo de la resistencia con la corriente mínima de saturación en el transistor es 40mA

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{ecu3.38}) \text{ Resistencia de saturación del transistor}$$

$$R = \frac{5 \text{ V}}{0.004 \text{ A}}$$

$$R = 125\Omega \approx 100\Omega$$



Fig.3.12 Diagrama del circuito

Elaborado por: Jose Freire

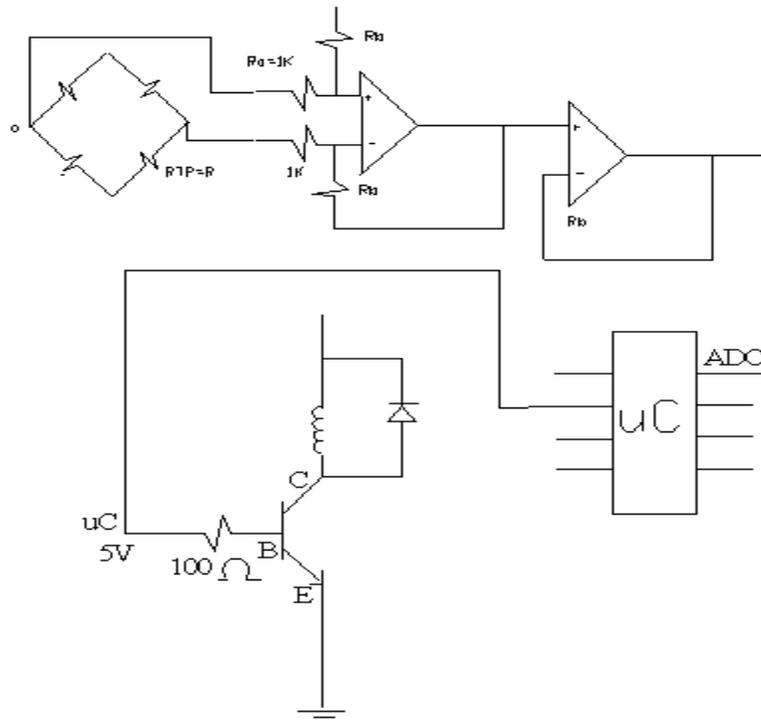


Fig. 3.13 Diagrama de conexión del circuito

Elaborado por: José Freire

#### f) Control PDI (Proporcional de integración y derivación)

Para analizar el control PDI del horno se analizara mediante una función de transferencia de un horno

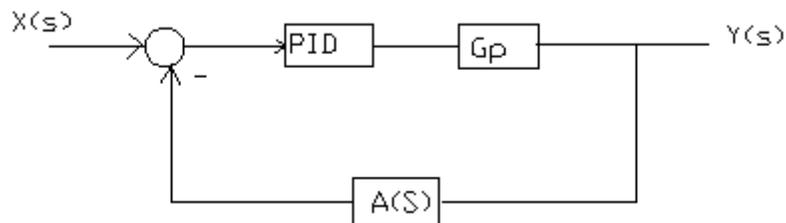


Fig. 3.14 Diagrama de bloques

Elaborado por: José Freire

Se utiliza esta función de transferencia aproximada de un horno

$$G_{MT}(s) \stackrel{(13.17)}{=} \frac{20.6}{((1 + 4.166 \times 10^{-3} s)(1 + 160 s))} \left( \frac{^{\circ}\text{C}}{V_{DC}} \right) = \quad (\text{ecu 3.39}) \text{ Función de transferencia de un horno}$$

$$= \frac{20.6}{(240 + s)(6.25 \times 10^{-3} s)}$$

Máximo sobre el pico  $\leq 5\% = MP$

Tiempo de estabilización = 240 S =  $t_s$

Diseño de compensores

Cálculo de E (Coeficiente de amortiguamiento)

$$E = \sqrt{\frac{\ln^2(0.05)}{\pi^2 + \ln^2(0.05)}} \quad (\text{ecu3.40}) \text{ Coeficiente de amortiguamiento}$$

$$E = 0.69$$

Tiempo de estabilización

$$t_s = \frac{4}{E W_n} \quad (\text{ecu3.41}) \text{ tiempo de estabilización}$$

$$W_n = \frac{4}{(240)69}$$

$$W_n = 0.024(1/s)$$

**g)** Puntos de diseño

$$P_D = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad (\text{ecu.3.42) Punto de dise\~{n}o}$$

$$P_D = -0.0165 + 0.0175j$$

Modelo de PID en el plano S (Laplace)

$$G_C(s) = \frac{K_p(s+a)(s+b)}{s} \quad (\text{ecu. 3.43) Modelo PID}$$

Se escoge el punto de dise\~{n}o en

$P_D = -100 + 0.0173j$  ya que pertenece al lugar geom\~{e}trico de las ra\~{i}ces (LGR)

Se asume  $Z1 = 10$

$$\angle(S+10)/P_D - \angle(S+Z)/P_D = \emptyset_A \quad (\text{ecu. 3.44) LGR}$$

$$\emptyset_A = - \angle(-240 - S)/P_D - \angle(6.25 \times 10^{-3} - S)/P_D$$

$$\emptyset_A = - \angle(-240 - 0.0165 + 0.0173j) - \angle(6.25 \times 10^{-3} - 0.0165 + 0.0173j)$$

$$\emptyset_A = -240 - 0.02 \rightarrow 240.02 - 180^\circ = 60^\circ$$

$$\emptyset_A = 60^\circ$$

$$\angle(S+10)/P_D - \angle(S+Z)/P_D = 60^\circ$$

$$\emptyset_A = - \angle(-100 + 0.0173j + 10) - \angle(-100 + 0.0173j + Z) = 60^\circ$$

$$179.98 - 60 = \text{Tg}^{-1}\left(\frac{0.0173}{-100 + Z}\right)$$

$$119 = \text{Tg}^{-1}\left(\frac{0.0173}{-100 + Z}\right)$$

$$180 - 1.8Z = 0.0173$$

$$1.8Z = 179.8$$

$$Z = 99.8$$

h) Condición de módulo

$$|G_p(s) * G_c(s)|_{PD} = 1 \quad (\text{ecu. 3.45) condición de modulo}$$

$$\left| \frac{K(s+10)(s+99.8)}{s} * \frac{20.6}{(s+240)(s+6.24 \times 10^{-2})} \right|_{PD} = 1$$

Se reemplaza  $s = P_D = -100 + 0.0173j$

$$\left| \frac{K(-100 + 0.0173j + 10)(-100 + 0.0173j + 99.8)}{(-100 + 0.0173j)} * \frac{20.6}{(-100 + 0.0173j + 240)(-100 + 0.0173j + 6.24 \times 10^{-2})} \right|_{PD} = 1$$

$$K \cdot 372.18 = 1399.1$$

$$K = 3.76$$

Compensador

$$G_c(s) = \frac{3.76(s+10)(s+99.8)}{s}$$

$$G(s) = \frac{20.6}{(s+240)(6.25 \times 10^{-3}s)}$$

$$G(s) = \frac{A}{(s+240)} + \frac{B}{(s+6.25 \times 10^{-3})}$$

$$A = \frac{(s+240)20.6}{(s+240)(s+6.25 \times 10^{-3})} \Big|_{s=-240} = 0.086$$

$$B = \frac{(s + 6.25 \times 10^{-3}) 20.6}{(s + 240)(s + 6.25 \times 10^{-3})} / s = -6.25 \times 10^{-3} = -6.25 \times 10^{-3}$$

$$G(s) = \frac{-0.080}{(s + 240)} + \frac{0.086}{(s + 6.25 \times 10^{-3})}$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace a la ecuación

Curva de reacción

$$G(t) = 0.080e^{-240t} + 0.080e^{-6.25 \times 10^{-3}t}$$

i) Constantes de calibración

$$K_p = 12 \frac{T}{L} \quad (\text{ecu. 3.46) constante de calibración}$$

$$T_i = 2L$$

$$T_d = 0.5 L$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (\text{ecu. 3.47) constante de calibración}$$

$$K_i = 10$$

$$K_d = K_p T_d \quad (\text{ecu. 3.48) constante de calibración}$$

$$K_d = 22.5$$

$$K_p = \frac{45}{1.5}$$

$$K_p = 30$$

$$T_i = 3$$

$$T_d = 0.75$$

### 3.2.5.2 Microcontrolador<sup>117</sup>

---

117 <http://micropic.wordpress.com/2007/01/12/el-pic-16f628/>

Se analizó las características de los microcontroladores y para el proyecto se tomó ciertas consideraciones, de los pic descritos el que se ajusta al diseño es el PIC16F628A y tiene las características que se requiere tales como:

El número de entradas y salidas necesarias que posee es la adecuada ya que a diferencia de los otros tienen menor número de entradas.

Cuenta con diferente número y tamaño (8, 16 ó 32 bits) de los temporizadores Posee un CAD o CDA, incluyendo la resolución y número de entradas que es importante para el proyecto por lo que se necesita ambos convertidores.

Sus puertos de comunicaciones (I<sup>2</sup>C, RS232, USB, bus CAN, SPI u otros) por lo que tiene varios puertos y forma de comunicación que en los otros pic

Tiene interfaces específicas como la de control LCD.

Cuenta con una memoria para el sistema al contar con la memoria no volátil modificable (EEPROM). Es útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.

**Características generales:**

- Conjunto reducido de instrucciones (RISC). Sólomente 35 instrucciones que aprender a utilizar
- Oscilador interno de 4MHz
- Las instrucciones se ejecutan en un sólo ciclo de máquina excepto los saltos (*goto* y *call*), que requieren 2 ciclos.
- Opera con una frecuencia de reloj de hasta 20 MHz (ciclo de máquina de 200 ns)

- Memoria de programa: 2048 locaciones de 14 bits
- Memoria de datos: Memoria RAM de 224 bytes (8 bits por registro)
- Memoria EEPROM: 128 bytes (8 bits por registro)
- Stack de 8 niveles
- 16 Terminales de I/O que soportan corrientes de hasta 25 mA
- 3 Temporizadores
- Módulos de comunicación serie, comparadores, PWM
- Otra característica de los PICs es el manejo de los bancos de registros.
- Los registros de uso general pueden ser usados directamente por el usuario,
- Los registros de uso específicos no pueden ser usados directamente por el usuario.

### Pines de I/O (Entrada/Salida)

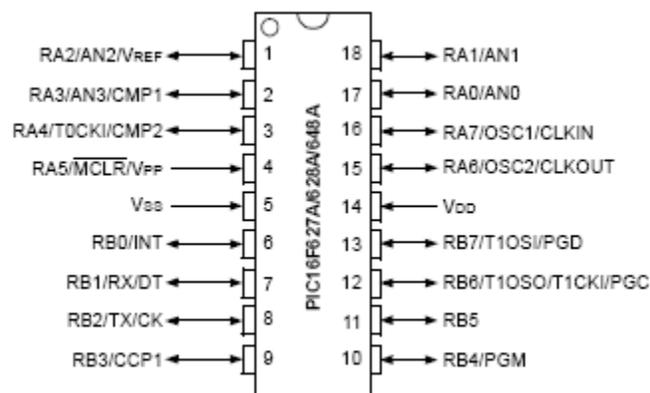


Fig. 3.15 Diagrama de conexión del PIC16F628A

### PORTA: RA0-RA7:

Los pines RA0-RA4 y RA6–RA7 son bidireccionales y manejan señales TTL

El pin RA5 es una entrada Schmitt Trigger que sirve también para entrar en el modo de programación cuando se aplica una tensión igual a  $V_{pp}$  (13,4V mínimo)

El terminal RA4 puede configurarse como reloj de entrada para el contador TMR0

Los pines RA0-RA3 sirven de entrada para el comparador analógico

#### **PORTB: RB0-RB7:**

Los pines RB0-RB7 son bidireccionales y manejan señales TTL

Por software se pueden activar las resistencias de pull-up internas, que evitan el uso de resistencias externas en caso de que los terminales se utilicen como entrada (permite, en algunos casos, reducir el número de componentes externos)

El pin RB0 se puede utilizar como entrada de pulsos para provocar una interrupción externa

Los pines RB4-RB7 están diseñados para detectar una interrupción por cambio de estado. Esta interrupción puede utilizarse para controlar un teclado matricial

#### **Otros pines**

VDD: Pin de alimentación positiva. De 2 a 5,5 Vcc

VSS: Pin de alimentación negativa. Se conecta a tierra o a 0 Vcc

MCLR: Master Clear (Reset). Si el nivel lógico de este terminal es bajo (0 Vcc), el microcontrolador permanece inactivo.

OSC1/CLKIN: Entrada de oscilador externo

OSC2/CLKOUT: Salida del oscilador. El PIC 16F628 dependiendo de cómo se configure puede proporcionar una salida de reloj por medio de este pin (fig. 3-17)



## PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR

```

*****
!* Name   : TESIS.BAS
!* Author : [JOSE ]
!* Notice : Copyright (c) 2009 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
!* Date   : 18/07/2009
!* Version : 1.0
!* Notes  :
!*       :
*****

include "modedefs.bas"
define OSC 20
Define LCD_DREG PORTB ;bit de datos del LCD empezando
Define LCD_DBIT 0 ;por B.0 ,B.1, B.2 y B.3
Define LCD_RSREG PORTB ;bit de registro del LCD conectar
Define LCD_RSBIT 5 ;en el puerto B.5
Define LCD_EREG PORTB ;bit de Enable conectar en el
Define LCD_EBIT 4 ;puerto B.4 ;bit de Enable conectar en el
Define ADC_BITS 8 ;Fije número de BITS del resultado (5,8,10)
Define ADC_CLOCK 3 ;Fije EL CLOCK (rc = 3)
Define ADC_SAMPLEUS 50 ;Fije el tiempo de muestreo en Us
;ADC_SAMPLEUS es el número de microsegundos que el programa espera entre
fijar el canal y comenzar la conversión analógica/digital.
TRISA = %00011111 ;el puerto A es de entrada
ADCON1 = %00000100 ;el puerto A.0 es conversor los demás Digitales

TEMP var BYTE
x var byte
ORDEN var byte
HUME VAR WORD
led var portD.4
HUME1 VAR WORD

INICIO: ; 3 parpadeos del led indica que ARRANCA EL SISTEMA
for x = 1 to 3
HIGH led
pause 200
low led
pause 200
Next

PRINCIPAL:
TEMP = 0 ; VARIABLE TEMERATURA
HUME = 0 ; VARIABLE HUMEDAD
ORDEN = 0 ;

COUNT PORTA.2, 1000, hume
ADCIN 0,TEMP ;leer el canal 0 (A0) y guarde en dato
TEMP = TEMP/2 ;el dato dividir para 2
hume = hume/4
HUME1=HUME/30

```

```

Lcdout $fe, 1, " TEMPERATURA" ;limpiar LCD y sacar texto
Lcdout $fe,$c6,DEC Temp,"oC"
Lcdout $fe,$9a,"HUMEDAD"
Lcdout $fe,$dc,DEC hume1,"%%"

```

SERIAL:

```

serin portD.1,T2400,ORDEN ;Lee el dato y guarda en ORDEN
IF ORDEN = ">" then ENVIAR_DATOS

```

```

IF ORDEN = "a" then ON_CALEF
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = "b" then OFF_CALEF
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = "c" then ON_VENTI
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = "d" then OFF_VENTI
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = ";" then ON_ELEC_IZQ
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = ":" then OFF_ELEC_IZQ
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = "(" then ON_ELEC_DER
ON INTERRUPT GOTO PRINCIPAL
IF ORDEN = ")" then OFF_ELEC_DER
GOTO SERIAL

```

ENVIAR\_DATOS:

```

serout portD.0,T2400,[#temp,"-",#hume1]

```

GOTO PRINCIPAL

ON\_CALEF:

HIGH PORTD.3

high PORTC.7

GOTO PRINCIPAL

OFF\_CALEF:

LOW PORTD.3

low PORTC.7

GOTO PRINCIPAL

ON\_VENTI:

HIGH PORTD.2

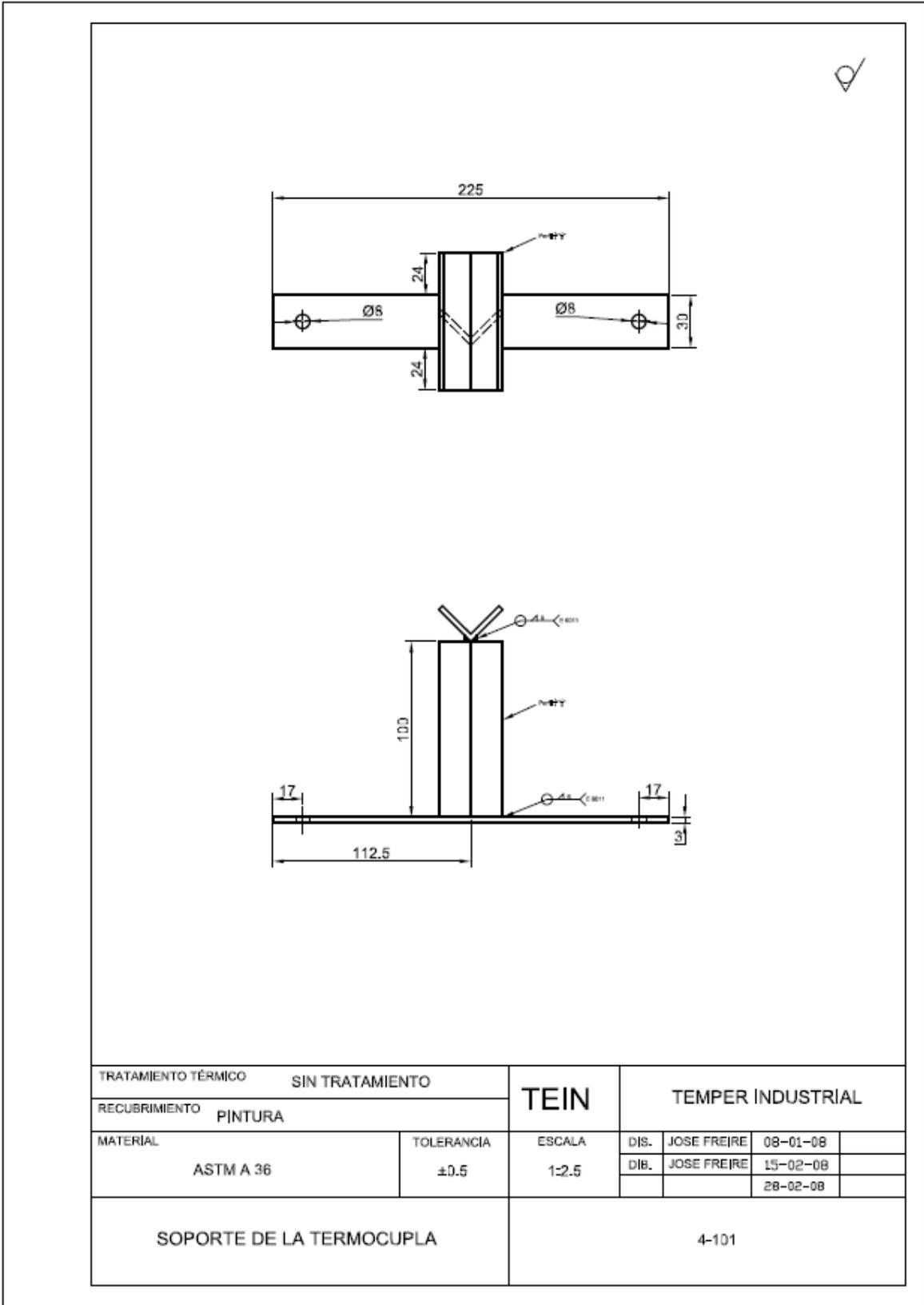
high PORTC.6

GOTO PRINCIPAL

OFF\_VENTI:

```
LOW PORTC.0  
low PORTC.5  
GOTO PRINCIPAL  
  
ON_ELEC_DER:  
HIGH PORTC.1  
high PORTC.4  
GOTO PRINCIPAL  
  
OFF_ELEC_DER:  
LOW PORTC.1  
LOW PORTC.4  
GOTO PRINCIPAL  
END
```

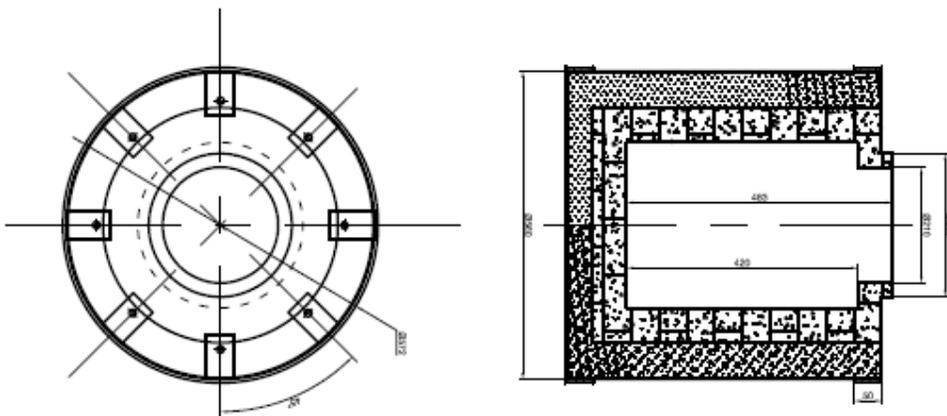




TRATAMIENTO TÉRMICO		SIN TRATAMIENTO		<b>TEIN</b>	TEMPER INDUSTRIAL		
RECUBRIMIENTO		PINTURA			DIS.	JOSE FREIRE	08-01-08
MATERIA		TOLERANCIA		ESCALA	DIB.	JOSE FREIRE	15-02-08
ASTM A 36		±0.5		1:2.5			28-02-08
SOPORTE DE LA TERMOCUPLA				4-101			







TRATAMIENTO CONDUCCIÓN		TRATAMIENTO		TEIN		TIEMPO INDUSTRIAL	
RECUPERACIÓN		SIN RECUPERACIÓN		ESCALA		EN ZONAS	
SISTEMA		ACERO INOXIDABLE		1:5		EN ZONAS	
CUERPO DEL HORNO		4.102					

## CAPITULO IV

### 4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó un análisis financiero del sistema de calibración de termocuplas de alta temperatura de manera que se pueda dimensionar los costos del equipo en caso de su futura comercialización.

### 4.2 COSTO DE MATERIALES.

Los materiales utilizados en la implementación del equipo comprenden: materiales electrónicos comunes así como de instrumentación, además de material eléctrico y mecánico los cuales se irán clasificando según sea el caso.

#### 4.2.1 Materia prima directa (MPD).

Para calcular el costo de la materia prima directa (MPD) se consideraron todos los materiales sujetos a transformación, que se pueden identificar o cuantificar plenamente en el producto terminado, para lo cual a continuación se detallan en la

Tabla 4.1.

CANT	ARTICULO	V. UNIT	V. TOT
1	PIC16F876A	12	12
1	PLACA DE BAQUELITA	1.5	1.5
1	TRANSFORMADOR 120V AC/24 AC	10	10
2	CONECTOR DB9 HEMBRA	0.55	1.1
2	CONECTOR DB9 PARA PLACA	0.7	1.4
1	INTERRUPTOR	0.7	0.7
1	CRISTAL DE 5 MHZ	0.9	0.9
1	FUSIBLE Y PORTA FUSIBLE	0.5	0.5
3	RESISTENCIAS DE 10K	0.03	0.09

2	CAPACITORES 22pF	0.1	0.2
3	CAPACITORES 100pF	0.11	0.33
2	CAPACITORES 100nF	0.1	0.2
4	CAPACITORES 1uF	0.09	0.36
1	CAPACITORES ELECTROLITICO 470uF	0.5	0.5
2	CAPACITORES ELECTROLITICO 1000uF	0.55	1.1
2	CAPACITORES ELECTROLITICO 10uF	0.35	0.7
1	RESISTENCIA 300 omh	0.04	0.04
1	RESISTENCIA 330 omh	0.04	0.04
1	RESISTENCIA 1K	0.04	0.04
2	RESISTENCIA 470 omh	0.04	0.08
2	AMPLIFICADOR	15	30
2	CI MAX232	3	6
10	DIODOS LED	0.15	1.5
1	PANTALLA LCD AZUL 16X20	15	15
1	TRANSISTOR 2N3904	4.5	4.5
1	PUENTE RETIFICADOR KBPC808	3	3
2	DIODOS 1N4007	2	4
1	REGULADOR 7805	1	1
1	POTENCIOMETRO DE PRECISION 10K	5	5
1	LM741	1	1
1	LM7812 REGULADOR DE VOLTAJE	1	1
1	BORNERA 5P HEMBRA	70	70
1	CABLE SERIAL RS232	5	5
1	CAJA PARA EL CONTROL	30	30
1	CUERPO DEL HORNO INCLUIDO CRISOL Y PARTE TERMICA	1500	1500
2	BREAKER TRIFASICO DE 60 A	30	60
1	RELE DE ALTA POTENCIA RLPW202C12V	28	28
1	ENCHUFE	5	5
10	BORNERAS	0.5	5
20	CABLE No 8 TRIFASICO	11.4	228
1	TERMOCUPLA TIPO k	235	235
	COSTO MATERI PRIMA DIRECTA		2269.78

Tabla 4.1 Materia Prima Directa

Elaborado por: Jose Freire

#### 4.2.2 Costos indirectos de fabricación (CIF).

Es en lo que tiene que ver con suministros, materiales, depreciación de la maquinaria o equipos de cómputo, servicios básicos, arriendos entre otros. En la siguiente tabla 4.2 se detalla suministros y materiales que se utilizaran.

#### SUMINISTROS Y MATERIALES

CANT	ARTICULO	V. UNIT	V. TOT
50	Suelda por centimetro	0.1	5
2	Taípe	0.5	1
1	Lija	0.5	1.2
1	Silicon en barra	0.15	0.15
1	Pasta	1.2	0.5
1	Broca	2.7	2.7
1	Cloruro ferrico	0.5	0.5
1	Autofundente	1	1
20	Pernos	0.02	0.4
	<b>TOTAL</b>		<b>12.45</b>

Tabla 4.2 Suministros y Materiales.

Elaborado por: Jose Freire

En La tabla 4.3 se indica la depreciación de la maquinaria y equipos de cómputo.

CANT	ARTICULO	V. UNIT	DEPRESIACION 1 AÑO TOMADO 10%
1	COMPUTADORA	1500	150
1	CAOTIN	30	3
1	JUEGO DE HERRAMIENTAS	90	9
1	TALADRO	200	20
	<b>TOTAL</b>		<b>182</b>

Tabla 4.3 Depreciación de Equipos.

Elaborado por: Jose Freire

La tabla 4.4 se indica en lo que tiene que ver con básicos y arriendo.

CANT	DETALLE	V. MENSUAL	V. SEMESTRAL
	SERVICIOS BASICOS	80	480
	ARRIENDO	150	900
	TOTAL	230	1380

Tabla 4.4 Servicios básicos y Arriendo

Elaborado por: Jose Freire

Los costos indirectos de fabricación

CANT	DETALLE	V.TOTAL 1 AÑO
	DEPRECIACION DE EQUIPOS	182
	SERVICIOS BASICOS	80
	ARRIENDOS	150
	SUMINISTROS Y MATERIALES	12.45
	TOTAL DEL CIF	424.45

Tabla 4.5 Costos Indirectos de Fabricación.

Elaborado por: Jose Freire

#### 4.2.3 Mano de obra directa (MOD).

La mano de obra directa es en lo que tiene que ver con salarios, prestaciones de los dos trabajadores de la empresa que intervienen en el producto terminado en la tabla 4.6 se indica.

#### MANO DE OBRA DIRECTA

Numero de H	Detalle	Costo hora	Horas x mes	Costo x mes	Valor Semestral
960	Tecnico 1	2	160	320	1920
960	Tecnico 2	2	160	320	1920
Total	MOD			640	3840

Tabla 4.6 Costo de mano de obra directa.

Elaborado por: Jose Freire

En la siguiente tabla se indica el costos de elaboración del producto calibrador de baño de sales para termómetros de alta temperatura en el que se detallan todos los costos implícitos en la elaboración tales como, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación, materiales directos en el mismo se describe sin la creación de una empresa suma el 15% del costo para determinar el Precio de Venta al público, siendo un valor aceptable Ver tabla 4.7

DETALLE	VALOR
Materia prima directa	2269.78
Costos indirectos de fabricacion	+424.45
Mano de obra directa	+2304
Costo total	=4998.23
*Numero de unidades producidas	x1
costo unitario de produccion	=4998.23
Utilidad + 15 %	+749.7345
PVP	=5747.9645

Tabla 4.7 Costo de producción de una unidad.

Elaborado por: Jose Freire

#### 4.3 ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.

Para el punto de equilibrio se tomara de las cuentas tales como: la materia prima directa (MPD), mano de obra directa (MOD), materia prima indirecta (MPI), costos indirectos de fabricación (CIF) y precio de venta (PVP). Tabla 4.7

Clasificacion de las cuentas		
Cuenta	Tipo	Valor
Materia prima directa	CV	2269.78
Depreciaciones	CF	182
Arriendo	CF	150
Servicios Basico	CV	80
Mano de obra Directa	CV	384

Tabla 4.8 Punto de equilibrio.

Elaborado por: Jose Freire

Para el análisis financiero es uno de los puntos principales que se debe considerar, ya que mediante el cual nos permitirá tener una mejor visión del volumen de ventas a partir del cual se obtendrá beneficios para una empresa. El punto de equilibrio equivale a que los ingresos son iguales a los costos por lo que su beneficio es igual a cero por ende la empresa no tiene beneficios ni pérdidas, y se tiene dos enfoques el punto de equilibrio tanto en unidades monetarias y en unidades producidas que a continuación se indica.

Para el cálculo del Punto de Equilibrio en dólares se aplicó la siguiente Ecuación:

DATOS

CF = 332usd.

CV = 2733.78usd.

PVP = 5747.96usd.

\$ = Punto de equilibrio en Dólares

$$\$ = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{PVP}} \quad \text{Ecuación: 4.1 Punto de equilibrio}$$

Reemplazando la ecuación tendríamos:

$$\begin{aligned} \$ &= \frac{332}{1 - \frac{2733.78}{5747.96}} \\ \$ &= 633.12 \end{aligned}$$

Resolviendo la ecuación tenemos que el punto de equilibrio es \$= 633.12

Para el cálculo del Punto de Equilibrio en Cantidades a producir se aplicó la siguiente ecuación:

DATOS

CF = 332usd.

CV = 2733.78usd.

PVP = 5747.96usd.

X = Punto de Equilibrio en cantidades

$$X = \frac{CF}{PVP - CV} \quad \text{Ecuación: 4.2 Punto de equilibrio en cantidades}$$

$$X = \frac{332}{5747.96 - 2733.78}$$

Resolviendo la ecuación 4.2 el punto de equilibrio en cantidades es de 0.11 unidades: X = 0.11 Unidades.

Significa que con 0.11 parte de un producto debe producirse pero es lógico que no se va a producir esa parte por lo que significa que al producir una unidad ya se tiene ganancia

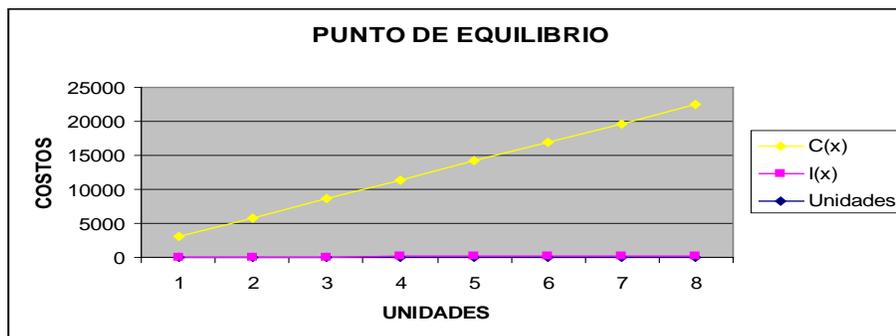


Fig. 4.1 Punto de equilibrio.

Elaborada por: Jose Freire

El punto de equilibrio se tomo datos de los Costos Totales e Ingresos del producto por lo que el resultado grafico se indica en la figura 5.1, el corte o la intercepción de las rectas es en 0,11 unidades y 632,71 USD. Con lo que se concluye que es rentable producir este sistema sin terminarlo pero no es lógico vender sin terminarlo pero matemáticamente ya es rentable.

#### 4.4 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El análisis costo beneficio CBA es una medida para analizar las situaciones y decidir si el proyecto es viable tiene aspectos positivos o negativos si tiene efectos , consecuencias, ventajas desventajas para tomar el camino mas adecuado

#### 4.5 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RETORNO (TEMAR).

Para el (TEMAR) del proyecto, se tomo como referencia la tasa activa fija por el Banco del Central, que se realizara de ser necesario el Préstamo: y los parámetros tomados para Octubre del 2011 es de 9% anual, la inflación de 3%. Como se indica en la siguiente tabla 4.9

TMAR= 12%

i Interés bancario 9%

Λ Inflación 3.0%

TMAR	12%
I Interes Bancario	9%
Inflacion	3%

Tabla 4.9 La tasa mínima atractiva de retorno

Elaborado por: Jose Freire

#### 4.6 VALOR ACTUAL NETO (VAN).

Valor actual neto es un procedimiento que permite calcular el valor presente de determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. El VAN se calcula con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=0}^n Ft(1-i)^{-t} \text{ Ecuación:4.3 VAN}$$

Donde:

FT es el valor futuro.

i la tasa mínima atractiva de retorno TMAR.

t es el tiempo.

anos	flujo de caja
0	-3000
1	-2000
2	1000
3	3500
4	5000
5	3500
6	2500
VAN	(\$3,146.15)

Tabla 4.10 Valor Actual Neto (VAN).

Elaborado por: Jose Freire

Se obtiene un valor positivo en el VAN lo que indica que el flujo de fondos trabaja sin endeudamiento, por lo que la propuesta es viable y sujeta de ser ejecutada .tabla 4.10

#### 4.7 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

La Tasa Interna de Retorno, (TIR) es un indicador financiero que mide la rentabilidad del capital invertido en un proyecto. Un proyecto es rentable cuando la TIR es mayor a la tasa de descuento utilizada. Los criterios para la aceptación de esta técnica es la siguiente:

TIR, mayor o igual a la TMAR, entonces se acepta el proyecto

TIR, menor a la TMAR, entonces se rechaza el proyecto.

En la tabla 4.11 se da a conocer la TIR, para determinar la viabilidad o no del plan propuesto para el proyecto, así:

anos	Flujo de caja
0	-3000
1	-2000
2	1000
3	3500
4	5000
5	3500
6	2500
TIR	37%

Tabla 4.11 Tasa Interna de Retorno (TIR).

Elaborado por: Jose Freire

Se obtuvo un valor positivo y superior en cuanto la TMAR, lo que señala que la propuesta es viable y sujeta de ser ejecutada.

Al realizar el proyecto y basándose en los cálculos según las proyecciones a futuro son de mucha expectativa para poderse implementar y a la vez el excedente serviría para reinvertir en dicho servicio.

Con dicho proyecto al administrarlo adecuadamente se puede llegar a cumplir el objetivo del mismo para el cual fue propuesto el cual puede llegar a generar réditos económicos de acuerdo a la situación del proyecto teniendo en cuenta el presupuesto establecido dentro de los planes operativos, del área, demostrando que la gestión se viabiliza de acuerdo a un camino de acción tal como se lo lleva a cabo en esta propuesta.

La propuesta se la realizo cumpliendo con el objetivo fundamental que es extender y poner a disposición un equipo para uso de la comunidad para los que deseen calibrar sus equipos, y en la parte económica se ajuste a la realidad del país.

#### **4.8 MATRIZ FODA.**

De acuerdo a la matriz FODA se indica a continuación:

Fortalezas:

- Basado en software libre
- Interactúa con los sistemas de computación actuales
- Producción Nacional
- Disminución del tiempo en calibrar equipos
- Fácil uso

Oportunidades:

- Creciente número de profesionales en el sector metrológico
- Equipos caros en el mercado
- Renovación de equipos de calibración

Debilidades:

- Desconocimiento de varios sectores del Software libre

Amenazas:

- Creciente número de equipos con prestaciones cada vez mayores

Tomando en cuenta esta matriz se creó un plan estratégico que combine sus diferentes puntos para promover el uso del equipo diseñado:

- Con la actual promoción y creciente aumento del software libre, que abarata costos, se puede incursionar en el creciente campo de la metrología con un equipo que este acorde con el avance tecnológico.

- Con el creciente número de industrias y profesionales en este campo en Ecuador, se pone a consideración un producto nacional seguro, que contribuya positivamente al avance tecnológico en el campo de la metrología.

## **CAPITULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Con la elaboración del estudio del horno calibrador de baño de sales, se da el primer paso para tener un documento de apoyo técnico, que servirá para la construcción del mismo, y a la vez contribuye al desarrollo de la industria en Ecuador.

Desacuerdo a la investigación efectuada sobre los tipos de hornos que se construye en nuestro país, existe un desconocimiento en diseñar hornos que puedan calibrar termómetros a altas temperaturas.

Mediante la información recolectada sobre tratamiento térmico se determinó, que no existe con facilidad información que aporte para elaborar un estudio y así posteriormente se lo pueda implementar.

Con el estudio realizado se comprobó que existen una gran variedad de hornos utilizados para la calibración de termómetros de alta temperatura, así como los diferentes tipos de sales utilizadas para dichos termómetros

No existía mucha información en lo que tiene que ver con la mecánica química y electrónica que intervenían en el sistema, por lo que la información en conjunto era limitada para realizar el diseño del sistema

La temperatura, juega un papel importante en el diseño del sistema ya que es uno de los parámetros principales para una correcta calibración así como el trabajo mecánico, la solubilidad de distintos elementos y el sistema de control adecuado son variables que influyen en la estructura del diseño.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para su complemento, se recomienda la continuidad de la investigación orientada en la misma línea de análisis del presente tema, es decir, haciendo uso de los diferentes tipos de hornos o formas de calibración para termómetros de alta temperatura, para así ir enriqueciendo el conocimiento tanto macro como micro que hasta el momento se tiene de los tipos de calibración en Ecuador.

Es importante tomar en cuenta, el método de calibración utilizado para el diseño, por lo que en base a esto y mediante la experimentación, y teniendo en cuenta algunos aspectos como los gases emitidos al momento de su calibración, se determinar qué tan adecuado es el diseño propuesto.

Es importante contar con un conocimiento amplio del tipo de método que se utiliza, para así seguir un orden en el diseño del sistema y entender como funciona y obtener el resultado final.

## BIBLIOGRAFIA

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%ADa>
2. [http://www.science.oas.org/OEA\\_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin\\_mesp.htm](http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/presentacin_mesp.htm)
3. <http://www.calidadlatina.com/pub/102-MAY-06.pdf5>
4. <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa><http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>
5. <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa>
6. <http://es.wikipedia.org/wiki/Termometr%C3%ADa><http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>
7. [http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol//edu/thermal/temperature\\_sp\\_06sep01.html](http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol//edu/thermal/temperature_sp_06sep01.html)
8. Fermi E., Termodinámica, EUDEBA, 1985. .
9. Feynman R., Leighton R., Sands M., Física, Vol I, Addison Wesley Iberoamericana, 1987.
10. Guillermet A., Apúntes de Termodinámica, Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo
11. Fermi E., Termodinámica, EUDEBA, 1985
12. <http://termodinamica.4t.com/termometria.htm>
13. <http://www.its-90.com/onref.html>
14. [http://es.wikipedia.org/wiki/Elemento\\_qu%C3%ADmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Elemento_qu%C3%ADmico)
15. [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_termometro.asp?k=62](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_termometro.asp?k=62)
16. Física. J.W. Kane y M.M. Sternheim. Editorial Reverté S.A1 Paul A. Tipler, La física para la ciencia y tecnología
17. Fundamentos de los tratamientos térmicos. Autor: José Apraiz
18. <http://www.arqhys.com/arquitectura/electricos-hornos.html>
19. <http://www.tbe-spain.com/Titelphoto1.jpe>
20. <http://www.metalurgiausach.cl/intranet/a14/Hornos%20y%20Medicion%20de%20temperatura.pdf> Pag.39-41

21. [http://www.directindustry.es/cat/maquinas-y-equipos-hornos-intercambiadores-refrigeracion/equipos-termicos-para-laboratorios-P-528-\\_91.html](http://www.directindustry.es/cat/maquinas-y-equipos-hornos-intercambiadores-refrigeracion/equipos-termicos-para-laboratorios-P-528-_91.html)
22. [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico/](http://www.sapiensman.com/control_automatico/)
23. Dieter Weber, Matthias Nau. Electrical Temperature Measurement (with Thermocouples and Resistance thermometers). Tercera edición. Fulda (Germany): JUMO technical publication, Marzo 2000
24. [http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos///sensores\\_termocupla.pdf](http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos///sensores_termocupla.pdf)
25. [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)
26. H. Duckworth, Electricity and Magnetism, Holt, Rinehart & Winston, Inc., 5edición, Hamilton(1980).
27. Instrumentación Industrial, Creus, Antonio, Publicaciones Marcombo, Mexico, 1981
28. Instrumentation for Engineering Measurements, Dally, James W., John Wiley & Sons, Nueva
29. [http://es.wikipedia.org/wiki/Sal\\_\(qu%C3%ADmica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Sal_(qu%C3%ADmica))
30. <http://www.geocities.com/ferpilot/TERMOMETROS.htm>
31. [html. termodinamica\\_31.html](#)
32. <http://www.geocities.com/ferpilot/TERMOMETROS.htm>
33. <http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro>
34. [www.directindustry.es/fabricantes-industriales/TERMOMETROS](http://www.directindustry.es/fabricantes-industriales/TERMOMETROS)
35. Fuente: [www.directindustry.es/fabricantes-industriales/TERMOMETROS](http://www.directindustry.es/fabricantes-industriales/TERMOMETROS)
36. <http://reocities.com/madisonavenue/6883/trabajos/12termometria/Image143.gif&im>
37. <http://www.textoscientificos.com/imagenes/fisica/Termometro-gas-presion-constante.gif&imgrefurl>
38. [http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://es.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)
39. [wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)
40. [www.fao.org/docrep/003/F0752S/F0752S72.gif](http://www.fao.org/docrep/003/F0752S/F0752S72.gif)
41. <http://www.textoscientificos.com/imagenes/termometria.gif&imgrefurl>
42. [www.textoscientificos.com/.../termometria.gif](http://www.textoscientificos.com/.../termometria.gif)

43. [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_termometro.asp?k=62](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_termometro.asp?k=62)
44. [wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro\\_digital](http://wikipedia.org/wiki/Term%C3%B3metro_digital)
45. [http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)
46. <http://images.google.com.ec/imgres?imgurl>
47. [http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES.html&usg=\\_\\_jp-cEJaKPaWb5vxrDjyWUmY](http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES.html&usg=__jp-cEJaKPaWb5vxrDjyWUmY)
48. <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-04-08-Termales.pdf>
49. [http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)
50. ASTM E 77 (1998). Standard Test Method for Inspection and Verification of Thermometers, American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
51. [http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES\\_archivos/image007.jpg&imgrefurl](http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/WebEstudiantes/2006I/SensorTemperatura/MEDICIONES_archivos/image007.jpg&imgrefurl)
52. Instrumentación Industrial, 5<sup>o</sup> Edición, Editorial: Marcombo, México-Barcelona. HART SCIENTIFIC (2004). Temperature Calibration and Measurement Product, [www.hartscientific.com/products/index.html](http://www.hartscientific.com/products/index.html).
53. [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/calibrador-de-temperatura-de-pozo-seco-378346.jpg)
54. MetAs (2004) Pirometría de Radiación. La Guía MetAs de febrero del 2004, MetAs, Metrólogos Asociados.
55. Nava, H. Pezet, F. Mendoza, J. & Hernández, J. (1997). El Sistema Internacional de
56. Técnicas Experimentales en Metalurgia (Área Ingeniería de Materiales)
57. Principios de Fundición, Autor: Luis Casco Pag: 346-378
58. Hornos metalurgicos Industriales, Autor: Arturo Lobato Flores
59. <http://www.slideshare.net/paulsalascalderon18/horno-elctricos-fame>

60. <http://www.google.com.ec/#hl=es&q=Hornos+de+crisol+Del+horno+de+crisol+es+un+equipo+utilizado+principalmente+para+la+fusi>
61. <http://www.metalurgiausach.cl/intranet/a14/Hornos%20y%20Medicion%20de%20temperatura.pdf> Pag 57-61
62. [http://html.rincondelvago.com/acero\\_8.html](http://html.rincondelvago.com/acero_8.html)
63. Sense. Sensores e Instrumentos. [www.sense.com.br](http://www.sense.com.br) Sao Paulo--SP--Brasil.
64. <http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura>
65. [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)
66. Autor: Arnoldo Galetto
67. Guides to Pollution Prevention: The Fabricated Metal Industry (Appendix B) de USEPA, Guides to Pollution Prevention: the Metal Finishing Industry (Appendix B) de USEPA y Waste Audit Study de DHS (1989, 1990)
68. Mechanical Measurement, Beckwith, Thomas G., Addison-Wesley Pub Co., 3a Edición, 1982.
69. Instrumentación Industrial, Creus, Antonio, Publicaciones Marcombo, Mexico, 1981.
70. <http://www.sereetron.com/Medida%20temp%20en%20industria%20vidrio.pdf>
71. <http://micropic.wordpress.com/2007/01/12/el-pic-16f628/>

# **ANEXOS**

TABLA 1

Tabla B-1. Propiedades de los gases a la presión atmosférica<sup>a</sup>

$T_f$ °F	$T_c$ °C	$\rho$ $\frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$	$c_p$ $\frac{\text{Btu}}{\text{lbm}\cdot^\circ\text{F}}$	$\mu_{\text{mas}}$ $\frac{\text{lbm}}{\text{pie}\cdot\text{seg}}$	$\nu$ $\frac{\text{pie}^2}{\text{seg}}$	$k$ $\frac{\text{Btu}}{\text{hr}\cdot\text{pie}\cdot^\circ\text{F}}$	$\alpha$ $\frac{\text{pie}^2}{\text{hr}}$	Pr
Aire								
-280	-175	0.2248	0.2452	$0.4653 \times 10^{-3}$	$2.070 \times 10^{-3}$	0.005342	0.09691	0.770
-190	-123	0.1478	0.2412	0.6910	4.675	0.007936	0.2226	0.753
-100	-73	0.1104	0.2403	0.8930	8.062	0.01045	0.3939	0.739
-10	-23	0.0882	0.2401	1.074	10.22	0.01287	0.5100	0.722
80	27	0.0735	0.2402	1.241	15.88	0.01516	0.8587	0.708
170	77	0.0623	0.2410	1.394	22.38	0.01735	1.156	0.697
250	127	0.0551	0.2422	1.536	27.88	0.01944	1.457	0.689
350	177	0.0489	0.2438	1.669	31.06	0.02142	1.636	0.683
440	227	0.0440	0.2459	1.795	40.30	0.02333	2.156	0.580
530	277	0.0401	0.2482	1.914	47.73	0.02519	2.531	0.680
620	327	0.0367	0.2520	2.028	55.26	0.02692	2.911	0.680
710	377	0.0339	0.2540	2.135	62.98	0.02862	3.324	0.682
800	427	0.0314	0.2568	2.239	71.31	0.03022	3.748	0.684
890	477	0.0294	0.2593	2.339	79.56	0.03183	4.175	0.686
980	527	0.0275	0.2622	2.436	88.58	0.03339	4.631	0.689
1070	577	0.0259	0.2650	2.530	97.68	0.03483	5.075	0.692
1160	627	0.0245	0.2678	2.620	106.9	0.03628	5.530	0.696
1250	677	0.0232	0.2704	2.703	116.5	0.03770	6.010	0.699
1340	727	0.0220	0.2727	2.790	126.8	0.03901	6.502	0.702
1520	827	0.0200	0.2772	2.955	147.8	0.04178	7.536	0.706
1700	927	0.0184	0.2815	3.109	169.0	0.04410	8.514	0.714
1880	1027	0.0169	0.2860	3.258	192.8	0.04641	9.602	0.722
2060	1127	0.0157	0.2900	3.398	216.4	0.04880	10.72	0.726
2240	1227	0.0147	0.2939	3.533	240.3	0.05098	11.80	0.734
2420	1327	0.0138	0.2982	3.668	265.8	0.05348	12.88	0.741
2600	1427	0.0130	0.3028	3.792	291.7	0.05550	14.00	0.749
2780	1527	0.0123	0.3075	3.915	318.3	0.05750	15.09	0.759
2960	1627	0.0116	0.3128	4.029	347.1	0.0591	16.40	0.767
3140	1727	0.0110	0.3196	4.168	378.8	0.0612	17.41	0.783
3320	1827	0.0105	0.3278	4.301	409.9	0.0632	18.36	0.803
3500	1927	0.0100	0.3390	4.398	439.8	0.0646	19.05	0.831
3680	2027	0.0096	0.3541	4.513	470.1	0.0663	19.61	0.863
3860	2127	0.0091	0.3759	4.611	505.9	0.0681	19.92	0.916
4160	2293	0.0087	0.4031	4.750	546.0	0.0709	20.21	0.972
Helio.								
-456	-271		1.242	$5.66 \times 10^{-7}$		0.0061		
-400	-240	0.0915	1.242	33.7	$3.68 \times 10^{-3}$	0.0204	0.1792	0.74
-200	-129	0.211	1.242	84.3	39.95	0.0536	2.044	0.70
-100	-73	0.0152	1.242	105.2	69.30	0.0680	3.599	0.694
0	-18	0.0119	1.242	122.1	102.8	0.0784	5.299	0.70
200	93	0.00829	1.242	154.9	186.9	0.0977	9.490	0.71
Unidades SI		$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	—
Para convertir a unidades SI, multiplicar los valores tabulados por		$1.601846 \times 10^3$	$4.184 \times 10^3$	1.488164	$9.290304 \times 10^{-2}$	1.729577	$2.580640 \times 10^{-1}$	—

<sup>a</sup> Adaptado con permiso de E. R. G. Eckert y R. M. Drake, Jr., *Heat and Mass Transfer*, 2a. ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.

Resistencia térmica $r$ , del aislamiento en $\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$	Ancho $a$ de la banda de aislamiento en m			
	0,3	0,6	1,2	$\geq 3,0$
0,2 (0,17)	1,35 (1,57)	1,31 (1,52)	1,28 (1,48)	1,26 (1,46)
0,4 (0,34)	1,28 (1,48)	1,20 (1,37)	1,15 (1,33)	1,11 (1,29)
0,6 (0,51)	1,22 (1,41)	1,13 (1,31)	1,08 (1,23)	1,01 (1,17)
0,8 (0,66)	1,18 (1,37)	1,07 (1,24)	0,99 (1,15)	0,93 (1,08)
1,0 (0,86)	1,15 (1,33)	1,03 (1,19)	0,93 (1,08)	0,86 (1,00)
1,2 (1,03)	1,13 (1,31)	0,99 (1,15)	0,88 (1,02)	0,80 (0,93)
1,4 (1,20)	1,11 (1,29)	0,97 (1,12)	0,84 (0,97)	0,75 (0,87)
1,6 (1,37)	1,09 (1,26)	0,95 (1,10)	0,81 (0,94)	0,71 (0,82)
1,8 (1,54)	1,07 (1,24)	0,93 (1,08)	0,78 (0,90)	0,67 (0,77)
2,0 (1,77)	1,06 (1,23)	0,91 (1,05)	0,76 (0,88)	0,63 (0,73)

Coefficiente de transmisión térmica lineal  $k$  de la solera en  $\text{kcal/h m }^\circ\text{C (W/m }^\circ\text{C)}$

## Conductividad térmica de diferentes materiales

Se expresan a continuación los valores de **conductividad térmica** de algunos materiales:

MATERIALES	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $\text{W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$ )
Acero	68-98
Agua	0,98
Aire	0,01
Aluminio	209,3
Amianto	0,04

Cinc	106-140
Corcho	0,04-0,30
Estaño	64,0
Fibra de vidrio	0,03-0,07
Ladrillo común	0,80
Ladrillo refractario	0,47-1,05
Latón	1,14
Madera	0,13
Plomo	35,0
Poliuretano	0,018-0,025
Vidrio	1,0

## Guía de selección de Sondas Termopar

### Tipos de Unión de Sondas Termopar

Las cubiertas con diámetros pequeños tienen mejor tiempo de respuesta; las cubiertas con diámetros más grandes tienen una vida más larga y son mejores para medir altas temperaturas.

**Unión Expuesta.** Tiene el tiempo de respuesta más rápido -ideal para medir cambios bruscos de temperatura. Un recubrimiento transparente en la mayoría de los modelos proporciona al termopar una barrera contra la humedad. No utilizar con líquidos o ambientes corrosivos.



Unión Expuesta

**Unión sin Conexión a Tierra.** Tiene una unión soldada, aislada de la cubierta protectora y está eléctricamente aislada. Mayor tiempo de respuesta; para uso en soluciones conductoras o donde se requiere un aislamiento del circuito de medición.



Unión sin Conexión a Tierra

**Unión a Tierra.** La Unión está soldada a la punta de la cubierta. Los cables están totalmente sellados contra contaminantes. Buen tiempo de respuesta.



Unión a Tierra

### Características físicas de los Termopares



Termopar Tipo J

#### Color de los cables de aislamiento:

- + = Blanco
- = Rojo

#### Material del cable:

- + = Hierro
- = Constantan

#### Propiedades:

- + = Altamente magnético

#### Ambiente para Unión Expuesta:

Reductora



Termopar Tipo K

#### Color de los cables de aislamiento:

- + = Amarillo
- = Rojo

#### Material del cable:

- + = Cromel
- = Alumel

#### Propiedades:

- + = Moderadamente magnética

#### Ambiente para Unión Expuesta:

Oxidación limpia



Termopar Tipo T

#### Color de los cables de aislamiento:

- + = Azul
- = Rojo

#### Material del cable:

- + = Cobre
- = Constantan

#### Propiedades:

- + = color Cobre

#### Ambiente para Unión Expuesta:

Ligeramente oxidante y reductora o con humedad



Termopar Tipo E

#### Color de los cables de aislamiento:

- + = Púrpura
- = Rojo

#### Material del cable:

- + = Cromel
- = Constantan

#### Propiedades:

- + = Mayor rigidez

#### Ambiente para Unión Expuesta:

Vacío, inerte ligeramente oxidante o reductor

### Consideraciones generales

**Extienda sus Termopares** hasta 610 m sin pérdida de señal. El cable de la extensión debe ser del mismo tipo que el del termopar.

**El Error del Sistema** llega a ser importante cuando se seleccionan una sonda y un medidor para hacer un sistema de medición de temperatura completo. Por ejemplo: un medidor tiene una precisión de  $\pm 0,7^\circ\text{C}$ ; el error de una sonda tipo T con cubierta metálica, cable recto, y extremos descubiertos tendrá un límite de error de  $\pm 1,8^\circ\text{F}$  a  $400^\circ\text{F}$ . Por lo tanto, la precisión del sistema sonda-medidor será  $(\pm 0,7) + (\pm 1,8) = \pm 2,5^\circ\text{F}$  a  $400^\circ\text{F}$ .

### Cubierta de la Sonda/Materiales del Cuerpo

**Inconel® 600 Sheath** es ideal para ambientes severamente corrosivos y elevadas temperaturas. Resiste la oxidación progresiva. Temperatura máxima de operación:  $1148^\circ\text{C}$  ( $2100^\circ\text{F}$ ) continuos;  $1371^\circ\text{C}$  ( $2500^\circ\text{F}$ ) de manera intermitente.

**Cubierta 304 Acero Inoxidable** es para uso general, resistente a la corrosión y bueno para servicio de alimentos y aplicaciones biológicas. Temperatura máxima de operación:  $898^\circ\text{C}$  ( $1650^\circ\text{F}$ ) continuos;  $1398^\circ\text{C}$  ( $2550^\circ\text{F}$ ) de manera intermitente.

**Cubierta 316 Acero Inoxidable** tiene mayor resistencia a la corrosión que la 304 SS. Soporta algunos ácidos fuertes. Temperatura máxima de operación:  $898^\circ\text{C}$  ( $1650^\circ\text{F}$ ) continuos;  $1371^\circ\text{C}$  ( $2500^\circ\text{F}$ ) de manera intermitente.

**Cubierta Acero Inoxidable con Recubrimiento de PTFE o PFA** con Unión a Tierra, es ideal para líquidos o ambientes corrosivos. Mayor tiempo de respuesta. Temperaturas a  $260^\circ\text{C}$  ( $500^\circ\text{F}$ ).

Las **Sondas con Cuerpo de Polímero** están disponibles en una variedad de polímeros, incluyendo Kaptor® y PTFE. Estos proveen excelente flexibilidad y a menudo, buena resistencia química. Asegúrese de consultar una tabla de compatibilidad química al seleccionar una sonda para su aplicación.

SS = Acero Inoxidable

## Sondas de uso general

### Las vainas de acero inoxidable ofrecen una buena resistencia química y una rápida respuesta térmica

Estas sondas termopar fueron diseñadas para medir cualquier aplicación de uso general o por inmersión en líquidos. Todas las sondas termopar incluyen un cable enrollado de PVC de 1.5 m con liberación de tensión que brinda protección contra tirones y flexiones reiteradas. Asa de nilón rellena de vidrio de 12.7 cm, ergonómica y de fácil agarre (a menos que se indique a continuación) proporciona máximo aislamiento térmico y resistencia al impacto. Los topes para dedos del asa evitan que la sonda se gire y que los dedos se deslicen cuando se inserta la sonda en materiales resistentes.

La vaina de acero inoxidable 316 (carcasa del eje) proporciona durabilidad, solidez y resistencia máxima contra la abrasión. El mini conector de plástico termo endurecido es compatible con todos los termómetros termopares Oakton y Acorn®. Los conectores y el cable en espiral tienen un color codificado basado en su tipo: tipo J negro, tipo K amarillo, y tipo T azul.



Mini conector



Asa de nilón estándar

Sonda de uso general  
08516-55

### Especificaciones e Información para Pedidos

Número de Catálogo	Tipo	Rango de temperatura	Características	Longitud de punta	Dimensiones*
<b>Sondas estándar</b>					
WD-08517-55	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada Tiempo de respuesta: 15 segundos (líquidos) Vaina 316 Acero Inoxidable; asa de nilón	12.7 cm	
WD-08516-55	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)		30.5 cm	
WD-08500-55	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)		61 cm	
WD-93756-03	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)			
WD-93756-23	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)			
WD-93756-63	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)			
WD-93756-04	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada Tiempo de respuesta: 30 segundos (líquidos) Vaina 304 Acero Inoxidable; asa corta de PVC	11.4 cm	
WD-08439-60	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)			
WD-08439-62	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)			
WD-08439-64	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)			
<b>Sondas de uso general y diámetro pequeño</b>					
WD-08505-55	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada Tiempo de respuesta: 10 segundos Vaina 316 Acero Inoxidable; asa de nilón	10.2 cm	
WD-08505-56	K	-250 a 816°C (-418 a 1500°F)			
WD-08505-57	T	-250 a 343°C (-418 a 650°F)			
<b>Sondas de uso general y diámetro pequeño</b>					
WD-93600-02	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada Tiempo de respuesta: 30 segundos Vaina 316 Acero Inoxidable; asa 316 SS	20.3 cm	
WD-93600-22	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)			
WD-93600-42	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)			

\*La longitud total de las vainas de las sondas puede variar hasta ±0.25". SS = Acero Inoxidable

**INNOCAL**®  
INNOVATIVE CALIBRATION SOLUTIONS

### ¡Asegura la exactitud de su sistema, medidor o sonda termopar!

La calibración rastreada a estándares NIST ayuda a cumplir con las normas ISO, FDA, USDA y EPA. Nuestro laboratorio de metrología acreditado por A2LA pre-testeará y calibrará su equipo termopar. El servicio incluye un informe de calibración NIST-rastreado con datos de prueba 'antes y después' en cuatro puntos de prueba de temperatura. Consulte las páginas 92-93 para obtener información sobre pedidos.

## Sondas de aire/gas y de penetración

Las puntas de lanza facilitan las pruebas en semisólidos; las juntas expuestas con protecciones perforadas brindan una respuesta rápida al aire de flujo

Las sondas incluyen un cable enrollado de PVC de 1.5 m con liberación de tensión que brinda protección contra tirones y flexiones reiterados. Asa de nilón rellena de vidrio de 12.7 cm, ergonómica y de fácil agarre (a menos que se indique a continuación) proporciona máximo aislamiento térmico y resistencia al impacto. Los toques para dedos del asa evitan que la sonda se gire y que los dedos se deslicen cuando se inserta la sonda en materiales resistentes.

La vaina de acero inoxidable 316 (carcasa del eje) proporciona durabilidad, solidez y resistencia máxima contra la abrasión. El mini conector de plástico termo endurecido es compatible con todos los termómetros termopares Oakton y Acom®. Los conectores y el cable en espiral tienen un color codificado basado en el tipo de termopar: tipo J negro, tipo K amarillo, y tipo T azul.

Las sondas de penetración ofrecen un estilo de punta puntiaguda para penetrar materiales rígidos y semisólidos. La resistente carcasa de acero inoxidable de la punta impide que esta se doble cuando es insertada.

Las sondas de aire/gas están diseñadas con una protección perforada que permite al aire y otros gases fluir hacia el sensor y así obtener mediciones rápidas. La protección metálica también absorbe el calor irradiado y minimiza los errores en el sensor. Nuestros sensores están encerrados en un aislamiento mineral de cerámica (MGO) para proporcionar estabilidad y resistencia a los golpes y vibraciones.

Sonda de penetración estándar 08516-65



Asa de nilón estándar

### Especificaciones e Información para Pedidos

Número de Catálogo	Tipo	Rango de temperatura	Características	Longitud de punta	Dimensiones
<b>Las sondas para penetración</b>					
<b>Sondas estándar</b>					
WD-08517-65	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada	10.2 cm	
WD-08516-65	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)	Tiempo de respuesta: 25 segundos (líquidos)		
WD-08520-65	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)	Vaina 304 Acero Inoxidable; asa de nilón		
WD-93601-22	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada	30.5 cm	
WD-93601-24	K	-250 a 900°C (-418 a 1652°F)	Tiempo de respuesta: 50 segundos		
WD-93601-26	T	-250 a 371°C (-418 a 700°F)	Vaina 316 Acero Inoxidable; asa de nilón		
WD-93601-42	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada	61 cm	
WD-93601-44	K	-250 a 900°C (-418 a 1652°F)	Tiempo de respuesta: 50 segundos		
WD-93601-46	T	-250 a 287°C (-418 a 550°F)	Vaina 316 Acero Inoxidable; asa de nilón		
<b>Sondas de pequeño diámetro con punta hipodérmica</b>					
WD-93601-02	J	-190 a 704°C (-310 a 1300°F)	Junta: aterrizada	10.2 cm	
WD-93601-04	K	-250 a 816°C (-418 a 1500°F)	Tiempo de respuesta: 15 segundos		
WD-93601-06	T	-250 a 343°C (-418 a 650°F)	Vaina 316 Acero Inoxidable; asa de nilón		
<b>Sondas de bajo costo</b>					
WD-08439-80	J	-190 a 760°C (-310 a 1400°F)	Junta: aterrizada	11.4 cm	
WD-08439-82	K	-250 a 899°C (-418 a 1650°F)	Tiempo de respuesta: 25 segundos (líquidos)		
WD-08439-84	T	-250 a 400°C (-418 a 752°F)	Vaina 316 Acero Inoxidable; asa corta de PVC		
<b>Las sondas de aire/gas</b>					
<b>Sondas estándar</b>					
WD-08517-75	J	-190 a 537°C (-310 a 1000°F)	Junta: expuesta; aislada	21.6 cm	
WD-08516-75	K	-250 a 537°C (-418 a 1000°F)	Tiempo de respuesta: Flujo de aire de 225 s a 5 m/s		
WD-08500-75	T	-250 a 537°C (-418 a 1000°F)	Vaina 316 SS con protección a la radiación		
<b>Sondas de bajo costo</b>					
WD-08439-90	J	-190 a 300°C (-310 a 572°F)	Junta: expuesta; aislada	12.7 cm	
WD-08439-92	K	-250 a 300°C (-418 a 572°F)	Tiempo de respuesta: Flujo de aire de 225 s a 5 m/s		
WD-08439-94	T	-250 a 300°C (-418 a 572°F)	Vaina 304 SS y bobina de alambre SS		

SS = Acero Inoxidable

## Sondas de superficie

**La junta aterrizada para superficie asegura que se detecte la temperatura de la superficie y no la de la atmósfera circundante**

Las sondas de superficie ofrecen puntas de doble resorte para proporcionar un contacto positivo con superficies planas o ligeramente irregulares. Las sondas incluyen un cable enrollado de PVC de 1.5 m con liberación de tensión que brinda protección contra tirones y flexiones reiterados. Asa de nilón rellena de vidrio de 12.7 cm, ergonómica y de fácil agarre (a menos que se indique a continuación) proporciona máximo aislamiento térmico y resistencia al impacto. Los toques para dedos del asa evitan que la sonda se gire y que los dedos se deslicen cuando se inserta la sonda en materiales resistentes.

La vaina de acero inoxidable 316 (carcasa del eje) proporciona durabilidad, solidez y resistencia máxima contra la abrasión. El mini conector de plástico termo endurecido es compatible con todos los termómetros termopares Oakton y Acorn®. Los conectores y el cable tienen un color codificado basado en el tipo de termopar: tipo J negro, tipo K amarillo, y tipo T azul.

**A, B, C** Las sondas de superficie estándar poseen puntas de cerámica para asegurar un contacto térmico óptimo.

**D** La sonda de hoja plana facilita la inserción en aberturas.

**E** Las sondas adhesivas facilitan el monitoreo de temperaturas de superficies a través del tiempo.



### Especificaciones e Información para Pedidos

Número de Catálogo	Tipo	Rango de temperatura	Características	Longitud de punta	Dimensiones
<b>A</b> <b>Sondas rectas estándar</b>					
WD-08517-60	J	-190 a 649°C (-310 a 1200°F)	Junta: expuesta; aislada	25.4 cm	
WD-08516-60	K	-250 a 649°C (-418 a 1200°F)	Tiempo de respuesta: 30 segundos		
WD-08500-60	T	-250 a 343°C (-418 a 650°F)	Cubierta de aluminio; asa de nilón		
<b>B</b> <b>Sondas de bajo costo</b>					
WD-08439-70	J	-190 a 649°C (-310 a 1200°F)	Junta: expuesta; aislada	11.4 cm	
WD-08439-72	K	-250 a 649°C (-418 a 1200°F)	Tiempo de respuesta: 30 segundos		
WD-08439-74	T	-250 a 371°C (-418 a 700°F)	Cubierta de aluminio; sin asa		
<b>C</b> <b>Sondas con ángulo de 90°:</b> ideales para áreas de difícil acceso.					
WD-08517-54	J	-190 a 649°C (-310 a 1200°F)	Junta: expuesta; aislada	5.1 cm	
WD-08516-54	K	-250 a 649°C (-418 a 1200°F)	Tiempo de respuesta: 30 segundos		
WD-08500-54	T	-250 a 343°C (-418 a 650°F)	Cubierta de aluminio; asa de nilón		
<b>D</b> <b>Sonda de hoja plana:</b> flexible para contacto positivo en áreas difíciles de alcanzar; usar entre placas de metal o sobre otras superficies.					
WD-08518-60	K	-250 a 900°C (-418 a 1650°F)	Tiempo de respuesta: 5 segundos	11.4 cm	
<b>E</b> <b>Sondas autoadhesivas:</b> se adhieren a la mayoría de las superficies, adhesivos industriales y cable aislado Kapton® para alta temperatura y durabilidad a largo plazo.					
WD-08519-50	J	-190 a 404°C (-310 a 760°F)	Junta: aterrizada	—	
WD-08519-52	K	-250 a 404°C (-418 a 760°F)	Tiempo de respuesta: 5 segundos		
WD-08519-54	T	-250 a 404°C (-418 a 760°F)	No tiene asa, cable de 1.5 m de largo		

## Sondas flexibles con aislamiento

### Elija entre una variedad de materiales de revestimiento que coincidan con su aplicación

Las sondas flexibles con aislamiento incluyen un cable recto aislado sin un asa. Estas sondas se pueden doblar fácilmente y montar en paredes o en esquinas.

El mini conector de plástico termo endurecido es compatible con todos los termómetros termopares Dakton y Acorn®. Los conectores y el cable tienen un color codificado basado en el tipo de termopar: tipo J negro, tipo K amarillo, y tipo T azul.

Las sondas aisladas con PVC ofrecen opciones económicas con buena flexibilidad.

Las sondas aisladas con PTFE y FEP se utilizan con ácidos y productos químicos.

Las sondas aisladas con Kapton® presentan un excelente balance de propiedades físicas, químicas y eléctricas en un amplio rango de temperaturas, especialmente a temperaturas inusualmente altas.

Las sondas aisladas con fibra de vidrio ofrecen excelentes propiedades de aislamiento eléctrico y pueden exponerse a temperaturas extremadamente altas.

### Especificaciones e Información para Pedidos

Número de Catálogo	Tipo	Rango de temperatura	Características	Dimensiones
<b>Las sondas aisladas con PVC con punta cubierta de epoxi, cable calibre 20 (0.8 mm de diámetro), 3 m de largo, sumergible por un corto período de tiempo.</b>				
WD-08466-02	J	-190 a 105°C (-310 a 221°F)	Junta: no aterrizada	
WD-08466-04	K	-250 a 105°C (-418 a 221°F)	Tiempo de respuesta: 25 segundos	
WD-08466-06	T	-250 a 105°C (-418 a 221°F)		
<b>La sonda con aislamiento de PTFE de fino calibre, 0.64 mm de diámetro exterior, 1 m de largo; implantar en semisólidos. Incluye cinco agujas de calibre 18.</b>				
WD-08506-75	T	-250 a 150°C (-418 a 302°F)	Junta: no aterrizada Tiempo de respuesta: 0.5 segundos	
<b>Las sondas aisladas con FEP con junta cubierta de epoxi, cable calibre 24 (0.51 mm de diámetro), 3 m de largo, sumergible por largos períodos de tiempo.</b>				
WD-08466-81	J	-190 a 204°C (-310 a 400°F)	Junta: no aterrizada	
WD-08466-82	K	-250 a 204°C (-418 a 400°F)	Tiempo de respuesta: 15 segundos	
WD-08466-83	T	-250 a 204°C (-418 a 400°F)		
<b>La sonda con aislamiento de Kapton, cable calibre 24 (0.51 mm de diámetro), 3 m de largo, ideal para mediciones de temperatura multipunto.</b>				
WD-08517-90	J	-190 a 315°C (-310 a 600°F)	Junta: expuesta Tiempo de respuesta: 15 segundos	
<b>Las sondas con aislamiento de Kapton, cable calibre 30 (0.25 mm de diámetro), 1.5 m de largo, ideal para controlar temperaturas en alimentos. Pack de seis.</b>				
WD-08505-87	J	-190 a 404°C (-310 a 759°F)	Junta: expuesta	
WD-08505-86	K	-250 a 404°C (-418 a 759°F)	Tiempo de respuesta: 0.5 segundos	
WD-08505-85	T	-250 a 404°C (-418 a 759°F)		
<b>Las sondas con aislamiento de fibra de vidrio, cable calibre 24 (0.51 mm de diámetro), 3 m de largo. Para utilizar en mediciones de alta temperatura.</b>				
WD-08512-81	J	-190 a 482°C (-310 a 900°F)	Junta: expuesta	
WD-08512-82	K	-250 a 482°C (-418 a 900°F)	Tiempo de respuesta: 15 segundos	
WD-08512-83	T	-250 a 400°C (-418 a 750°F)		

### Cables termopar

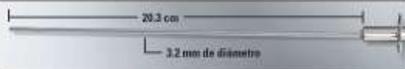
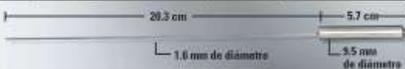
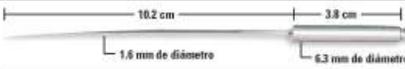
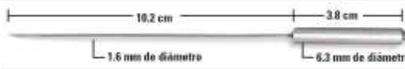
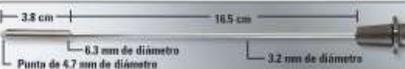
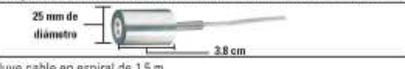
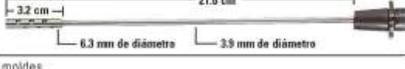
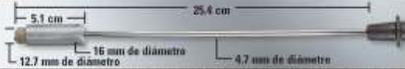
Los cables vienen en calibres 20, 24 o 30 para fabricar sus propias sondas o cables de extensión (cumple con las normas ANSI y ASTM). Elija entre cables con aislamiento de PVC, FEP o trenza de fibra de vidrio. Perno de 30 m.



Número de catálogo	Tipo	Calibre	Temperatura máxima	Aislamiento
WD-08541-16	J	20	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-06	J	24	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-07	J	24	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-08	J	24	482°C (900°F)	Trenza de vidrio
WD-08541-00	J	30	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-20	K	20	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-22	K	20	482°C (900°F)	Trenza de vidrio
WD-08541-23	K	20	704°C (1300°F)	Trenza de vidrio de alta temperatura
WD-08541-09	K	24	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-10	K	24	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-11	K	24	482°C (900°F)	Trenza de vidrio
WD-08541-02	K	30	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-25	T	20	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-26	T	20	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-12	T	24	105°C (221°F)	PVC
WD-08541-13	T	24	204°C (400°F)	FEP
WD-08541-04	T	30	204°C (400°F)	FEP

## Sondas de especialidad

Diseñadas para alimentos, ciencia, electrónica y aplicaciones HVAC

Número de Catálogo	Tipo	Rango de temperatura	Características	Dimensiones*
<b>Sondas para alimentos.</b> Diseños para fácil limpieza. Si desea ver más sondas para alimentos, consulte las sondas de acero inoxidable en la página 73.				
Todas las sondas de acero inoxidable, 20.3 cm de largo, para una mayor durabilidad. Ideal para aplicaciones de procesamiento de alimentos. Incluye un asa de acero inoxidable de 11.4 cm de largo y un cable blindado Acero Inoxidable de 1.2 m.				
WD-93600-02 WD-93600-22 WD-93600-42	J K T	-190 a 760°C (-310 a 1400°F) -250 a 899°C (-418 a 1650°F) -250 a 400°C (-418 a 752°F)	Junta: atornillada Tiempo de respuesta: 30 segundos Vaina 316 SS; mini conector, asa SS	
<b>Sondas de pequeño diámetro con asas de acero inoxidable en miniatura,</b> 20.3 cm de largo. Ideal para el control de temperatura de los alimentos. Incluye cable en espiral de 1.5 m.				
WD-08505-61 WD-08505-62 WD-08505-63	J K T	-190 a 704°C (-310 a 1300°F) -250 a 816°C (-418 a 1500°F) -250 a 343°C (-418 a 650°F)	Junta: atornillada Tiempo de respuesta: 10 segundos Vaina 316 SS; mini conector, asa SS	
<b>Sondas para servicios alimentarios con punta hipodérmica.</b> 10.2 cm de largo. Incluye un cable recto blindado de 1.2 m.				
WD-93607-20 WD-93607-22 WD-93607-24	J K T	-190 a 371°C (-310 a 700°F) -250 a 371°C (-418 a 700°F) -250 a 371°C (-418 a 700°F)	Junta: atornillada Tiempo de respuesta: 10 segundos Asa y vaina 316 SS; miniconector	
<b>Sondas de punta de aguja para ciencia</b>				
<b>Sondas de pequeño diámetro con punta hipodérmica,</b> 10.2 cm de largo Incluye cable en espiral de 1.5 m.				
WD-93601-02 WD-93601-04 WD-93601-06	J K T	-190 a 704°C (-310 a 1300°F) -250 a 816°C (-418 a 1500°F) -250 a 343°C (-418 a 650°F)	Junta: atornillada Tiempo de respuesta: 15 segundos Vaina 316 SS; mini conector, Asa de polipropileno rellena de vidrio	
<b>Sondas hipodérmicas,</b> 10.2 cm de largo Incluye 1.4 m de cable recto de PVC y vaina flexible.				
WD-08116-65 WD-08117-65 WD-08113-65	J K T	-190 a 371°C (-310 a 700°F) -250 a 371°C (-418 a 700°F) -250 a 371°C (-418 a 700°F)	Junta: atornillada Tiempo de respuesta: 10 segundos Asa y vaina 316 SS; miniconector	
<b>Sondas de superficie pequeña para electrónica.</b> Respuesta rápida y daños mínimos a los componentes.				
<b>Sondas de diámetro pequeño,</b> 20.3 cm de largo El diámetro pequeño es ideal para espacios reducidos. La junta expuesta está aislada del eje 316 SS y cubierta de aluminio con soporte de cerámica. Incluye cable en espiral de 1.5 m.				
WD-08517-62 WD-08516-62 WD-08500-62	J K T	-190 a 649°C (-310 a 1200°F) -250 a 649°C (-418 a 1200°F) -250 a 343°C (-418 a 650°F)	Junta: expuesta, aislada Tiempo de respuesta: 15 segundos Eje 316 SS y carcasa de aluminio; mini conector, asa de nilón	
<b>Sondas HVAC</b>				
<b>Sondas magnéticas/drooping,</b> 3.8 cm de largo. Conecte la sonda magnética a cualquier superficie plana ferrosa. Incluye trenza SS recta de 3 m sobre cable aislado con fibra de vidrio.				
WD-08519-86 WD-08514-86 WD-08525-86	J K T	-190 a 649°C (-310 a 1200°F) -250 a 649°C (-418 a 1200°F) -250 a 399°C (-418 a 750°F)	Junta: expuesta Tiempo de respuesta: 30 segundos Cubierta de aluminio; mini conector	
<b>Sondas de aire/gas de uso general;</b> 21.6 cm de largo; para medición de uso general de la temperatura del aire. Incluye cable en espiral de 1.5 m.				
WD-08517-75 WD-08516-75 WD-08500-75	J K T	-190 a 537°C (-310 a 1000°F) -250 a 537°C (-418 a 1000°F) -250 a 537°C (-418 a 1000°F)	Junta: expuesta, aislada Tiempo de respuesta: Flujo de aire de 225 s a 5 m/s Vaina 316 SS con protección a la radiación; mini conector, asa de nilón	
<b>Sondas rectas estándar;</b> 25.4 cm de largo. Se utiliza para monitorear superficies tales como quemadores, hornos y moldes. La junta expuesta está aislada del eje 316 SS y cubierta de aluminio con soporte de cerámica. Incluye un cable en espiral de 1.5 m.				
WD-08517-60 WD-08516-60 WD-08500-60	J K T	-190 a 649°C (-310 a 1200°F) -250 a 649°C (-418 a 1200°F) -250 a 343°C (-418 a 650°F)	Junta: expuesta, aislada Tiempo de respuesta: 30 segundos Eje 316 SS; carcasa de aluminio; mini conector, asa de nilón	
<b>Sondas con ajuste de correa 'gancho y lazo',</b> 20.3 cm de largo. Sujetar con una correa de manera temporal o permanente en tuberías o caños. Las sondas son fáciles de instalar y quitar. La correa es de 20.3 cm de largo y se ajusta a diámetros de 19 a 70 mm de diámetro exterior. Incluye un cable de PVC en espiral de 3 m.				
WD-08469-80 WD-08469-82 WD-08469-84	J K T	-190 a 100°C (-310 a 212°F) -250 a 100°C (-418 a 212°F) -250 a 100°C (-418 a 212°F)	Junta: no atornillada Tiempo de respuesta: 300 segundos Mini conector	

\*La longitud total de las vainas de las sondas puede variar hasta  $\pm 0.25$ ". SS = Acero Inoxidable