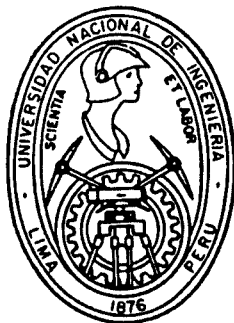


Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



Técnica de Calibración de Termómetros de Líquido en Vidrio Desarrollada en el Laboratorio de Temperatura del Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC)

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

HELENA AIXIA CUELLAR TELLO

PROMOCION 1979 - 2

LIMA • PERU

1986

C O N T E N I D O

INTRODUCCION	10
I. GENERALIDADES SOBRE LABORATORIOS DE METROLOGIA EN EL CAMPO DE TEMPERATURA.	12
1.1 Escala Internacional de Temperatura	12
1.2 Sistema Nacional de Metrología	16
1.2.1 Laboratorios de Nivel Científico o Primario	18
1.2.2 Centro de Verificación Acreditado	19
1.2.3 Servicios Metrológicos Habilitados	19
1.3 Equipamiento para la Calibración de Termómetros de Líquido en Vidrio a un Nivel Técnico	20
1.3.1 Termómetros Patrones de Líquido en Vidrio	22
1.3.2 Baños de Comparación	23
1.3.3 Equipo para la Realización del Punto Fijo del Hielo.	28
1.3.4 Equipo para la Lectura de los Termómetros de Líquido en Vidrio	30
1.3.5 Termómetro de Resistencia de Platino - Equipo Comparador.	31
1.4 Realización del Punto Fijo del Hielo	32
1.5 Exigencias de Seguridad de Trabajo con Termómetro de Mercurio en Vidrio	33
II. ESTUDIO TEORICO SOBRE LA CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO*.	36
2.1 Generalidades sobre Termómetros de Líquido en Vidrio	36
2.1.1 Principio de Funcionamiento de un Termómetro de Líquido en Vidrio	36
2.1.2 Clasificación de los Termómetros de Vidrio	38

* Se expresará Termómetro de Líquido en Vidrio también como Termómetro de Vidrio.

2.1.3	Fabricación de un Termómetro de Vidrio	41
2.2	Definiciones de Términos Referidos a la Calibración del Termómetros de Vidrio	49
2.3	Causas de Errores en la Indicación de un Termómetro de Vidrio.	54
2.3.1	Error de Cero	54
2.3.2	Variaciones de la Presión Externa e Interna	57
2.3.3	Retardo	62
2.3.4	Error por Columna Emergente	66

III.	CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO DESARROLLADA EN EL ITINTEC.	77
3.1	Fallas y Defectos de un Termómetro de Vidrio y su Reparación	77
3.1.1	Defectos en la Escala del Termómetro	77
3.1.2	Defectos en la Columna de Líquido Termométrico	78
3.2	Prueba de Estabilidad	81
3.2.1	Para Termómetros con Rango de Escala no mayor de -- 110°C	82
3.2.2	Para Termómetros con Rango de Escala mayor de 110°C	82
3.3	Condiciones Normales y Preparación para la Calibración	83
3.4	Elección de los Puntos de Calibración	84
3.5	Elección y Disposición de los Termómetros a Utilizar en la Comparación	86
3.6	Lectura de las Indicaciones	88
3.7	Determinación de la Corrección de Escala	92
3.7.1	Corrección de Escala para el Termómetro Patrón de -- Comparación	94
3.7.2	Determinación de la Temperatura Convencionalmente -- Verdadera	94
3.7.3	Valor Parcialmente Corregido de la Lectura del Termómetro Objeto a Calibrar	96
3.7.4	Corrección de Escala - Certificado de calibración... ..	96
3.7.5	Corrección Reducida del Termómetro Objeto a Calibrar.	97
3.8	Evaluación de la Incertidumbre de la Medición.....	98
3.8.1	Incertidumbre Sistemática.....	98
3.8.2	Incertidumbre Aleatoria.....	99

3.9	Tolerancia para un Termómetro de Vidrio	101
3.10	Ejemplo Práctico de la Calibración de un Termómetro de Vidrio efectuada en el Laboratorio de Temperatura del ITINTEC	102
3.10.1	Características de los Termómetros involucrados ...	102
3.10.2	Inspección Visual	103
3.10.3	Prueba de Estabilidad del Bulbo	103
3.10.4	Comparación y Lectura de las Indicaciones	105
3.10.5	Evaluación de las Correcciones de Escala	107
3.10.6	Evaluación de la Incertidumbre de Medición	107
3.10.7	Formatos de Cálculo y Gráfico de la Curva de Corrección	108
3.11	Resultados de de Calibraciones de Termómetros efectuados en el Laboratorio de Temperatura del ITINTEC.....	122

IV.	CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO PARA USOS ESPECIALES	127
4.1	Termómetros Beckmann	127
4.1.1	Procedimiento a seguir para la Calibración de un -- Termómetro Beckmann de Inmersión Total	129
4.1.2	Procedimiento a seguir para la Calibración de un -- Termómetro Beckmann de Inmersión Parcial	134
4.1.3	Correcciones por Columna Emergente	139
4.1.4	Tolerancia para un Termómetro Beckmann	141
4.2	Termómetros de Columna	141
4.3	Termómetros Hipsométricos	144
4.4	Termómetros Calorimétricos	148
4.5	Termómetros Clínicos de Máxima	151
4.6	Termómetros Industriales	154
4.7	Calibración de un Termómetro de Vidrio para Temperaturas superiores a 550°C.	154
4.8	Calibración de un Termómetro Patrón de Vidrio con Termómetros Patrones de Resistencia	158
V.	LABORATORIO DE TEMPERATURA DEL ITINTEC	161

5.1	Laboratorios de Metrología del ITINTEC	161
5.2	Laboratorio de Temperatura del ITINTEC	162
5.3	Acondicionamiento de los Laboratorios Metroológicos	163
5.3.1	Sistema de Aire Acondicionado - Evaluación de la Carga Térmica del Laboratorio de Temperatura	164
5.4	Equipamiento del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC	186
5.5	Pruebas de Funcionamiento de los Baños Termostáticos	196
5.5.1	Prueba de Uniformidad y Estabilidad del Baño	196
5.5.2	Prueba de Influencia del Serpentin de Enfriamiento - en la Estabilidad del Baño Termostático	201
5.5.3	Prueba de Aumento de la Temperatura del Baño por Efecto de la Fricción	203
5.5.4	Pruebas de Velocidad de Aumento de Temperatura de - los Baños Termostáticos	203
5.6	Cámara Extractora de Gases	206
5.6.1	Determinación del Desplazamiento de Aire del Extractor	206
5.6.2	Determinación de la Pérdida de Presión Estática ...	215
5.6.3	Características Técnicas de la Cámara Extractora de Gases	220
5.7	Pequeña Centrífuga de Eje Vertical	221
CONCLUSIONES		225
BIBLIOGRAFIA		230
APENDICES		233
PLANOS		304

RELACION DE APENDICES

APENDICE "A".-	Escala Práctica Internacional de Temperatura de 1968.	234
APENDICE "B".-	Comprobación para los Termómetros de Líquido en Vidrio de las Especificaciones de : - Envejecimiento Artificial - Coeficiente de Presión Externa - Permanencia de las Marcas.	249
APENDICE "C".-	Termómetro de Vidrio de Alta Precisión de Fabricación Thermoschneider.	253
APENDICE "D".-	Termómetros Patrones de Resistencia de Platino de Fabricación Chino Works Ltd.	259
APENDICE "E".-	Termómetro de Líquido en Vidrio de Fabricación Arba Termómetros Brasil Ltda. (Año 1980).	263
APENDICE "F".-	Tabla de Factor de Students.	282
APENDICE "G".-	Relación de los principales Importadores de Termómetros en el Perú - Año 1983.	284
APENDICE "H".-	Modo de Empleo del Recipiente Enfriador de Construcción Lauda.	293
APENDICE "I".-	Líquidos Termostáticos - Especificaciones.	299
APENDICE "J".-	Características Técnicas de la Centrífuga de Eje Vertical S-15730 de Fabricación Sargent - Welch.	302

RELACION DE PLANOS

- PLANO LT-1 Esquema de Calibración para Medios de Medición -
de Temperatura desde -55°C a 1200°C.
- PLANO LT-2 Laboratorios de Metrología del ITINTEC.
- PLANO LT-3 Laboratorios de Metrología del ITINTEC - Cortes.
- PLANO LT-4 Cámara Extractora de Gases.
- PLANO LT-5 Cámara Extractora de Gases - Detalles.

I N T R O D U C C I O N

La expansión y eficiencia en las industrias están en la actualidad directamente ligadas a la aplicación de los conceptos fundamentales de medición y control metrológico. Por tal motivo el ITINTEC gestionó y estableció en 1976 un Convenio de Cooperación Técnica con la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo Industrial (ONUDI) con la finalidad de desarrollar la Metrología en el Perú.

El Laboratorio de Temperatura constituye uno de los séis laboratorios metrológicos que viene implementando el ITINTEC, con el objeto de brindar los servicios metrológicos correspondientes a la industria y colectividad en general. En su fase inicial el laboratorio de temperatura se ha desarrollado técnicamente para brindar servicios tales como: calibración, aferición y contrastación de medios de medición de temperatura en los cuales se efectúa la transmisión de unidad de temperatura mediante termómetros patrones de líquido de vidrio.

Los termómetros patrones de líquido en vidrio constituyen patrones secundarios dentro de la cadena de calibración de medios de medición de temperatura y su uso es ampliamente difundido por su confiabilidad demostrada. Los termómetros

de líquido en vidrio y otros medios de medición de temperatura de diferentes tipos constructivos son calibrados, en un determinado rango de medición, utilizando termómetros patrones de líquido en vidrio. Así también, los termómetros de líquido en vidrio son de uso bastante ordinario en la industria y laboratorios en general. Por los aspectos mencionados es importante un conocimiento amplio del comportamiento de estos termómetros y su correspondiente calibración.

El propósito de la presente Tesis es dar a conocer los aspectos teóricos y prácticos involucrados en la técnica de calibración de los termómetros de líquido en vidrio que incluyen los aspectos de implementación y funcionamiento de un laboratorio metrológico que ha de efectuar estas calibraciones y en el marco del cual se presentan las soluciones dadas a los diferentes aspectos técnicos durante la fase inicial del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC. De esta manera se busca contribuir al desarrollo y difusión de la técnica metrológica en el Perú.

Los conocimientos expuestos en este trabajo están basados en la experiencia profesional como encargada del desarrollo del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC (1980-1984), en la capacitación recibida por los expertos asesores en Metrología del ITINTEC y en el Instituto Nacional de Metrología Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO - BRASIL), así también del estudio bibliográfico correspondiente.

I

GENERALIDADES SOBRE LABORATORIOS DE METROLOGIA EN EL CAMPO DE TEMPERATURA

1.1 Escala Internacional de Temperatura

Una escala internacional de temperatura habrá de cumplir -
con las siguientes condiciones :

- a) Ser universalmente adoptada para asegurar la uniformidad de las medidas.
- b) Que se reproduzca fácilmente y con precisión.
- c) Ser la mejor aproximación práctica de la temperatura termodinámica.

En función de estas condiciones la Conferencia General de Pesas y Medidas en 1927 definió una escala de temperatura a la que designó con el nombre de Escala Práctica Internacional de Temperatura. Sin embargo el conocimiento exacto de la temperatura termodinámica o su mayor acercamiento es todavía objeto de los trabajos que se siguen realizando en los grandes laboratorios nacionales y de acuerdo a esto se realizan revisiones de la Escala Práctica y es así que en 1968 se modificó esta escala. La versión legal que debe emplearse actualmente en todas las medidas de temperatura es la Escala Práctica Internacional de Temperatura de 1968 (International Practical Temperature Standard, IPTS-68), de edición corregida en 1975.

La IPTS-68 se basa en los valores numéricos asignados a 13 estados térmicos de equilibrio, que pueden reproducirse con precisión (puntos fijos de definición - ver tabla 1.1) y en instrumentos específicos contrastados a estas temperaturas. Entre las temperaturas de estos puntos fijos, se establecen ecuaciones de interpolación que relacionan las indicaciones de los instrumentos con las temperaturas prácticas internacionales. Así para los diferentes rangos de temperatura se tiene:

- Para el rango de 13,81 K (-259,34°C) a 903,89 K (630,74°C) el instrumento específico es el termómetro de resistencia de platino.

El elemento sensible de platino debe encontrarse sin ninguna tensión mecánica y su pureza debe ser tal que la relación, $R_{100^{\circ}\text{C}} / R_{0^{\circ}\text{C}}$, entre los valores de su resistencia a 373,15 K ($R_{100^{\circ}\text{C}}$) y a 273,15 K ($R_{0^{\circ}\text{C}}$) sea igual o superior a 1,392 5. Una función de referencia y función de desviación proporcionan la relación resistencia - temperatura por debajo de 0°C y dos ecuaciones polinómicas proporcionan esta relación entre 0°C y 630,74°C

- Para el rango de 630,74°C y 1 064,43°C el instrumento específico es la termocupla platino - rodio al 10% de rodio. La característica del hilo de platino debe ser tal que $R_{100^{\circ}\text{C}} / R_{0^{\circ}\text{C}}$ sea mayor o igual a 1,392 0 .

La relación entre la fuerza electromotriz de la termocupla y la temperatura se obtiene con una ecuación de

TABLA 1.1

PUNTOS FIJOS DE DEFINICION DE LA IPTS-68, EDICION
CORREGIDA DE 1975

	Valores asignados de la Escala Práctica Internacional de Temperatura.	
	(K)	(°C)
Punto triple del hidrógeno en equilibrio.	13,81	- 259,34
Punto de ebullición del hidrógeno en equilibrio bajo una presión de 33 330,6 Pa	17,042	- 256,108
Punto de ebullición del hidrógeno.	20,28	- 252,87
Punto de ebullición del neón	27,102	- 246,048
Punto triple del oxígeno	54,361	- 218,789
Punto triple del argón	83,798	- 189,352
Punto de ebullición del oxígeno.	90,188	- 182,962
Punto triple del agua	273,16	0,01
Punto de ebullición del agua	373,15	100
Punto de congelación del estaño.	505,118 1	231,968 1
Punto de congelación del zinc.	692,73	419,58
Punto de congelación de la plata.	1 235,08	961,93
Punto de congelación del oro.	1 337,58	1 064,43

TABLA 1.2

PUNTOS DE REFERENCIA SECUNDARIOS DE LA IPTS-68, EDICION CORREGIDA

DE 1975

	Temperatura Práctica Internacional	
	(K)	(°C)
Punto triple del hidrógeno normal	13,956	- 259,194
Punto de ebullición del hidrógeno normal.	20,397	- 252,753
Punto triple del neón	24,561	- 248,589
Punto triple del nitrógeno	63,146	- 210,004
Punto de ebullición del nitrógeno	77,344	- 195,806
Punto de ebullición del argón	87,294	- 185,856
Punto de sublimación del anhídrido carbónico.	194,674	- 78,476
Punto de congelación del mercurio	234,314	- 38,836
Punto de congelación del agua	273,15	0,0
Punto triple del fenoxibenceno	300,02	26,87
Punto triple del ácido benzoico	395,52	122,37
Punto de congelación del indio	429,784	156,634
Punto de congelación del bismuto	544,592	271,442
Punto de congelación del cadmio	594,253	321,108
Punto de congelación del plomo	600,652	327,502
Punto de ebullición del mercurio	629,81	356,66
Punto de ebullición del azufre	717,824	444,674
Punto de la fusión eutéctica cobre - aluminio.	821,41	548,26
Punto de congelación del antimonio	903,905	630,755
Punto de congelación del aluminio	933,61	660,46
Punto de congelación del cobre	1 358,03	1 084,88
Punto de congelación del níquel	1 728	1 455
Punto de congelación del cobalto	1 768	1 495
Punto de congelación del paladio	1 827	1 554
Punto de congelación del platino	2 042	1 769
Punto de congelación del rodio	2 236	1 963
Temperatura de fusión del óxido de aluminio.	2 327	2 054
Punto de congelación del iridio	2 720	2 447
Temperatura de fusión de niobio	2 750	2 477
Temperatura de fusión del molibdeno.	2 896	2 623
Temperatura de fusión del tungsteno.	3 695	3 422

segundo grado.

- Para temperaturas mayores de $1\ 064,43^{\circ}\text{C}$, la IPTS-68 se define con la ley de radiación de Planck con $1\ 064,43^{\circ}\text{C}$ como temperatura de referencia y con el valor de -----
 $0,014\ 388$ metro-Kelvin como valor de la constante C_2 .

Además de los puntos fijos de definición dados en la tabla 1.1, la IPTS-68 define puntos de referencia secundarios cuya lista se presenta en la tabla 1.2.

Nota.- En el apéndice "A" se explica en mayor detalle la IPTS-68.

1.2 Sistema Nacional de Metrología

Cada país según sus posibilidades y necesidades establece sus acciones referente al desarrollo de la Metrología. En general ha de establecer y desarrollar un programa de investigación metrológica, así también ocuparse del establecimiento de la cadena de aferición¹ o verificación de los medios de medición para asegurar la interrelación de los patrones de referencia y los instrumentos de medición con los patrones nacionales. En el marco de este sistema se acredita y habilita laboratorios para efectuar verificaciones. Así pues se ha de tratar de establecer en el país un Sistema Nacional de Metrología semejante al que se esquematiza en la Figura 1.1.

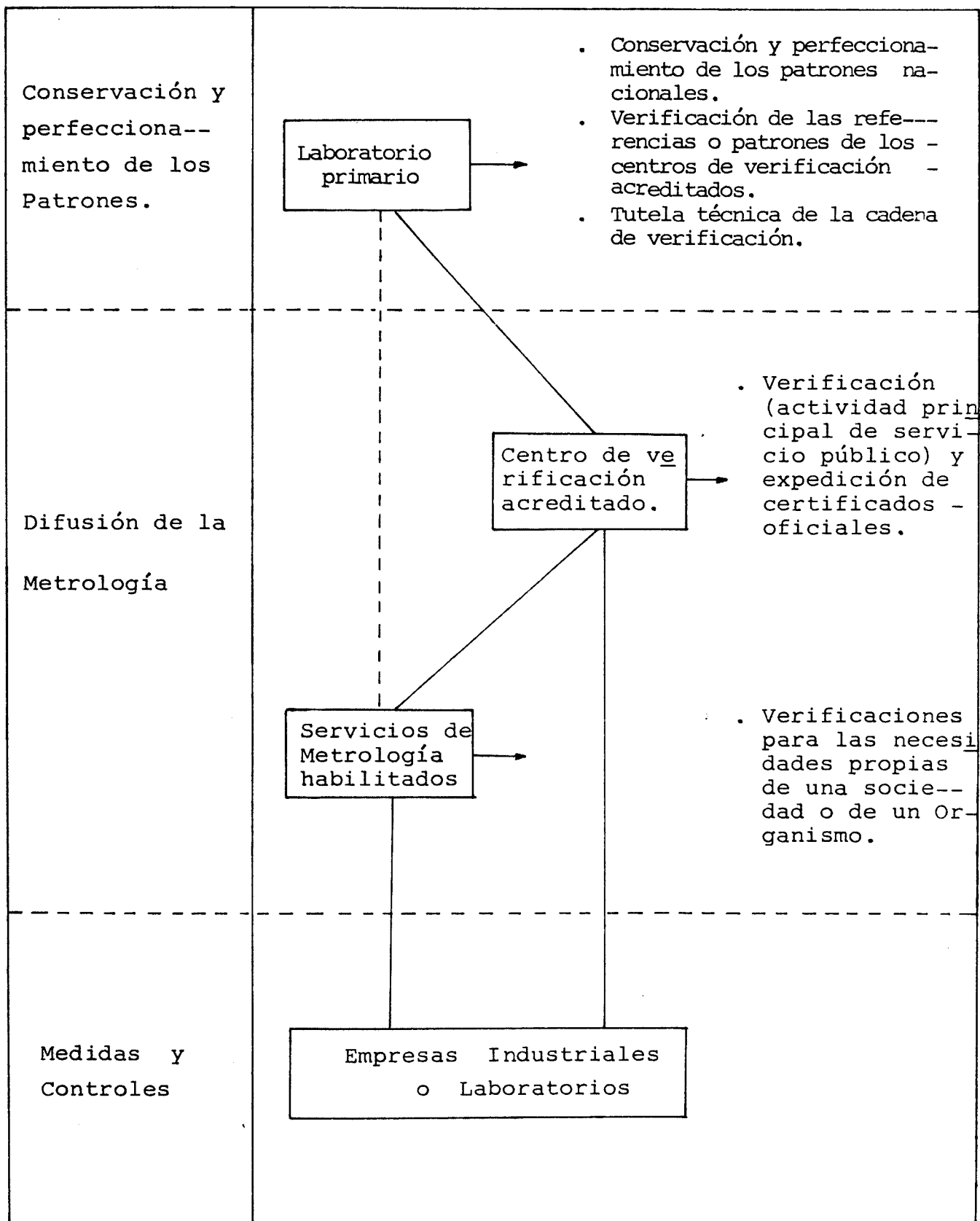


FIG. 1.1 ACTIVIDADES Y COORDINACIONES DEL SISTEMA NACIONAL DE METROLOGIA

1.2.1 Laboratorios de Nivel Científico o Primario

Los laboratorios de nivel científico tienen como objetivos:

- a) Promover la investigación metrológica mediante :
 - La realización de estudios fundamentales con miras al establecimiento de nuevos patrones.
 - El perfeccionamiento de patrones o referencias básicas y la extensión de su campo de utilización.
 - Participación en los trabajos metrológicos internacionales y especialmente en las comparaciones entre patrones nacionales.
 - El perfeccionamiento del conocimiento de las constantes físicas empleadas en los trabajos metrológicos de alta precisión.
- b) Facilitar el acceso a los patrones nacionales mediante :
 - El estudio y realización de instrumentos de transferencia que permitirá efectuar cómodamente las verificaciones de los instrumentos destinados a los centros de verificación.
 - La organización de comparaciones periódicas entre los patrones base y patrones de trabajo de los centros de verificación.
- c) Asegurar la tutela técnica de las cadenas de verificación.

1.2.2 Centro de Verificación Acreditado

Constituyen generalmente los laboratorios de un establecimiento público cuya actividad primordial es la verificación. Un laboratorio primario ha de realizar obligatoriamente la calibración de los patrones de referencia del centro. El centro efectúa la verificación de los patrones de referencia y de los instrumentos de medición de los usuarios. Se ratifica estas acciones mediante la expedición de un certificado de verificación.

En la figura 1.2 se muestra un diagrama de los equipos de calibración para los diferentes instrumentos de medición de temperatura, para un laboratorio de nivel técnico y que podrá corresponder a un centro de verificación acreditado.

1.2.3 Servicios Metrológicos Habilitados

El Servicio Metrológico en una industria u otro organismo tiene como actividad, generalmente, la conservación de las referencias o patrones y la reverificación de los instrumentos de medición de la industria u organismo.

Este organismo puede expedir certificados de verificación que no comprometen la responsabilidad del centro de verificación acreditado. La habilitación es únicamente un reconocimiento del potencial constituido por los equipos métodos y personal del servicio metrológico.

1.3 Equipamiento para la Calibración de Termómetros de Líquido en Vidrio a un Nivel Técnico

En este acápite, de acuerdo al alcance de la presente Tesis se recomienda el equipo necesario con sus respectivas características técnicas para la calibración de termómetros de líquido en vidrio, a un nivel técnico y adecuado a los requerimientos metrológicos corrientes de la industria y laboratorios de nuestro país.

Teniendo en cuenta los requerimientos de calibración de termómetros solicitados al Laboratorio de Temperatura del ITINTEC y en base a una indagación de los termómetros que se adquieren en el mercado nacional. Se ha de adquirir en una primera etapa del laboratorio de Metrología en el campo de temperatura el equipo necesario para la calibración de termómetros en el rango de -55°C a 300°C y para el cual es factible de utilizar termómetros patrones de líquido en vidrio.

El equipo que se describirá a continuación está referido para cubrir el rango de calibración de termómetros de líquido en vidrio y de otros tipos constructivos según se aprecia en la Figura 1.2.

El plano LT-1 se presenta un esquema de calibración para medios de medición de temperatura en límites desde -55°C hasta 1200°C , y que permite diferenciar los medios de medición de trabajo y medios de medición patrones en sus respectivas

CERTIFICACION A LA ESCALA PRACTICA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA (IPTS-68)

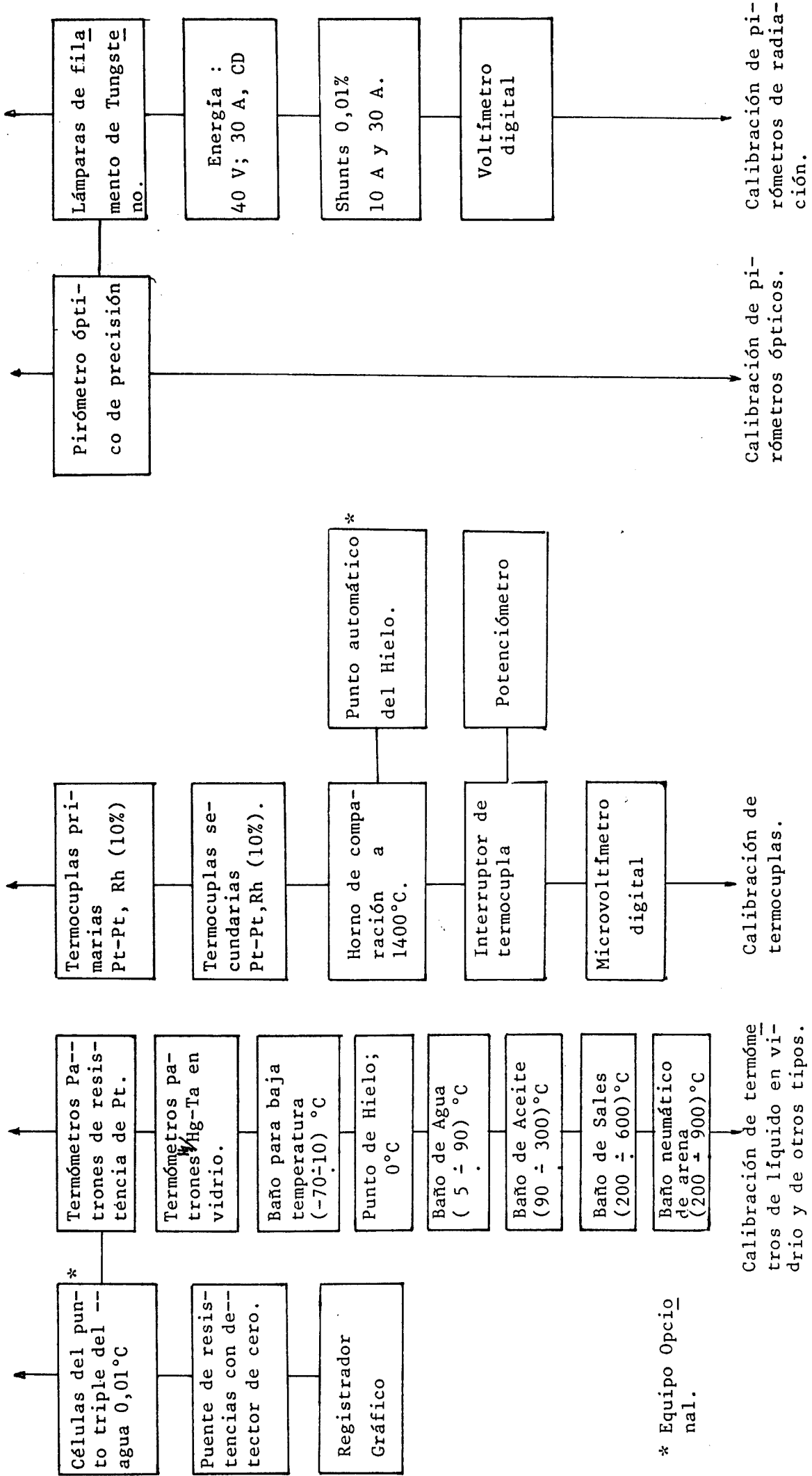


FIG. 1.2 DIAGRAMA DE EQUIPOS DE CALIBRACION.

* Equipo Opcional.

categorías.

1.3.1 Termómetros Patrones en Líquido en Vidrio

Estos termómetros se encuentran conectados a un sistema de transmisión de la unidad de temperatura por lo cual estarán provistos de su correspondiente certificado de calibración oficial y se utilizan para la transmisión de la unidad de temperatura a los medios de medición de categorías inferiores.

Tendrán las siguientes características :

- La construcción, el tipo de vidrio y el tratamiento térmico han de ser los adecuados y han de asegurar una comprobación satisfactoria de los siguientes parámetros :
 - . Envejecimiento artificial.
 - . Coeficiente de presión externa².
 - . Permanencia de las marcas o de las líneas de graduación.

En el apéndice "B" se da a conocer el procedimiento a seguir para efectuar las comprobaciones mencionadas.

- Serán del tipo de inmersión total con marcación del cero, de escala externa, o de escala interna de una fabricación acreditada.
- El líquido termométrico, preferentemente usado en la actualidad es el Hg, y para los rangos inferiores que

no pueda cubrir el Hg se seleccionará algún otro líquido termométrico no humectante, tal como la mezcla Hg - Talio.

- Los rangos de escala (referencial) con su respectiva mínima división se recomienda sean los siguientes :

Rango	Menor división de la escala (°C)
(-55 ÷ 2) °C	1/10
(-1 ÷ 50) °C	1/150
(-1 ÷ 50) °C	1/100
(-1 ÷ 102) °C	1/50
(-1 ÷ 150) °C	1/20
(-5 ÷ 300) °C	1/10
(-55 ÷ 300) °C	1/2
(-55 ÷ 300) °C	1/1

En el apéndice "C" se presentan termómetros de vidrio de fabricación Thermoscheneider de uso adecuado para termómetros patrones con sus características técnicas para diferentes rangos de escala.

1.3.2 Baños de Comparación

Las calibraciones de los termómetros se efectúan por comparación con los termómetros patrones. El método consiste en colocar al interior de un volumen, el termómetro patrón y el termómetro a calibrar o el transductor de la cadena de medición que se va a calibrar. El termómetro patrón

que está asociado a una cadena de medición de referencia, define la temperatura verdadera, entonces es posible trazar así una tabla de correcciones para el termómetro objeto a calibrar.

La comparación se realiza generalmente en baños líquidos al interior de los cuales se define la temperatura con de terminada uniformidad y estabilidad.

A continuación se recomiendan las características técnicas de estos baños, para los diferentes rangos de temperatura a efectuarse la calibración :

1.3.2.1 Baño de agua, para el control de termómetros clínicos con regulación automática de temperatura, rango de 33°C a 43°C y con una estabilidad y uniformidad de temperatura de al menos de $\pm 0,01^\circ\text{C}$, con un espacio suficiente para al menos 100 termómetros clínicos.

1.3.2.2 Baño para temperaturas bajas. Cubrirá el rango de -70°C a $+10^\circ\text{C}$ con una estabilidad y uniformidad de temperatura de al menos : $\pm 0,05^\circ\text{C}$ a -70°C
 $\pm 0,02^\circ\text{C}$ a $+10^\circ\text{C}$

Tendrá una altura de inmersión mínima de 300 mm, diámetro de inmersión mínima de 70 a 120 mm . Dispondrá de bomba de recirculación o agitador.

La construcción del baño debe permitir seguridad para su uso con líquidos inflamables, ya que se utiliza el alcohol generalmente como líquido del baño. Semejante al an-

terior dispondrá de control automático de regulación.

1.3.2.3 Baño de hielo o punto fijo del hielo. Está constituido de un recipiente o Vaso Dewar que contendrá el hielo finamente picado, para el cual la uniformidad y estabilidad de temperatura será al menos de $\pm 0,002^{\circ}\text{C}$.

El Vaso Dewar será de una altura de inmersión mínima de 300 mm y diámetro útil de inmersión de 70 a 120 mm equipado con dispositivo de agitación de aire para una máxima saturación del aire de la mezcla hielo - agua.

En el acápite 1.4 se detalla sobre la realización del punto fijo del hielo.

1.3.2.4 Baño de agua para el rango de 5°C a 90°C . Poseerá control automático, con una altura de inmersión mínima de 300 mm y un diámetro de inmersión mínima de 120 mm .

La estabilidad y uniformidad de temperatura para el baño - será de al menos de :

$\pm 0,005^{\circ}\text{C}$	aproximadamente a 5°C
$\pm 0,01^{\circ}\text{C}$	aproximadamente a 90°C

1.3.2.5 Baño de aceite de Silicona que puede utilizarse entre 90°C y 150°C , control automático y de volumen semejante al anterior. La estabilidad y uniformidad de la temperatura será al menos de $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$. El líquido del baño deberá adquirirse para un volumen equivalente a 5 cargas llenas del baño y antes de su utilización por primera

vez, se deberá calentarlo a 100°C para eliminar el agua de su contenido y evitar formación de burbujas de vapor de agua durante la comparación.

1.3.2.6 Baño de aceite de Silicona, semejante al anterior, con un rango de utilización de 120°C a 300°C. Con estabilidad y uniformidad de temperatura de al menos $\pm 0,02^\circ\text{C}$.

1.3.2.7 Baño de Sales (fig. 1.4), que se puede emplear de 200°C a 600°C. La estabilidad y uniformidad de la temperatura será de $\pm 0,02^\circ\text{C}$.

Las sales generalmente utilizadas, son una mezcla de 55,2% de KNO_3 y 44,8% de NaNO_2 en peso.

1.3.2.8 Baño neumático de arena de utilización de 200°C a 900°C. Posee al interior un bloque homogeneizador que es generalmente de acero inoxidable y la estabilidad y uniformidad será al menos de :

$\pm 0,1^\circ\text{C}$	a	200°C
$\pm 0,1^\circ\text{C}$	a	500°C
$\pm 0,3^\circ\text{C}$	a	900°C

Dispondrá de un diámetro útil mínimo de 100 mm y altura de 500 mm .

Nota.- Los baños de comparación en lo posible deberán ser adquiridos con un dispositivo porta-termómetros (ver fig. 1.3).

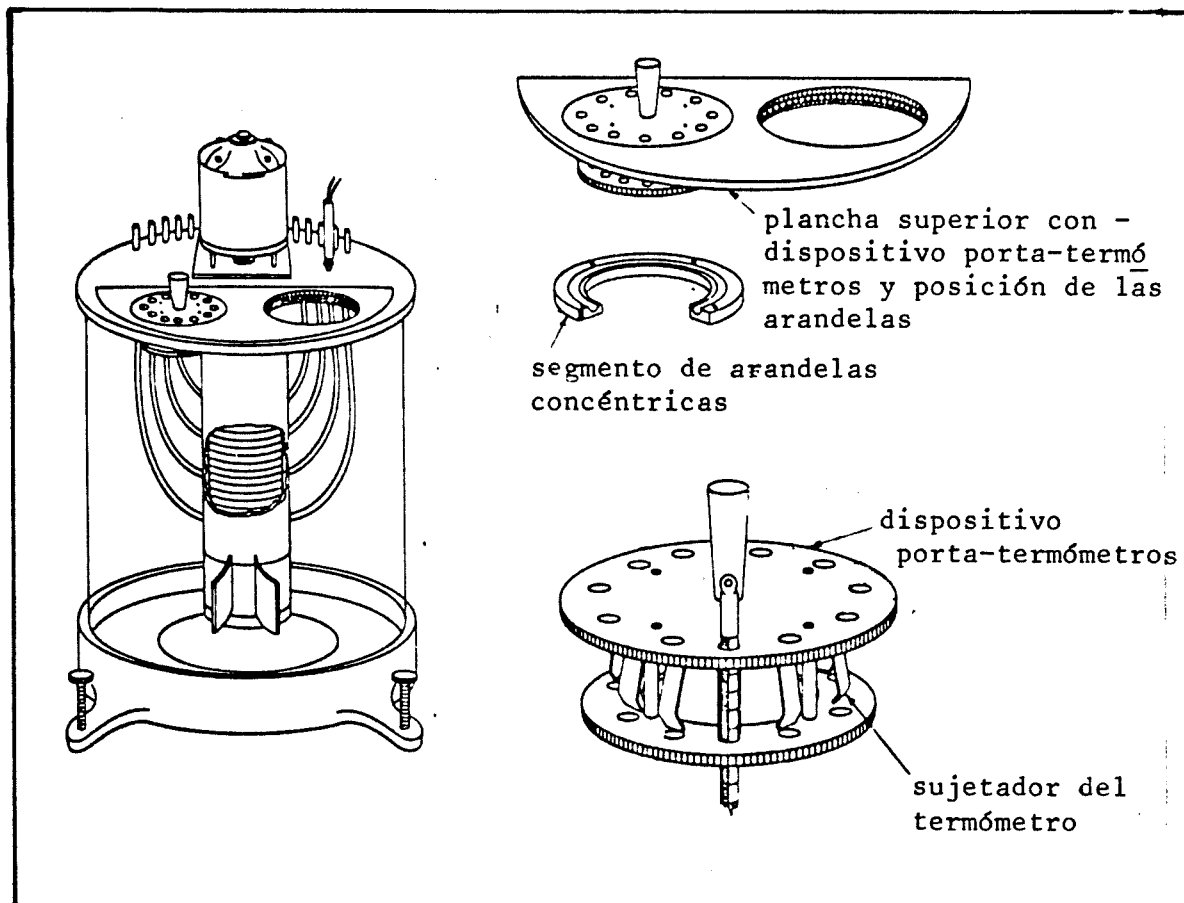


FIG. 1.3 BAÑO COMPARADOR PARA EL RANGO DE 5°C a 300°C

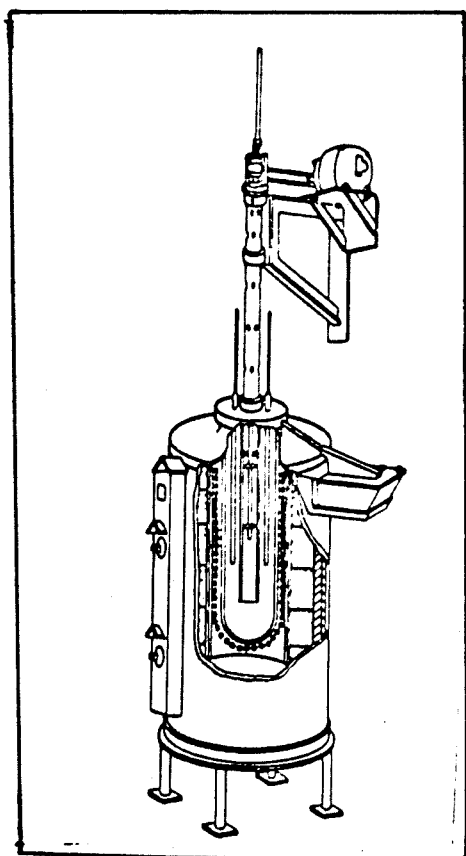


FIG. 1.4 BAÑO COMPARADOR DE SALES

1.3.2.9 Hornos Eléctricos. Los cuales son empleados para temperaturas superiores a 550°C. En la fig. 1.5 se muestra un horno con características de construcción para ser utilizado hasta una temperatura del 100°C.

La desventaja de los hornos eléctricos, respecto a los baños de comparación, es que presenta un fuerte gradiente de temperatura en su sentido longitudinal. Este efecto es disminuído con resistencias calefactoras adicionales situadas a los extremos del tubo cerámico.

Para la zona central se emplea un homogeneizador, que consiste en una pieza cilíndrica de acero inoxidable o de níquel, de 400 mm de longitud y de 100 mm de diámetro como mínimo, y con perforaciones longitudinales de 300 mm de largo en la que se introduce los termómetros a ser comparados. Estas perforaciones se distribuyen en el homogeneizador simétricamente.

1.3.3 Equipo para la realización del Punto Fijo del Hielo

1.3.3.1 Destilador de agua. De producción automática en forma continua, de capacidad de 10 l/h, y con depósito al menos de 50 l, de tipo de alambique de acero inoxidable.

El destilador se utilizará para el tratamiento del agua - que ha de ser utilizado en los baños y necesariamente en la realización del punto fijo del hielo. El agua deberá tener una conductividad no mayor de $10 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ ---

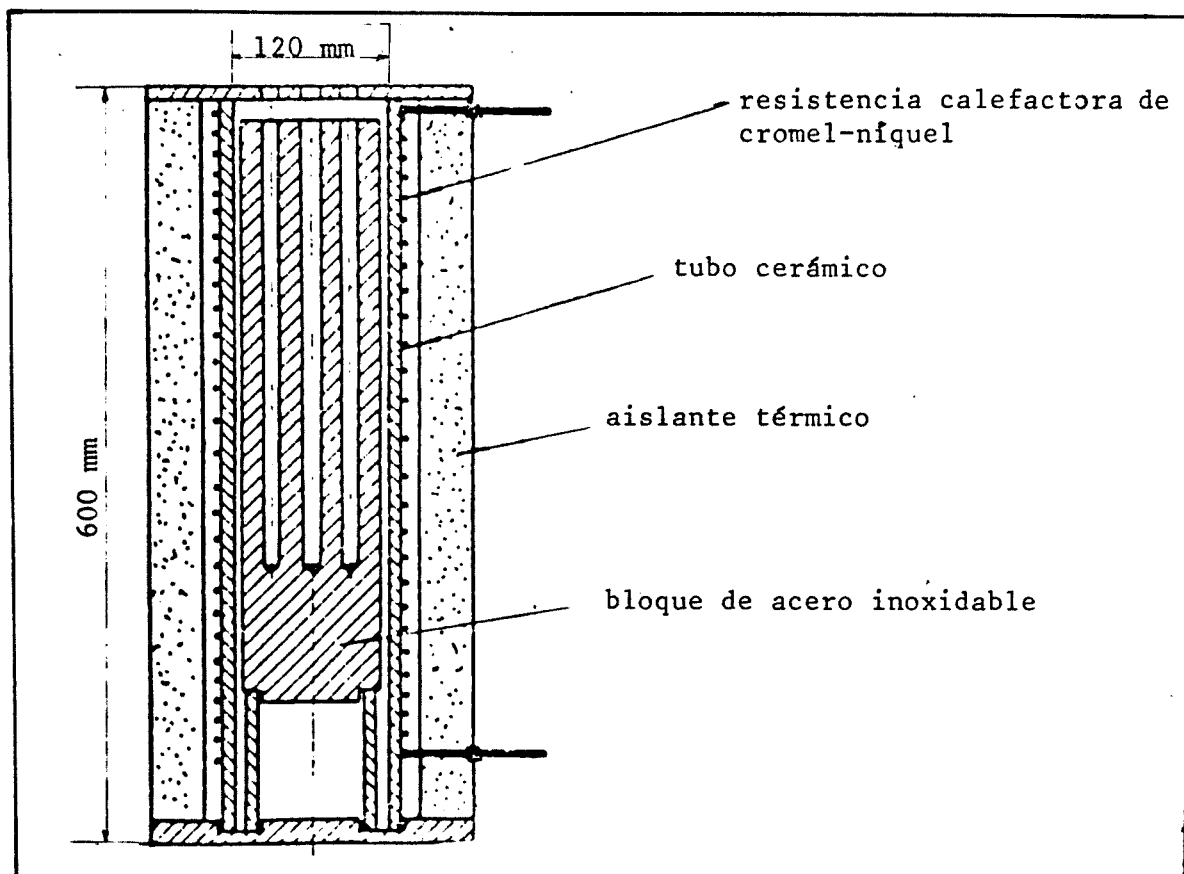


FIG. 1.5 HORNO ELECTRICO PARA CALIBRACION DE TERMOMETROS

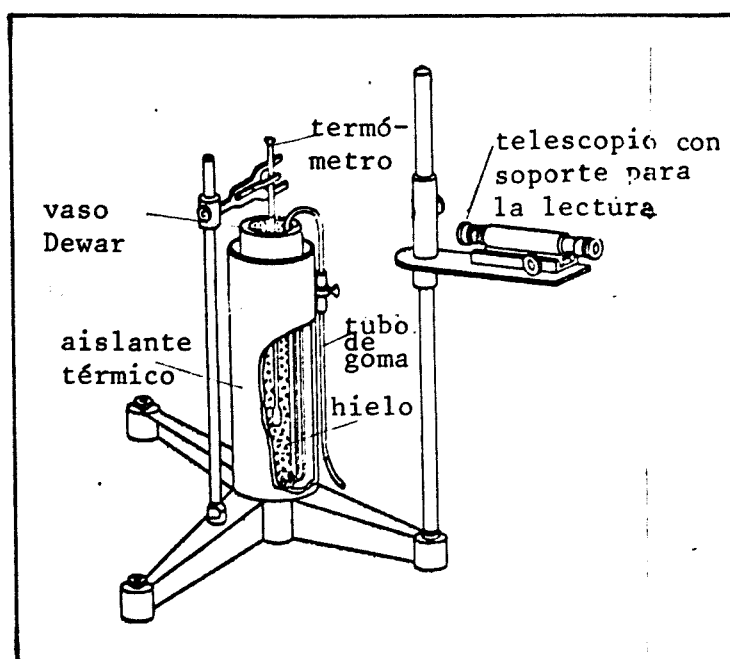


FIG. 1.6 PUNTO FIJO DEL HIELO

en la comparación de termómetros patrones; y no mayor de $1.10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ en la comparación de termómetros de trabajo industrial. La conductividad será medida a una temperatura del agua a 20°C .

1.3.3.2 Desmineralizador de agua. Del tipo de intercambiador de iones, con sistema de regulación, adecuado para una producción de al menos 10 l/h, con repuestos y medidor de la conductividad.

Se utilizará agua desionizada para los baños de comparación y también para el tratamiento del agua en la realización del punto fijo del hielo.

1.3.3.3 Máquina productora de hielo en cubos, capacidad de al menos 20 kg/día.

1.3.3.4 Máquina trituradora de hielo, con los repuestos necesarios (cuchillas, etc) y que permita obtener el hielo finamente triturado en forma rápida.

1.3.4 Equipo para la Lectura de los Termómetros de Líquido en Vidrio

Este equipo incluye un telescopio con su soporte, con distancia de lectura hasta 300 mm, lupas de aumento, y soportes de tipo trípode regulable y de base sólida o de gran estabilidad.

1.3.5 Termómetros Patrones de Resistencia de Platino/ Equipo Comparador

1.3.5.1 Termómetros Patrones de Resistencia de Pt . Los termómetros patrones primarios de resistencia de Pt se utilizan en la calibración de los termómetros patrones de líquido en vidrio, que constituyen patrones secundarios, tal como se verá más adelante en 4.8. Por lo mencionado se adiciona al conjunto de equipos que se está tratando.

Cumplirá los requisitos principales de : tener el elemento resistente sellado dentro de una atmósfera protectora, encontrarse sin ninguna tensión mecánica y su pureza debe permitir que la relación $R_{100^{\circ}\text{C}}/R_{0^{\circ}\text{C}}$ sea igual o superior a 1,392 5.

La longitud del tubo protector de cuarzo será al menos de 400 mm.

En el apéndice "D" se dan las características técnicas de dos termómetros patrones de Pt (para temperaturas medias y altas) de acuerdo a la IPTS-68 de fabricación Chino-Works Ltd.

1.3.5.2 Puente de resistencias de alta precisión, para la medición del elemento sensible de los termómetros de resistencia de Pt con 4 terminales ($R_{0^{\circ}\text{C}}=25 \Omega$), con una resolución mayor que $0,001^{\circ}\text{C}$ a 0°C . También adecuado para los termómetros de resistencia con $R_{0^{\circ}\text{C}}=100 \Omega$

Será conveniente adquirirlo con un registrador gráfico que

pueda adicionarse.

1.3.5.3 Células de punto triple del agua, de características especificadas para la realización de la temperatura termodinámica y punto $0,01^{\circ}\text{C}$ de la IPTS-68, con una precisión de al menos $\pm 0,002^{\circ}\text{C}$ o mejor.

Este punto ($0,01^{\circ}\text{C}$) es usado para determinar indirectamente la resistencia $R_{0^{\circ}\text{C}}$ de los termómetros de resistencia, sin embargo para usos corrientes, su uso puede ser pospuesto y $R_{0^{\circ}\text{C}}$ puede ser determinada directamente con el punto fijo del hielo. Se ha considerado en este listado de equipos por su naturaleza fundamental y su relativa facilidad de manejo.

NOTA.- La calibración de los termómetros de resistencia no corresponde al alcance de la presente tesis.

1.4 Realización del Punto Fijo del Hielo

El punto fijo del hielo corresponde a la temperatura de equilibrio entre las fases sólida y líquida del agua químicamente pura bajo la presión de una atmósfera. Puede lograrse fácilmente con exactitud de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ y no menor de $\pm 0,0001^{\circ}\text{C}$ pero con ciertas precauciones :

Se introduce en un recipiente Dewar el hielo puro finamente dividido y se apisona hasta formar una masa compacta, - el hielo compactado será humedecido con agua pura que previamente ha sido agitado en un recipiente adecuado para - permitir su saturación con aire y es conveniente efectuarlo cuando la temperatura del agua sea aproximadamente igual

a 0°C , ya que la solubilidad del aire en el agua aumenta cuando disminuye la temperatura. La cantidad de agua introducida en el recipiente Dewar será solo lo suficiente para eliminar el aire contenido entre las partículas de hielo y se evitará que el hielo flote dentro del recipiente introduciendo un tubo de vidrio conectado a un tubo de goma que permitirá succionar el agua sobrante y esta operación se repetirá periódicamente, reponiendo el hielo fundido. El agua utilizada en la realización de este punto fijo deberá ser desionizada y destilada.

Los termómetros deber ser lavados cuidadosamente para evitar la contaminación del agua.

En la Fig. 1.6 se aprecia la realización del punto fijo del hielo y el equipo para la lectura de los termómetros de líquido en vidrio.

1.5 Exigencias de Seguridad de Trabajo con Termómetros de Mercurio en Vidrio

- Las personas que calibran termómetros de mercurio en vidrio, deben ser instruídos sobre el manejo con mercurio.
- El local del laboratorio tiene que ser equipado con ventilación afluente común y ventilación con vitrina de tiro. La velocidad del movimiento del aire en la vitrina de tiro será no menor que 0,5 m/s.

- Cada día antes de empezar el trabajo, y al término del mismo, se necesita ventilar el local y ejecutar una limpieza húmeda del piso, mesas y otros muebles. Puede ser de 30 minutos antes de empezar y 30 minutos después de terminar el trabajo.
- Las paredes y el techo del laboratorio, deben ser pintados con pintura tipo nitroesmalte.
- El piso (o su recubrimiento) no debe tener agujeros por los cuales podría penetrar el mercurio.
- Las mesas, armarios y otros muebles tienen que tener superficies lisas e instalados sobre patas para asegurar la posibilidad de hacer limpieza bajo ellos. Las mesas para trabajos con termómetros de mercurio en vidrio, tiene que tener por sus extremos los bordes elevados o utilizar bandejas.
- Con una frecuencia determinada se debe hacer un análisis de la concentración de vapores de mercurio en el aire del laboratorio.
- Cada año en el mes establecido habrá que efectuar limpieza general del laboratorio, que incluye desempolvar el techo y paredes, lavar con agua caliente y jabón a todos los muebles, vidrios, etc.
- Se prohíbe almacenar los termómetros rotos en el laboratorio.
- El mercurio derramado se necesita recoger con una pera de goma a una lata con agua y tapón esmerilado y se

- instalará la lata y la pera de goma en la vitrina de tiro.
- Mensualmente los baños de comparación se revisan y se quitan de ellos el mercurio.
 - El personal que trabaja con termómetros de mercurio - en vidrio, debe enjuagarse la boca con una disolución adecuada antes de comer y después del trabajo.
 - El traje de trabajo se guarda separadamente de otra ropa. Se prohíbe lavarlo y/o repararlo en casa.
 - No menos de una vez al año, el personal que trabaja - en el local del laboratorio donde se calibran termómetros de mercurio en vidrio, debe pasar reconocimiento médico.
 - Se dispondrá de un extinguidor y sábanas de asbesto - para casos de incendio por inflamación de los líquidos utilizados en los baños.

ANOTACIONES

- 1 Aferición o verificación se define como el conjunto de exámenes especificados en normas metroológicas a que se somete a un medio de medición con la finalidad de determinar su correcto funcionamiento para el uso destinado.
- 2 Se explica el coeficiente de presión externa en el acápite --
2.3.2.1

II

ESTUDIO TEORICO SOBRE LA CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO

2.1 Generalidades sobre Termómetros de Líquido en Vidrio

2.1.1 Principio de Funcionamiento de un Termómetro de Líquido en Vidrio

Un termómetro de líquido en vidrio (Fig. 2.1), en adelante se expresará también como termómetro de vidrio, es un medio de medición de temperatura compuesto de un bulbo -- que consiste en un recipiente de una pared delgada de vidrio y que sirve como reservorio para el líquido termométrico, unido a un vástago de vidrio que contiene el tubo capilar a través del cual se mueve el menisco del líquido a causa de un cambio de temperatura. La parte del capilar que es ocupado con el líquido termométrico, usualmente es llenado con un gas inerte bajo suficiente presión -- para prevenir la separación del líquido termométrico. El vástago está provisto de una escala para indicar la altura que se levanta la columna del líquido y esta lectura -- indica muy cercanamente la temperatura del bulbo. Fre---cuentemente los termómetros están provistos debajo de la escala principal de una cámara de contracción (ampliación del capilar), para proteger el termómetro en caso de sobrecalentamiento. También puede estar provisto de un pun

to de referencia o de una escala auxiliar, que generalmente marca la altura del líquido termométrico en el vástago cuando el bulbo está en el punto de hielo y que permite - detectar cambios en el volúmen del bulbo.

La operación de los termómetros de vidrio se basa en que el coeficiente de expansión cúbica del líquido termométrico es mucho mayor que el del volúmen del bulbo, de allí - que algún incremento de temperatura en el bulbo causa la expansión del líquido y su levantamiento en el capilar y que la diferencia de volúmen entre el bulbo y el capilar magnifica el cambio en volúmen del líquido termométrico.

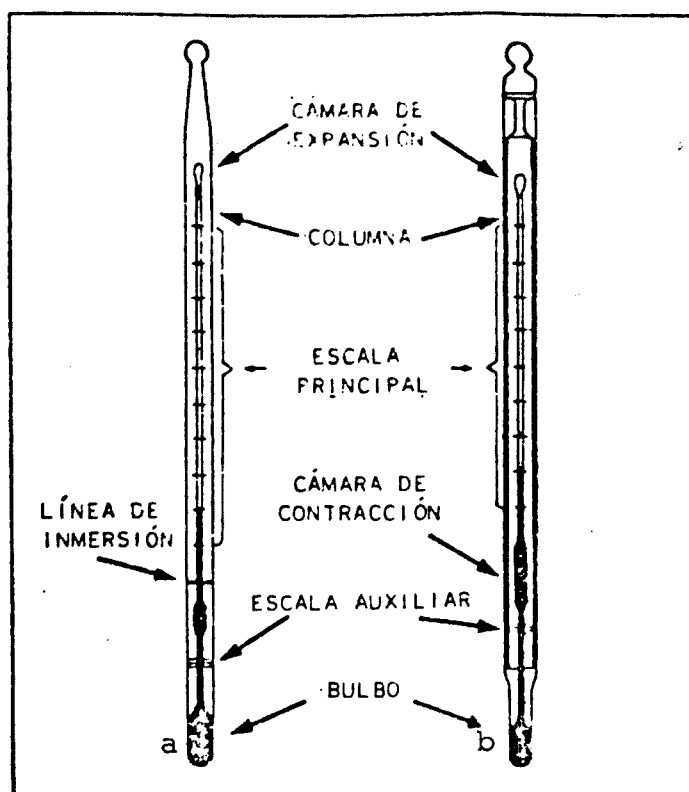


FIG. 2.1 TERMOMETROS DE VIDRIO
 a. Termómetro de escala externa.
 b. Termómetro de escala interna.

2.1.2 Clasificación de los Termómetros de Vidrio

2.1.2.1 De acuerdo al tipo de inmersión se clasifican en:

- a) Termómetro de Inmersión Parcial; el cual indica temperaturas correctas cuando el bulbo y una porción específica del vástago son expuestos a la temperatura a medir.
- b) Termómetro de Inmersión Total; el cual indica temperaturas correctas cuando justo la porción del termómetro conteniendo el líquido termométrico es expuesto a la temperatura que está siendo medida.
- c) Termómetro de Inmersión Completa; el cual indica temperaturas correctas cuando el termómetro entero es expuesto a la temperatura a medir.

2.1.2.2 De acuerdo a la posición de la escala, pueden ser:

- a) Termómetro de escala externa; son termómetros cuya escala se encuentra grabada directamente sobre la cara externa del vástago (Fig. 1.1 a).
- b) Termómetro con escala interna; en estos termómetros, la escala es una lámina de vidrio, de opalina, o de cualquier otro material adecuado que está estrechamente unido al tubo capilar y se encuentran dentro de un tubo de vidrio (Fig. 1.1 b).

2.1.2.3 De acuerdo al campo de aplicación; en forma amplia se puede dividir del modo siguiente:

- a) Termómetros de laboratorio de uso general; estos termó

metros son los de uso corriente llamados comunes u or
dinarios y se fabrican tanto de escala externa como -
interna. Los termómetros de laboratorio de alta pre-
cisión se fabrican con líquidos termométricos no hu--
mectantes y su gama de medición es corta, a fin de au-
mentar la exactitud de su lectura. Estos termómetros
en lo posible deberán adquirirse con instrucciones pa-
ra su uso, certificado de calibración e información -
del coeficiente de presión externa e interna para ---
efectuar sus correcciones por cambio de presión.

b) Termómetros industriales; generalmente son fabricados
con escala interna, pueden ser rectos o angulares y -
con fundas especiales para su uso.

c) Termómetros para usos especiales; existen gran diver-
sidad de termómetros para un uso específico, tales co-
mo los que se mencionará a continuación:

- Termómetros de contacto; son empleados en la regula-
ción de la temperatura de los baños y hornos eléc--
tricos. Con un dispositivo correspondiente al ter-
mómetro, se abre o cierra su circuito eléctrico de
alimentación, cuando mediante el indicador del ter-
mómetro se encuentra a una temperatura fijada previa-
mente.

- Termómetros de máxima; sirven para determinar tempe-
raturas máximas. Poseen un dispositivo de máxima -
que permite el paso del Hg cuando éste se dilata, -

pero evita su descenso cuando el termómetro se enfría y el Hg se contrae. Otro tipo de termómetro de máxima es aquel que dispone de un índice de acceso y colocado dentro del capilar en el espacio situado por encima del menisco de la columna de Hg y cuando se produce un aumento de temperatura el índice es arrastrado simultáneamente con el Hg pero su posición permanece inalterable cuando el Hg se contrae. Mediante un imán se coloca el índice nuevamente en contacto con el menisco de la columna de Hg.

- Termómetros de mínima; sirven para determinar las temperaturas mínimas. Se utiliza generalmente el alcohol como líquido termométrico. Cuando hay un descenso de la temperatura el menisco de la columna de alcohol lleva consigo un pequeño índice de acero colocado en el capilar y sumergido en el alcohol, en cambio cuando hay un aumento de temperatura la posición del índice no es afectada.

- Termómetros para medir las temperaturas en profundidades de lagos y mares; cuyo funcionamiento es el siguiente:

Cuando el termómetro alcanza la profundidad que se quiere medir, se invierte su posición con un movimiento mecánico y luego el Hg atraviesa un pequeño estrechamiento que se encuentra situado por encima del bulbo, depositándose en otra columna. La lon-

gitud de Hg en éste último, dá una medida de la temperatura después de realizarse las correcciones por efecto de la presión.

- Termómetros Beckmann.
- Termómetros para hipsómetros ó hipsométricos.
- Termómetros de columna.
- Termómetros para calorímetros ó calorimétricos.
- Termómetros clínicos, etc.

En el apéndice "E" se presenta la diversidad de termómetros de vidrio, fabricados por Arba Termómetros Brasil Ltda. , con sus correspondientes aplicaciones.

2.1.3 Fabricación de un Termómetro de Vidrio

Los elementos necesarios para la construcción de un termómetro de vidrio está en función del rango de temperatura al que será destinado su uso y la precisión y exactitud deseada. Se menciona a continuación los requisitos que en general se cumplen para la fabricación de termómetros de vidrio.

2.1.3.1 Vidrios Termométricos.

El vidrio con el cual es construido el termómetro tiene una importancia fundamental para el futuro comportamiento del mismo. Antes de proceder al grabado de la escala, generalmente se estabiliza el vidrio mediante un tratamiento térmico, exponiéndolo a la temperatura que será utili-

zado durante 10 ó 30 horas, esto permitirá eliminar las tensiones internas del vidrio.

Una inestabilidad del vidrio producirá un cambio de las indicaciones con el tiempo, sobre todo para termómetros - cuya escala se extiende encima de los 200°C.

La relación adjunta detalla algunos vidrios de optima calidad usados generalmente en la construcción de termómetros, sus fabricantes y las temperaturas máximas a las que podrán ser expuestas.

Vidrio	Fabricante	Temperatura Máxima (°C)
Vidrio normal	Whitefriais Glass Ltd.	350
Vidrio normal dial	Plowden Thompson Ltd.	350
Vidrio normal gige eff.	Glaswerk - Gustov Fischer.	350
Vidrio normal	Corning Glass Co.	350
Vidrio 349 T	Cristalleries Verreries Réunies.	350
Vidrio normal 16"	Jenaer Glaswerk Schott u Genossen.	430
Vidrio normal N.W.	Glaswerk Wertheim	430
Vidrio N° 2 877	Jenaer Glaswerk Schott u Genossen.	450
Vidrio de Borosilicato.	Whitefriars Glass Ltd.	460
Borosilicato de Corning.	Corning Glass Co.	450
Vidrio de termómetro N° 2 954	Jenaer Glaswerk Schott u Genossen.	480
Supremax (vidrio N° 8 409)	Jenaer Glaswerk Schott u Genossen.	630
Cuarzo	Jenaer Glaswerk Schott u Genossen.	1 000

2.1.3.2 Líquidos Termométricos

Los líquidos termométricos son de diferente naturaleza, - depende del rango de temperatura al que será destinado para su uso. Estos pueden ser:

2.1.3.2.1 Líquidos termométricos no humectantes o metálicos :

a) El Mercurio (Hg) es el principal entre estos líquidos y es utilizado en un amplio rango de temperaturas, pues solidifica a $-38,86^{\circ}\text{C}$ y ebulle a los $356,66^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica normal.

Este rango puede ser extendido a temperaturas superiores inyectando en el termómetro un gas inerte a varias atmósferas de presión.

b) La aleación Hg - 8,7% talio, es también de uso difundido y de características físicas muy semejantes al Hg.

Tiene la desventaja de ser muy fácil a la oxidación -- por lo cual su uso se restringe a termómetros con rangos de escala de -58°C a $+30^{\circ}\text{C}$.

c) El galio que es un metal de color verde negruzco, de punto de fusión y de ebullición de $29,78^{\circ}\text{C}$ y 1983°C respectivamente, se le utiliza como líquido termométrico para altas temperaturas.

2.1.3.2.2 Líquidos Humectantes.

Para rangos de temperaturas inferiores a -58°C y donde la utilización de la aleación Hg - 8,7% Talio no es posible,

se emplean líquidos orgánicos. Los más importantes son - los siguientes :

a) Pentano, se utiliza con rangos de escala de -200°C a 30°C

b) Alcohol, se utiliza con rangos de escala de -110°C a 210°C

c) Toluol, se utiliza con rangos de escala de -90°C a --- 110°C

Los líquidos orgánicos frente a los líquidos metálicos -- presentan algunas desventajas :

- Humedecen las paredes del capilar es decir, cuando se produce un descenso de temperatura no desciende simultáneamente toda la columna de líquido orgánico.
- Requiere colorante para ser visualizado.

2.1.3.3. Llenado de Gas

Para evitar la evaporización del Hg en termómetros que - miden temperaturas superiores a 100°C , se utiliza un gas inerte colocado en la cámara de expansión con una determinada presión de acuerdo a la temperatura máxima de utilización del termómetro. El gas inerte así como el argón o nitrógeno, debe estar libre de humedad y oxígeno. La presión de llenado depende de la temperatura máxima a que ha de ser utilizado el termómetro de Hg, así tenemos :

1 atmósfera para 350°C

4 a 5 atmósferas para 450°C

20 atmósferas para 550°C

Para termómetros que miden temperaturas inferiores de --- 100°C, es opcional su uso.

2.1.3.4 Escala del Termómetro

Las dimensiones del termómetro y de su escala se determinan en función de su optima utilización y facilidad en su lectura.

El mínimo valor de temperatura que puede grabarse sobre la escala tiene que ser mayor que la temperatura de solidificación del líquido termométrico y la máxima temperatura no excede el valor de la máxima temperatura a que puede ser utilizado el vidrio con que se ha construido el -- termómetro.

Usualmente la escala del termómetro son grabados en intervalos de 0,01°C; 0,02°C; 0,05°C; 0,1°C, 0,2°C; 0,5°C; --- 1°C; 2°C; 5°C ó 10°C y que está relacionado con el rango de temperatura que cubre, como se puede apreciar en la Tabla 2.1.

Existen también termómetros con graduación de 0,25°C pero causan dificultades en las lecturas de sus indicaciones, por lo cual tienden a desaparecer.

TABLA 2.1 INTERVALOS DE TEMPERATURA EN LA FABRICACION DE
TERMOMETROS DE VIDRIO

Intervalo de temperatura (°C)	Rango de temperatura para :	
	Líquidos no Humectantes	Líquidos Humectantes
0,01	- 5°C a 60°C	-
0,02 - 0,05	- 5°C a 110°C	-
0,1	-58°C a 110°C	-
0,2	-58°C a 210°C	-
0,5	-58°C a 310°C	- 58°C a 110°C
1	-58°C a 625°C	-200°C a 210°C
2 - 5 - 10	desde -58°C	-200°C a 210°C

En la escala principal puede estar contenido el punto de referencia, que ha de ser fácil de calibrar como el 0°C ó 100°C, o de lo contrario se graba una escala auxiliar que contiene este punto de referencia con divisiones de escala superiores e inferiores a este punto de referencia y se mantienen el mismo valor de la mínima división que para la escala principal. El punto de referencia en la mayoría de los casos es el punto de hielo ó 0°C.

En los termómetros de escala externa, debido a la distancia existente entre la escala y el capilar son comunes los errores de paralaje que se pueden disminuir utilizando lupas especiales en la lectura.

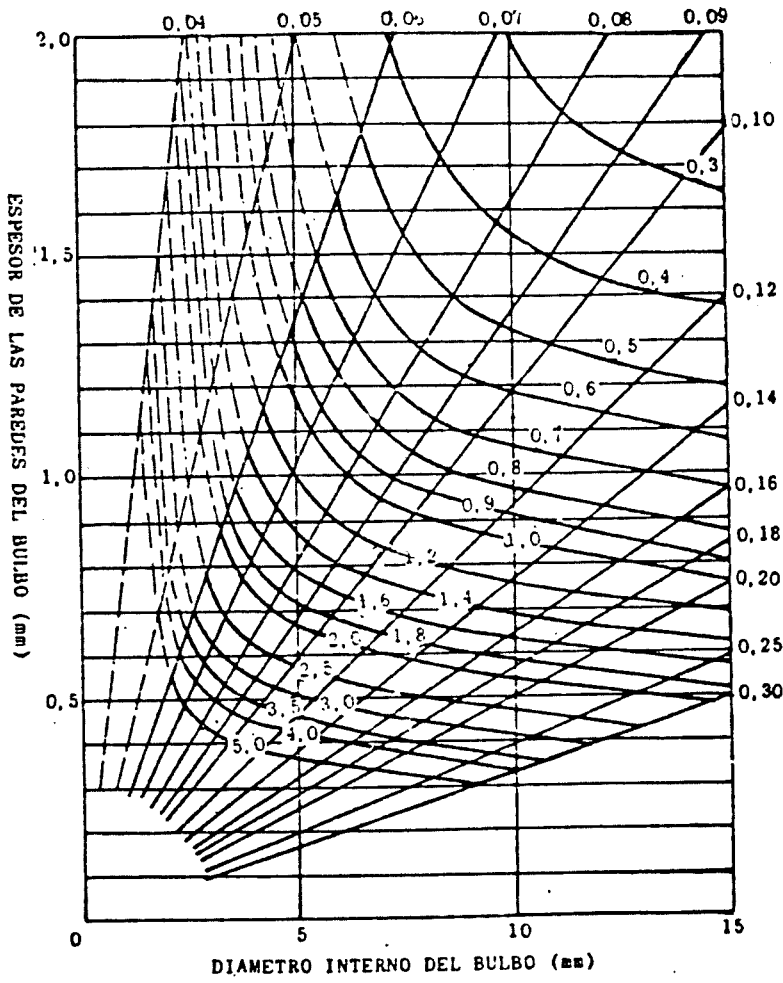
En los termómetros de escala interna, en los cuales la dis

tancia entre la escala y el capilar es muy pequeña, los errores de paralaje son despreciables pero habrá que evitar o detectar un desplazamiento relativo entre la escala y el tubo capilar, por lo cual debe disponer de una marca grabada sobre el capilar que indica la posición correcta de la escala.

2.1.3.5 Influencia de las dimensiones del bulbo y del diámetro del agujero del tubo capilar sobre el comportamiento del termómetro de vidrio. La experiencia en la fabricación de termómetros ha demostrado que la longitud del grado, sobre la escala, tiene un límite práctico mas allá del cual la combinación de fuerzas capilares y de las fuerzas restauradoras de las paredes del bulbo darán origen a un movimiento errático o a salto de la columna de Hg, que se traduce en una disminución de la exactitud y de la precisión de la medida y pueden producirse variaciones de $0,005^{\circ}\text{C}$ y $0,01^{\circ}\text{C}$.

Los efectos de las fuerzas capilares pueden manifestarse - bajo estas tres formas :

- Saltos del menisco de la columna de Hg.
- Cambios en las indicaciones del termómetro cuando éste es sometido a alguna vibración.
- Diferencia entre las lecturas del termómetro para una misma temperatura calibrada, variando la temperatura del medio dentro del cual está sumergida, primero en forma ascendente y luego descendente.



Las líneas radiales representan el diámetro de la luz del tubo capilar en mm (mínimo recomendado: 60µm)

Las líneas curvas representan la longitud del bulbo como fracción o múltiplo de la longitud de un grado Celsius de la escala.

Fig. 2.2 DIMENSIONES DEL BULBO RECOMENDADAS SEGUN HALL Y LEAVER (Ref. {14})

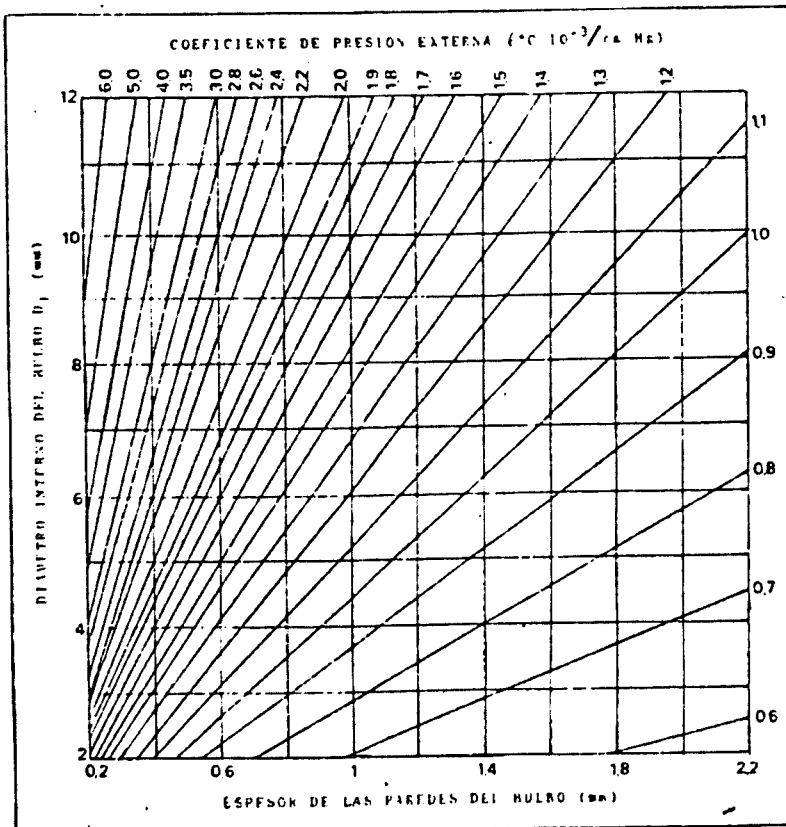


Fig. 2.3 COEFICIENTE DE PRESION EXTERNA EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES DEL BULBO.

Estos efectos serán reducidos al máximo, si se cumple - la siguiente condición :

$$\frac{\beta_e}{d} < 15$$

Donde :

β_e : Coeficiente de presión externa, expresado en °C/mm Hg.

d : Diámetro de la luz del tubo capilar en mm, cuyo valor mínimo no debe ser inferior a 60 μm

Bajo estas condiciones, los saltos de menisco de la columna de Hg no excederá de 0,002°C.

Las Fig. 2.2 y 2.3 permiten deducir las dimensiones del bulbo que cumple la condición expresada para diferentes diámetros de la luz del tubo capilar.

2.2 Definiciones de Términos Referidos a la Calibración de Termómetros de Vidrio

Calibración .- Consiste en realizar un conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de los errores de medición y proceder a su ajuste o a expresar aquellos mediante una tabla o curva de corrección.

Valor Real de la Temperatura .- Es el valor que caracteriza a la temperatura perfectamente definida en las condiciones existentes en el momento en que este valor es examinado.

Valor Verdadero o Convencionalmente Verdadero de la Temperatura.- Es un valor aproximado del valor real de la temperatura con la finalidad de que este valor pueda ser determinado y empleado.

Patrón.- Instrumento de medición destinado a definir, conservar ó reproducir la unidad de medida de una magnitud -- (un múltiplo ó sub-múltiplo de esa unidad) para transmitirla a otros instrumentos de medición.

Error de la Medición.- Discordancia entre el resultado de la medición y el valor verdadero de la magnitud medida.

Corrección.- Valor que es necesario ajustar algebraicamente al resultado de la medición para obtener el resultado corregido.

Incertidumbre de la Medición.- Características de la dispersión de los resultados de la medición.

Tolerancia.- Es el máximo valor que podrá desviarse la indicación de la magnitud medida, respecto a su valor convencionalmente verdadero.

Exactitud.- Es el valor más cercano al valor verdadero de la temperatura cuando todas las correcciones han sido -

aplicadas y los errores no medibles estimados, depende -- de las características propias del termómetro, como : estabilidad del vidrio, uniformidad del capilar, graduación de la escala, etc.

Precisión.- Está referido a la repetibilidad de las indicaciones de un termómetro respecto de un valor medio, duranante la medición de una misma temperatura. Un termómetro puede ser de gran precisión, pero no es de gran exactitud necesariamente.

Sensibilidad.- Se define como la longitud de la columna del líquido termométrico, cuando la temperatura del bulbo varía en 1°C.

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (\text{mm}/^{\circ}\text{C})$$

Donde :

ΔL : Longitud del líquido termométrico, para un ΔT determinado.

ΔT : Aumento de temperatura.

Esta definición es útil para determinar los valores de temperatura sobre el termómetro que no sea posible conocer a través de la escala grabada.

Coeficiente relativo de expansión cúbica del líquido termométrico respecto al vidrio con el cual está construido el termómetro (γ) .- Los valores de γ , en adelante coeficiente relativo de expansión cúbica, depende de la clase de vidrio con el cual fué construido el termómetro, y también el intervalo de temperatura en el cual es utilizado - y será determinado como se verá más adelante.

Cuando las mediciones no requieran gran exactitud, se utilizan para cualquier rango de temperatura los valores siguientes :

Líquido Termométrico	γ
Hg y Hg - Talio	0,000 16°C^{-1}
Galio	0,000 10°C^{-1}
Pentano, alcohol, tolueno.	0,001 $^{\circ}\text{C}^{-1}$

En mediciones de gran exactitud y precisión podrá utilizarse los valores de γ de las tablas 2.2 y 2.3 para diferentes líquidos termométricos.

TABLA 2.2 VALORES DE γ PARA LIQUIDOS NO HUMECTANTES

TEMPERATURA °C	NORMAL 16" °C ⁻¹	N°2 954 °C ⁻¹	Supremax °C ⁻¹	Cuarzo °C ⁻¹
0	0,000 158	0,000 164	0,000 172	0,000 181
50	0,000 158	0,000 164	0,000 172	0,000 181
100	0,000 159	0,000 165	0,000 173	0,000 182
150	0,000 160	0,000 166	0,000 174	0,000 184
200	0,000 161	0,000 168	0,000 176	0,000 186
250	0,000 163	0,000 170	0,000 179	0,000 189
300	0,000 166	0,000 173	0,000 182	0,000 193
350	0,000 170	0,000 177	0,000 186	0,000 197
400	0,000 175	0,000 182	0,000 191	0,000 203
450	-	0,000 189	0,000 197	0,000 209
500	-	-	0,000 204	0,000 216
600	-	-	0,000 222	0,000 234
700	-	-	-	0,000 254

TABLA 2.3 VALORES DE γ PARA LIQUIDOS HUMECTANTES

Temperatura °C	Pentano °C ⁻¹	Alcohol Toluol Xilol °C ⁻¹
-200	0,000 9	-
-150	0,000 9	-
-100	0,001 0	0,001
- 50	0,001 3	0,001
0	0,001 5	0,001
50	-	0,001
100	-	0,001

2.3 Causas de Errores en la Indicación de un Termómetro de Vidrio

En un termómetro de vidrio, el valor de la medida de la temperatura estará afectado de un error como sucede en cualquier medición, por lo que en medidas que requieran alguna exactitud ésta deberá ser convenientemente evaluado.

Se define el error de una medida (E) como la diferencia :

$$E = T_i - T_V \quad (2)$$

T_i = temperatura que indica el termómetro.

T_V = temperatura verdadera, que es la que indicará el termómetro si estuviera libre de errores.

La corrección de la indicación de la medida se expresa como :

$$C = -E \quad (3)$$

Luego :

$$T_V = T_i + C \quad (4)$$

A continuación se dan a conocer las principales fuentes de errores :

2.3.1 Error de Cero

Por efecto de las tensiones internas del vidrio existentes , aún después del adecuado tratamiento térmico, se observa variaciones en las indicaciones del termómetro a través del tiempo y uso del mismo.

Estas variaciones se producen en todo el termómetro sin embargo, el volumen de la luz del tubo capilar es despreciable comparada con el volumen del bulbo, por lo que se podría asumir que las variaciones observadas en la indicación de un termómetro, son debidas casi exclusivamente a variaciones en el volumen del bulbo y trae como consecuencia que los cambios en magnitud y signo de las indicaciones en los diferentes puntos de la escala del termómetro sean iguales a los cambios en la indicación del 0°C (o de cualquier otra temperatura adecuada), por lo cual se denomina a estas variaciones error de cero. Lo referido no es estrictamente aplicable para termómetros que miden temperaturas superiores a 500°C .

El error de cero, según su origen, puede ser de dos maneras : Depresión temporal y Aumento Secular.

2.3.1.1 Depresión Temporal del Cero

La depresión temporal del cero, se define como la diferencia que existe entre la lectura del termómetro correspondiente a la temperatura de 0°C , antes e inmediatamente después que el termómetro ha sido expuesto a una temperatura determinada.

La depresión temporal se origina porque el volumen del bulbo del termómetro que ha estado expuesto a una temperatura superior a la temperatura ambiente, no se contrae inmediatamente al ser enfriado rápidamente a temperatura ambiente,

sino después de un cierto tiempo que depende de la composición del vidrio, de la velocidad con que ha sido enfriado y de la temperatura a la que estuvo expuesto.

Si el termómetro que está expuesto a una temperatura alta es llevado a temperatura ambiente, en forma lenta de $0.15^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ no habrá depresión temporal, pero si es enfriado rápidamente y se realiza la lectura correspondiente al 0°C , se encontrará un valor menor. Éste efecto desaparece generalmente :

- Aproximadamente en 7 días, si la temperatura máxima no fué mayor de 100°C .
- En un tiempo mayor, si la temperatura máxima excede de 200°C .

Para un vidrio normal tipo 16" o similar, después de haber sido expuesto a una temperatura inferior a 100°C , el valor de la depresión temporal no será mayor de $0,05^{\circ}\text{C}$.

Para un vidrio N°2 954 ó Supremax no excederá de $0,01^{\circ}\text{C}$ a $0,03^{\circ}\text{C}$. Si la temperatura expuesta fuera mayor de 200°C la depresión temporal podría ser de varias décimas de grado para estos termómetros de vidrio mencionados.

2.3.1.2 Aumento Secular del Cero

El aumento secular es el aumento en un valor de la lectura del 0°C , debido a la contracción del volúmen del bulbo que normalmente ocurre con el tiempo. El aumento secular depende del tratamiento térmico efectuado durante su fabrica

ción y del tipo de vidrio.

El aumento secular podrá ser de 10°C o más en un termómetro que ha estado expuesto a temperaturas altas continuamente, y no ha tenido un adecuado tratamiento térmico.

De un modo normal el aumento secular puede ser no mayor de $0,01^{\circ}\text{C}$ a $0,02^{\circ}\text{C}$ para el primer año (usado o no) y después de varios años puede llegar a $0,1^{\circ}\text{C}$ para termómetros que no han sido expuestos a temperaturas superiores a 150°C . Estas variaciones del bulbo son muy erráticas por lo cual pueden ser determinadas solo experimentalmente.

Se determina este aumento secular analizando la temperatura correspondiente al 0°C , como se verá más adelante.

2.3.2 Variaciones de la Presión Externa e Interna

El vidrio utilizado para la fabricación de los termómetros posee propiedades elásticas, por lo cual la indicación de la medida de la temperatura se encuentra afectada por la variación de la presión externa o interna a que está sometido el termómetro y que se han de tomar en cuenta en mediciones de precisión.

2.3.2.1 Correcciones en la indicación de un termómetro debido a variaciones en la presión externa.

El error en la medida de la temperatura debido a un aumento de la presión externa se debe a que el volumen del bulbo disminuye, lo cual ocasiona una mayor longitud de la columna del líquido termométrico, es decir una lectura mayor. La corrección que se aplica sobre la indicación es:

$$C_{pe} = - (P - P_o) \beta_e \quad (5)$$

donde :

C_{pe} = Corrección por efecto de la presión externa ($^{\circ}\text{C}$).

P = Presión externa que actúa sobre el bulbo.

P_o = Presión atmosférica igual a 760 mm Hg (101 325 Pa)

β_e = Coeficiente de presión externa ($\Delta^{\circ}\text{C}/\text{mm Hg}$).

El coeficiente β_e depende de las propiedades elásticas del vidrio, también del diámetro y espesor de las paredes. Guillaume (Ref. {14}) estableció la siguiente relación para β_e :

$$\beta_e = K \frac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} \quad (6)$$

R_e, R_i : Radio externo e interno del bulbo respectivamente.

K : Constante que depende de las propiedades elásticas del vidrio y es también un factor de conversión que permite expresar el cambio de volumen del bulbo en términos del cambio de la indicación del termómetro expresado en grados Celsius.

Su valor es igual a $5,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm Hg}$.

β_e también puede ser determinado gráficamente de la Fig. 2.3 vista anteriormente.

Los valores experimentales de β_e son generalmente un 25% menores que los deducidos de la fórmula de Guillaume. Generalmente para termómetros que tienen su diámetro del bulbo comprendido entre 5 y 7 mm, su valor no excede de ----
0,1°C/atm.

Estas correcciones por presión externa, son importantes - para termómetros con graduación de 0,01°C ó 0,02°C y también cuando se miden temperaturas en líquidos de alto peso específico, se recomienda realizar una determinación experimental de β_e .

2.3.2.2 Corrección en la indicación de un termómetro debido a variaciones de la presión interna.

Las variaciones de la presión interna se debe a cambios - en la presión capilar ejercida por el menisco del líquido termométrico y/o cambios en la presión hidrostática ocasionada por la columna del líquido termométrico o de la presión del gas inerte. Estas variaciones son apreciables para termómetros de Hg en vidrio (en adelante termómetros de Hg).

La explicación del primer efecto mencionado es el siguiente :

A causa de algún aumento de temperatura, el menisco de la columna se hace más convexo, con lo cual aumenta la pre-

sión capilar sobre las paredes del bulbo, aumentando su volúmen hasta que esta sobrepresión es igualada por la contrapresión debido a las fuerzas restauradoras de las paredes del bulbo. Después de esto el menisco efectúa un salto de milésimo de grado y se hace menos convexo. El proceso se repite con el aumento de temperatura, de modo que la columna de Hg no se mueve en forma continúa sino por una serie de saltos.

El coeficiente de presión interna, β_i se define como el cambio en grados Celsius en la lectura del termómetro debido a las variaciones de 1 mm de Hg en la presión interna. Su valor aproximado está dado por la siguiente expresión :

$$\beta_i = \beta_e + 1,5 \cdot 10^{-5} ; (\text{°C/mm Hg}) \quad (7)$$

para termómetros de
escala graduada en
°C .

Los errores en la indicación de un termómetro debido a un cambio de la presión interna, en general son de un 10% mayores que las producidas por un cambio equivalente de la presión externa.

El segundo efecto se explica del siguiente modo :

Cuando la posición del termómetro es vertical hay un aumento de la presión hidrostática ejercido por la columna de Hg (en los termómetros de Hg es apreciable) que aumenta el volúmen del bulbo y también comprime el Hg conteni

do dentro del mismo, lo que origina una disminución de la longitud de la columna de Hg. Por lo cual cuando un termómetro que ha sido calibrado para ser utilizado en posición vertical se le emplea en otra posición, se le aplicará la siguiente corrección:

$$C_{pi} = - \beta_i L (1 - \cos \alpha) \quad (8)$$

donde :

C_{pi} : Corrección por efecto de la presión interna.

β_i : Coeficiente de presión interna.

L : Es la longitud de la columna de Hg en el momento de la observación.

α : Es el ángulo que forma el termómetro con la vertical.

Este valor en general no es mayor de $-0,05^\circ\text{C}$, también podrá determinarse experimentalmente con un baño a temperaturas constantes, por ejemplo 100°C , colocándolo primero en forma vertical y luego horizontal.

También ocurrirá un efecto similar al descrito cuando un termómetro de Hg lleno con un gas inerte es expuesto a temperaturas excesivas, en estos casos se ha de tratar de emplearlo correctamente pues no existe una expresión matemática que permita hacer las correcciones en las indicaciones del termómetro.

2.3.3 Retardo

El retardo del termómetro viene a ser la diferencia de temperatura que existe entre el termómetro y el medio - que lo rodea en la unidad de tiempo y se expresa por la relación:

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{1}{\tau} (\theta - \theta_b) \quad (9)$$

- τ : Constante de tiempo o retardo.
 θ : Temperatura a la que se encuentra el termómetro al ser introducido en el baño.
 θ_b : Temperatura del baño de comparación.

Se va a resolver la ecuación (9) según los dos casos más generalizados en la práctica: la temperatura del baño de comparación se mantiene constante durante la medición y la temperatura del baño varía en forma uniforme.

2.3.3.1 Temperatura del Baño Constante

De acuerdo a esta condición la ecuación (9) tiene como solución :

$$\theta_t = \theta_b - (\theta_b - \theta_i) e^{-t/\tau} \quad (10)$$

donde :

- θ_t : temperatura del termómetro después de un tiempo t de haber sido introducido en el baño.
 θ_i : temperatura que poseerá el termómetro en el tiempo $t = 0$

Según (10) el termómetro no adquiere la temperatura del baño en forma instantánea, sino que tiende a ello en forma asintótica, tal como se aprecia en la Fig. 2.4

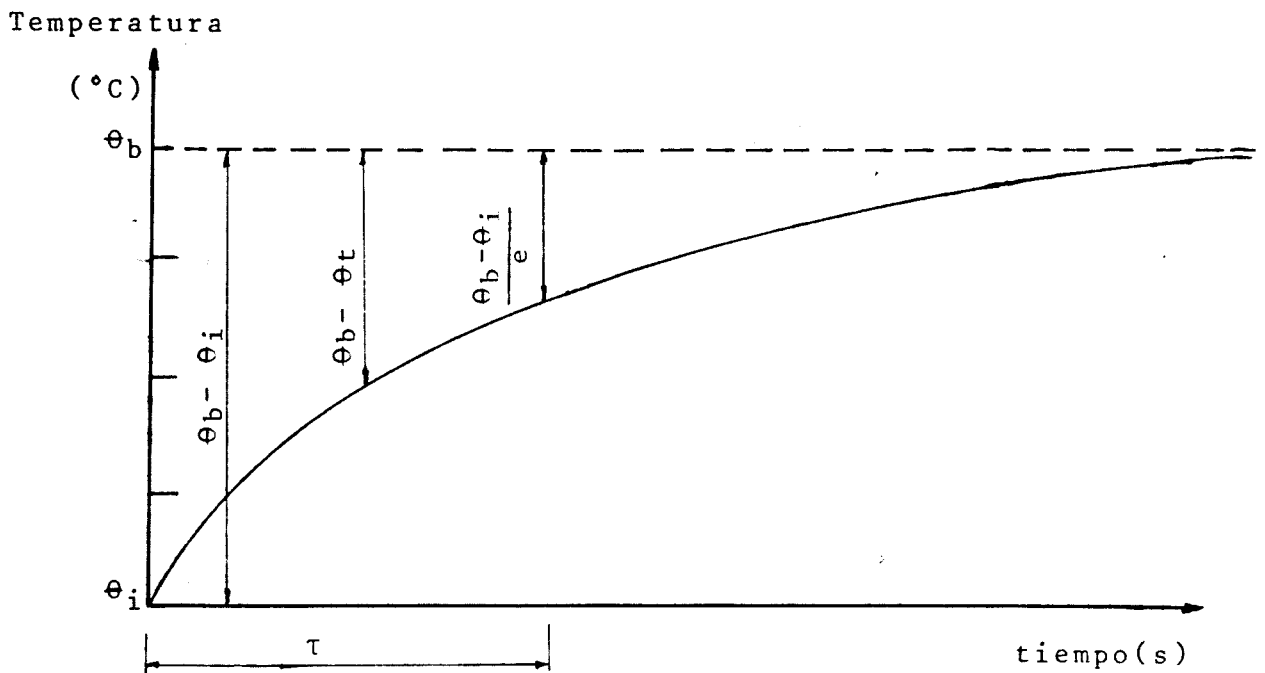


Fig. 2.4

VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL TERMOMETRO
HASTA ALCANZAR LA TEMPERATURA CONSTANTE DEL
BAÑO θ_b

La constante de retardo, τ , cuantitativamente es el tiempo necesario para que se cumpla la igualdad :

$$\theta_b - \theta_t = \frac{\theta_b - \theta_i}{e} \approx 0,37 (\theta_b - \theta_i)$$

Esta constante depende del tipo de termómetro, de las características del medio y de la velocidad del medio respecto al termómetro (ver Tablas 2.4 y 2.5).

Los valores de τ de las Tablas 2.4 y 2.5 indican que para evitar el error por retardo se ha de permitir un tiempo para que el termómetro adquiriera la temperatura del medio dentro del cual está sumergido. De lo contrario la indicación del termómetro sumergido en un medio a la temperatura constante θ_b estará afectado de un error transitorio (E_t) que se deduce de (10) y se expresa como :

$$E(t) = \frac{\theta_b - \theta_t}{\theta_b - \theta_i} = e^{-t/\tau} \quad (11)$$

Para un termómetro de escala interna por características de su construcción en general, habrá que esperar algunos minutos antes de realizar una medición.

2.3.3.2 Temperatura del baño variando uniformemente.

De acuerdo a la condición mencionada :

$$\frac{d\theta}{dt} = K \quad (12)$$

Luego reemplazando (12) en (9) se tiene :

$$K = \frac{1}{\tau} \Delta\theta$$

donde :

$$\Delta\theta = \theta_b - \theta_t$$

TABLA 2.4 VALORES DE τ EXPRESADOS EN SEGUNDOS PARA VARIAS VELOCIDADES DE TRES MEDIOS DIFERENTES CON RESPECTO A UN TERMOMETRO COMUN DE BULBO PEQUEÑO.

Veloc.del medio con respecto al bulbo en cm/s.	0	1	5	10	50	100	500	1000	∞
Agua	10,0	5,1	3,3	2,9	2,4	2,3	-	-	2,2
Aceite	40 a 50	13,4	7,5	6,4	4,8	-	-	-	
Aire	190	170	148	128	71	58	33	25	

TABLA 2.5 VALORES DE τ PARA ALGUNOS TIPOS DE TERMOMETROS EN UN BAÑO DE AGUA.

TIPO	B U L B O		τ (s)
	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	
Común	4,5	25	2,1
Calorimétrico.	9,0	52	4,8
Beckmann	13,0	40	8,7

Por ejemplo si un termómetro posee una constante de tiempo $\tau = 4\text{s}$ y la velocidad de variación de la temperatura del baño en el tiempo es $K = 0,01^\circ\text{C/s}$, el retardo del termómetro será :

$$\Delta\theta = \tau K = 4 \cdot 0,01 = 0,04^\circ\text{C}$$

Este resultado indica que el termómetro indicará una temperatura de $0,04^\circ\text{C}$ inferior a la temperatura del baño.

Este efecto se transforma en una fuente de error cuando se comparan las indicaciones de termómetros con distintos retardos, como sucede durante una calibración y por lo cual es conveniente que la velocidad de variación de la temperatura del baño sea muy pequeña.

2.3.4 Error por Columna Emergente

El error por columna emergente se produce cuando el termómetro no es utilizado según sus condiciones de calibración y de diseño.

Para el cálculo de las correcciones por columna emergente es necesario conocer la distribución de temperaturas a lo largo de la columna emergente o su temperatura media. Para esta determinación se utiliza termómetros de columna y comunes, con disposiciones como se muestra en las figuras 2.5 .

En la figura 2.6 se aprecia curvas típicas de distribución de temperatura por encima de un baño de agua a 85°C y 100°C .

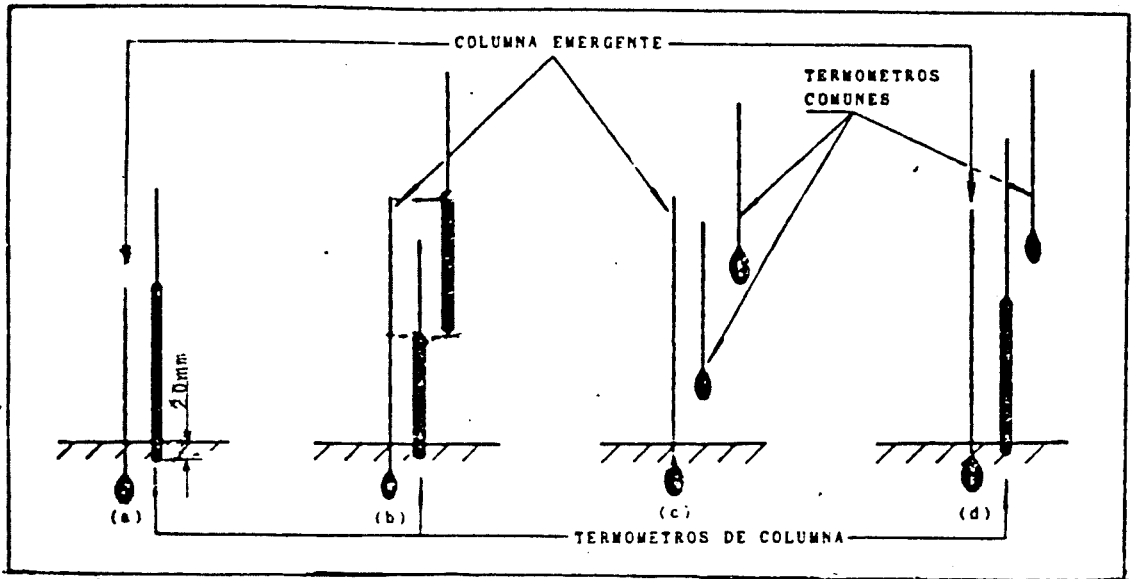


FIG. 2.5 DISPOSICIONES (a, b, c, d) PARA MEDIR LA TEMPERATURA DE LA COLUMNA EMERGENTE DE UN TERMOMETRO DE VIDRIO.

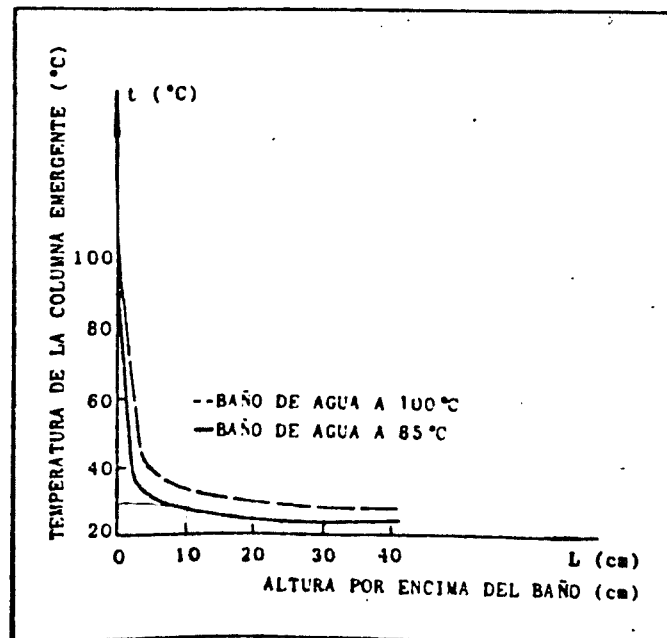


FIG. 2.6 CURVAS TÍPICAS DE DISTRIBUCION DE TEMPERATURA - POR ENCIMA DE UN BAÑO DE AGUA A 85°C Y 100°C .

A continuación se determina el valor de la corrección por columna emergente para los casos más comunes que se presentan en la utilización de los termómetros de vidrio.

2.3.4.1 Corrección por columna emergente para un termómetro de inmersión total.

Para termómetros de inmersión total utilizados como termómetros de inmersión parcial, la corrección CC estará dada por la expresión :

$$CC = \gamma (TL - TI) (tb - TH) \quad (13)$$

TL : temperatura media leída en el termómetro (temperatura que indica el menisco de la columna del líquido termométrico).

TI : temperatura sobre la escala del termómetro que se encuentra al mismo nivel que el extremo inferior - del bulbo del termómetro que mide la temperatura de de la columna emergente y cuando se usa termómetros de columna; o la temperatura sobre la escala del - mométro situado al mismo nivel que la superficie - del líquido del baño cuando se usan termómetros co-munes para medir la temperatura de la columna emer-gente.

tb : temperatura del baño.

TH : temperatura media de la columna emergente que indi-can los termómetros de columna o los termómetros co-munes.

γ : coeficiente relativo de expansión cúbica para un va
lor de T :

$$T = \frac{T_b + T_H}{2} \quad (14)$$

Para el cálculo de CC se puede realizar las siguientes -
aproximaciones :

- Primera aproximación de CC (CC')

Quando no se conoce la temperatura t_b del baño, se puede
asumir que :

$$t_b = T_L$$

Luego en (13) :

$$CC' = \gamma' (T_L - T_I) (T_L - T_H) \quad (15)$$

- Segunda aproximación de CC (CC'')

Se asume :

$$t_b = T_L + CC'$$

Luego en (13) :

$$CC'' = \gamma'' (T_L - T_I) ((T_L + CC') - T_H) \quad (16)$$

Notas :

- El proceso de aproximación podrá continuar hasta reempla
zarse para t_b el valor más cercano a la temperatura ver
dadera o convencionalmente verdadera (T_V) y que está da
do por los termómetros patrones después de sus correc
ciones, sin embargo para efectos prácticos, la aproxima
ción CC' es suficiente y tiene la diferencia con CC'' a
partir de la tercera cifra decimal.

- De 13 se deduce que el valor de CC será positivo siempre que la temperatura del baño (tb) sea mayor que la temperatura media de la columna emergente (TH).

2.3.4.2 Corrección por columna emergente para un termómetro de inmersión parcial.

2.3.4.2.1 Para un termómetro de inmersión parcial que es utilizado correctamente inmerso, pero la temperatura que rodea la columna emergente, es diferente de lo especificado durante su calibración (usualmente 20°C). La corrección por columna emergente (CC) estará dado por :

$$CC = \gamma (TL - TM) (TC - TH) \quad (17)$$

donde :

TC : temperatura del medio a que deberá estar expuesto la hasta del termómetro de inmersión parcial según sus características de calibración.

γ , TH, TL: tienen el mismo significado que en (13).

TM : temperatura sobre la escala del termómetro correspondiente a la línea de inmersión.

El valor de γ se determina para un valor de temperatura T, que está dado por :

$$T = \frac{TC + TH}{2} \quad (18)$$

Nota : Si la columna emergente del termómetro fuese muy larga, se podrá utilizar varios termómetros para determinar la temperatura media de la columna -

emergente tal como se aprecia en la fig. 2.7.

Y la corrección por columna emergente (CC) estará dada por:

$$CC = \gamma (TL - TH) (TC - T) \quad (19)$$

donde :

γ , TL , TM , TC : tienen el mismo significado que en (17).

estará dado por el valor de T :

$$T = \frac{L_1 t_1 + L_2 t_2 + L_3 t_3}{L_1 + L_2 + L_3} \quad (20)$$

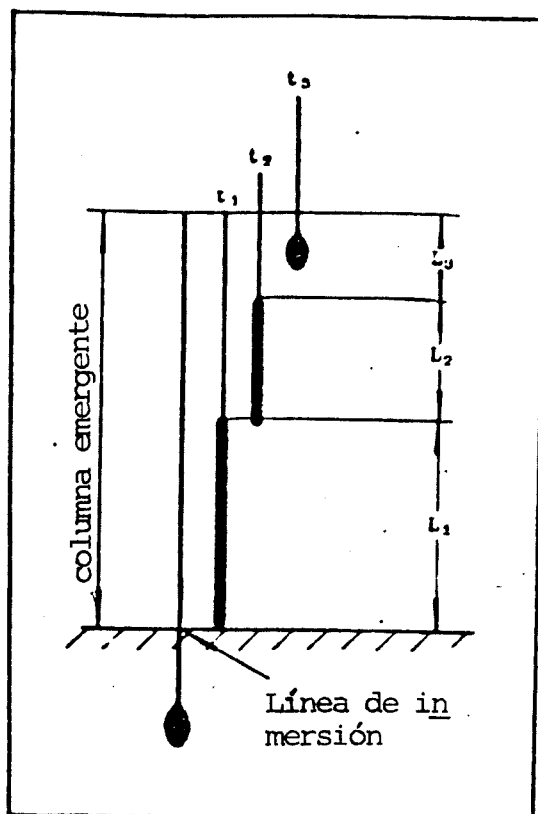


FIG.2.7 DISPOSICION PARA MEDIR LA TEMPERATURA MEDIA DE UNA COLUMNA EMERGENTE LARGA

2.3.4.2.2 Corrección de columna emergente (CC), cuando el tubo capilar del termómetro de inmersión parcial correctamente inmerso no es uniforme (ver fig. 2.8), y la temperatura del medio que rodea a la columna emergente es diferente de TC.

$$CC = \gamma_1 (TL_s - TL_i) (TC - TH_1) + \gamma_2 (TL_i - TM) (TC - TH_2) \quad (21)$$

TL_s : temperatura media leída que indica el menisco de la columna del líquido termométrico.

TL_i : temperatura medio leída al nivel de la unión de los dos capilares del termómetro.

TH_1 : temperatura media de la columna emergente a lo largo de L_1 .

TH_2 : temperatura media de la columna emergente a lo largo de L_2 .

TC, TM : tienen el mismo significado que en (17).

γ_1, γ_2 : coeficientes relativos de expansión cúbica a las temperaturas respectivas de T_1, T_2 :

$$T_1 = \frac{TC + TH_1}{2} \quad (22)$$

$$T_2 = \frac{TC + TH_2}{2} \quad (23)$$

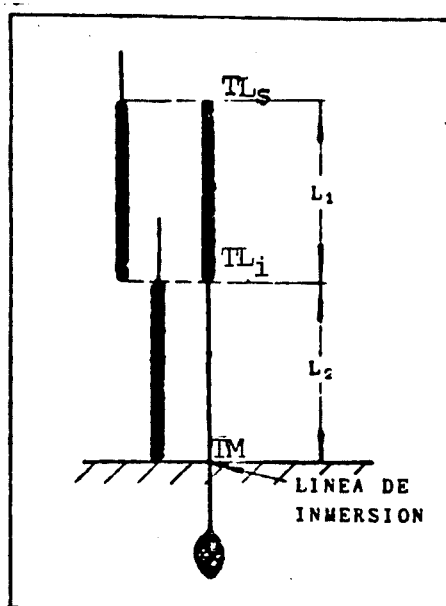


FIG. 2.8 TERMOMETRO DE INMERSION PARCIAL CON TUBO CA-
PILAR NO UNIFORME.

2.3.4.2.3 Corrección de columna emergente (CC), para un -
termómetro de inmersión parcial que es utilizado como un -
termómetro de inmersión total.

$$CC = \gamma (TL - TM) (TC - tb) \quad (24)$$

donde :

TL, tb : tienen el mismo significado que en (13).

TM, TC : tienen el mismo significado que en (17).

γ : coeficiente relativo de expansión cúbica pa-
ra la temperatura T :

$$T = \frac{TC + tb}{2} \quad (25)$$

2.3.4.2.4 Corrección por columna emergente (CC), para un termómetro de inmersión parcial del tubo capilar uniforme cuando su columna emergente se encuentra a una temperatura distinta de TC y además está incorrectamente inmerso. Se presentan dos casos :

a) La línea de inmersión está situada por debajo del nivel del baño.

$$CC = \gamma_{c_1} (TL - TI) (TC - TH) + \gamma_{c_2} (TI - TM) (TL - tb) \quad (26)$$

TL, TH, tb : tienen el mismo significado que en (13).

TI : temperatura sobre la escala del termómetro correspondiente al nivel de la superficie del líquido del baño.

TC, TM : tiene el mismo significado que en (17).

γ_{c_1} γ_{c_2} : coeficientes relativos de expansión cúbica para las temperaturas respectivas T_{c_1} , T_{c_2}
donde :

$$T_{c_1} = \frac{TC + TH}{2} \quad (27)$$

$$T_{c_2} = \frac{TC + tb}{2} \quad (28)$$

b) La línea de inmersión está situada por encima del nivel del baño.

$$CC = \gamma_{c_1} (TL - TM) (TC - TH_1) + \gamma_{c_2} (TM - TI) (tb - TH_2) \quad (29)$$

TL, tb : tienen el mismo significado que en (13).

TC, TM : tienen el mismo significado que en (17).

TI : tienen el mismo significado que en (26).

TH₁ : temperatura media de la columna emergente entre TL y TM.

TH₂ : temperatura media de la columna emergente entre TM y TI.

γ_{c_1} , γ_{c_2} : coeficiente relativo de expansión cúbica del líquido termométrico para las temperaturas Tc₁, Tc₂ .

$$Tc_1 = \frac{TC + TH_1}{2} \quad (30)$$

$$Tc_2 = \frac{TC + TH_2}{2} \quad (31)$$

Como aproximación de (29) podrá calcularse CC con la siguiente expresión :

$$CC = \gamma (TL - TM) (TC - TH) + \gamma (TM - TI) (tb - TH) \quad (32)$$

TH : temperatura de columna emergente.

γ : coeficiente relativo de expansión para la temperatura T :

$$T = \frac{TC + TH}{2} \quad (33)$$

Los términos restantes tienen el mismo significado que en (29).

III

CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO

DESARROLLADA EN EL ITINTEC

A continuación se desarrolla los aspectos teóricos - prácticos a conocer, operaciones y procedimientos a seguir para - efectuar una correcta calibración de termómetros de vidrio mediante la comparación con termómetros patrones de vidrio. Así también esta técnica podrá adecuarse para la calibración de termómetros de otros tipos constructivos comparados con termómetros patrones de vidrio o viceversa, tal como se verá más adelante.

3.1 Fallas y Defectos de un Termómetro de Vidrio y su Reparación

Las fallas y defectos más comunes en un termómetro de vidrio se presentan en la escala del termómetro y en la columna del líquido termométrico. Su detección y reparación requieren cuidado y alguna experiencia. El termómetro reparado es igualmente idéntico al termómetro nuevo y no ha perdido ninguna de sus cualidades.

3.1.1 Defectos en la Escala del Termómetro

Se presentan defectos en la escala, tales como :

- No uniformidad de las marcas, por ejemplo algunas más grandes o anchas que otras.
- Errores de grabación u omisiones, como : cuatro divisiones en vez de cinco, o no aparece la inscripción de la unidad de medida.
- Desplazamiento de la escala en un termómetro de escala encubierta.
- Despigmentación o falta de nitidez en el grabado de los trazos y números. Cuando se encuentre este tipo de defecto - será conveniente someterlos a una prueba de permanencia de las marcas.
- Rayaduras en el termómetro que impiden la lectura de la escala.

3.1.2 Defectos en la Columna del Líquido Termométrico

La columna del líquido termométrico no debe estar hidratada, fraccionada o con impurezas. A continuación se indica la - reparación de los defectos más frecuentes.

3.1.2.1 Burbujas de Gas en el Bulbo

Para eliminarlas se enfriará el termómetro sumergiéndolas en una mezcla muy fría, hasta que todo el Hg se introduzca dentro del bulbo, permitiendo la liberación de las burbujas de

gas. Puede haber necesidad de solidificar el Hg para lo -- cual se introduce en una mezcla muy fría, según la escala, - manteniéndolo en posición vertical, libre de vibraciones hasta que las burbujas de gas se liberen. Si el Hg se congela en el nacimiento del capilar, puede originarse un tapón de - Hg que puede provocar la ruptura del bulbo al aumentar su temperatura bruscamente y para evitarlo se lleva el termómetro lentamente a temperatura ambiente, retirándolo del recipiente que contiene la mezcla fría por pasos, primero la columna y después de unos minutos que ésta ha adquirido una temperatura aproximada igual a la del ambiente se retira del bulbo.

Las mezclas refrigerantes más usadas son :

$N_a NO_3$	- Hielo	hasta $-18^{\circ}C$
Sal común	- Hielo	hasta $-21^{\circ}C$
Alcohol etílico	- Hielo	hasta $-30^{\circ}C$
$Ca Cl_2 \cdot 6 H_2O$	- Hielo	hasta $-50^{\circ}C$
CO_2	- Metanol enfriado	hasta $-78^{\circ}C$

3.1.2.2 Burbujas de Gas en la Cámara de Contracción

Para eliminarlos se procede semejante al caso anterior, y -- se enfriará el termómetro hasta que la columna de Hg haya -- descendido como para poder liberar las burbujas de gas de la cámara de contracción.

Nota .- Evitar hacer descender demasiado rápido la columna termométrica para los termómetros con líquidos hu--

mectantes, porque una cierta cantidad puede aferrarse a las paredes y luego este líquido cayendo lentamente puede encerrar una o varias burbujas dentro del líquido termométrico.

3.1.2.3 Columna dividida

Este defecto puede ser eliminado, golpeando suavemente el termómetro con la mano. De un modo algo paciente, se corre menor riesgo dejando caer el termómetro mantenido en posición vertical hacia abajo, a una altura de 5 cm a 6 cm sobre un montón de papeles aproximadamente de 1/2 cm de espesor, guiándolo para evitar que no caiga a todo lo largo y se rompa. Repitiendo la operación se ven subir las burbujas progresivamente en la columna líquida y se prosigue la operación hasta la eliminación de la última burbuja. También este defecto puede ser eliminado mediante un centrifugado del termómetro, especialmente para termómetros que carecen de gas inerte a presión. De otro modo se enfría el termómetro hasta que todo el Hg se haya introducido dentro del bulbo para lograr así la unión de todo el líquido termométrico y luego se lleva el termómetro a temperatura ambiente según lo indicado en 3.1.2.1.

3.1.2.4 Restos de Hg en las Cámaras de Contracción y Expansión.

Para solucionar estos casos, se golpea suavemente el termómetro

tro en un lugar de la columna coincidente con el ocupado por la cámara para lograr que los restos de Hg se unan formando una pequeña bolita que queda generalmente adherida a las paredes de la misma. Luego se logra la unión de la bolita de Hg con la columna principal calentando el termómetro ya sea con un paño de agua tibia, o con una flama pequeña que se -- acerca a una distancia regular del termómetro (4 cm ó 5 cm). Para el caso de la cámara de expansión se evitará su llenado con Hg para prevenir un exceso de presión, ya que al efectuar un calentamiento brusco, puede originar la rotura del termómetro.

3.1.2.5 Impurezas en el Agujero del Tubo Capilar

Estas son en general partículas extrañas o trazas de humedad adheridas a las paredes del tubo capilar. Este defecto es -- originado durante el proceso de fabricación y cualquier mejora es en general de poca duración.

Nota .- Se ha referido al Hg como líquido termométrico para explicar la reparación de la columna de líquido termoométrico, pero es válido también para termómetros que utilizan líquidos orgánicos, para los cuales se utilizará para enfriarlos, en caso necesario, aire u oxígeno líquido.

3.2 Prueba de Estabilidad

Después de efectuar la detección y/o reparación, en caso necesario, de los defectos del termómetro a calibrar según se vió anteriormente y si resulta adecuado para su uso, se podrá realizar la prueba de estabilidad correspondiente. Esta prueba permite inferir si los valores de corrección de escala que van a ser determinados, serán o no constantes con el tiempo. El procedimiento a seguir es el siguiente :

3.2.1 Para Termómetros con Rango de Escala no mayor de 110°C

- Se mantiene el termómetro en "reposo" durante un tiempo mínimo de 3 días a la temperatura ambiente de 20°C a 25°C.
Luego se mide el 0°C introduciéndolo para ello en el punto fijo de hielo por lo menos 3 minutos y para su lectura se eleva no más de 10 mm.
- Se somete el termómetro, en un baño a la temperatura máxima de su escala, por lo menos 5 minutos.
- Se retira el termómetro del baño y luego se enfría el termómetro en contacto directo con el aire y se mantiene en "reposo" por lo menos 3 días a la temperatura ambiente de 20°C a 25°C, luego se mide nuevamente la temperatura de 0°C.

3.2.2 Para Termómetros de Rango de Escala mayor de 110°C

- Se somete el termómetro en un baño, por lo menos 5 minutos a la temperatura máxima de su escala.
- Se retira el termómetro del baño lentamente y luego se de-

ja enfriar en contacto directo con el aire.

- Cuando alcance una temperatura aproximada de 50°C se le introduce al punto fijo del hielo y después de 15 minutos se toma la lectura correspondiente al 0°C .
- Se deja el termómetro en "reposo" por 24 horas a la temperatura ambiente de 20°C a 25°C .
- Se repite los tres primeros pasos.

Nota.-

En los dos casos si la variación que se observa en la indicación del 0°C es mucho mayor que la tolerancia esperada --- (Ver Tabla 3.5), los termómetros no son de buena calidad y - su calibración no es justificable.

Si la escala del termómetro no posee como punto de referencia el 0°C , se procede del mismo modo pero en vez del punto fijo de hielo, se tomará las mediciones de la temperatura de referencia con ayuda de otro termómetro en un baño correspondiente.

3.3 Condiciones Normales y Preparación para la Calibración

Las condiciones normales del local donde se efectúe la calibración han de ser tales que el error adicional provocado por el conjunto de las magnitudes de influencia, no sobrepase el 35% del límite del error permisible del termómetro que se calibrare. Se recomienda :

Temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ para los termómetros patrones de 2da. categoría.

Temperatura de $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ para los termómetros patrones de 3ra. categoría.

Presión atmosférica : 101 325 Pa (760 mm Hg)

Humedad relativa no mayor que 80%

Para asegurar la validez de los valores de la corrección de escala, será necesario una correcta evaluación del cero del termómetro y habrá que tener en cuenta que el efecto de la depresión temporal puede estar afectando simultáneamente a la indicación del mismo y para evitarlo el valor de la depresión temporal debe permanecer como un factor constante y su efecto ser cancelado cuando se compare grupos de datos obtenidos en diferentes mediciones realizadas con un mismo termómetro. Por ello en la práctica se acondicionan los termómetros antes de calibrarlos del siguiente modo :

- Los termómetros con rangos de escala menores de 110°C deben permanecer sin uso durante un tiempo mínimo de 3 días a temperatura ambiente en posición vertical.
- Los termómetros con rangos de escala mayores de 110°C deben exponerse al menos 5 minutos a la temperatura máxima de su escala y luego se deja enfriar a temperatura ambiente.

3.4 Elección de los Puntos de Calibración

La elección se hará tomando los siguientes criterios :

- Deberán estar dispuestos uniformemente a lo largo del -- rango de la escala.
- El número de puntos de la escala a calibrar está en fun- ción de la exactitud que se desea obtener al realizar -- la interpolación para la determinación de los valores de la corrección de escala en los puntos no ensayados. -- Por ejemplo si los puntos seleccionados están separados por 100 divisiones una interpolación dará un error de 5 décimas de división para los puntos intermedios, o si en cambio están separados por 20 a 50 divisiones, la inter- polación originará un error de 1 ó 2 décimas de división.
- En cualquier caso deberá seleccionarse al menos 3 puntos incluyendo el 0°C si la escala lo contiene.
- En la Tabla 3.1 se observa los intervalos de calibración recomendados para los termómetros patrones en relación - con la mínima división de la escala.

TABLA 3.1 INTERVALO DE CALIBRACION DE LOS TERMOMETROS PA-
TRONES

Mínima división de la escala (°C)	Intervalo (°C)
0,01	0,5
0,02	1,0
0,05	2
0,1	5
0,2	10
0,5	50
1	100

3.5 Elección y Disposición de los Termómetros a Utilizar - en la Comparación

- Para determinar los termómetros patrones de comparación a utilizar respecto al termómetro objeto a calibrar, se toma el siguiente criterio :

$$\frac{\text{Error máximo permisible del termómetro objeto}}{\text{Error máximo permisible del termómetro patrón}} = R$$

Es recomendable que el valor de R sea aproximadamente de 10 a 5 para calibraciones de precisión, y para calibraciones corrientes el valor de R puede ser disminuído hasta 3.

Se llega incluso a tomar el valor mínimo de 1, pero teniendo en cuenta que al disminuir R aumentará la incertidumbre de la medición, pero que podrá ser aceptable según los fines requeridos. De una manera práctica en forma semejante que la relación de errores máximo permisible se puede relacionar los valores de la menor división de los termómetros del siguiente modo :

Se llega incluso a tomar el valor mínimo de 1, pero teniendo en cuenta que al disminuir R aumentará la incertidumbre de la medición, pero que podrá ser aceptable según los fines requeridos. De una manera práctica en forma semejante que la relación de errores máximo permisible se puede relacionar los valores de la menor división de los termómetros del siguiente modo :

$$\frac{\text{Valor de la menor división del termómetro objeto}}{\text{Valor de la menor división del termómetro patrón}} = R$$

Valor de la menor división del termómetro patrón

- En los baños termostáticos en los cuales es imposible sumergir los termómetros patrones (de inmersión total) hasta el punto de lectura, se recomienda que la longitud de la columna de Hg que sobresale no sea mayor que la dada -

en la Tabla 3.2

TABLA 3.2 LONGITUD SOBRESALIENTE PERMISIBLE PARA LA COLUMNA DE Hg DE LOS TERMOMETROS PATRONES DE VIDRIO.

Intervalo de medición (°C)		Longitud Sobresaliente (mm)	
Desde	Hasta	Desde	Hasta
100	300	10	20
300	500	20	30
500	630	30	40

- Un termómetro de inmersión parcial, para su calibración, podrá ser dispuesto en el baño de comparación de las siguientes maneras :

- a) Totalmente sumergido como si se tratase de termómetros de inmersión total.
- b) Correctamente inmerso utilizando termómetros de columna para la medición de la temperatura media de la columna emergente.
- c) Semejante al anterior pero utilizando termómetros ordinarios o comunes para determinar la temperatura media de la columna emergente.

Para temperaturas inferiores de 100°C las disposiciones a, b, y c conducen a resultados similares. Para temperaturas superiores a 100°C se recomienda adoptar las disposiciones

a), b) y c) y para temperaturas superiores a 300°C se adoptará b) debido a que la disposición a) para temperaturas elevadas puede producir una sobrepresión en la cámara de expansión que ocasionará errores en sus indicaciones.

- Para determinar las disposiciones de los termómetros auxiliares que medirán la temperatura media de la columna emergente (TH) del termómetro a calibrar, se tomará en cuenta lo siguiente :

- . Para la medición de TH de un termómetro de inmersión total, el termómetro auxiliar de columna ha de ser 20 mm más largo que la columna emergente de líquido termométrico (ver Fig. 2.5).
- . Para la medición de TH de un termómetro de inmersión parcial el termómetro de columna ha de ser de la misma longitud que la columna emergente (ver Fig. 2.7 y 2.8).
- . En general para la elección de los termómetros auxiliares, se recomienda, para el rango de -40°C a 100°C utilizar termómetros de columna o comunes y para temperaturas mayores de 100°C utilizar termómetros de columna por su mayor exactitud.

3.6 Lectura de las Indicaciones

- Las lecturas de las indicaciones de los termómetros patrones, objetos y auxiliares que debe efectuarse en el momento

de la comparación son las temperaturas involucradas en el cálculo de sus correspondientes correcciones para el tipo de termómetro a calibrar tal como se verá en 3.7 y deberá estar establecida en formatos de toma de datos como se verá de modo aplicativo en 3.10.

- El primer punto que se comprueba en los termómetros a calibrar es el correspondiente a la temperatura de 0°C . Para ello son introducidos en el punto fijo de hielo, después de 15 minutos se lee sus indicaciones y se registran. Luego son introducidos en el baño de comparación juntamente con los termómetros patrones y se realiza las lecturas correspondientes al siguiente punto a calibrar, los termómetros patrones son retirados del baño de comparación e introducidos dentro del punto fijo del hielo para la determinación de su correspondiente error del cero. Si el termómetro objeto a calibrar fuese un termómetro patrón se determina también el error del cero después de cada punto de comparación o punto a calibrar introduciéndolo también en el punto fijo del hielo. De igual forma se continúa para los restantes puntos sobre la escala del termómetro para los cuales serán determinados sus correcciones de escala.
- La temperatura del baño de comparación debe permanecer constante o variar linealmente con el tiempo con un régimen de velocidad que dependerá del rango de temperatura que cubren la escala de los termómetros, tal como se aprecia en la Tabla 3.3.

TABLA 3.3 VELOCIDAD PERMISIBLE DE AUMENTO DE TEMPERATURA

Rango de Temperatura (°C)	Velocidad máxima de variación de la temperatura del baño (°C/minuto)
-200 a -58	0,1
- 58 a - 5	0,05
- 5 a 110	0,02
110 a 310	0,03
mayores que 310	0,05

- Las lecturas de las indicaciones de los termómetros se debe realizar sin que el valor escogido varíe más de lo dado en la Tabla 3.4 para minimizar los errores por interpolación.

TABLA 3.4 LIMITE PERMISIBLE DE DESVIACION DE LA TEMPERATURA DURANTE LA CALIBRACION DE LOS TERMOMETROS

Valor de División de la Escala		Límite permitido
Desde	Hasta	
0,01	0,02	-0,05
0,05	0,1	-0,4
0,2	1	-0,5

- Es conveniente que la temperatura del baño varíe sólo en forma ascendente, especialmente si el diámetro de la luz del tubo capilar es muy pequeño (termómetros graduados en intervalos de temperatura de 0,01°C a 0,2°C) para evitar un aumento del volumen del bulbo por efecto de la presión

- interna debido a las variaciones de las fuerzas capilares.
- La lectura de las indicaciones de los termómetros serán -- realizadas por dos observadores A y B. En la Fig. 3.1 se muestra gráficamente la forma en que los operadores A y B procederán a la lectura de 2 termómetros patrones P_1 y P_2 y 3 termómetros objetos a calibrar O_1 , O_2 , O_3 dispuestos entre los patrones. El observador A comenzará la lectura, mientras **B** anotará y luego será en forma inversa.

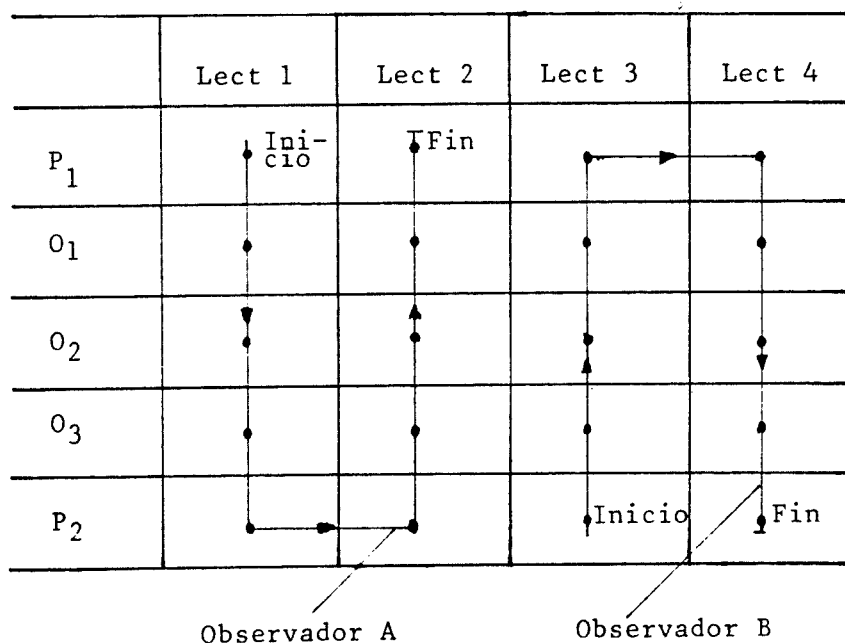
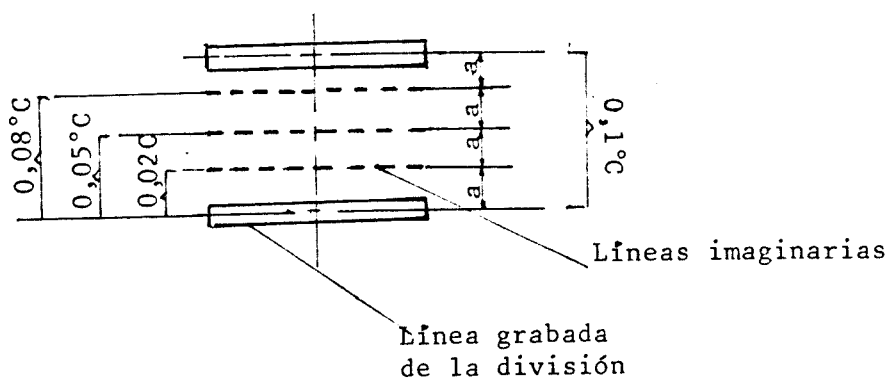


FIG. 3.1 FORMATO DE LECTURA DE LAS INDICACIONES DE LOS TERMOMETROS EN EL BAÑO DE COMPARACION.

Si siguiendo este método de lectura, si la temperatura del baño aumenta linealmente con el tiempo la temperatura media del baño, en el lapso que dure la medición será sensiblemente igual a la temperatura media de los termómetros

- y así se podrá eliminar la influencia que pueda tener el baño de comparación sobre las indicaciones de los termómetros. Un modo de comprobar esto, es verificar que las diferencias existentes entre la primera y cuarta lectura de cada uno de los termómetros sean aproximadamente iguales.
- Para realizar las aproximaciones en la lectura de las indicaciones del termómetro cada observador podrá realizar divisiones imaginarias en la mínima división de escala de tal modo que utilicemos el mismo criterio en todas las lecturas. Por ejemplo para una mínima división de $0,1^{\circ}\text{C}$ se podrá efectuar divisiones imaginarias en 4 partes y leer los valores correspondientes a las divisiones imaginarias del siguiente modo :



3.7 Determinación de la Corrección de Escala

La corrección de escala (CE), para los diferentes puntos a -- calibrar en un termómetro de vidrio, se evaluará del siguiente modo :

$$CE = CO + CR + Cpe + Cpi + CC \quad (34)$$

donde :

CO : corrección del cero o de otra temperatura de referencia indicada en el termómetro y su valor depende de la historia térmica del vidrio o cambio de volumen del bulbo.

Su valor se determinará comparándolo con el punto fijo de hielo (o de otra temperatura de referencia si no hubiese marcación del cero).

CR : corrección reducida o de fabricación, depende casi únicamente de la uniformidad de la luz del tubo capilar.

Su valor es dado en los Certificados de Calibración para los termómetros patrones $CR = 0$ para la temperatura a la cual se calcula CO.

Cpe : corrección de la presión externa. Su valor se determina mediante la expresión (5) vista en 2.3.2.1.

$Cpe = 0$ Cuando el termómetro es comparado bajo una presión de 101 325 Pa (760 mm Hg) es decir bajo una presión atmosférica normal, de manera que el bulbo pueda dilatarse o contraerse libremente.

Cpi : corrección de la presión interna. Se evalúa mediante la expresión (8) vista en 2.3.2.2.

$Cpi = 0$ Cuando el termómetro es comparado en posición vertical.

CC : corrección por columna emergente del termómetro.

CC = 0 Cuando el termómetro es utilizado en sus condiciones de inmersión especificadas.

A continuación se explican los cálculos que han de efectuarse para la determinación de la corrección de escala del termómetro objeto a calibrar.

3.7.1 Corrección de Escala para el Termómetro Patrón de Comparación

La corrección de escala para el Termómetro Patrón de Comparación (CE_p), se evalúa de :

$$CE_p = CO_p + CR_p + Cpe_p + Cpi_p + CC_p \quad (35)$$

donde :

CO_p , CR_p , Cpe , Cpi_p , CE_p : tienen el mismo significado que lo expresado en (34) referido al termómetro patrón de comparación.

CC_p : La corrección de columna emergente para el termómetro patrón de comparación. Se determinará según la expresión (15) ó (16) explicadas en el acápite --- 2.3.4.1 ya que normalmente un termómetro patrón es de inmersión total.

3.7.2 Determinación de la Temperatura Convencionalmente Verdadera

La temperatura verdadera (TV) ó convencionalmente verdadera - como se definió anteriormente es la asumida como temperatura real para compararla con la temperatura indicada por el termómetro objeto a calibrar.

Para un termómetro patrón :

$$TV = TL_p + CE_p \quad (36)$$

donde :

TV : Temperatura indicada por el termómetro patrón después de sus correcciones.

TL_p : Temperatura media leída en el termómetro patrón de comparación para la temperatura de comparación.

CE_p : Corrección de escala del termómetro patrón o sumatoria de las correcciones de acuerdo a (35).

Luego como normalmente se utiliza 2 termómetros patrones en la comparación, la temperatura verdadera estará dada por :

$$\overline{TV} = \frac{\Sigma TV}{2} \quad (37)$$

donde :

\overline{TV} : Temperatura verdadera obtenida del promedio aritmético de las temperaturas indicadas por los termómetros patrones después de sus correcciones.

3.7.3 Valor Parcialmente Corregido de la Lectura del Termómetro Objeto a Calibrar

Para efectuar la comparación con la temperatura verdadera \overline{TV} se define previamente el valor parcialmente corregido de la lectura del termómetro objeto a calibrar (T_{in_o}) como :

$$T_{in_o} = TL_o + Cpe_o + Cpi_o + CC_o \quad (38)$$

donde :

TL_o : Temperatura media leída en el termómetro objeto a calibrar para la temperatura de comparación.

Cpe_o , Cpi_o , CC_o : tienen el mismo significado que en (34) y referido al termómetro objeto.

CC_o : La corrección por columna emergente para el termómetro objeto a calibrar, se determina con las fórmulas presentadas en 2.3.4 para termómetros de inmersión total y parcial según sea el caso. Para efectuar los cálculos se ha de reemplazar el valor de t_b por \overline{TV} la temperatura correspondiente asumida como verdadera.

3.7.4 Corrección de Escala - Certificado de Calibración

Las condiciones normales de calibración referenciales expresados en los Certificados de Calibración, para el termómetro objeto, corresponden a la comparación del termómetro en posición vertical ($Cpi = 0$), bajo una presión atmosférica normal de manera que el bulbo puede dilatarse o contraerse

libremente ($C_{pe} = 0$) y en las condiciones de inmersión especificadas ($CC = 0$). De acuerdo a estas condiciones se tiene que la corrección de escala presentada en los Certificados de Calibración estará dada por :

$$CE = CO + CR + \cancel{C_{pe}} + \cancel{C_{pi}} + \cancel{CC}$$

$$CE = CO + CR \quad (39)$$

Luego, para el termómetro objeto a calibrar la CE con las condiciones expresadas en los Certificados de Calibración se evaluará de :

$$CE_o = \overline{TV} - Tin_o \quad (40)$$

3.7.5 Corrección Reducida del Termómetro Objeto a Calibrar

Cuando el termómetro objeto a calibrar es un termómetro patrón de vidrio se ha de determinar los valores de CR para lo cual previamente se ha de determinar los valores de CO_o para el termómetro objeto, al igual que para los termómetros patrones de comparación inmediatamente después de la observación de cada punto a calibrar.

Se determina la corrección reducida del termómetro objeto a calibrar (CR_o) indirectamente de (39) :

$$CR_o = CE_o - CO_o \quad (41)$$

3.8 Evaluación de la Incertidumbre de la Medición

La evaluación de la incertidumbre de la medición (IM) equivale a estimar los errores que afectan a las operaciones de la medición y que no es factible de fijar sus límites concretos por lo que en la práctica es un valor precedido del signo \pm que afecta al valor medio corregido del punto calibrado. Se expresa de la siguiente manera :

$$IM = IS + IA \quad (42)$$

donde :

IM : Incertidumbre de la medición

IS : Incertidumbre sistemática

IA : Incertidumbre aleatoria

3.8.1 Incertidumbre Sistemática

La incertidumbre sistemática (IS), es la que da un margen del posible alejamiento entre el valor medio corregido y el valor verdadero y puede ser de naturaleza constante o variable.

3.8.1.1 Incertidumbre Sistemática Constante, está dada por la incertidumbre de los patrones (IS_1) y su valor se conoce de los certificados de calibración de los respectivos patrones.

3.8.1.2 Incertidumbre Sistemática Variable, está dada por :

- Incertidumbre del baño (IS_2) y su valor está dado por la inestabilidad del baño de comparación que generalmente es dato del fabricante o habrá que determinarlo para el rango de medición del baño.
- Incertidumbre de lectura (IS_3) que es generada por el -- observador en la lectura de la escala (por error de para laje, estimación por interpolación, marcación de escala defectuosa, etc).

En forma práctica se estima IS_3 como :

$$IS_3 = \frac{1 \text{ De la menor división del termómetro.}}{8} \quad (43)$$

Finalmente se evalúa IS con la siguiente expresión :

$$IS = \sqrt{IS_1^2 + IS_2^2 + IS_3^2} \quad (44)$$

De un modo conservador:

$$IS = IS_1 + IS_2 + IS_3 \quad (45)$$

ó también se evalúa IS en forma práctica :

$$IS = 3IS_1 \quad (46)$$

3.8.2 Incertidumbre Aleatoria

La Incertidumbre Aleatoria (IA) indica la probable dispersión del valor medio corregido, debido a influencias independien--tes entre si que afectan la indicación del termómetro (corri--entes de aire, polvo, ruido, etc), o al observador (estado --

anímico, prisa) y como consecuencia no se obtiene la misma - lectura cuando ésta se repite para un mismo valor de temperatura medida.

Las lecturas hechas para cada punto se apartan de la media, según la ley del azar y tienden cuando aumentan su número -- aproximadamente a una distribución normal, lo que permite -- aplicar las leyes de la estadística.

Normalmente las lecturas se repiten un número de veces pequeño por lo cual en lugar de tomar para IA; 1, 2 ó 3 veces la desviación típica, σ , se utiliza un factor de corrección que depende del nivel de confianza deseado.

Así para una lectura :

$$IA = t\sigma \quad (47)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (48)$$

Para la media de lecturas :

$$IA = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (49)$$

donde :

t : Factor de students para el nivel de confianza deseado. Se recomienda tomar 95% (en el anexo 3.1 se presenta la Tabla de Factor de Students).

σ : Desviación típica. Este valor se calcula para una ó dos series de lecturas de un punto de calibración

y se puede tomar el mismo valor para los otros puntos de calibración al evaluar IA.

n : Es el número de lecturas que se hace en cada serie de medidas o en cada punto de calibración.

X_i : Lectura i para un punto de calibración.

\bar{X} : Media de la serie de lecturas para un punto de calibración.

Ejemplo de un resultado expresado con su respectiva incertidumbre de medición :

$(40,05 \pm 0,04)^\circ\text{C}$, nivel de confianza 95%

Significa que con una probabilidad del 95% el valor verdadero estará comprendido entre $40,01^\circ\text{C}$ y $40,09^\circ\text{C}$.

3.9 Tolerancia para un Termómetro de Vidrio

Los valores de tolerancia aceptados en la práctica se observan en la Tabla 3.5

TABLA 3.5 TOLERANCIA PARA TERMOMETROS DE VIDRIO

1) Tolerancias para termómetros llenados con líquidos humectantes.

Rango de Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Escala Graduada en intervalos de temperatura de : ($^\circ\text{C}$)					
	0,2	0,5	1	2	5	10
-200 a - 58			3	4	5	10
- 58 a - 5	1	1	2	4	5	10
- 5 a +110	1	1	2	3	5	10
+110 a +210		3	3	4	5	10

2) Tolerancias para termómetros llenados con líquidos no humectantes.

Rango de temperatura (°C)	Escala graduada a intervalos de temperatura de : (°C)								
	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5 a 10
- 58 a - 5	-	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	3
- 5 a + 60	0,02	0,04	0,1	0,15	0,2	0,5	0,7	1	2,5
+ 60 a +110	-	0,04	0,15	0,25	0,3	0,5	1	1,5	3
+110 a +210	-	0,10	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	4
+210 a +310	-	-	-	0,5	0,5	1,5	2	3	5
+310 a +410	-	-	-	1,0	1,0	2	2,5	4	7
+410 a +625	-	-	-	-	-	-	3	6	10
+625 a + t	-	-	-	-	-	-	-	6	10

3.10 Ejemplo Práctico de la Calibración de un Termómetro de Vidrio efectuado en el Laboratorio de Temperatura del ITINTEC

El ejemplo práctico de la calibración, que se presenta en este acápite, se efectuó adecuándose a las facilidades de calibración existentes en el Laboratorio de Temperatura del ITINTEC* (LTI).

3.10.1 Características de los termómetros involucrados

a) Termómetro objeto a calibrar :

. Un termómetro común de vidrio.

*En el texto de la presente Tesis también se le denominará LTI.

- . De inmersión total.
 - . Rango de 40°C/65°C, de menor división 0,1°C y con marca - del cero.
 - . Fabricación : Prolabo 09637.066 - Francia.
- b) 2 Termómetros patrones de vidrio, de III Categoría. De características :
- . Termómetro de inmersión total.
 - . Rango de 40°C/65°C, de menor división 0,1°C.
 - . Fabricación Prolabo 09637.066-Francia.
 - . En los formatos FT-1 y FT-2 se presentan los valores de CR de los patrones respectivos.
- c) Termómetros que medirán la temperatura de la columna emergente :
- 5 Termómetros comunes de vidrio de inmersión total.
- Rango : 20°C/45°C, menor división : 0,1°C
- Fabricación : Prolabo 09637.044 - Francia.

3.10.2 Inspección Visual

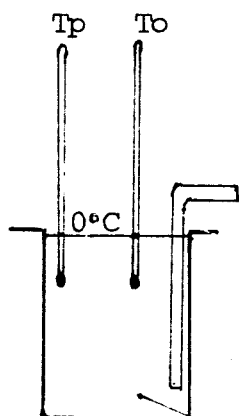
Como primer paso, con ayuda de una lupa, se efectuó la inspección ocular de los termómetros involucrados y no se encontró discontinuidades en la columna de líquido termométrico ú otras fallas vistas en 3.1

3.10.3 Prueba de Estabilidad del Bulbo

Se efectuó esta prueba para el termómetro objeto a calibrar,

y se procedió según lo indicado en 3.2.1 para termómetros cuyo rango de escala no excede de 110°C .

- Medición del 0°C .

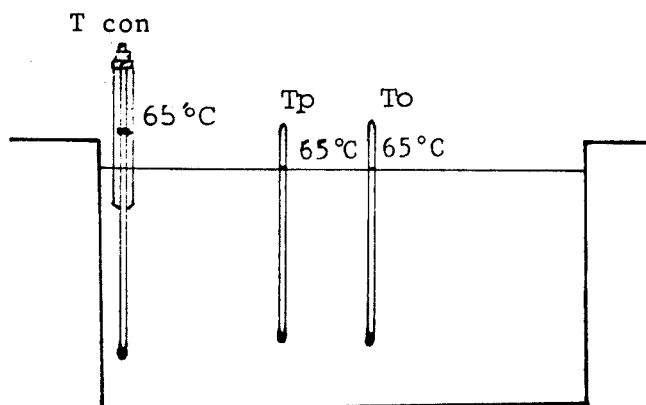


T_p : termómetro patrón para controlar la estabilidad del punto fijo del hielo.

T_o : termómetro objeto a calibrar.

Punto Fijo del Hielo

- Exposición del termómetro objeto a su temperatura máxima durante 5 minutos.



T_{con} : termómetro de contacto.

T_o : termómetro objeto a calibrar.

T_p : termómetro patrón de -- rango de $40^{\circ}\text{C}/65^{\circ}\text{C}$.

- Resultados de la medición del 0°C del termómetro objeto antes y después de ser expuesto a su temperatura máxima:

. Se tomaron 4 lecturas por 2 observadores :

Antes (La)	Después (Ld)
$L_1 = -0,09^{\circ}\text{C}$	$L_1 = -0,05^{\circ}\text{C}$
$L_2 = -0,07^{\circ}\text{C}$	$L_2 = -0,04^{\circ}\text{C}$
$L_3 = -0,09^{\circ}\text{C}$	$L_3 = -0,05^{\circ}\text{C}$
$L_4 = -0,09^{\circ}\text{C}$	$L_4 = -0,04^{\circ}\text{C}$
$\overline{La} = -0,085^{\circ}\text{C}$	$\overline{Ld} = -0,045^{\circ}\text{C}$ ← Promedio

Estabilidad (Est) :

$$\text{Est} = \overline{Ld} - \overline{La} = (-0,045) - (-0,085)$$

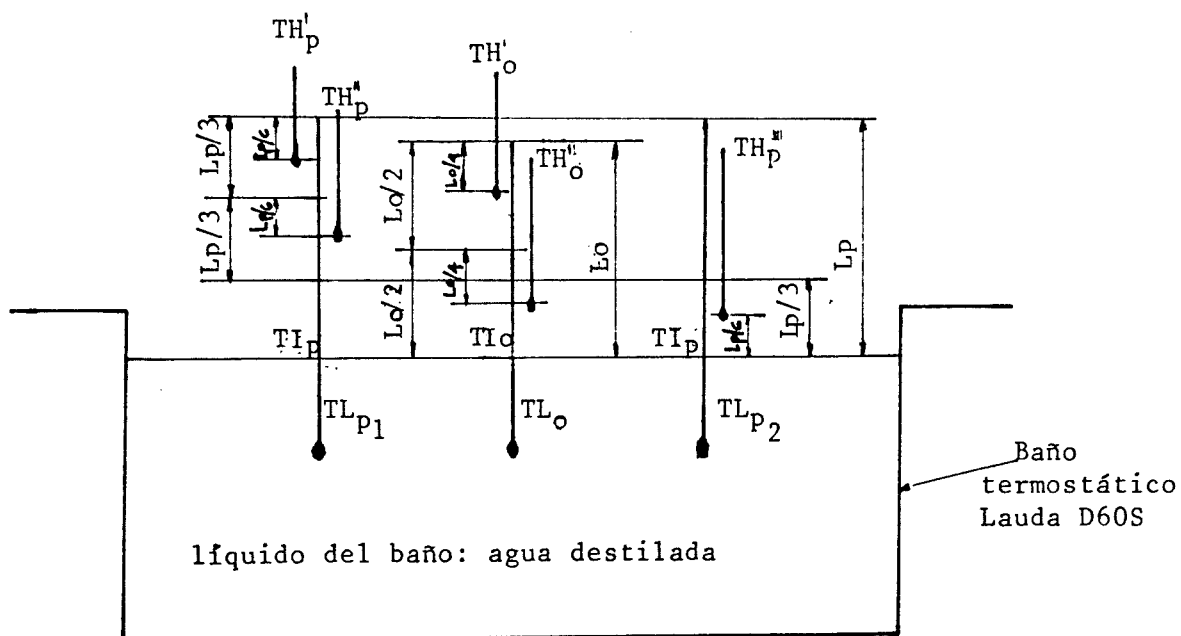
$$\text{Est} = + 0,04^{\circ}\text{C}$$

$$0,04^{\circ}\text{C} < 0,15^{\circ}\text{C}$$

Este valor es menor que la tolerancia para este termómetro - (ver Tabla 3.5), luego su calibración se justifica.

3.10.4 Comparación y Lectura de las Indicaciones

- Se elige los puntos de calibración según 3.4
- Se procede de acuerdo a lo indicado en 3.6
- La medición del 0°C en el punto fijo del hielo y evaluación de CO para los patrones P_1 y P_2 se muestra en los formatos FT-1. Así también la evaluación de CO para el termómetro objeto.
- La disposición para la comparación de las indicaciones es la siguiente :



$TH'_{p'}$, $TH''_{p'}$, $TH'''_{p'}$: temperaturas de columna emergente correspondiente a los tramos L_1 , L_2 y L_3 respectivamente de los termómetros patrones P_1 y P_2 .

TH'_o , TH''_o : temperatura de columna emergente correspondiente a los tramos L_4 y L_5 respectivamente del termómetro objeto.

TL : temperatura leída.

TI : temperatura de inmersión.

los subíndices P_1 , P_2 y o son referidos al termómetro Patrón 1 Patrón 2 y objeto respectivamente.

Nota : La temperatura TH puede presentarse variable por efecto de los vapores, pero se ha de tomar el valor medio indicado.

- Las lecturas efectuadas en la comparación de los puntos a calibrar han sido anotados en el formato FT-2 y también se evalúa allí la temperaturas medias de TL y TH para los termómetros patrones y objeto.

3.10.5 Evaluación de las Correcciones de Escala

Se determina las correcciones de escala (CE) según 3.7 y con las condiciones normales de calibración vistas en 3.3 y 3.7.4 es decir $C_{pe} = 0$ y $C_{pi} = 0$

En los formatos FT-3 se detalla el cálculo de CE para 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C y 65°C.

Se determina el coeficiente de expansión cúbica (γ), para un valor de T definido en (14). Su evaluación se presenta en el formato FT-3a.

En el formato FT-5 se dan los resultados de la calibración para cada punto elegido y con ello se determina también la curva de Corrección que se aprecia en el gráfico 3.1

3.10.6 Evaluación de la Incertidumbre de la Medición

Se evalúa la incertidumbre de la medición de acuerdo a lo explicado en 3.8 y se detalla los resultados en el formato FT-4

Evaluación de la incertidumbre aleatoria IA :

A continuación se presenta el cálculo de IA para 40°C , según lo explicado en 3.8.2 :

Lecturas en el termómetro objeto (X_i) :

40,1

40,09

40,1

$n = 4$

40,1

Media aritmética : $\bar{X} = 40,098$

Reemplazando X_i , \bar{X} y n en (48) se evalúa la desviación típica (σ) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(40,1 - 40,098)^2 + (40,09 - 40,098)^2 + (40,1 - 40,098)^2 + (40,1 - 40,098)^2}{4(4 - 1)}}$$

$$\sigma = 0,00251$$

Luego IS para la media de lecturas :

De (49) :

$$IA = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}$$

$t = 3,2$; (factor de students para $n = 4$ y un nivel de confianza de 95%).

$$IA = \frac{3,2(0,00251)}{\sqrt{4}} = 0,004016$$

De igual modo se procede para los puntos restantes y se presentan en el formato FT-4

3.10.7 Formatos de Cálculo y Gráfico de la Curva de Corrección

DETERMINACION DE CORRECCION DEL CERO DEL PATRON P₁

PUNTO DEL 0 °C										
Observadores : H. Cuéllar/R. Criado					Fecha: 6/2/84					
Identificación : Patrón P ₁										
Punto de Calibración (°C)	0	40	45	50	55	60	65			
Lecturas del error (E)	-0,01 -0,01 -0,01 -0,01	-0,01 -0,01 -0,01 -0,01	-0,01 -0,01 -0,01 -0,01	-0,02 -0,02 -0,02 -0,02	-0,02 -0,02 -0,02 -0,02	-0,02 -0,02 -0,02 -0,02	-0,02 -0,02 -0,02 -0,02	-0,03 -0,03 -0,03 -0,03		
Media de lecturas (\bar{E})	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03		
CO = $-\bar{E}$	+0,01	+0,01	+0,01	+0,02	+0,02	+0,02	+0,02	+0,03		
CR (del certificado)	0,0	+0,06	+0,02	+0,04	+0,06	+0,09	+0,16			

DETERMINACION DE CORRECCION DEL 0°C DEL PATRON P₂ Y OBJETO (O)

PUNTO DEL 0°C										
Observadores : H. Cuéllar/R. Criado										
Fecha: 6/2/84										
Identificación: Patrón P ₂										
Punto de Calibración (°C)	0	40	45	50	55	60	65	Objeto (O)		
Lecturas del error (E)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	+0,06	+0,06
Media de lecturas (\bar{E})	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	+0,07	+0,07
CO = - \bar{E}	+0,02	+0,02	+0,02	+0,03	+0,03	+0,03	+0,03	+0,03	-0,065	-0,065
CR (del certificado)	0,0	+0,06	+0,02	+0,03	+0,04	+0,07	+0,14			

DETERMINACION DE TL, TI Y TH DE LOS TERMOMETROS PATRONES (P₁, P₂) Y

OBJETO (O)

Observadores : H. Cuéllar/R. Criado												Fecha: 9/2/84			
°C	Lect. 1	Lect. 2	Lect. 3	Lect. 4	TL	TI	TH'	TH"	TH'"	TH	TH				
40	P ₁	40,05	40,04	40,05	40,06	40,05	32	26,71	26,72		26,74				
	O	40,01	40,09	40,1	40,1	40,098	36	26,73	26,80		26,77				
	P ₂	40,04	40,03	40,04	40,05	40,04	32		26,80		26,74				
45	P ₁	45,02	45,01	45,02	45,02	45,01	32	27,01	27,02		27,02				
	O	45,06	45,05	45,05	45,06	45,055	36	27,02	27,03		27,03				
	P ₂	45,01	45,0	45,01	45,0	45,005	32		27,03		27,02				
50	P ₁	50,01	50,0	50,01	50,0	50,005	32	27,21	27,40		27,38				
	O	49,9	49,91	49,92	49,92	49,912 5	36	27,35	27,52		27,44				
	P ₂	50,01	50,01	50,01	50,01	50,01	32		27,52		27,38				
55	P ₁	55,01	55,00	55,00	55,00	55,002 5	32	28,15	28,25		28,24				
	O	54,92	54,92	54,91	54,91	54,915	36	28,25	28,32		28,29				
	P ₂	55,02	55,01	55,02	55,01	55,015	32				28,24				
60	P ₁	60,0	60,0	60,01	60,0	60,002 5	32	28,25	28,38		28,35				
	O	59,98	59,98	59,98	59,98	59,98	36	28,35	28,45		28,40				
	P ₂	60,01	60,01	60,02	60,01	60,012 5	32		28,42		28,35				
65	P ₁	65,01	65,01	65,02	65,0	65,01	32	28,25	28,55		28,47				
	O	64,98	64,96	64,98	64,98	64,975	36	28,58	28,61		28,60				
	P ₂	65,02	65,02	65,01	65,02	65,017 5	32		28,60		28,47				

FT-3

DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 40°C

PATRON :	P ₁	;	P ₂	P ₁	;	P ₂
TL _p :	40,05		40,04	CR: +0,06		+0,06
TI _p :	32,0		32,0	CO: +0,01		+0,02
TH _p :	26,74		26,74	γ _p : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
				γ _p [!] : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
CC' _{p_i} :	γ _{p_i} [!] (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TL _{p_i} - TH _{p_i})					
CC' _{p₁} :	0,000 158 (40,05 - 32,0) (40,05 - 26,74) = 0,016 928					
CC' _{p₂} :	0,000 158 (40,04 - 32,0) (40,04 - 26,74) = 0,016 895					
TV' _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC' _{p_i}					
TV' ₁ :	40,05 + 0,01 + 0,06 + 0,016 928 = 40,136 928					
TV' ₂ :	40,04 + 0,02 + 0,06 + 0,016 895 = 40,136 895					
CC _{p_i} :	γ _{p_i} (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TV' _i - TH _{p_i})					
CC _{p₁} :	0,000 158 (40,05 - 32,0) (40,136 928 - 26,74) = 0,017 039					
CC _{p₂} :	0,000 158 (40,04 - 32,0) (40,136 895 - 26,74) = 0,017 018					
TV _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC _{p_i}					
TV ₁ :	40,05 + 0,01 + 0,06 + 0,017 039 = 40,137 039					
TV ₂ :	40,04 + 0,02 + 0,06 + 0,017 018 = 40,137 018					
\overline{TV} :	$\sum_{i=1}^n TV_i / n = (TV_1 + TV_2) / 2$					
\overline{TV} ;	40,137 028					
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)					
TL _o :	40,098					
TI _o :	36,0					
TH _o :	26,77 ; γ _o : 0,000 158°C ⁻¹					
CC _o :	γ _o (TL _o - TI _o) (\overline{TV} - TH _o)					
CC _o :	0,000 158 (40,098 - 36,0) (40,137 028 - 26,77) = 0,008 655					
Tin _o :	TL _o + CC _o					
Tin _o :	40,098 + 0,008 655 = 40,106 655					
CE _o :	\overline{TV} - Tin _o					
CE _o :	40,137 028 - 40,106 655 = 0,030 373					
CE _o :	+0,03					

FT - 3a

Evaluación del Coeficiente de Expansión Cúbica (γ)

De (14) para un termómetro de inmersión total tenemos :

$$\gamma'_{pi} : f(T') \quad T' = \frac{TL + TH}{2}$$

$$\gamma_{pi} : f(T) \quad T = \frac{TV' + TH}{2}$$

$$\gamma_o : f(T_o) \quad T_o = \frac{\overline{TV} + TH_o}{2}$$

Para el punto 40°C y el patrón P_1 , reemplazando datos tenemos :

$$T' = \frac{40,05 + 26,74}{2} = 33,40$$

$$T = \frac{40,14 + 26,74}{2} = 33,44$$

$$T_o = \frac{40,14 + 26,77}{2} = 33,46$$

De la Tabla 2.2 para un vidrio normal 16" y para los valores de T correspondientes :

$$\gamma'_{P_1} = 0,000 158^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{P_1} = 0,000 158^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{P_o} = 0,000 158^\circ\text{C}^{-1}$$

De igual forma se evalúa para los diferentes puntos de calibración y para los termómetros patrones P_1 , P_2 y Termómetro - Objeto, O , y determinándose en todos los casos el mismo valor de γ . Es decir :

$$\gamma'_{pi} = \gamma_{pi} = \gamma_o = 0,000 158^\circ\text{C}^{-1}$$

FT - 3

DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 45°C

PATRON :	P_1	:	P_2		P_1	:	P_2
TL _p :	45,02		45,005	CR:	+0,02		+0,02
TI _p :	32,0		32,0	CO:	+0,01		+0,02
TH _p :	27,02		27,02	γ_p :	0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
				γ'_p :	0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
CC' _{p_i} :	$\gamma'_{p_i} (TL_{p_i} - TI_{p_i}) (TL_{p_i} - TH_{p_i})$						
CC' _{p₁} :	0,000 158(45,02 - 32,0)(45,02 - 27,02) = 0,037 029						
CC' _{p₂} :	0,000 158(45,005 - 32,0)(45,005 - 27,02) = 0,036 955						
TV' _i :	$TL_{p_i} + CO_{p_i} + CR_{p_i} + CC'_{p_i}$						
TV' ₁ :	45,02 + 0,01 + 0,02 + 0,037 029 = 45,082 029						
TV' ₂ :	45,005 + 0,02 + 0,02 + 0,036 955 = 45,045 955						
CC _{p_i} :	$\gamma_{p_i} (TL_{p_i} - TI_{p_i}) (TV'_i - TH_{p_i})$						
CC _{p₁} :	0,000 158(45,02 - 32,0)(45,082 029 - 27,02) = 0,037 156						
CC _{p₂} :	0,000 158(45,005 - 32,0)(45,045 955 - 27,02) = 0,037 040						
TV _i :	$TL_{p_i} + CO_{p_i} + CR_{p_i} + CC_{p_i}$						
TV ₁ :	45,02 + 0,01 + 0,02 + 0,037 156 = 45,087 156						
TV ₂ :	45,005 + 0,02 + 0,02 + 0,037 040 = 45,082 04						
\overline{TV} :	$\sum_{k=1}^{i=n} TV_i / n = (TV_1 + TV_2) / 2$						
\overline{TV} :	45,084 598						
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)						
TL _o :	45,055						
TI _o :	36,0						
TH _o :	27,03 ; γ_o : 0,000 158°C ⁻¹						
CC _o :	$\gamma_o (TL_o - TI_o) (\overline{TV} - TH_o)$						
CC _o :	0,000 158(45,055 - 36,0)(45,084 598 - 27,03) = 0,025 830						
Tin _o :	$TL_o + CC_o$						
Tin _o :	45,055 + 0,025 830 = 45,080 830						
CE _o :	$\overline{TV} - Tin_o$						
CE _o :	45,084 598 - 45,080 830 = 0,003 768						
CE _o :	+0,00						

FT - 3

DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 50°C

PATRON :	P ₁	;	P ₂	P ₁	;	P ₂
TL _p :	50,005		50,01	CR: +0,04		+0,03
TI _p :	32,0		32,0	CO: +0,02		+0,03
TH _p :	27,38		27,38	Y _p : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
				Y' _p : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
CC' _{p_i} :	Y' _{p_i} (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TL _{p_i} - TH _{p_i})					
CC' _{p₁} :	0,000 158(50,005 - 32,0) (50,005 - 27,38) = 0,064 363					
CC' _{p₂} :	0,000 158(50,01 - 32,0) (50,01 - 27,38) = 0,064 395					
TV' _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC' _{p_i}					
TV' ₁ :	50,005 + 0,02 + 0,04 + 0,064 363 = 50,129 363					
TV' ₂ :	50,01 + 0,03 + 0,03 + 0,064 395 = 50,134 395					
CC _{p_i} :	Y _{p_i} (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TV' _i - TH _{p_i})					
CC _{p₁} :	0,000 158(50,005 - 32,0) (50,129 363 - 27,38) = 0,064 717					
CC _{p₂} :	0,000 158(50,01 - 32,0) (50,134 395 - 27,38) = 0,064 749					
TV _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC _{p_i}					
TV ₁ :	50,005 + 0,02 + 0,04 + 0,064 717 = 50,129 717					
TV ₂ :	50,01 + 0,03 + 0,03 + 0,064 749 = 50,134 749					
\overline{TV} :	$\sum_{i=1}^{i=n} TV_i / n = (TV_1 + TV_2) / 2$					
\overline{TV} :	50,132 230					
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)					
TL _o :	49,912 5					
TI _o :	36,0					
TH _o :	27,44 ; Y _o : 0,000 158°C ⁻¹					
CC _o :	Y _o (TL _o - TI _o) (\overline{TV} - TH _o)					
CC _o :	0,000 158(49,912 5 - 36,0) (50,132 230 - 27,44) = 0,049 881					
Tin _o :	TL _o + CC _o					
Tin _o :	49,912 5 + 0,049 881 = 49,962 381					
CE _o :	\overline{TV} - Tin _o					
CE _o :	50,132 230 - 49,962 381 = +0,169 849					
CE _o :	+0,17					

FT- 3

DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 55°C

PATRON :	P ₁	;	P ₂	P ₁	;	P ₂
TL _p :	55,002 5		55,015	CR: +0,06		+0,04
TI _p :	32,0		32,0	CO: +0,02		+0,03
TH _p :	28,24		28,24	γ _p : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
				γ _p : 0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
CC' _{p_i} :	γ' _{p_i} (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TL _{p_i} - TH _{p_i})					
CC' _{p₁} :	0,000 158(55,002 5 - 32,0) (55,002 5 - 28,24) = 0,097 265					
CC' _{p₂} :	0,000 158(55,015 - 32,0) (55,015 - 28,24) = 0,097 364					
TV' _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC' _{p_i}					
TV' ₁ :	55,002 5 + 0,02 + 0,06 + 0,097 265 = 55,179 765					
TV' ₂ :	55,015 + 0,03 + 0,04 + 0,097 364 = 55,182 364					
CC _{p_i} :	γ _{p_i} (TL _{p_i} - TI _{p_i}) (TV' _i - TH _{p_i})					
CC _{p₁} :	0,000 158(55,002 5 - 32,0) (55,179 765 - 28,24) = 0,097 910					
CC _{p₂} :	0,000 158(55,015 - 32,0) (55,182 364 - 28,24) = 0,097 972					
TV _i :	TL _{p_i} + CO _{p_i} + CR _{p_i} + CC _{p_i}					
TV ₁ :	55,002 5 + 0,02 + 0,06 + 0,097 910 = 55,180 41					
TV ₂ :	55,015 + 0,03 + 0,04 + 0,097 972 = 55,182 972					
\overline{TV} :	$\frac{\sum_{i=1}^n TV_i}{n} = (TV_1 + TV_2)/2$					
\overline{TV} :	55,181 691					
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)					
TL _o :	54,915					
TI _o :	36,0					
TH _o :	28,29 ; γ _o : 0,000 158°C ⁻¹					
CC _o :	γ _o (TL _o - TI _o) (\overline{TV} - TH _o)					
CC _o :	0,000 158(54,915 - 36,0) (55,181 691 - 28,29) = 0,080 367					
Tin _o :	TL _o + CC _o					
Tin _o :	54,915 + 0,080 367 = 54,995 367					
CE _o :	$\overline{TV} - Tin_o$					
CE _o :	55,182 972 - 54,995 367 = 0,187 605					
CE _o :	+0,19					

FT - 3

DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 60°C

PATRON :	P ₁	;	P ₂		P ₁	;	P ₂
TL _p :	60,002 5		60,012 5	CR:	+0,09		+0,07
TIp :	32,0		32,0	CO:	+0,02		+0,03
TH _p :	28,35		28,35	Y _p :	0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
				Y' _p :	0,000 158°C ⁻¹		0,000 158°C ⁻¹
CC'p _i :	Y' _p (TL _p _i - TIp _i) (TL _p _i - TH _p _i)						
CC'P ₁ :	0,000 158(60,002 5 - 32,0) (60,002 5 - 28,35)=0,140 043						
CC'P ₂ :	0,000 158(60,012 5 - 32,0) (60,012 5 - 28,35)=0,140 137						
TV' _i :	TL _p _i + CO _p _i + CR _p _i + CC'p _i						
TV' ₁ :	60,002 5 + 0,02 + 0,09 + 0,140 043 = 60,252 543						
TV' ₂ :	60,012 5 + 0,03 + 0,07 + 0,140 137 = 60,252 637						
CC _p _i :	Y _p (TL _p _i - TIp _i) (TV' _i - TH _p _i)						
CCP ₁ :	0,000 158(60,002 5 - 32,0) (60,252 543 - 28,35)=0,141 149						
CCP ₂ :	0,000 158(60,012 5 - 32,0) (60,252 637 - 28,35)=0,141 200						
TV _i :	TL _p _i + CO _p _i + CR _p _i + CC _p _i						
TV ₁ :	60,002 5 + 0,02 + 0,09 + 0,141 149 = 60,253 649						
TV ₂ :	60,012 5 + 0,03 + 0,07 + 0,141 200 = 60,253 7						
\overline{TV} :	$\frac{\sum_{i=1}^n TV_i}{n} = (TV_1 + TV_2)/2$						
\overline{TV} :	60,253 675						
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)						
TL _o :	59,98						
TI _o :	36,0						
TH _o :	28,40 ; Y _o : 0,000 158°C ⁻¹						
CC _o :	Y _o (TL _o - TI _o) (\overline{TV} - TH _o)						
CC _o :	0,000 158(59,98 - 36,0) (60,253 675 - 28,40)=0,120 688						
Tin _o :	TL _o + CC _o						
Tin _o :	59,98 + 0,120 688 = 60,100 688						
CE _o :	\overline{TV} - Tin _o						
CE _o :	60,253 675 - 60,100 698 = +0,152 987						
CE _o :	+0,15						

FT - 3

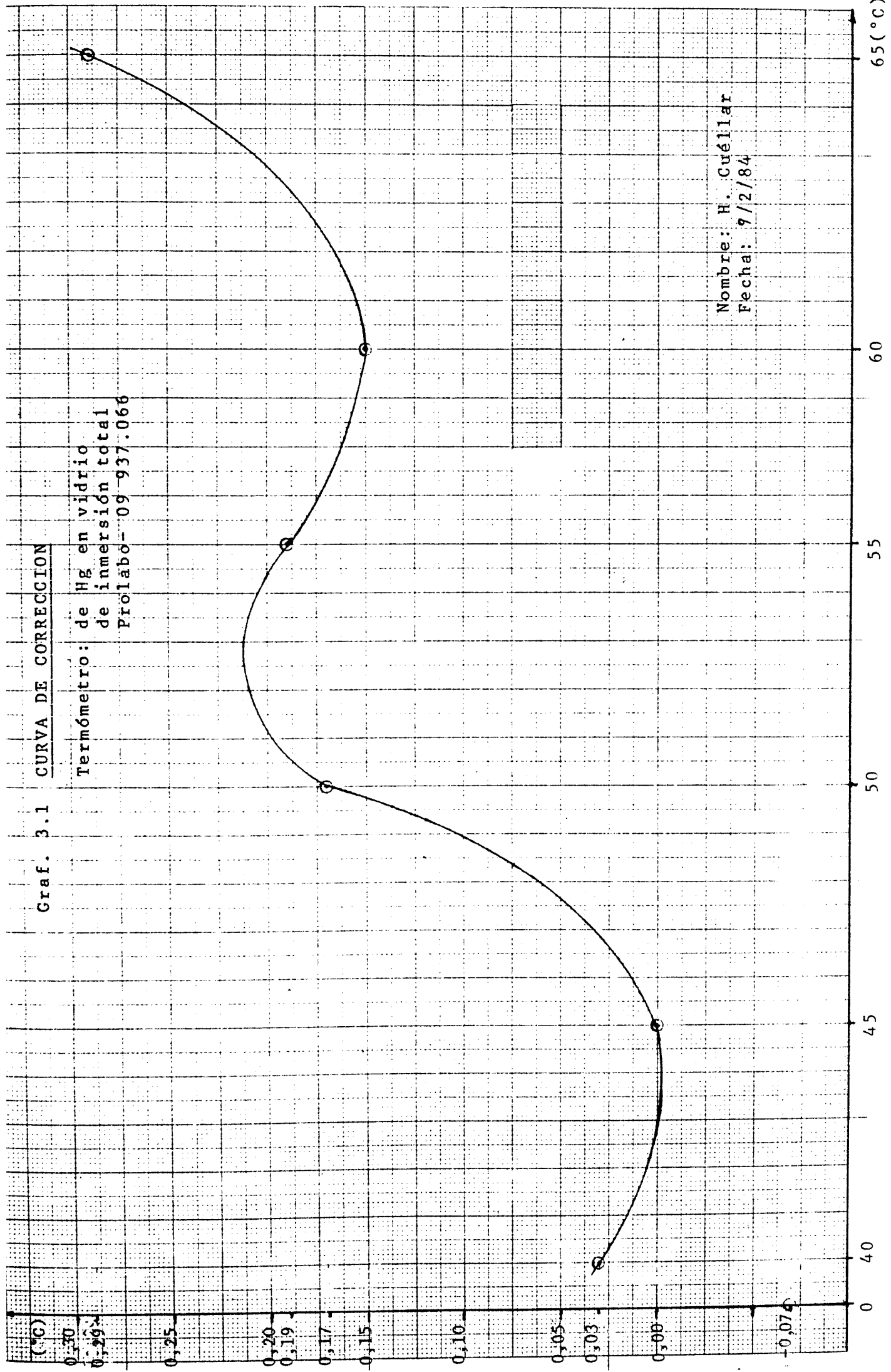
DETERMINACION DE LA CE DEL TERMOMETRO OBJETO

PUNTO : 65°C

PATRON :	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
TL _p :	65,01	65,017 5	CR: +0,16	+0,14
TIp :	32,0	32,0	CO: +0,03	+0,03
TH _p :	28,47	28,47	γ _p : 0,000 158°C ⁻¹	0,000 158°C ⁻¹
			γ' _p : 0,000 158°C ⁻¹	0,000 158°C ⁻¹
CC'p _i :	γ' _p (TLp _i - TIp _i)(TLp _i - THp _i)			
CC'P ₁ :	0,000 158(65,01 - 32,0)(65,01 - 28,47) = 0,190 577			
CC'P ₂ :	0,000 158(65,017 5 - 32,0)(65,017 5 - 28,47) = 0,190 660			
TV' _i :	TLp _i + COp _i + CRp _i + CC'p _i			
TV' ₁ :	65,01 + 0,03 + 0,16 + 0,190 577 = 65,390 577			
TV' ₂ :	65,017 5 + 0,03 + 0,14 + 0,190 660 = 65,378 160			
CCp _i :	γ _p (TLp _i - TIp _i)(TV' _i - THp _i)			
CCP ₁ :	0,000 158(65,01 - 32,0)(65,390 577 - 28,47) = 0,192 562			
CCP ₂ :	0,000 158(65,017 5 - 32,0)(65,378 160 - 28,47) = 0,192 541			
TV _i :	TLp _i + COp _i + CRp _i + CCp _i			
TV ₁ :	65,01 + 0,03 + 0,16 + 0,192 562 = 65,392 562			
TV ₂ :	65,017 5 + 0,03 + 0,14 + 0,192 541 = 65,380 041			
\overline{TV} :	$\frac{\sum TV_i}{n} = (TV_1 + TV_2)/2$			
\overline{TV} :	65,386 302			
OBJETO :	De inmersión total (utilizado como termómetro de inmersión parcial)			
TL _o :	64,925			
TI _o :	36,0			
TH _o :	28,60 ; γ _o : 0,000 158°C ⁻¹			
CC _o :	γ _o (TL _o - TI _o)(\overline{TV} - TH _o)			
CC _o :	0,000 158(64,925 - 36,0)(65,386 302 - 28,60) = 0,168 119			
Tin _o :	TL _o + CC _o			
Tin _o :	64,925 + 0,168 119 = 65,093 119			
CE _o :	$\overline{TV} - Tin_o$			
CE _o :	65,386 302 - 65,093 119 = 0,293 183			
CE _o :	0,29			

Graf. 3.1 CURVA DE CORRECCION

Termómetro: de Hg en vidrio
de inmersión total
Prolabo-09-937.066



Nombre: H. Cuéllar
Fecha: 7/2/84

INCERTIDUMBRE ALEATORIA (IA)

Punto (°C)	\bar{X}	σ	n	t	IA
0	0,065	0,002 88	4	3,2	0,004 61
40	40,098	0,002 51	4	3,2	0,004 02
45	45,055	0,002 88	4	3,2	0,004 61
50	49,913	0,004 80	4	3,2	0,007 68
55	54,915	0,002 88	4	3,2	0,004 61
60	59,98	0	4	3,2	0
65	64,975	0,005	4	3,2	0,008

\bar{X} : Promedio de lecturas.

σ : $\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$; X_i : lectura i
n : N° de lecturas

t : Factor Students para N° de lecturas n y nivel de confianza de 95%

IA : $\frac{t\sigma}{\sqrt{n}}$

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION (IM)

	0°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C
Inc.del Patrón	IS ₁ (±)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Inc.del Baño	IS ₂ (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Inc.de Lectura	IS ₃ (±)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Inc.Sistemática	IS (±)	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
Inc. Aleatoria	IA (±)	0,0046	0,0040	0,0046	0,0046	0,00	0,008
Inc. de la Medición.	IM (±)	0,067	0,067	0,067	0,067	0,063	0,071

IS₁:promedio de las incertezas de los patrones (del certificado respectivo).
IS₂:dato del fabricante.

IS₃: $\frac{1}{8}$ de la menor división.

IS = IS₁ + IS₂ + IS₃

IM = IS + IA

FT - 5

RESULTADOS DE CALIBRACION

SOLICITANTE : ITINTEC
 OBJETO : TERMOMETRO DE Hg EN VIDRIO,
 DE INMERSION TOTAL, ESC EX-
 TERNA .
 PROCEDENCIA : FRANCIA
 MARCA - N° FABRICACION : PROLABO - N° 09637.066
 RANGO : 40°C/65°C
 MENOR DIVISION : 0,1°C
 OBSERVACIONES : DE USO COMO PATRON DE TRABAJO.

Indicación termométrica (°C)	Corrección de la indi- cación. (°C)	Incertidumbre de la medición (°C)
0	-0,07	± 0,07
40	+0,03	± 0,07
45	+0,00	± 0,07
50	+0,17	± 0,07
55	+0,19	± 0,07
60	+0,15	± 0,06
65	+0,29	± 0,07

Temperatura verdadera = Indicación Termométrica + Corrección de la escala

OBSERVACIONES : Los valores de corrección de la escala sólo serán válidos si el termómetro es utilizado en posición vertical, bajo presión atmosférica normal, de manera que el bulbo puede dilatarse o contraerse libremente y en las condiciones de inmersión especificadas.

3.11 Resultados de Calibraciones de Termómetros, efectuados en el Laboratorio de Temperaturas del ITINTEC

Con el objeto de dar a conocer de manera comparativa los valores de las correcciones de las indicaciones (CE) y de la incertidumbre de la medición (IM) para diferentes termómetros - cuya calibración ha sido requerida del LTI, se presenta en este acápite las tablas de los resultados de calibración de Termómetros de vidrio y termómetros de otros tipos constructivos y que han sido comparados con termómetros patrones de vidrio.

Las operaciones efectuadas durante la calibración para los termómetros de vidrios ordinarios es semejante a lo visto en 3.10

En cuanto a los termómetros de otros tipos constructivos de acuerdo a las características y utilización, se indican las diferencias en la evaluación de las correcciones de escala y de la Incertidumbre de la medición, en cada tabla respectivamente.

Para todas las tablas que se verán a continuación se tienen los valores de :

$$IS_1 = \pm 0,04^{\circ}\text{C}$$

$$IS_2 = \pm 0,01^{\circ}\text{C}$$

$$IS_3 = \pm \frac{1}{8} \text{ de la menor división del termómetro.}$$

Nota .- Las nomenclatura utilizada es la misma que en 3.10.

TABLA DE RESULTADOS DE CALIBRACION

OBJETO : Termómetro de Hg en vidrio - Inmersión total. De escala interna.
 PROCEDENCIA : Alemania Federal
 MARCA - N° DE FABRICACION : Arno Amarel
 SOLICITANTE : Brown Boveri
 ESCALA : 0 - 100°C
 MENOR DIVISION : 1/10°C
 OBSERVACIONES : De uso en transformadores

INDICACION TERMOMETRICA (°C)	CORRECCION DE LA INDICACION (°C)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION (°C)
0	+0,06	± 0,07
10	+0,07	± 0,07
20	+0,02	± 0,07
30	-0,02	± 0,07
40	+0,02	± 0,07
50	+0,05	± 0,07
60	+0,15	± 0,07
70	+0,28	± 0,07
80	+0,36	± 0,07
90	+0,56	± 0,07
100	+0,6	± 0,07

Temperatura = Indicación Termométrica + Corrección

OBSERVACIONES :

Los valores de corrección de la escala sólo serán válidos si el termómetro es utilizado en posición vertical, bajo presión atmosférica normal de manera que el bulbo pueda dilatarse o contraerse libremente y en las condiciones de inmersión especificadas.

TABLA DE RESULTADOS DE CALIBRACION

OBJETO : Termómetro de Hg en vidrio de Inmersión total. De escala interna.
 PROCEDENCIA : Alemania Federal
 MARCA - N° DE FABRICACION : **Polymeter**
 ESCALA : -30/50°C
 MENOR DIVISION : 1°C
 OBSERVACIONES : Termómetro ambiental

INDICACION TERMOMETRICA (°C)	CORRECCION DE LA INDICACION (°C)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION(IM)
0	+0,91	± 0,12
40	+0,745	± 0,12
45	+0,85	± 0,12
50	+0,893	± 0,12

Temperatura = Indicación termométrica + Corrección

OBSERVACIONES :

Los valores de corrección de la escala serán válidos si el termómetro es utilizado en posición vertical, bajo presión atmosférica normal, de manera que el bulbo pueda dilatarse o contraerse libremente y en las condiciones de inmersión especificadas.

$$IM = 3IS_1$$

TABLA DE RESULTADOS DE CALIBRACION

OBJETO : Termómetro de resistencia de marcación digital.
 PROCEDENCIA : Alemania Federal
 MARCA - N° DE FABRICACION : Lauda Pt 100
 SOLICITANTE : ITINTEC
 RANGO 1 : 100/199°C ; RANGO 2 : 200/600°C
 MENOR DIVISION : 0,1 °C
 OBSERVACIONES : Se calibrará de 0°C a 200°C

INDICACION TERMOMETRICA (°C)	CORRECCION DE LA INDICACION (TV-TL ₀) (°C)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION (IM) (°C)
0	+0,41	<u>±</u> 0,25
40	+0,42	<u>±</u> 0,33
50	+0,87	<u>±</u> 0,35
70	+0,78	<u>±</u> 0,39
90	+1,3	<u>±</u> 0,43
100	+1,415	<u>±</u> 0,45
120	+0,25	<u>±</u> 0,49
140	+0,71	<u>±</u> 0,53
160	+0,82	<u>±</u> 0,57
180	+0,875	<u>±</u> 0,61
200	+0,15	<u>±</u> 1,45

Temperatura = Indicación termométrica + Corrección

OBSERVACIONES :

$IM = IS_1 + IS_2 + \text{Incertidumbre del Sistema} + IA$; $IA \approx 0,0$

Según catálogo, la incertidumbre del sistema (aparato + Lauda Pt 100) es:

Rango 1 (-100/199,9) °C $\pm 0,2^\circ\text{C}$ $\pm 0,2\%$ de la indicación

Rango 2 (200/600) °C $\pm 1^\circ\text{C}$ $\pm 0,2\%$ de la indicación

TABLA DE LOS RESULTADOS DE CALIBRACION

OBJETO : Termómetro Bimetálico
 PROCEDENCIA : Alemania Federal
 MARCA : Kachel
 ESCALA : -30/+50°C
 MENOR DIVISION : 1°C
 OBSERVACIONES : De uso industrial en deshidratador de alimentos utilizado en posición vertical.

INDICACION TERMOMETRICA (°C)	CORRECCION DE LA INDICACION (TV-TL ₀) (°C)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION (IM) (°C)
0	-0,41	± 0,375
10	+0,47	± 0,375
35	+0,75	± 0,375
40	+0,07	± 0,375
50	+0,1	± 0,375

Temperatura = Indicación termométrica + Corrección

OBSERVACIONES :

$IM = IS_1 + IS_2 + IS_3 + IA + \text{Incertidumbre del Sistema (Termómetro Bimetálico en uso)}$

IA ≈ 0,0

Inc del Sistema : ± 0,20°C (determinado para el termómetro específico)

IV

CALIBRACION DE TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO PARA USOS ESPECIALES

4.1 Termómetros Beckmann

Estos termómetros miden pequeñas diferencias de temperatura, están graduadas en intervalos de $0,01^{\circ}\text{C}$ ó $0,02^{\circ}\text{C}$, es posible emplearlo para distintos rangos de temperatura que cubre no más de 5°C ó 6°C .

Para realizar la medición se introduce o retira una cantidad Hg de su bulbo hasta que el menisco de la columna coincida con el 0°C (Fig. 4.1).

Cuando el termómetro se introduce en los baños de comparación que se encuentra a una temperatura de ajuste determinada. Por ejemplo para realizar una medida diferencial - entre 23°C y 24°C , se puede tomar como temperaturas de ajuste 20°C .

En un termómetro Beckmann la variación de la columna del líquido termométrico no es siempre igual para una misma variación de temperatura cuando la temperatura de ajuste no es la misma. Por esta razón sus correcciones de escala, CE, se determinan teniendo en cuenta lo siguiente :

- CE para el 0°C es igual a cero.
- Para el resto de las divisiones, CE estará dado por :

$$CE = (t_b - t_a) - (I - I_a) \quad (50)$$

donde :

t_a : Es la temperatura ajuste.

I_a : Es la indicación del termómetro a calibrar cuando el bulbo se encuentra expuesto a la temperatura t_a .

I : Es la indicación del termómetro a calibrar cuando el bulbo se encuentra expuesto a la temperatura t_b .

Los termómetros Beckmann son siempre calibrados para una temperatura de ajuste de 20°C , luego para determinar las correcciones para otras temperaturas de ajuste, se utilizará un factor de ajuste.

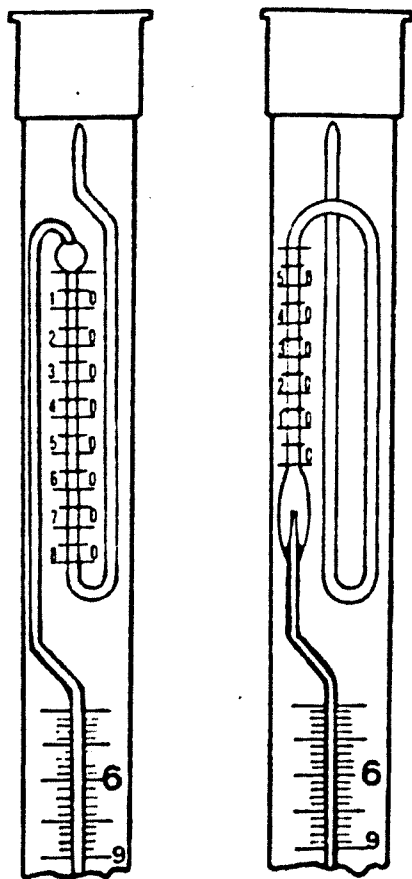


Fig 4.1 Formas del Tope superior del Capilar de un Termómetro Beckmann - por donde el Volumen de Hg puede ser variado.

Para la calibración de un termómetro Beckmann, fundamentalmente se tomará en cuenta lo siguiente :

- Las lecturas serán tomadas generalmente en las divisiones principales de la escala (0, 1, 2 ... n) y en cada una de ellas el menisco deberá estar situado dentro del intervalo $i \pm 0,05$ ($i = 0, 1, 2 \dots n$).
- La temperatura de ajuste debe estar comprendida en el intervalo $(20 \pm 0,05)^\circ\text{C}$.
- Las indicaciones se compararán con dos termómetros comunes o dos termómetros Beckmann patrones.
- El método de lectura será similar al ya visto en 3.6.

4.1.1 Procedimiento a seguir para la calibración de un Termómetro Beckmann de Inmersión Total

- El baño de comparación con los termómetros patrones se regula a $(20 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ para regular el Hg del termómetro Beckmann a calibrar a $(0 \pm 0,05)^\circ\text{C}$.
- Luego se variará la temperatura del baño para efectuar la lectura en el termómetro Beckmann a $(1 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ y así sucesivamente para todas las restantes divisiones de la escala.

Ejemplo numérico :

A continuación se detalla sobre el cálculo de CE en la calibración de 2 termómetros Beckmann, E_1 y E_2 , utilizando como patrones los termómetros ordinarios P_1 y P_2 , para la

división de la escala de los termómetros Beckmann correspondientes a 1°C.

Comparación en la división de la Escala de los Termómetros Beckmann correspondiente al 0°C

	Termómetros			
	P ₁	E ₁	E ₂	P ₂
Observador A leyendo:				
	20,000	0,022	0,004	20,000
	20,000	0,023	0,004	20,000
Observador B leyendo:				
	20,001	0,023	0,005	20,000
	20,001	0,023	0,005	20,000
Promedio de las indicaciones.	20,000 5	Ia=0,022 8	Ia=0,004 5	20,000

Lectura en el punto de hielo de los termómetros patrones - después de la Comparación

Observador A	+0,016	+0,019
Observador B	+0,016	+0,019
Promedio	+0,016	+0,019
CO	-0,016	-0,019

Cálculo de la Temperatura ta

Promedio de las indicaciones.	20,000 5	0,022 8	0,004 5	20,000
-------------------------------	----------	---------	---------	--------

	P ₁	E ₁	E ₂	P ₂
Corrección reducida (de tablas de cali- bración). CR: -0,010 0				-0,003
Corrección del cero CO: -0,016 0				-0,019
Corrección por co- lumna emergente. CC: -				-
Temperatura verda- dera. TV: 19,974 5				19,978 0
Temperatura prome- dio.				
$\frac{TV_1 + TV_2}{2} = ta$			19,976 3	

Comparación en la división de la escala de los termómetros

Beckmann correspondiente a 1°C

	P ₁	E ₁	E ₂	
Observador A leyendo:				
	21,000	1,010	0,999	20,990
	21,000	1,010	0,999	20,990
Observador B leyendo:				
	21,003	1,013	1,002	20,992
	21,003	1,013	1,003	20,993
Promedio de indica- ciones.	21,001 5	I ₁ =1,011 5	I ₁ =1,000 8	20,991 3

Lectura en el punto de hielo de los termómetros patrones des-
pués de la Comparación

	P_1	E_1	E_2	P_2
Observador A	+0,016			+0,019
Observador B	+0,016			+0,019
Promedio	+0,016			+0,019
CO	-0,016			-0,019

Cálculo de CE en E_1 y E_2 para la división de la escala correspondiente a 1°C

	P_1	E_1	E_2	P_2
Promedio de indicaciones.	21,001 5	1,011 5	1,000 8	20,991 3
Corrección reducida (de tablas de calibración). CR:	-0,02			-0,003
Corrección del cero CO:	-0,016			-0,019
Temperatura verdadera. TV:	20,965 5			20,969 3
Temperatura promedio				
$\frac{TV_1 + TV_2}{2} = tb_1$			20,967 4	
Diferencia $tb_1 - ta$			0,991 1	
Diferencia $I_1 - I_a$		0,988 7	0,996 3	
CE (de la ecuación (50))		+ 0,002 4	- 0,005 2	

De modo semejante el anterior se efectúa también al calibración de un termómetro Beckmann de inmersión total utilizando 2 termómetros Beckmann patrones y en tal caso se ajusta-

TABLA 4.1 FACTOR DE REAJUSTE PARA UN TERMOMETRO BECKMANN

INMERSION TOTAL

Temperatura de Ajuste: ta (°C)	Factor de ajuste : K	
	Vidrio Normal 16"	Vidrio N° 2954
- 20	0,986 2	0,988 5
- 15	0,988 1	0,990 1
- 10	0,990 0	0,991 7
- 5	0,991 8	0,993 2
0	0,993 6	0,994 7
5	0,995 2	0,996 1
10	0,996 9	0,997 4
15	0,998 5	0,998 7
20	1,000 0	1,000 0
25	1,001 5	1,001 2
30	1,002 9	1,002 4
35	1,004 2	1,003 5
40	1,005 5	1,004 5
45	1,006 8	1,005 5
50	1,008 0	1,006 5
55	1,009 1	1,007 4
60	1,010 2	1,008 3
65	1,011 2	1,009 1
70	1,012 2	1,009 8
75	1,013 1	1,010 5
80	1,013 9	1,011 2
85	1,014 7	1,011 8
90	1,015 5	1,012 3
95	1,016 2	1,012 8
100	1,016 8	1,013 3
105	1,017 4	1,013 7
110	1,017 9	1,014 0
115	1,018 3	1,014 3
120	1,018 7	1,014 6
125	1,019 1	1,014 8
130	1,019 4	1,014 9
135	1,019 6	1,015 0
140	1,019 8	1,015 1

rán todos los termómetros a la temperatura de $20 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

4.1.1.1 Determinación de la corrección de Escala (CE) de las indicaciones de un Termómetro Beckmann de Inmersión Total en otros Rangos de Temperatura.

Para temperaturas de ajuste distintas de 20°C , para obtener CE se tiene :

$$C_i (t_a) = C_i (20) + i (K - 1) \quad (51)$$

donde :

i : es igual a 1°C , 2°C $n^{\circ}\text{C}$

$C_i (t_a)$: CE que se aplicará a la indicación i para una t_a distinta de 20°C .

$C_i (20)$: CE para la indicación i de la escala correspondiente a una temperatura de ajuste de 20°C .

K : factor de ajuste que depende de t_a , de la clase de vidrio del termómetro y de la temperatura de la columna emergente si es diferente de t_a . $K=1$ para $t_a = 20^{\circ}\text{C}$

En la tabla 4.1 se muestra el factor de ajuste K para 2 tipos de vidrios utilizados frecuentemente en la fabricación de los termómetros Beckmann.

4.1.2 Procedimiento a seguir para la Calibración de un Termómetro Beckmann de Inmersión Parcial.

Los termómetros Beckmann de inmersión parcial son calibrados

para una temperatura de ajuste de 20°C y a una temperatura de columna emergente de 20°C . Para otras temperaturas de ajuste se utiliza la ecuación (51) y los valores de los factores de ajuste son dados en la Tabla 4.2, pero como puede verse son para una temperatura media de la columna emergente.

Los pasos a seguir son los siguientes :

- Las indicaciones del Termómetro Beckmann serán comparados con 2 termómetros patrones que pueden ser del tipo común o Beckmann.
- El Termómetro Beckmann se ajusta a la temperatura de 20°C .
- Se sumergen completamente en el baño de comparación conjuntamente con los 2 termómetros patrones.
- Se determina la temperatura de inmersión t_m , que es la temperatura a la que deberá estar expuesto el bulbo del Termómetro Beckmann que ha sido ajustado a 20°C para que el menisco de la columna de Hg se encuentre al mismo nivel que la línea de inmersión que generalmente se encuentra sobre la unión de los 2 capilares del termómetro como puede verse en la Fig. 4.2.
- Las observaciones sobre las i indicaciones del termómetro se realizarán semejantes a lo efectuado para un termómetro Beckmann de inmersión total.
- Las CE tienen que ser referidas a una temperatura media de la columna emergente de 20°C . Para lo cual es nece

**TABLA 4.2 FACTORES DE AJUSTE PARA UN TERMOMETRO BECKMANN
DE INMERSION PARCIAL**

Temperatura de ajuste t_a (°C)	Temperatura media de la columna emergente (°C)	Factor de ajuste K	
		Vidrio normal 16"	Vidrio N°2954
- 20	12	0,981 2	0,983 3
- 15	13	0,983 8	0,985 6
- 10	14	0,986 3	0,987 8
- 5	15	0,988 7	0,989 9
0	16	0,991 0	0,992 1
5	17	0,993 4	0,994 1
10	18	0,995 6	0,996 1
15	19	0,997 8	0,998 1
20	20	1,000 0	1,000 0
25	21	1,002 1	1,001 9
30	22	1,004 2	1,003 7
35	23	1,006 2	1,005 4
40	24	1,008 1	1,007 2
45	25	1,010 0	1,008 8
50	26	1,011 8	1,010 5
55	27	1,013 6	1,012 0
60	28	1,015 3	1,013 5
65	29	1,017 0	1,015 0
70	30	1,018 6	1,016 4
75	31	1,020 1	1,017 8
80	32	1,021 6	1,019 1
85	33	1,023 1	1,020 4
90	34	1,024 5	1,021 6
95	35	1,025 8	1,022 8
100	36	1,027 1	1,023 9
105	37	1,028 3	1,025 0
110	38	1,029 5	1,026 0
115	39	1,030 6	1,027 0
120	40	1,031 6	1,027 9
125	41	1,032 6	1,028 7
130	42	1,033 6	1,029 6
135	43	1,034 4	1,030 3
140	44	1,035 3	1,031 0

sario aplicar correcciones adicionales (CC) sobre las mediciones del termómetro.

$$CC = \gamma (N + M) (t_c - t_b) \quad (52)$$

donde:

- N : es la temperatura leída sobre la escala del termómetro a calibrar.
- M : es la diferencia en grados celsius entre la temperatura de 20°C correspondiente a la graduación a 0°C sobre la escala y la temperatura t_m ;
 $M = (20 - t_m)^\circ\text{C}$.
- t_c : temperatura de la columna emergente a la que deberá referirse los valores de CE (en este caso 20°C)
- t_b : temperatura a la que está expuesto el bulbo del termómetro.
- γ : coeficiente relativo de expansión cúbica para una temperatura T :

$$T = \frac{t_c + t_b}{2}$$

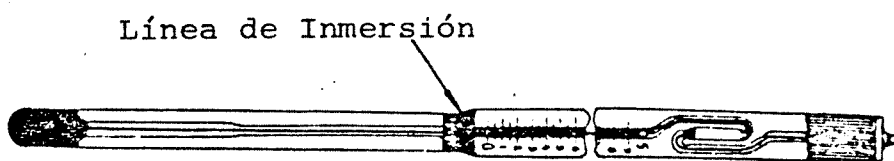


Fig 4.2 Termómetro Beckmann de inmersión parcial

Ejemplo numérico :

Para un termómetro Beckmann de inmersión parcial, de vidrio normal de 16" , en la primera fase de calibración se determinó las siguientes correcciones sobre las indicaciones del termómetro :

i (°C)	C_i (°C)
1	+0,002
2	+0,001
3	+0,000
4	+0,000
5	+0,002

La corrección adicional CC, para la profundidad de inmersión determinada y para una temperatura media de la columna de 20°C se obtiene mediante (52). Tenemos: $t_m = 18,27^\circ\text{C}$

$$t_c = 20^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 158 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Luego :

$$CC_1 = 158 \cdot 10^{-6} (1 + 1,73) (20 - 21) = 0,000$$

$$CC_2 = 158 \cdot 10^{-6} (2 + 1,73) (20 - 22) = -0,001$$

$$CC_3 = 158 \cdot 10^{-6} (3 + 1,73) (20 - 23) = -0,002$$

$$CC_4 = 158 \cdot 10^{-6} (4 + 1,73) (20 - 24) = -0,004$$

$$CC_5 = 158 \cdot 10^{-6} (5 + 1,73) (20 - 25) = -0,005$$

Luego las correcciones de escala para el Termómetro Beckmann de inmersión parcial y para una temperatura media de la columna emergente de 20°C, será :

$$C_i (20) = C_i + CC_i \quad (i = 1 \dots 5)$$

Reemplazando los valores determinados anteriormente se tendrá :

$$C_1 (20) = +0,002^\circ\text{C}$$

$$C_2 (20) = 0,000^\circ\text{C}$$

$$C_3 (20) = -0,002^\circ\text{C}$$

$$C_4 (20) = -0,004^\circ\text{C}$$

$$C_5 (20) = -0,003^\circ\text{C}$$

4.1.3 Correcciones por Columna Emergente

Como ya se explicó anteriormente, se aplican las correcciones por columna emergente cuando el termómetro no es utilizado según sus condiciones de calibración. Como su uso es para medir diferencias de temperaturas, las correcciones se aplicarán sobre esta diferencia. Generalmente se presentan dos casos :

4.1.3.1 Para un termómetro Beckmann de inmersión parcial - correctamente inmerso pero la temperatura media de la columna emergente para la temperatura t_a a la que fué ajustada - no es la correcta según la Tabla 4.2. La corrección sobre la diferencia de temperatura medida $(L_2 - L_1)$, será :

$$CC = \gamma (L_2 - L_1) (t_c - t_h) \quad (53)$$

donde :

L_1 , L_2 : Lectura inicial y final obtenida durante la medición.

t_c : temperatura que debe poseer el Termómetro Beckmann para que los valores de la tabla de calibración sean correctos.

t_h : temperatura media de la columna emergente y que se mantiene sensiblemente constante durante la medición.

γ : coeficiente relativo de expansión cúbica, para una temperatura T :

$$T = \frac{t_c + t_m}{2}$$

4.1.3.2 Para un Termómetro Beckmann que ha sido calibrado como un termómetro de inmersión total, pero que es utilizado parcialmente sumergido. La corrección que se aplica sobre la diferencia $(L_2 - L_1)$ será :

$$CC = \gamma (L_2 - L_1) (t_a + m + L_1 + L_2 - t_h) \quad (54)$$

donde :

$L_1 ; L_2$: semejante significado que en la expresión (53).

t_a : temperatura de ajuste.

t_h : temperatura media de la columna emergente que se mantiene sensiblemente constante durante la medición.

m : número de grados que debe descender el menisco de la columna de Hg desde la división de la escala correspondiente al 0°C al nivel de la inmersión.

4.1.4. Tolerancia para un Termómetro Beckmann

La tolerancia para un termómetro Beckmann se define como el máximo valor que puede tener la diferencia entre las correcciones CE entre dos divisiones cualesquiera, separadas entre sí por 1°C o más. Estos valores se aprecian en la Tabla 4.3

TABLA 4.3 TOLERANCIAS PARA TERMOMETROS BECKMANN

Escala graduada en intervalos - de temperaturas de : (°C)	Diferencia máxima de las correcciones CE para un intervalo de temperatura de 1°C de separación. (°C)	Diferencia máxima de las correcciones CE para un intervalo de temperatura de más de 1°C de separación (°C)
0,01	0,01	0,02
0,02	0,02	0,04

Los valores de las tolerancias son válidos para una temperatura de ajuste de 20°C.

4.2 Termómetros de Columna

Usualmente son utilizados para la medida de la temperatura de la columna, de líquido termométrico, emergente.

La Tabla 4.4 muestra los termómetros de columna más utilizados en la práctica.

TABLA 4.4 TERMOMETROS DE COLUMNA DE MAYOR UTILIZACION

Longitud del bulbo (cm)	Rango de temperaturas que cubre la escala. (°C)	Escala graduada en intervalos de temperaturas de : (°C)
5	10 a 200	1 a 2
5	10 a 200	1 a 2
5	200 a 600	2
10	-40 a 50	0,5
10	0 a 150	1
10	150 a 300	1

Se calibran en forma siguiente :

- Totalmente sumergidos con 2 termómetros patrones.
- Las correcciones son referidas a una temperatura media de la columna de 20°C.
- La corrección por columna emergente CC, está dada por :

$$CC = \gamma (t_l - t_c) (t_c - t_h) \quad (55)$$

donde :

- t_l : temperatura de indicación del termómetro.
- t_o : temperatura correspondiente al menisco de la columna del líquido termométrico que se encuentra al mismo nivel que el extremo superior de su bulbo.
- t_c : temperatura media de la columna a la que debe estar expuesta : 20°C.

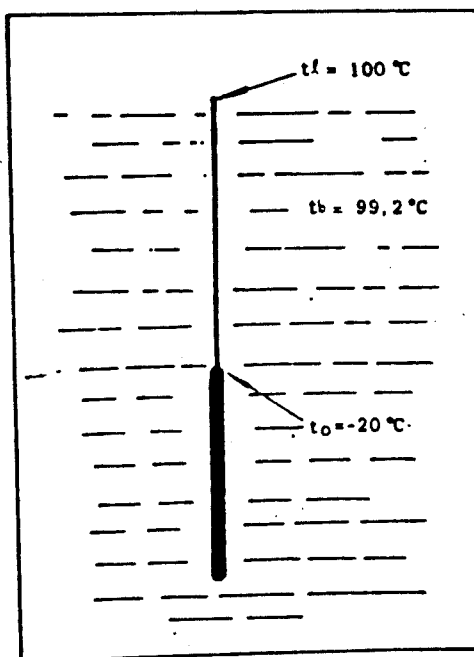
t_h : temperatura media que rodea a la columna de líquido termométrico.

γ : coeficiente relativo de expansión cúbica.

En la práctica no se efectúa correcciones por columna para estos termómetros a menos que la temperatura del medio que la rodea sea muy diferente de 20°C .

Ejemplo numérico :

Se tiene el termómetro de columna como se ve en la figura - para el cual se ha de determinar su corrección por columna emergente CC.



$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$t_c = 20^\circ\text{C}$$

$$t_o = -20^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 158 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Reemplazando los datos y aplicando la ecuación (55) se determina CC :

$$CC = -1,51^{\circ}\text{C}$$

evaluamos CE :

$$CE = TV - (t_1 - CC)$$

Se tiene: $TV = t_b$

Luego :

$$CE = 99,92 - (100 + (-1,51))$$

$$CE = +1,43^{\circ}\text{C}$$

4.3 Termómetros Hipsométricos

Estos termómetros sirven para determinar la presión atmosférica a partir de la temperatura de ebullición del agua pura. Su escala generalmente viene graduada en mm Hg ó mbar.

Su calibración es similar a los termómetros comunes:

- Se sumergen completamente en el baño con dos termómetros patrones y se compara para varios valores de temperaturas.
- El valor de la presión atmosférica correspondiente a la temperatura del baño o temperatura verdadera se obtendrá de tablas semejantes a la Tabla 4.5 expresada en mm de Hg.
- Si una observación a una temperatura t_b no coincide en

alguno de sus valores dados en la Tabla 4.5, el valor correspondiente de presión se puede determinar utilizando el cociente $\Delta P / \Delta t$ de la Tabla 4.5 con la siguiente relación :

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P - P_o}{t_b - t_o} \quad (56)$$

luego :

$$P = P_o + \frac{\Delta P}{\Delta t} (t_b - t_o) \quad (57)$$

donde :

P : es el valor de la presión correspondiente a la temperatura t_b del baño o temperatura verdadera.

t_b : valor medio de la temperatura del baño.

t_o : valor inferior más cercano al valor de t_b , se obtiene de tablas.

P_o : presión correspondiente a t_o , se obtiene de las tablas.

$\frac{\Delta P}{\Delta t}$: este cociente también se obtiene de tablas, para el intervalo de temperatura que corresponde a t_b .

La corrección de escala CE en la indicación de presión correspondiente estará dada por :

$$CE = P - P'_t$$

TABLA 4.5 VALORES DE PRESION P CORRESPONDIENTE A LA TEM-
PERATURA DE EBULLICION (tb)

Presión P (mm de Hg)	Temperatura de ebu- llición (°C)	$\Delta P / \Delta t$ (mm de Hg/°C)
570	92,136	21,2
580	92,600	21,5
590	93,058	21,8
600	93,510	22,1
610	93,955	22,4
620	94,395	22,7
630	94,828	23,0
640	95,256	23,3
650	95,678	23,7
660	96,095	24,0
670	96,507	24,3
680	96,914	24,6
690	97,315	24,9
700	97,712	25,2
710	98,105	25,5
720	98,492	25,8
730	98,876	26,1
740	99,255	26,4
750	99,629	26,7
760	100,000	27,0
770	100,367	27,3
780	100,729	27,6
790	101,088	28,0
800	101,443	28,3

donde :

P : es el valor de la presión correspondiente a la temperatura del baño t_b .

P'_t : es el valor de la presión indicada sobre la escala del termómetro cuando se encuentra expuesto a la temperatura t_b .

Ejemplo numérico :

En este ejemplo se determina la CE para un termómetro en el cual en el momento de la observación se tiene :

$$t_b = TV = 98,45^\circ\text{C} \quad (\text{temperatura verdadera})$$

Para $t_b = 98,45$ de la tabla 4.5 : $t_o = 98,105^\circ\text{C}$; $P_o = 710$
mm Hg;

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = 25,5 \text{ mm Hg}/^\circ\text{C}$$

Reemplazando estos valores en (57) :

$$P = 710 + 25,5 (98,45 - 98,105) = 718,80 \text{ mm Hg}$$

El termómetro hipsométrico indica, para la temperatura $t_b = 98,45^\circ\text{C}$, una presión $P'_t = 718,94$ mm Hg

Luego :

$$CE = 718,80 - 718,94$$

$$CE = -0,14 \text{ mm de Hg}$$

4.4 Termómetros Calorimétricos

Son utilizados para medir pequeñas diferencias de temperaturas pero son de rangos fijos a diferencia de los termómetros Beckmann. Están graduados en intervalos de $0,01^{\circ}\text{C}$ ó $0,02^{\circ}\text{C}$.

Su calibración se efectúa en forma similar a lo explicado para los termómetros ordinarios en el Capítulo III.

En la Tabla 4.6 se muestra las tolerancias que pueden esperarse cuando los termómetros han sido construidos con materiales y tratamientos térmicos adecuados.

TABLA 4.6 TOLERANCIA PARA TERMOMETROS CALORIMETRICOS

Escala graduada en intervalos de temperaturas de : ($^{\circ}\text{C}$)	Diferencia máxima de las correcciones CE para un intervalo de temperatura de $1,5^{\circ}\text{C}$ de separación. ($^{\circ}\text{C}$)
0,01	0,01
0,02	0,02

Cuando son usados en condiciones ambientales distintas a sus condiciones de calibración, se aplican las correcciones por columna emergente directamente sobre las medidas de las diferencias de temperaturas. Pueden presentarse dos casos :

1er Caso.- El termómetro calorimétrico es usado correctamente inmerso pero la temperatura de la columna emergente es distinta a la de su calibración. Teniendo que la temperatura media de la columna emergente durante la medición se mantiene - sensiblemente constante, la CC será :

$$CC = \gamma (L_2 - L_1) (t_c - t_h) \quad (58)$$

Los términos tienen el mismo significado que en (53).

2do. Caso.- El termómetro calorimétrico de inmersión total es utilizado como un termómetro de inmersión - parcial, manteniéndose sensiblemente constante la temperatura de la columna emergente. La corrección por columna que se aplicará es :

$$CC = \gamma (L_2 - L_1) (L_1 + L_2 - t_i - t_h) \quad (59)$$

donde :

t_i : lectura sobre la escala del termómetro que se encuentra al mismo nivel - que la superficie del baño.

γ, L_1, L_2, t_h : tienen el mismo significado - que en (53) y (58).

Ejemplo numérico :

En un termómetro calorimétrico que se ha sumergido hasta - la división de la escala correspondiente a 18°C (I), la lectura inicial L_1 fué de 20°C y final L_2 de 25°C , la tempera-

donde :

L_1 : valor que indica el termómetro cuando su bulbo es -
expuesto a la temperatura de 41°C (antes de contar-
se la columna).

L_2 : indicación del termómetro cuando ha sido enfriado a
temperatura ambiente (después de cortarse la colum-
na de Hg) a 41°C .

CC : es la corrección por columna y se calcula por la ex-
presión :

$$CC = \gamma \frac{Z}{S} (L_2 - th) \quad (62)$$

donde :

Z : longitud de la columna de Hg después que ésta se ha
cortado.

S : sensibilidad del termómetro (mm/ $^\circ\text{C}$)

th : temperatura de la columna del termómetro después --
de que ha sido enfriado a temperatura ambiente.

γ : coeficiente relativo de expansión cúbica para la --
temperatura T :

$$T = \frac{L_2 + th}{2}$$

Normalmente el control metrológico de estos termómetros es
obligatorio y las tolerancias para su aprobación o reprobación
se encuentran especificadas en las normas técnicas au-
torizadas de cada país.

tura media de la columna emergente t_h de 20°C y $\gamma=16.10^{-5}\cdot\text{C}^{-1}$ se evaluará su corrección por columna CC, reemplazando datos en (59) será :

$$CC= 16.10^{-5} (25 - 20) (25 + 20 - 18 - 20) = 0,006^\circ\text{C}$$

Luego el valor corregido de la diferencia la lectura, ΔLC , será :

$$\Delta LC = \Delta L + CC = 5 + 0,006 = 5,006^\circ\text{C}$$

4.5 Termómetros Clínicos de Máxima

Estos termómetros son comparados normalmente con dos termómetros patrones dispuestos totalmente sumergidos y en gran número.

Usualmente las observaciones son hecha a 37°C , 39°C y 41°C y el error de cada termómetro controlado se determina por la diferencia :

$$E = T_L - T_V \quad (60)$$

T_V : temperatura corregida indicada por los patrones --- (temperatura verdadera).

T_L : temperatura leída en el termómetro clínico.

En la Tabla 4.7 se dan los resultados de verificación de las indicaciones de 21 termómetros clínicos efectuados en el Laboratorio de Temperatura del ITINTEC.

En la aferición de estos termómetros se comprueba también la retracción (R), de la medida de temperatura por la siguiente diferencia :

$$R = (L_2 + CC) - L_1 \quad (61)$$

Tabla 4.7 VERIFICACION DE LAS INDICACIONES DE TERMOMETROS CLINICOS DE MAXIMA

MARCA	IDENTIFICACION	37°C				39°C			41°C			APROBADO / REPROBADO
		TL	\overline{TV}	ERROR TL-TV	TL	\overline{TV}	ERROR \overline{TV} TL-TV	TL	\overline{TV}	ERROR TL - TV		
		Patrones		36,967			39,003			40,991		
TOP	1	37,1		+0,133	39,1		+0,097	40,65		-0,341	R	
TOP	2	37,1		+0,133	39,12		+0,117	41,11		+0,119	R	
TOP	3	37,12		+0,153	39,12		+0,117	41,08		+0,089	R	
TOP	4	37,2		+0,233	39,2		+0,197	41,08		+0,109	R	
TOP	5	37,1		+0,133	39,12		+0,117	41,12		+0,129	R	
SMIC	6	37,0		+0,033	39,01		+0,007	41,07		+0,075	A	
SMIC	7	37,0		+0,033	39,02		+0,017	41,08		+0,087	A	
SMIC	8	37,05		+0,083	39,05		+0,047	41,08		+0,089	A	
SMIC	9	37,0		+0,033	39,08		+0,077	41,08		+0,089	A	
SMIC	10	37,05		+0,083	39,1		+0,097	41,11		+0,119	R	
SAFETY	11	37,1		0,133	39,15		+0,147	41,11		+0,119	R	
SAFETY	12	37,0		+0,033	39,05		+0,047	41,08		+0,089	A	
SAFETY	13	37,11		+0,143	39,18		+0,177	41,2		+0,209	R	
SAFETY	14	37,1		+0,133	39,12		+0,117	41,15		+0,155	R	

Tabla 4.7 (continuación.)

MARCA	IDENTIFI- CACION	37°C			39°C			41°C			APROBADO/ REPROBADO
		TL	\overline{TV}	ERROR TL - \overline{TV}	TL	\overline{TV}	ERROR TL - \overline{TV}	TL	\overline{TV}	ERROR TL - \overline{TV}	
SAFETY	PATRON 15	37,09	36,967	+0,123	39,09	39,003	+0,087	41,0	40,991	+0,009	R
TERUMO	16	37,03		+0,063	39,09		+0,087	41,09		+0,099	A
TERUMO	17	37,02		+0,053	39,05		+0,047	41,08		+0,089	A
TERUMO	18	37,05		+0,083	39,08		+0,077	41,11		+0,119	R
TERUMO	19	37,05		+0,083	39,01		+0,097	41,15		+0,159	R
TERUMO	20	37,0		+0,033	39,01		+0,007	41,05		+0,059	A
TERUMO	21	36,95		-0,017	39,02		+0,017	41,04		+0,049	A

R : Reprobado según Norma ITINTEC LT-01 en la prueba de exactitud.

A : Aprobado según Norma ITINTEC LT-01 en la prueba de exactitud.

Observaciones : .De los 21 termómetros verificados se tiene 9 aprobados (43%) y 12 reprobados (57%).

.La tolerancia del error máximo para los termómetros clínicos es de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ según Norma LT-01 del ITINTEC y también según la Recomendación Internacional N° 7 de la Organización Internacional de Metrología Legal.

. Todos los termómetros clínicos verificados son de menor división de $0,1^{\circ}\text{C}$ y de escala la externa, excepto los de marca TERUMO son de escala interna.

4.6 Termómetros Industriales

Usualmente están protegidos por una funda metálica, lo cual resulta ser fuente de errores principalmente por el efecto de retardo, y éste puede ser disminuído si se coloca en el espacio vacío entre el termómetro y la funda metálica alguna sustancia buena conductora del calor, sin embargo otra fuente de error lo constituye el medio en que estos termómetros son sumergidos por ejemplo en una masa de gas.

En general si se mide sólo cambios de temperatura, estos errores no son considerados, pero si es necesario cierta exactitud en las indicaciones del termómetro. Convendrá calibrar el termómetro tratando de que las condiciones ambientales durante su calibración sean semejantes a las de su uso, es decir si es factible efectuar la calibración en el lugar de utilización.

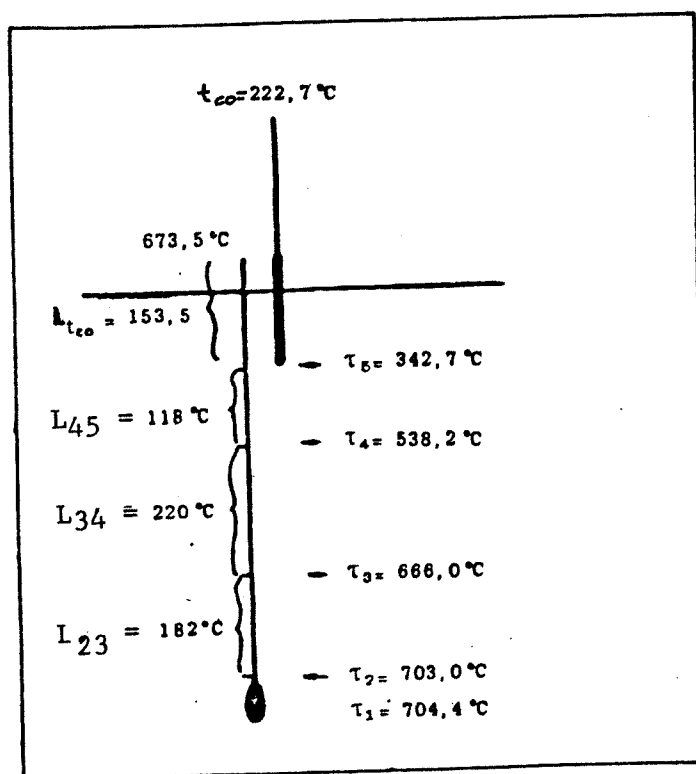
4.7 Calibración de un Termómetro de Vidrio para Temperaturas Superiores a 550°C

Para la calibración de termómetros de vidrio para temperaturas superiores a 550°C es de uso ordinario utilizar hornos eléctricos pero los cuales escasamente disponen de las dimensiones necesarias, uniformidad y estabilidad de temperatura es decir en general no poseen de un adecuado bloque homogeneizador como se vió en 1.3.2.9, y se presenta un apreciable gradiente de temperatura en el sentido de su eje lon

gitudinal y habrá que evaluar sus correcciones por columna del termómetro a calibrar. Para la determinación de la temperatura media de la columna puede emplearse termocuplas Pt - Pt Rh (10%) y si es posible termómetros de columna.

Ejemplo numérico :

Se evaluará la corrección de escala para un termómetro de cuarzo - galio introducido en un horno eléctrico y regulado a una temperatura aproximada de 700°C tal como se aprecia en la figura:



donde :

τ_1 τ_2 τ_3 τ_4 τ_5 : son las temperaturas medidas en puntos a lo largo de los diferentes tramos, de la columna del termómetro a calibrar mediante termocuplas.

t_{co} : es la temperatura media a lo largo del último tramo medido con un termómetro de columna.

Se evaluará la corrección de columna, CC, del termómetro objeto a calibrar del siguiente modo :

$$CC = CC_{\tau_2 \tau_3} + CC_{\tau_3 \tau_4} + CC_{\tau_4 \tau_5} + CC_{t_{co}} \quad (63)$$

donde :

$CC_{\tau_2 \tau_3}$: corrección por columna que se aplica al tramo L_{23} de la columna del termómetro y para el cual la temperatura media del tramo estará dada por el promedio de las temperaturas τ_2 y τ_3 .

$CC_{\tau_3 \tau_4}$; $CC_{\tau_4 \tau_5}$;

$C_{t_{co}}$: corrección por columna que se define de manera análoga a la anterior.

De acuerdo a la disposición de las termocuplas y termómetros de columna se evalúa la CC de las siguientes expresiones :

$$CC_{\tau_2 \tau_3} = \gamma_{23} \frac{L_{23}}{2} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{\tau_2 + \tau_3}{2} \right) \quad (64)$$

$$CC_{\tau_3 \tau_4} = \gamma_{34} \frac{L_{34}}{2} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{\tau_3 + \tau_4}{2} \right) \quad (65)$$

$$CC_{\tau_4 \tau_5} = \gamma_{45} L_{45} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{\tau_4 + \tau_5}{2} \right) \quad (66)$$

$$CC_{t_{co}} = \gamma_{t_{co}} L_{t_{co}} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - t_{co} \right) \quad (67)$$

Se tiene para :

$$\gamma_{23} = \gamma_{34} = \gamma_{45} = \gamma_{t_{co}} = 10 \cdot 10^{-5}$$

reemplazando datos en (64), (65), (66) y (67) :

$$CC_{\tau_2 \tau_3} = 182 \cdot 10 \cdot 10^{-5} (703,7 - 684,5) = +0,3^\circ\text{C}$$

$$CC_{\tau_3 \tau_4} = 220 \cdot 10 \cdot 10^{-5} (703,7 - 602,1) = +2,2^\circ\text{C}$$

$$CC_{\tau_4 \tau_5} = 118 \cdot 10 \cdot 10^{-5} (703,7 - 440,5) = +3,1^\circ\text{C}$$

$$CC_{t_{co}} = 153,5 \cdot 10 \cdot 10^{-5} (703,7 - 222,7) = +7,4^\circ\text{C}$$

Luego reemplazando en (63) :

$$CC = 0,3 + 2,2 + 3,1 + 7,4$$

$$CC = +13,0^\circ\text{C}$$

La temperatura verdadera está dada por el promedio de las temperaturas τ_1 y τ_2 de las termocuplas patrones; luego :

$$TV = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} = \frac{704,4 + 703,0}{2}$$

$$TV = 703,7^\circ\text{C}$$

Corrección de escala por efecto de columna, CE, será :

$$CE = TV - (TL + CC)$$

donde :

TL : temperatura leída en el termómetro objeto a calibrar.

$$TL = 673,5^{\circ}\text{C}$$

luego :

$$CE = 703,7 - (673,5 + 13,0)$$

$$CE = +17,2^{\circ}\text{C}$$

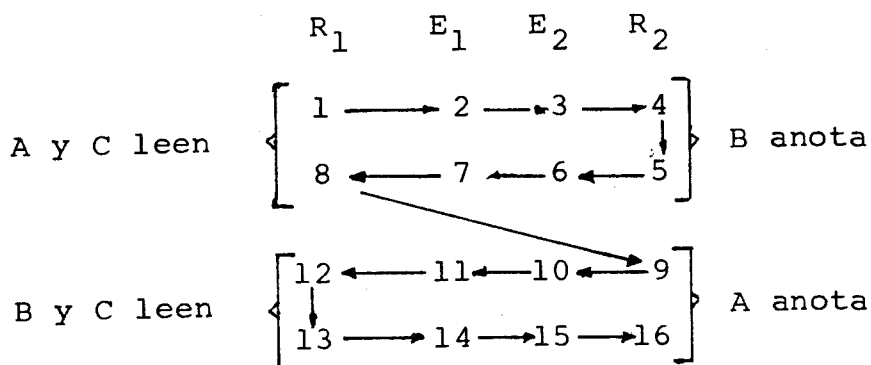
4.8 Calibración de un Termómetro Patrón de Vidrio con Termómetros Patrones de Resistencia

Dentro del sistema de transmisión de la medida de temperatura el termómetro de vidrio constituye un patrón secundario ampliamente utilizado y es calibrado frente a resistencias, patrones primarios, de platino. El termómetro a ser calibrado es introducido dentro de un baño de comparación con una o dos resistencias de platino patrones. El valor de las resistencias se determinará mediante la utilización de un puente de resistencias de precisión.

Después de cada observación, en cada una de las divisiones principales del termómetro de vidrio, de acuerdo a los intervalos vistos en la Tabla 3.1, se determinan los valores correspondientes de CO y de CR.

Ejemplo numérico :

A continuación se muestra un ejemplo para la determinación de los valores de CE y CR de dos termómetros patrones de vidrio graduados en $0,01^{\circ}\text{C}$ y para la temperatura de 30°C . La lectura es efectuada por 3 observadores A, B y C según el esquema adjunto.



En el cual un observador lee en los termómetros de vidrio E₁ y E₂, otro las resistencias R₁ y R₂ y el tercero anota las lecturas.

Comparación de las indicaciones

	R ₁	E ₁	E ₂	R ₂
Observadores A y C leen				
de izquierda a derecha	30,015	30,018	30,110	30,014
de derecha a izquierda	30,017	30,019	30,111	30,014
Observadores B y C leen				
de derecha a izquierda	30,019	30,022	30,113	30,016
de izquierda a derecha	30,019	30,023	30,114	30,018
Promedio de las indicaciones.	30,018	30,020	30,112	30,016

Lectura en el punto de hielo de los termómetros de vidrio
después de la comparación

	R_1	E_1	E_2	R_2
Observador A		-0,01	+0,02	
Observador B		-0,014	+0,02	
Promedio		-0,012	+0,02	
CO		+0,012	-0,02	

Cálculo de las correcciones CR de E_1 y E_2

	R_1	E_1	E_2	R_2
Promedio de las indicaciones.		30,020	30,112	
CO		+0,012	-0,02	
Corrección por columna emergente.		-	-	
Temperatura indicada - por R_1 y R_2	30,018	-	-	30,016
Promedio de R_1 y R_2		30,017		
Corrección de la escala CE de E_1 y E_2		-0,003	-0,095	
Corrección reducida: CR = CE - CO		-0,015	-0,075	

LABORATORIO DE TEMPERATURA DEL ITINTEC

5.1 Laboratorios de Metrología del ITINTEC

En el año de 1976 el ITINTEC estableció un convenio de cooperación técnica (DPER 76/014) con la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) con el objetivo de desarrollar la metrología en el Perú. En virtud de este convenio el ITINTEC ha venido desarrollando los pasos fundamentales que están conduciendo al establecimiento del Servicio Nacional de Metrología y que se menciona a continuación :

- Estudio de las Necesidades Metrológicas del país (1979)
- Diseño y Construcción de los Laboratorios de Metrología (1979 - 1981)
- Capacitación de Ingenieros en el Instituto Nacional de Metrología Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) - Brasil, y en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) - Argentina.
- Asesoramiento de expertos de las Naciones Unidas especializados en Metrología (1980 - 1985).
- Instalación y puesta en marcha de los equipos adquiridos (1982).

- Inicio de prestación de servicios (Julio 1982).

Los Laboratorios de Metrología implementados son los siguientes :

- Laboratorio de Temperatura
- Laboratorio de Dimensiones
- Laboratorio de Masas
- Laboratorio de Volúmenes
- Laboratorio de Fuerza y Presión
- Laboratorio de Electricidad

5.2 Laboratorio de Temperatura del ITINTEC

El Laboratorio de Temperatura del ITINTEC se ha proyectado - fundamentalmente para cubrir las necesidades metrológicas en el campo temperatura de la Industria, Laboratorios y colectividad en general de nuestro país.*

En su fase actual corresponde a un laboratorio metrológico - de nivel técnico y de acuerdo a esto se posterga la adquisición del equipamiento de los puntos fijos de la Escala Práctica Internacional de Temperatura que tienen costos elevados y que requieren de cuidados científicos por su uso de materiales muy puros.

* En el apéndice "G" se presenta la relación de los principales importadores de termómetros en el país.

Corrientemente un servicio de metrología es requerido para realizar contrastaciones de temperatura, calibraciones y aferición de medios de medición de temperatura. El equipamiento actualmente existente en el LTI ha de permitir brindar servicios metrológicos en el rango de -55°C a 300°C para termómetros de vidrio y de otros tipos constructivos en los que se efectuará la transmisión de la unidad de temperatura mediante termómetros patrones de vidrio.

Como se sabe también es de uso corriente en la industria las termocuplas y termómetros de resistencia, por lo cual el desarrollo próximo del laboratorio establecerá servicios metrológicos correspondientes a estos medios de medición de temperatura y para lo cual previamente se llevará a cabo :

Estudio y análisis de los métodos de aferición, selección y/o diseño y construcción del equipo requerido, desarrollo experimental de los métodos de aferición y capacitación del personal involucrado.

Para establecer el servicio de aferición de pirómetros más adelante, ha de realizarse un estudio previo de las necesidades metrológicas en concurso con las industrias involucradas para efectuar una racional adquisición del equipo.

5.3 Acondicionamiento de los Laboratorios Metrológicos

Las principales características del diseño del acondiciona--

miento de los laboratorios de metrología del ITINTEC, son las siguientes :

- Temperatura controlada de $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa a $(50 \pm 5)\%$
- Nivel de vibración que no sobrepase los $0,25 \mu\text{m}$ para el equipo ultra sensible.
- Nivel sonoro : 10dB
- Nivel de suciedad:

El tamaño de las partículas no excederán $10 \mu\text{m}$ y la cantidad de las partículas de $0,5 \mu\text{m}$ y mayores no deben exceder de $3 \cdot 10^7/\text{m}^3$.

- Iluminación : 1500 lux

Nota.- Los planos LT-2 , LT-3 muestran el diseño arquitectónico principal de los laboratorios de Metrología del ITINTEC.

5.3.1 Sistema de aire acondicionado - Evaluación de la Carga Térmica del Laboratorio de Temperatura

Ya que el diseño del sistema de aire acondicionado no corresponde al alcance de la presente Tesis, se efectúa en este acápite únicamente el cálculo de evaluación de la carga térmica, por ser de importancia para la instalación del sistema de aire acondicionado del LTI que ha de efectuarse próximamente y para poner también así de manifiesto las características propias de la construcción y de la operación del laboratorio de temperatura del ITINTEC.

Condiciones más adversas :

Temperatura externa = 30°C

Humedad relativa (ϕ) = 70%

Condiciones del diseño :

Temperatura interna = 20°C \pm 1°C

Humedad relativa (ϕ) = 50% \pm 5%

5.3.1.1 Determinación de los Coeficientes Globales de Transmisión de Calor (U)

Se determina por la expresión :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{K} + \frac{1}{\Lambda} \quad (68)$$

h_e : coeficiente de transmisión de calor exterior

kcal/h - m² - °C

h_i : coeficiente de transmisión de calor interior

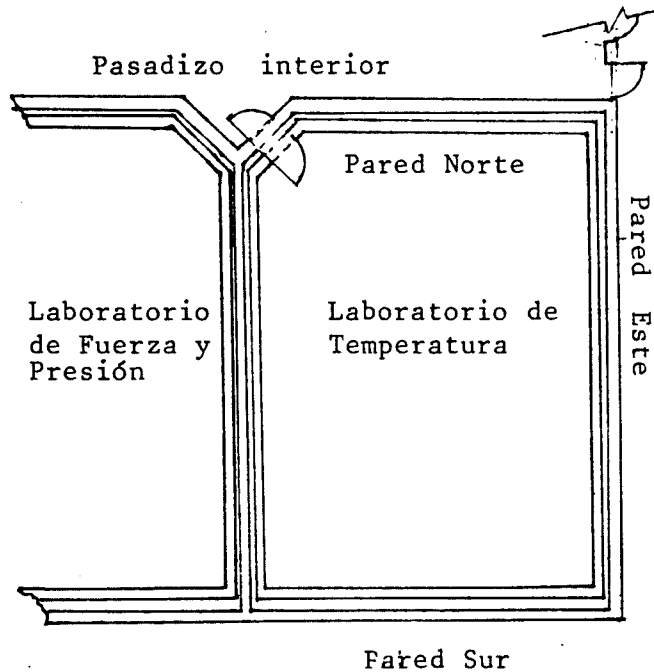
kcal/h - m² - °C

e : espesor de los materiales de construcción en m

K : conductividad térmica de los materiales de construcción kcal/h - m - °C

$\frac{1}{\Lambda}$: resistencias de las capas de aire en m² - h - °C/Kcal

Se evaluará el coeficiente global U para las diferentes paredes y techo del LTI. Los elementos y dimensiones involucradas en el cálculo se determinan de el plano LT-2 correspondiente al Laboratorio de Temperatura del ITINTEC.



ORIENTACION DE
PAREDES DEL LTI
(dimensiones ver
LT-2 / LT-3)

- Pared Este (U_E)

Resistencia de la película de aire externo (R_1)

$$R_1 = \frac{1}{h_e}$$

De la tabla 4.3 Ref. {17} para verano, viento 12 km/h:

$$R_1 = \frac{0,052 \text{ h} - \text{m}^2 - \text{°C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia del muro exterior de concreto armado (R_2)

$$K = \frac{1,29 \text{ kcal}}{\text{h} - \text{m} - \text{°C}} \quad (\text{para el concreto armado})$$

$$e = 0,020 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{e}{K} = \frac{0,2}{1,29} = 0,155 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - \text{°C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia de Teknopor (R_3)

Teknopor (polímero del estiremo expandido)

$$K = 0,030 \frac{\text{kcal}}{\text{h} - \text{m} - \text{°C}}$$

$$e = 0,05 \text{ m}$$

$$R_3 = \frac{e}{K} = \frac{0,05}{0,030} = 1,67 \frac{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia del muro interior de concreto armado (R_4)

$$R_4 = R_2$$

$$R_4 = 0,155 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia de la película de aire interior (R_5)

$$R_5 = \frac{1}{h_i}$$

De la Tabla 4.3 Ref. {17} para un aire quieto, flujo de calor horizontal :

$$R_5 = 0,14 \frac{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Luego :

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 0,052 + 0,155 + 1,67 + 0,155 + 0,14$$

$$\Sigma R = 2,172 \frac{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

$$U_E = \frac{1}{2,172} = 0,460 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Pared Sur (U_S)

Es semejante a la pared Este, pero existe una capa de -- aire adicional de 20 cm entre los dos muros de concreto, a través de la cual se producirá la transmisión de calor por convección por lo cual se tomará dos resistencias -- adicionales (R_6) de la película de aire interior dada -- cada una por :

De la Tabla 4.3 Ref. {17} para aire quieto flujo hori-- zontal :

$$R_6 = 0,140 \frac{h - m^2 - ^\circ C}{kcal}$$

Luego :

$$R_S = 2,172 + 2 \cdot 0,140$$

$$R_S = 2,452 (h - m^2 - ^\circ C) / kcal$$

$$U_S = \frac{1}{2,452} = 0,408 \frac{kcal}{h - m^2 - ^\circ C}$$

- Pared Norte (U_N)

La evaluación de U_N es semejante pero el valor de R_1 di-- fiere por ser el muro exterior una pared interna del labo-- ratorio, luego :

$$R_1 = 0,140 \frac{h - m^2 - ^\circ C}{kcal} \quad (\text{de Tabla 4.3 Ref. \{17\} aire quieto, flujo ho-- zontal}).$$

Luego :

$$\begin{aligned} \Sigma R &= 0,140 + 0,155 + 1,67 + 0,155 + 0,140 \\ &= 2,26 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \end{aligned}$$

$$U_N = \frac{1}{2,26} = 0,442 \text{ kcal/h-m}^2 - ^\circ\text{C}$$

Techo (U_T)

- Resistencia de la película de aire externo (R_1)

$$R_1 = 0,052 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} ; \text{ (De Tabla 4.3 Ref. \{17\} , viento 12 Km/h, verano).}$$

- Resistencia del muro exterior de concreto armado (R_2)

$$e = 0,25 \text{ m}$$

$$K = 1,29 \frac{\text{kcal}}{\text{h} - \text{m} - ^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = \frac{0,25}{1,29} = 0,194 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

- Resistencia de la capa de aire (R_3)

Semejante a lo explicado para la pared sur, tomamos para

$$R_3 = 2 \cdot 190 \quad R_3 = 0,190 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \quad \text{(De la Tabla 4.3 Ref. \{17\} para aire quieto flujo - de calor descendente).}$$

$$R_3 = 0,38 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

- Resistencia del muro interior de concreto armado (R_4)

$$e = 0,2 \text{ m} \quad ; \quad K = 1,29 \text{ kcal/h} - \text{m} - ^\circ\text{C}$$

$$R_4 = \frac{0,20}{1,29} = 0,155 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia de la loseta acústica (R_5)

$$e = 0,020 \text{ m}$$

$$R_5 = 19,5 \cdot 0,020 \quad (\text{de la Tabla 4.3 Ref. \{17\} para - losetas acústicas}).$$

$$R_5 = 0,39 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Resistencia de la película de aire interno (R_6)

$$R_6 = 0,190 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \quad (\text{de la Tabla 4.3 Ref. \{17\} aire quieto, flujo descendente}).$$

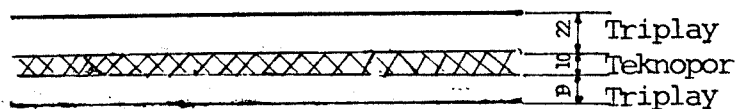
Luego :

$$\begin{aligned} \Sigma R &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = 0,052 + 0,194 + 0,38 + \\ &0,155 + 0,39 + 0,190 = 1,361 \frac{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \end{aligned}$$

$$U_T = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{1,361} = 0,735 \frac{\text{kcal}}{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}$$

Puertas (U_p)

Los materiales utilizados en la construcción de las 2 puertas acústicas del laboratorio son los siguientes :



.Resistencia de 2 placas de triplay de $e = 0,022$ m y de $0,019$ m respectivamente. De la Tabla 4.3 Ref. {17} - para fibra de madera homogénea :

$$16,1 (0,022 + + 0,019) = 0,660$$

$$\text{Para 2 puertas :} \quad 2 \cdot 0,660 = 1,320$$

.Resistencia de Teknopor de

$$e = 0,010 \text{ m :} \quad \frac{0,010}{0,030} = 0,333$$

$$\text{Para 2 puertas :} \quad 2 \cdot 0,333 = 0,666$$

.Resistencia de la película de aire externo

$$\text{(pared interna).} = 0,140$$

(De Tabla 4.3 Ref. {17} para aire quieto, flujo de calor horizontal).

.Resistencia de la capa de aire entre las 2

$$\text{puertas:} \quad 2 \cdot 0,140 = 0,280$$

.Resistencia de la película de aire interno = 0,140

(De Tabla 4.3, Ref. {17}).

$$\Sigma R = \frac{2,546}{\left(\frac{\text{h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \right)}$$

Luego :

$$U_p = \frac{1}{2,546} = 0,392 \frac{\text{kcal}}{\text{h - m}^2 \text{ - } ^\circ\text{C}}$$

5.3.1.2 Determinación de los pesos de paredes y techo por m^2 .

- Peso de pared Este, Sur, Norte u Oeste por m^2 :

Multiplicando el peso específico (γ), por el espesor correspondiente del muro de concreto, tenemos :

$$\text{Peso de Pared}/m^2 = 2400 \cdot 0,20 + 2400 \cdot 0,2 = 960 \text{ kg}/m^2.$$

(γ concreto armado = $2,400 \text{ kg}/m^3$).

Peso del Techo por m^2 .

$$\text{Peso de techo}/m^2 = 2400 \cdot 0,25 + 2400 \cdot 0,20 + 348 \cdot 0,02 = 1087 \text{ kg}/m^2.$$

(γ loseta acústica = $348 \text{ kg}/m^3$).

5.3.1.3 Determinación del mes, día y hora de cálculo.

Las superficies sometidas a radiación son : las paredes --- orientales al este, sur y el techo.

De la Tabla 4.7 Ref. {17} , e interpolando para 12°LS -- las máximas aportaciones solares, en $\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2$, a través de cristal sencillo son :

Fecha	21 Enero	21 Febrero	22 Marzo
Este	430,8	443	443,6
Sur	75	33,8	27
Techo	671,2	676,2	661,4

Factores de corrección :

- Latitud Sur - Enero : + 7%
 - Punto de rocío superior a 19,5°C - 5% por 4°C; (temperatura del punto de rocío = 24°C).
 - Altitud : + 0,7% por 300 m ; (altitud del Laboratorio = 158 m.s.n.m).
 - Por limpidez de la atmósfera : -5%
- Luego se hará la multiplicación por :

$$= 0,07 + \frac{(-0,05)}{4} \cdot 4,5 + \frac{0,007}{300} \cdot 158 + (-0,05)$$

$$= - 0,033$$

Luego los valores anteriores de la Tabla han de multiplicarse por : $(1 - 0,033) = 0,967$, teniendo así los valores de la Tabla correspondientes para el caso que estamos analizando :

Fecha	21 Enero	21 Febrero	22 Marzo
Este	416,58	428,38	428,96
Sur	72,53	32,68	26,11
Techo	649,05	653,89	639,57

De la Tabla anterior se concluye que el día de cálculo es el 21 de Enero por ser de mayor intensidad radiante para las 3 superficies consideradas.

En cuanto a la elección de la hora de cálculo :

La máxima intensidad radiante a través de la orientación Sur

es pequeña comparada con la orientación Este y el Techo por lo cual las cargas radiantes que consideramos para efectos del análisis son :

- Para la pared soleada orientada al Este. De la Tabla -- 4.14 Ref. {17} para el valor máximo del peso de pared (700 kg/m^2), el flujo de calor alcanza su valor máximo a las 15 horas.
- Para el techo soleado. De la Tabla 4.15 Ref. {17} para el valor máximo del peso del techo (400 kg/m^2), el flujo de calor alcanza su valor máximo a las 18 y 19 horas.

Luego el flujo máximo de calor deberá encontrarse entre las 15 y 19 horas.

5.3.1.4 Ganancias de Calor por Transmisión

El flujo de calor está dado por :

$$\dot{q} = U A \Delta T_e \quad (69)$$

\dot{q} : ganancias de calor por transmisión

U : coeficiente de transmisión global

A : área (para techos inclinados se considera la proyección horizontal de la superficie).

ΔT_e : es la diferencia equivalente de temperatura en el caso de paredes con radiación y en el caso de paredes sin radiación, es la diferencia de temperatura entre el aire externo e interno del local.

La Tabla 4.14 Ref. {17} da los valores de ΔT_e para paredes soleadas o en sombra y la Tabla 4.15 Ref. {17} para techos soleado o en sombra. Estas tablas han sido elaboradas para las condiciones de :

Temperatura exterior = 35°C ;

Temperatura interior = 27°C ;

Variación de temperatura exterior en 24 horas = 11°C;

Techos y paredes de color oscuro y

40°LN en el mes de Julio.

Para condiciones diferentes :

$$\Delta t_e = a + \Delta T_{es} + b \frac{R_s}{R_m} (\Delta T_{em} - \Delta T_{es}) \quad (70)$$

donde :

a : coeficiente de corrección para una diferencia de temperatura entre el exterior e interior diferentes de 8°C y con una variación de temperatura exterior en 24 horas, distinta de 11°C. Estos valores se toman de la Tabla 4.16 Ref. {17}

ΔT_{es} : diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la superficie a la sombra (Tabla 4.14 ó 4.15 Ref. {17})

ΔT_{em} : diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la superficie soleada (Tabla 4.14 ó 4.15 Ref. {17})

b : coeficiente que considera el color de la cara exterior de la superficie.

R_s : máxima insolación (kcal/h-m²) correspondiente al mes y latitud supuesta, a través de una superficie acristalada vertical para la orientación considerada en el caso de pared u horizontal para el techo (Tabla 4.7 Ref. {17}).

R_m : máxima radiación solar (kcal/h-m²) en el mes de Julio a 40°LN, a través de una superficie acristalada vertical para la orientación considerada en el caso pared, u horizontal para el techo (Tabla 4.7 Ref. {17}).

Para las paredes a la sombra cualquiera que sea su orientación :

$$\Delta T_{em} = \Delta T_{es} ; \text{ de donde } \Delta t_e = a + \Delta T_{es}$$

- Pared Soleada orientada al Este

Evaluación de ΔT_e :

Valor de a : De la Tabla 4.16 Ref. {17} , para la diferencia de temperatura exterior a las 15 horas y temperatura interna --- (30°C - 20°C) de 10°C y con una variación de temperatura exterior en 24 horas de 8°C.

$$a = 3,1$$

Valor de R_s : De la Tabla corregida de máximas aportaciones solares, vista en 4.3.1.3, para el mes de Enero y orientación Este:

$$R_s = 416,58 \text{ kcal/h} - \text{m}^2$$

Valor de R_m : De la Tabla 4.7 Ref. {17} , orientación Este 40°LN en el mes de Julio.

$$R_m = 444 \text{ kcal/h} - \text{m}^2$$

Valor de b : Para un color de superficie de color mediano gris o verde claro.

$$b = 0,78$$

Valor de ΔT_{em} y

ΔT_{es} : De Tabla 4.14 Ref. {17} , para un peso de pared de 700 kg/m^2 y orientación Este :

Hora	ΔT_{em}	ΔT_{es}
15	10,6	0,5
16	10,0	1,1
17	9,4	1,7
18	8,9	2,2
19	7,8	2,8

Cálculo de ΔT_e ; según la ecuación (70) :

Hora	ΔT_e
15	$3,1 + 0,5 + 0,78 \frac{(416,58)}{444} (10,6 - 0,5) = 10,99$
16	$3,1 + 1,1 + 0,78 \frac{(416,58)}{444} (10,0 - 1,1) = 10,71$
17	$3,1 + 1,7 + 0,78 \frac{(416,58)}{444} (9,4 - 1,7) = 10,44$
18	$3,1 + 2,2 + 0,78 \frac{(416,58)}{444} (8,9 - 2,2) = 10,2$
19	$3,1 + 2,8 + 0,78 \frac{(416,58)}{444} (7,8 - 2,8) = 9,56$

Luego el flujo de calor para la pared Este, \dot{q}_E , estará dado por :

$$\dot{q}_E = U_E A_E \Delta T_e$$

$$U_E = 0,460 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{O}^\circ\text{C}$$

$$A_E = (0,45 + 6,75 + 2,25 + 0,25) \cdot 2,5 ; \text{ (de planos LT-2/3)}$$

$$A_E = 24,25 \text{ m}^2$$

Luego para las diferentes horas en análisis, \dot{q}_E en kcal/h, será :

Hora	\dot{q}_E
15	$0,460 \cdot 24,25 \cdot 10,99 = 122,59$
16	$0,460 \cdot 24,25 \cdot 10,71 = 119,47$
17	$0,460 \cdot 24,25 \cdot 10,44 = 116,46$
18	$0,460 \cdot 24,25 \cdot 10,2 = 113,78$
19	$0,460 \cdot 24,25 \cdot 9,56 = 106,64$

- Flujo de calor por el Techo Soleado , \dot{q}_T

Se evalúa de manera similar que para la pared orientada al Este, luego :

$$a = 3,1$$

$$R_s = 649,05 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$R_m = 631 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \quad (\text{De Tabla 4.7 Ref. \{17\} , para superficie horizontal}).$$

$$b = 0,78$$

De la Tabla 4.15 Ref. {17} , para los valores máximos del peso del techo (420 kg/m^2 y 300 kg/m^2), tenemos :

Hora	ΔT_{em}	ΔT_{es}
15	15,6	3,3
16	17,8	4,4
17	19,4	5,0
18	20,6	5,5
19	20,6	5,5

Cálculo de ΔT_e de (70) :

Hora	ΔT_e
15	$3,1 + 3,3 + 0,78 \frac{(649,05)}{631,0} (15,6 - 3,3) = 16,27$
16	$3,1 + 4,4 + 0,78 \frac{(649,05)}{631,0} (17,8 - 4,4) = 18,25$
17	$3,1 + 5,0 + 0,78 \frac{(649,05)}{631,0} (19,4 - 5,0) = 19,65$
18	$3,1 + 5,5 + 0,78 \frac{(649,05)}{631,0} (20,6 - 5,5) = 20,71$
19	$3,1 + 5,5 + 0,78 \frac{(649,05)}{631,0} (20,6 - 5,5) = 20,71$

El flujo de calor por el techo, está dado por :

$$\dot{q}_T = U_T A_T \Delta T_e$$

$$U_T = 0,735 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$A_T = (0,45 + 6,75 + 2,25 + 0,25) (0,25 + 6,675 + 0,275); \text{área proyectada (de planos LT-2/3)}$$

$$A_T = 69,84 \text{ m}^2$$

Luego el \dot{q}_T en kcal/h será

Hora	\dot{q}_T
15	$0,735 \cdot 69,84 \cdot 16,27 = 835,18$
16	$0,735 \cdot 69,84 \cdot 18,25 = 936,82$
17	$0,735 \cdot 69,84 \cdot 19,65 = 1008,68$
18	$0,735 \cdot 69,84 \cdot 20,71 = 1063,09$
19	$0,735 \cdot 69,84 \cdot 20,71 = 1063,09$

Para las horas consideradas se suma $\dot{q}_E + \dot{q}_T$:

Hora	$\dot{q}_E + \dot{q}_T$
15	$122,59 + 835,18 = 957,77$
16	$119,47 + 936,82 = 1056,29$
17	$116,46 + 1008,68 = 1125,14$
18	$113,78 + 1063,09 = 1176,87$
19	$106,64 + 1063,09 = 1169,73$

Luego la hora de cálculo será las 18 h por tener la mayor carga simultánea.

- Pared Sur

Para la pared Sur : $\Delta T_{em} = \Delta T_{es}$;
 $\Delta T_e = a + \Delta T_{es}$

De la Tabla 4.14 Ref. {17} , para la orientación Sur -
 y para un peso de pared de 700 kg/m^2 y 18 horas :

$$\Delta T_{es} = 2,2$$

$$\Delta T_e = 3,1 + 2,2 = 5,3$$

Luego el flujo de calor será :

$$\dot{q}_S = U_S A_S \Delta T_e$$

$$U_S = 0,408 \frac{\text{kcal}}{\text{h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}}$$

$$A_S = 7,2 \cdot 2,5 = 18 \text{ m}^2 ; (\text{de planos LT-2/3})$$

Luego :

$$\dot{q}_S = 0,408 \cdot 18 \cdot 5,3$$

$$\dot{q}_S = 38,92 \text{ kcal/h}$$

- Pared Norte

$$\dot{q}_N = U_N A_N \Delta T_e$$

$$U_N = 0,442 \text{ kcal/h} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}$$

$$A_N = (6,0 + \frac{1,2}{\text{Sen } 45^\circ} - 1,2 \cdot 2,1) \cdot 2,5 \quad (\text{de planos LT-2/3})$$

$$A_N = 12,94 \text{ m}^2$$

$$\dot{q}_N = 0,442 \cdot 12,94$$

$$\Delta T_e = 30 - 20 = 10^\circ\text{C}$$

$$\dot{q}_N = 0,442 \cdot 12,94 \cdot 10$$

$$\dot{q}_N = 57,19 \text{ kcal/h}$$

- Puertas

$$\dot{q}_p = U_p A_p \Delta T_e$$

$$\dot{q}_p = 0,392 (1,2 \cdot 2,2,10) 10$$

$$\dot{q}_p = 9,88 \text{ kcal/h}$$

Resumen de :

\dot{q}

Techo	1 063,09
Pared Este	113,78
Pared Sur	38,92
Pared Norte	57,19
Puertas	9,88

1 282,86 kcal/h

Nota : La pared Oeste es común a los laboratorios de Temperatura y de Fuerza y Presión que han de tener las mismas condiciones ambientales.

5.3.1.5 Ganancia de Calor debida a la Iluminación

Para lámparas fluorescentes la ganancia sensible (QS) es:

$$QS = \text{Potencia en watts} \cdot 0,86 \cdot 1,25 \cdot \text{factor de almacenamiento.}$$

Factor de Almacenamiento :

A las 18 horas llevan 10 horas encendidas y para un peso de la estructura de más de 750 kg/(m² de superficie de suelo), con equipos de acondicionamiento funcionando durante 16 horas y para alumbrado fluorescente no empotrado, de la Tabla 4.18 Ref. {17} , el factor de almacenamiento es 0,9.

Luego, para 66 fluorescentes de 65 W (existentes en el LTI):

$$QS = 66 \cdot 65 \cdot 0,86 \cdot 1,25 \cdot 0,9 = 4150,57 \text{ kcal/h}$$

5.3.1.6 Ganancias de Calor disipado por las personas dentro del local.

Por las características de trabajo del laboratorio se considera un máximo de 7 personas con permanencia de más de 3 horas. De la Tabla 4.17 Ref. {17} para la actividad en pie, marcha lenta se tiene, el metabolismo del hombre adulto de 139 kcal/h y del hombre medio de 113 kcal/h y para una temperatura seca del local de 21°C tenemos los factores de 71 y 42 para la ganancia de calor sensible (QS) y latente (QL), respectivamente, luego :

$$QS = 7 \cdot \frac{71}{113} \cdot 139 \cdot \text{factor de almacenamiento}$$

$$QS = 7 \cdot \frac{71}{113} \cdot 139 \cdot 0,9 = 550,22 \text{ kcal/h}$$

$$QL = 7 \cdot \frac{42}{113} \cdot 139 = 361,65 \text{ kcal/h}$$

5.3.1.7 Ganancias de Calor debido a los Equipos Eléctricos.

Los equipos eléctricos considerados para la evaluación de la carga térmica son :

	Potencia (kw) en placa
3 Baños termostáticos Lauda D60 S	2,8
3 Baños termostáticos Lauda NBS	2,1
1 Baño termostático Prolabo	1,8
1 Refrigerante de inmersión Prolabo	0,44
Potencia total = 3 (2,80) + 2 (2,1) + 1 (1,8) + 1 (0,44)	
	= 14,84 kw

trabajando en forma simultánea se tomará al 70% de el 60% de su carga máxima, luego :

$$P = 14,84 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 6,23 \text{ kw}$$

$$\begin{aligned} \text{Flujo de Calor} &= P \cdot 860 \text{ (kcal/h)} \\ &= 6,23 \cdot 860 \\ &= 5357,8 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Para este tipo de equipos se considera 50% de QS y 50% de -- QL , luego :

$$\begin{aligned} \text{QS} &= 2678,9 \text{ kcal/h} \\ \text{QL} &= 2678,9 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

5.3.1.8 Ganancias debido al aire externo

La renovación del aire de la Tabla 4.6 Ref. {17} para un laboratorio sin fumadores se recomienda $34 \text{ m}^3/\text{h-persona}$.

Luego para 7 personas :

$$7.34 = 238 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sin embargo se va a considerar el caudal mayor de $300 \text{ m}^3/\text{h}$ que es el extraído por la campana extractora, luego :

Calor sensible (QS) :

$$\begin{aligned} QS &= \dot{m}_e \cdot 0,24 \cdot \Delta T_e \quad ; \quad \dot{m}_e \text{ flujo de aire externo} \\ &\quad \text{en kg/h} \\ &= 300 \cdot 1,2 \cdot 0,24 \cdot 10 \quad (\rho_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3) \\ &= 864 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Calor latente Q_L :

$$Q_L = \dot{m}_e (w_e - w_s) \cdot 590 \text{ (kcal/h)} \quad ; \quad w_e, w_s: \text{relación -}$$

de humedad en kg -
de agua/kg de aire
seco.

Se evalúa w_e para una temperatura de 30°C y 70% de humedad relativa w_s para una temperatura de 20°C y 50% de humedad relativa:

$$w_e = 0,018 \text{ 98 kg de agua/kg aire seco}$$

$$w_s = 0,007 \text{ 31 kg de agua/kg aire seco}$$

Luego :

$$Q_L = 300 \cdot 1,2 (0,018 \text{ 98} - 0,007 \text{ 31}) 590$$

$$Q_L = 2478,71 \text{ kcal/h}$$

Resumen :

Ganancia de calor'	QS (kcal/h)	QL (kcal/h)
por :		
Transmisión	1 282,86	
Iluminación	4 150,57	
Personas	550,22	361,65
Equipos Eléctricos	2 678,9	2 678,9
Aire externo	864	2 478,71
	<hr/>	
	9 526,55	5 519,26
Calor total (kcal/h)	15 045,81	
	(Unidad de 5 Ton)	

5.4 Equipamiento del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC

En la adquisición del equipamiento del LTI se ha tenido como primer objetivo contar con las facilidades de calibración a un nivel técnico, de termómetros en el rango de -55°C a 300°C visto en el apartado 1.3 y en el cumplimiento de este objetivo ha venido implementándose con los siguientes equipos que se detallan a continuación (hasta Marzo de 1985)*.

a. Termómetros

- Se ha adquirido termómetros de Hg en vidrio y un termómetro de resistencia de marcación digital, que se dan a conocer en la Tabla 5.1 con sus respectivas características técnicas.
- Se ha de continuar en la adquisición de los termómetros

* El LTI contará con nuevos equipos que llegarán en los siguientes meses de 1985.

TABLA 5.1 TERMOMETROS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE TEMPERATURA DEL ITINTEC

NOMBRE	MARCA	País de Fabricación	CANT.	Rango (°C)	Menor división (°C)	OBSERVACIONES
Termómetro de Hg en vidrio	Thermo Scheneider	Alemania Federal	3	30/45	0,02	Poseen certificado de calibración (1984) de la PTB*. De escala interna De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	38,6/41,4	0,05	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	-25/5	0,1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg vidrio	Prolabo	Francia	2	-5/25	0,1	Idem al anterior: Uno de los termómetros posee certificado de calibración (1981) del INTI.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	-2/32	0,1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	20/45	0,1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	2	40/65	0,1	De escala externa. De inmersión total. Uno de los termómetros posee certificado de calibración (1981) - del INTI.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	2	60/85	0,1	De escala externa. De inmersión total. Uno de los termómetros posee certificado de calibración (1981) del INTI.

* Physikalisch Technische - Bundesanstalt (Alemania Federal)

TABLA 5.1 (continuación)

NOMBRE	MARCA	País de Fabricación	CANT.	Rango (°C)	Menor división (°C)	OBSERVACIONES
Termómetro de Hg en Vidrio	Prolabo	Francia	1	80/105	0,1	De escala externa. De <u>in</u> mersión total, posee <u>cer</u> tificado de calibración - (1981) del INTI.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	-35/25	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	4	-15/45	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	35/85	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	75/125	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	90/210	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	115/165	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	155/205	0,2	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	-30/120	0,5	De escala externa. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Bauda	Alemania Federal	2	-1/101	0,5	De escala interna. De <u>in</u> mersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Lauda	Alemania Federal	3	0/200	0,5	De escala interna. De <u>in</u> mersión total.

TABLA 5.1 (continuación)

NOMBRE	MARCA	País de Fabricación	CANT.	Rango (°C)	Menor división (°C)	OBSERVACIONES
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	90/210	0,5	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	-30/270	1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	180/420	1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio	Prolabo	Francia	1	380/620	1	De escala externa. De inmersión total.
Termómetro de Hg en vidrio de contacto.	Prolabo	Francia	1	-30/30	0,1	Regula el baño termostático. Prolabo 03722.02
Termómetro de Hg en vidrio de contacto.	Prolabo	Francia	4	20/50	0,1	Regula el baño termostático Prolabo 03722.02
Termómetro de Hg en vidrio de contacto.	Prolabo	Francia	4	50/80	0,1	Regula el baño termostático Prolabo 03722.02
Termómetro de Hg en vidrio de contacto.	Lauda	Alemania Federal	2	0/100	1	Regula el baño termostático Lauda NBS.
Termómetro de Hg en vidrio de contacto.	Lauda	Alemania Federal	3	0/200	2	Regula el baño termostático Lauda D60S.
Termómetro de resistencia TP 10	Lauda	Alemania Federal	1	-100/200 200/600	0,1 1	De marcación digital.

patrones de segunda y tercera categoría para cubrir el rango de -55°C a 300°C y han de tener las características anotadas en 1.3.1

b. Baños Termostáticos

- Se han adquirido 6 baños termostáticos cuyas características para su utilización se dan en la Tabla 5.2 y cubren el rango de -60°C a 300°C .
- Es importante anotar que en la adquisición de estos baños se ha de tener cuidado en adquirir también los termómetros de contacto correspondiente para todo el rango de utilización.

c. Refrigerante de Inmersión de marca Prolabo

Es una unidad compacta de refrigeración con capacidad de enfriamiento de 300 cal/h . Dispone de una sonda refrigerante que al introducirlo en el baño Prolabo 03722.02 lo lleva a -14°C en 160 minutos en un baño de alcohol. Tiene una estabilidad de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ para toda temperatura elegida hasta -14°C .

d. Recipiente Enfriador de Construcción Lauda

Este recipiente es utilizado complementariamente a los baños termostáticos Lauda NBS a través del cual se puede obtener temperaturas inferiores de temperatura ambiente hasta de -60°C en los baños introduciendo bloques de hielo de ácido carbónico en el recipiente. En el apéndice "H" se da a conocer el modo de empleo de este recipiente enfriador.

TABLA 5.2

CARACTERISTICAS TECNICAS DE UTILIZACION DE LOS BAÑOS TERMOSTATICOS

CARACTERISTICAS	LAUDA NBS D8/25	LAUDA NBS S15/22	LAUDA D60S	PROLABO 03722.02
BAÑOS TERMOSTATICOS				
Rango de Operación Normal *	40/300°C	40/300°C	40/200°C	Tamb/120°C
Rango de operación con serpentín de agua de enfriamiento.	20/300°C	20/300°C	20/200°C	-
Rango de operación con enfriamiento adicional.	-60/300°C (con recipiente intercambiador de calor).	-60/300°C (con recipiente intercambiador de calor).	-10/200°C (con refrigeración exterior).	-14/120 (con refrigerante de inmersión Prolabo).
Estabilidad de temperatura.	(a 70°C) ± 0,01°C	(a 70°C) ± 0,01°C	± 0,01°C	± 0,01°C
Potencia de Resistencias.	0 - 2000 W	0 - 2000 W	0 - 2700 W	0 - 1760 W
Capacidad de la bomba de recirculación.	8 l/mín; 5mWG	15l/min;5mWG	15 l/min;5mWG	(Dispone de un agitador unicamente).
Abertura interna del baño.	Ø 190 mm	Ø 190 mm	535. 135 mm	Ø 285 mm
Altura útil de inmersión	310 mm	310 mm	270 mm	300 mm
Volúmen de llenado	13 - 24 l	13 - 24 l	34 l	15,8 l
Peso	17,25 kg	17,5 kg	49,5 kg	28,0 kg
Alimentación del Sector	220 V; 60 Hz; 10 A	220 V; 60 Hz; 10 A	220 V; 60 Hz; 14 A	220 V; 60 Hz; 5 A
Potencia de alimentación (100%)	2100 W	2100 W	2800 W	1800 W
Número de baños termostáticos	1	1	3	1

* Cuando se utiliza la bomba Duplex la temperatura se incrementa en 6°C.

e. Refrigerador doméstico, Triturador de Hielo Doméstico

Se utilizan en la realización del punto fijo del hielo.

f. Pequeño Microscopio, Pequeñas Lupas para Termómetros

- . El pequeño microscopio permite obtener 50 y 100 aumentos. Posee una lente graduada en 1 pulgada.

16.100

Se le utiliza en las mediciones longitudinales de los trazos de la escala y en la detección de fallas de la escala de los termómetros.

- . Las pequeñas lupas se utilizan colocándolas en los termómetros para la lectura de las indicaciones.
- . Se ha de adquirir un equipo para la lectura de los termómetros como se describe en 1.6.4

g. Instrumentos Registradores

Son 3 instrumentos mecánicos que registran la temperatura ambiente, presión barométrica y humedad relativa del laboratorio respectivamente. Posee movimientos de 24 horas por 7 días.

h. Higrómetro de Punto de Rocío - Psicrómetro de aspiración e Higrómetro de absorción

- . Con el Higrómetro de Punto de Rocío se verifica al Psicrómetro de aspiración y con éste al Higrómetro de absorción.

- . Para garantizar la precisión del Psicrómetro de aspiración se calibrarán los termómetros que lo conforman así también del Higrómetro de punto de Rocío.

i. Líquidos Termostáticos

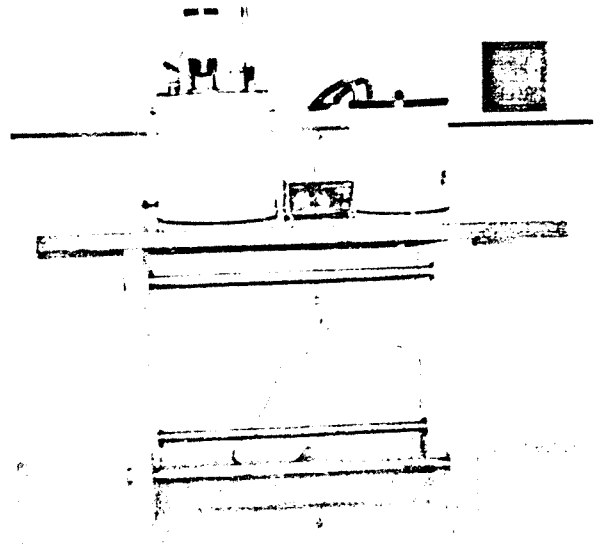
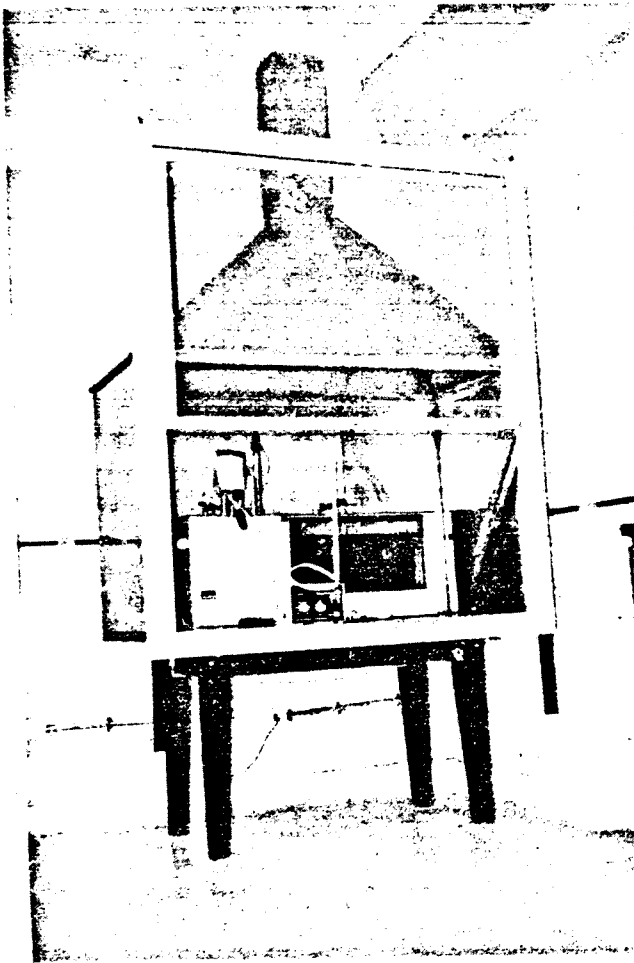
Los líquidos termostáticos que se utiliza y/o recomendó para el LTI son :

- Agua destilada para el rango de 5°C a 90°C
- Aceite para el rango de 90°C a 300°C. Se seleccionó en el mercado nacional el aceite Shell Térmico Oil C (ver Especificaciones Técnicas en el apéndice "I") para el uso de 90°C a 200°C.

La temperatura máxima de utilización del aceite seleccionado será 20°C inferior a su punto de inflamación.

- Alcohol metílico para el rango de -60°C a 5°C. El alcohol etílico técnico mayormente no puede ser obtenido desnaturalizado y la mayoría de las sustancias para desnaturalizar congelan con temperaturas bajas y obstruyen los conductos.
- Existen líquidos termostáticos - Lauda - especialmente abastecidos para los baños termostáticos tal como se aprecia en el apéndice "I".

En la figura 5.1 se presenta vistas de los equipos del LTI y en la figura 5.2 se presenta un esquema de Disposición del Equipamiento en el LTI.



- └. Baño Lauda NBS Duplex con Recipiente intercambiador de calor
- ← • Baño Lauda D60S en la Cámara extractora de gases.

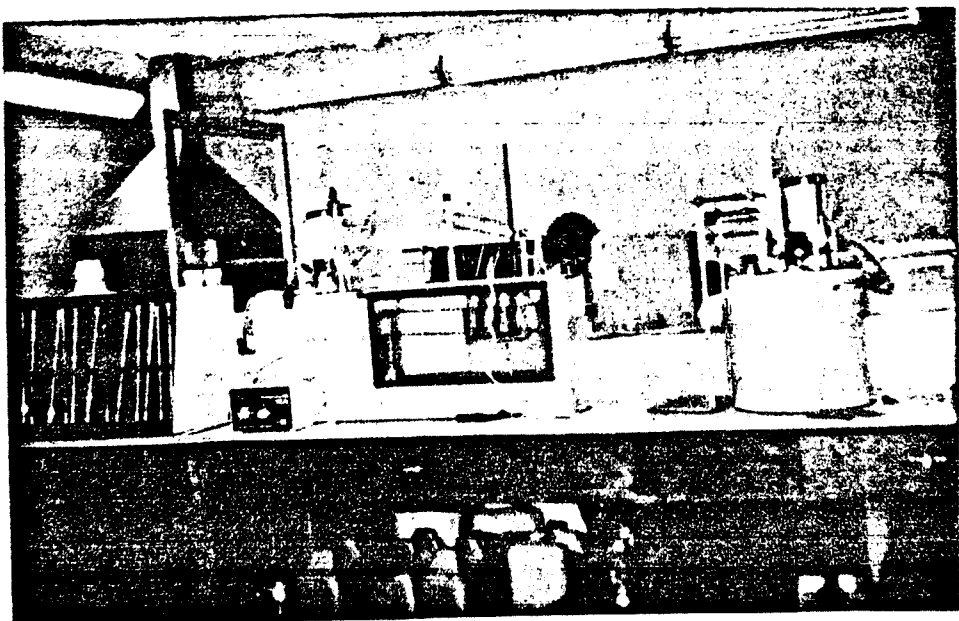
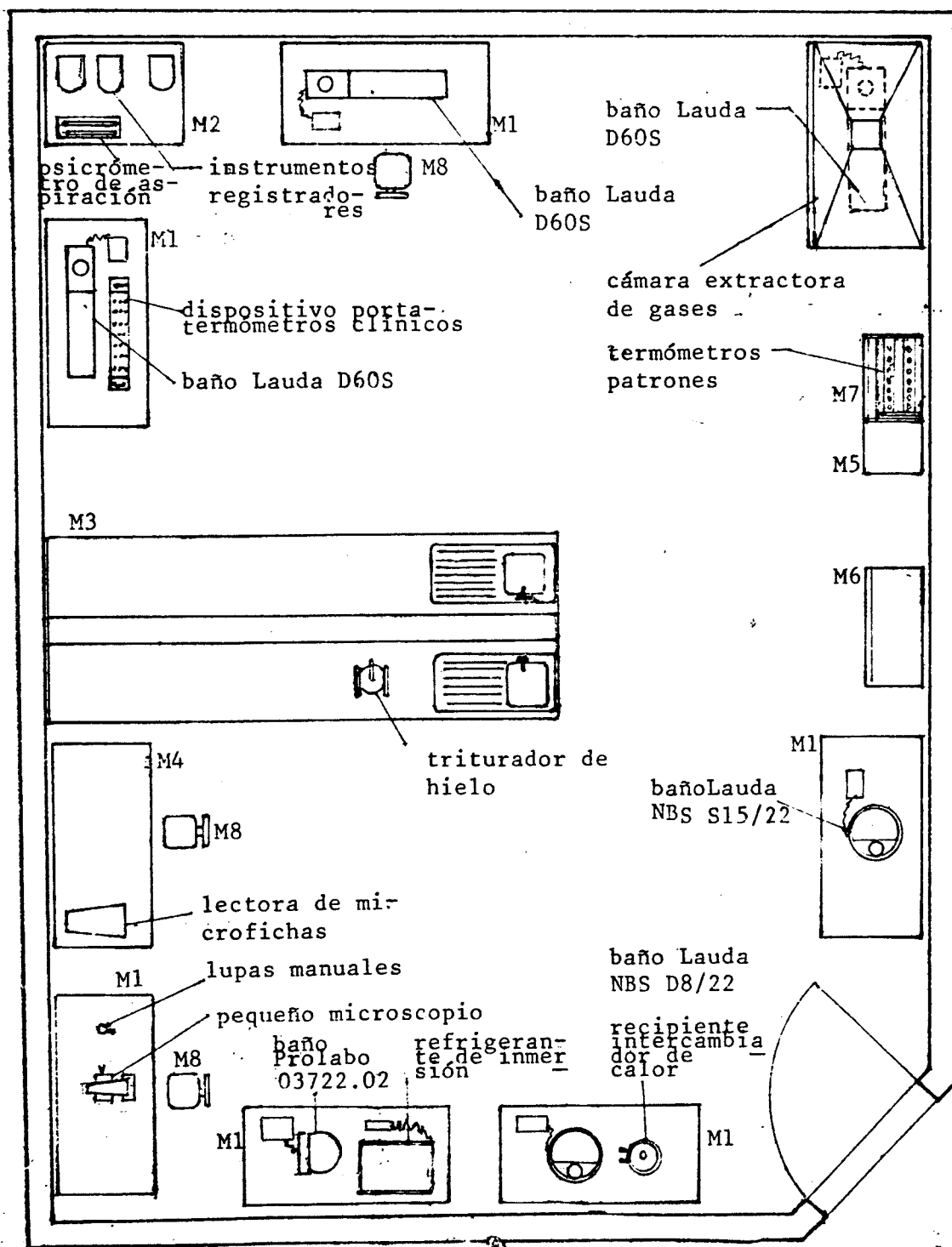


Fig 5.1 Vistas del equipo del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC.



- M1.- mesa de concreto armado con acabado granítico de 1,5.0,75.0,9 m
- M2.- mesa de concreto armado con acabado granítico de 0,75.0,75.0,9 m
- M3.- espigón de madera 3,8.1,4.0,9 m
- M4.- escritorio metálico de 1,5.0,75.0,9 m
- M5.- estante metálico para los termómetros, de 1,2.0,45.1,2 m
- M6.- armario metálico para los instrumentos accesorios de 1,2.0,5.2 m
- M7.- mueble porta-termómetros (termómetros en posición vertical)
- M8.- silla giratoria elevadiza.

Fig 5.2 ESQUEMA DE DISPOSICION DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL DEL LABORATORIO DE TEMPERATURA DEL ITINTEC

5.5 Pruebas de Funcionamiento de los Baños Termostáticos

Los baños termostáticos utilizados en la calibración de -- termómetros deben cumplir estrictamente con requisitos de estabilidad y uniformidad en todos los puntos del baño o en la zona de calibración. Estas características técnicas son requeridas en relación a los errores permisibles de los termómetros a calibrar. En la Fig. 5.3 se observa el baño Lauda -- NBS S15/22.

Las pruebas que se detallan a continuación se efectuaron -- para los baños termostáticos del LTI como solución a pro-- blemas específicos del laboratorio y del equipo.

5.5.1 Prueba de Uniformidad y Estabilidad del Baño

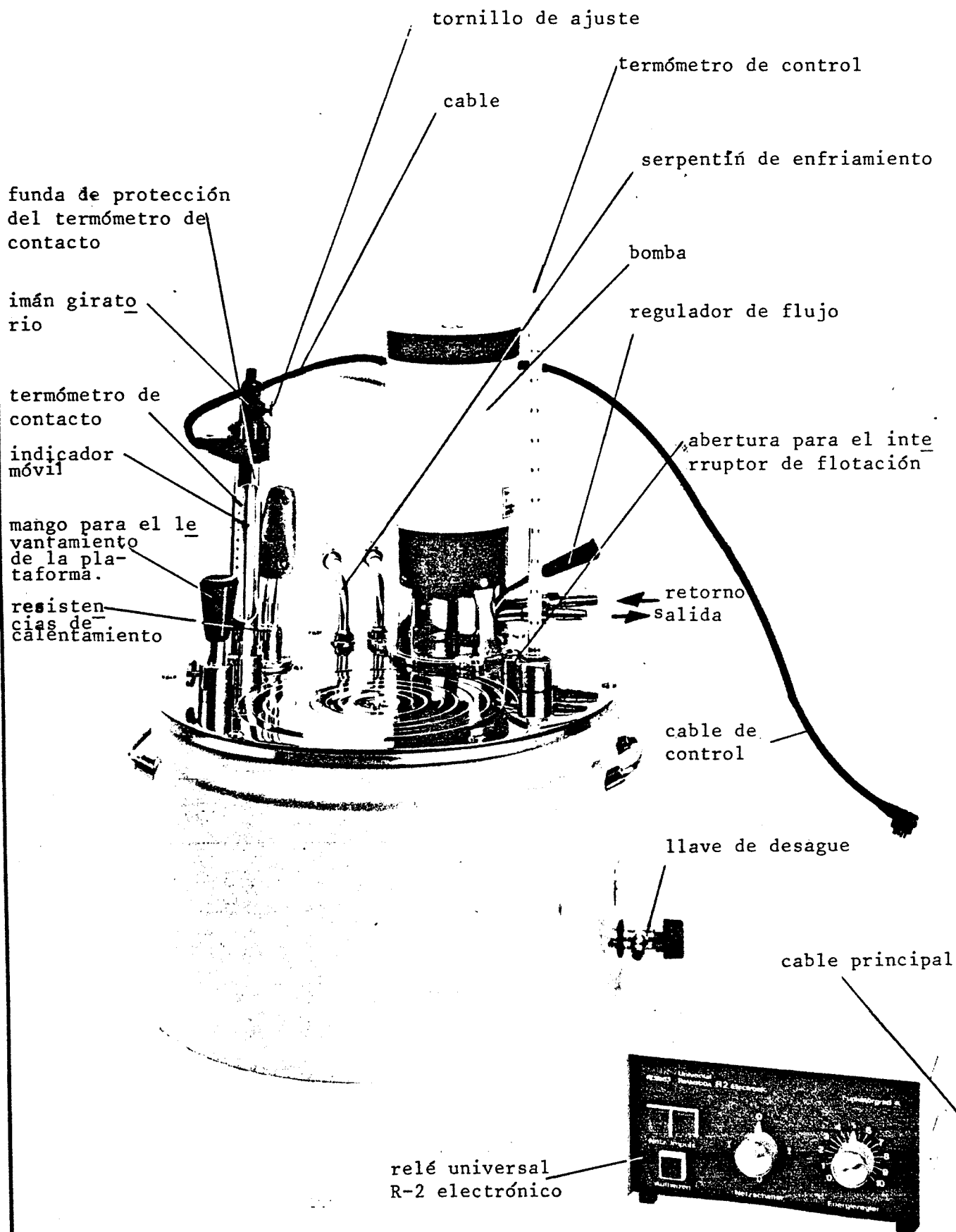
Esta prueba se efectúa para conocer el grado de uniformidad y estabilidad de la temperatura en todos los puntos al inte-- rior del baño.

Se determina el mayor número de puntos posibles en el volú-- men del baño y es conveniente incluir puntos de las superfi-- cies extremas para una información completa, luego se mide la temperatura en el mayor número de puntos posible y repi-- tiendo varias mediciones para un mismo punto.

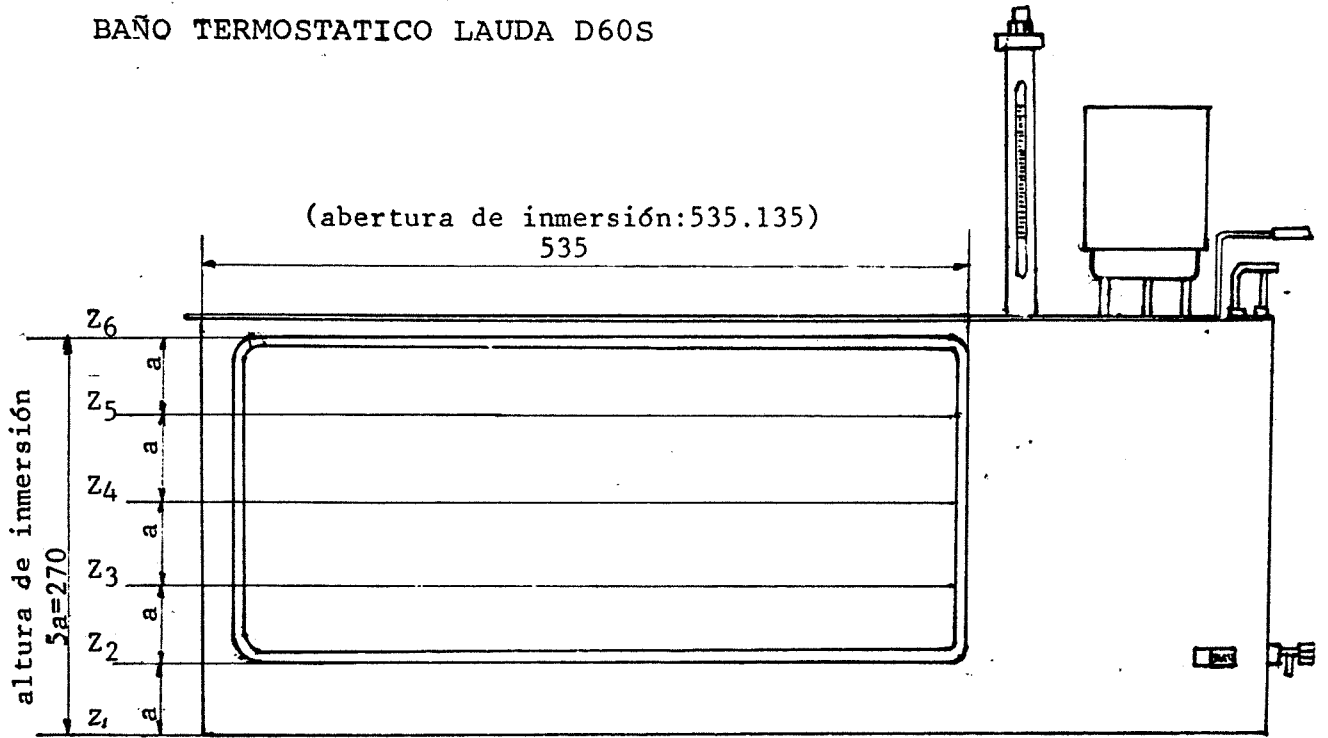
En el LTI se efectuó esta prueba para 2 baños termostáticos y con objetivos específicos :

5.5.1.1 En el baño termostático Lauda D60S (Fig. 5.4a), se -- efectuó esta prueba a 70°C para comprobar las especifica--

Fig. 5.3 BAÑO TERMOSTÁTICO LAUDA NBS
S15/22



BAÑO TERMOSTATICO LAUDA D60S



5.4b

BAÑO TERMOSTATICO DE ALTA PRECISION-PROLABO 03722.02

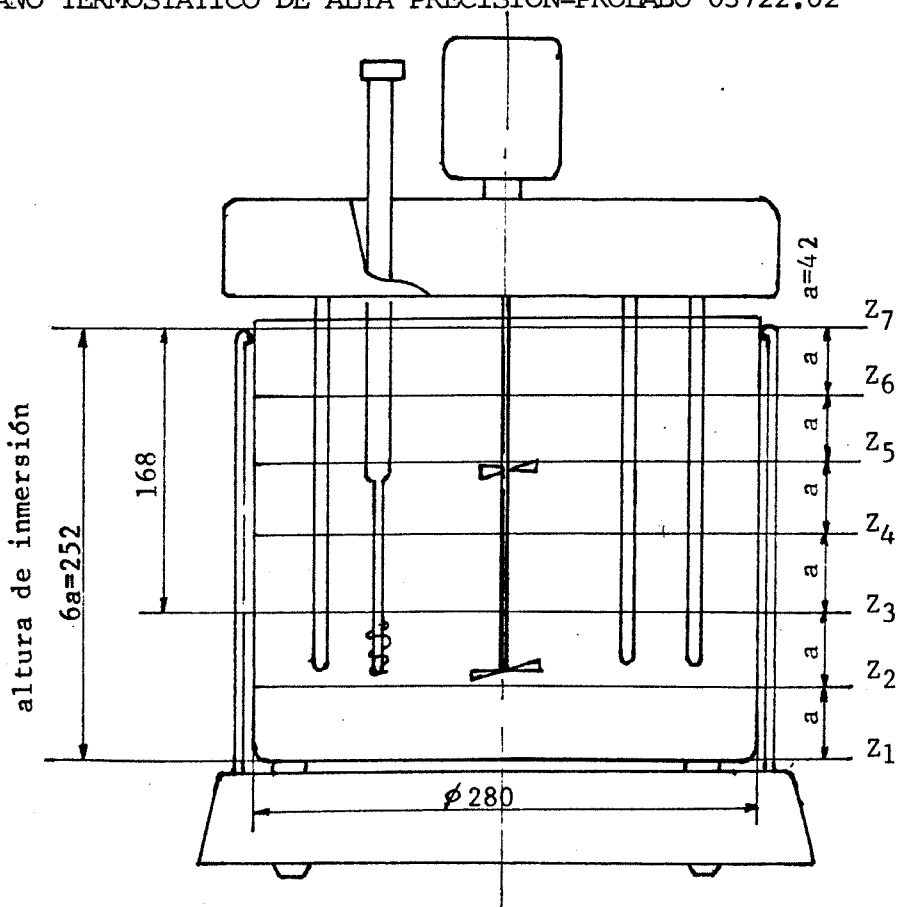


Fig. 5.4 PLANOS DE MEDICION (Z) EN LAS PRUEBAS DE UNIFORMIDAD Y ESTABILIDAD DE LOS BAÑOS TERMOSTATICOS

Graf. 5.1 Uniformidad y Estabilidad del Baño

Lauda D60S-1 a 70°C

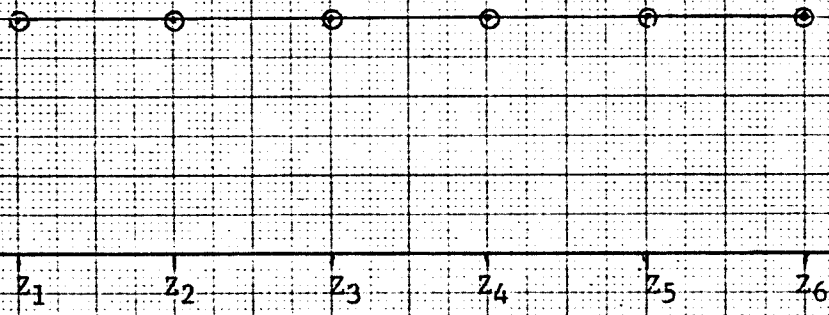
Líquido termostático: agua destilada

Fecha: 18/7/83

Nombre: H. Cuéllar

ΔT Máx.
(°C)

|±0,01|



$\Delta T = T_L - 70$; T_L : temperatura medida (°C)

ΔT Máx.
(°C)

|±0,12|

|±0,04|

|±0,02|

|±0,01|

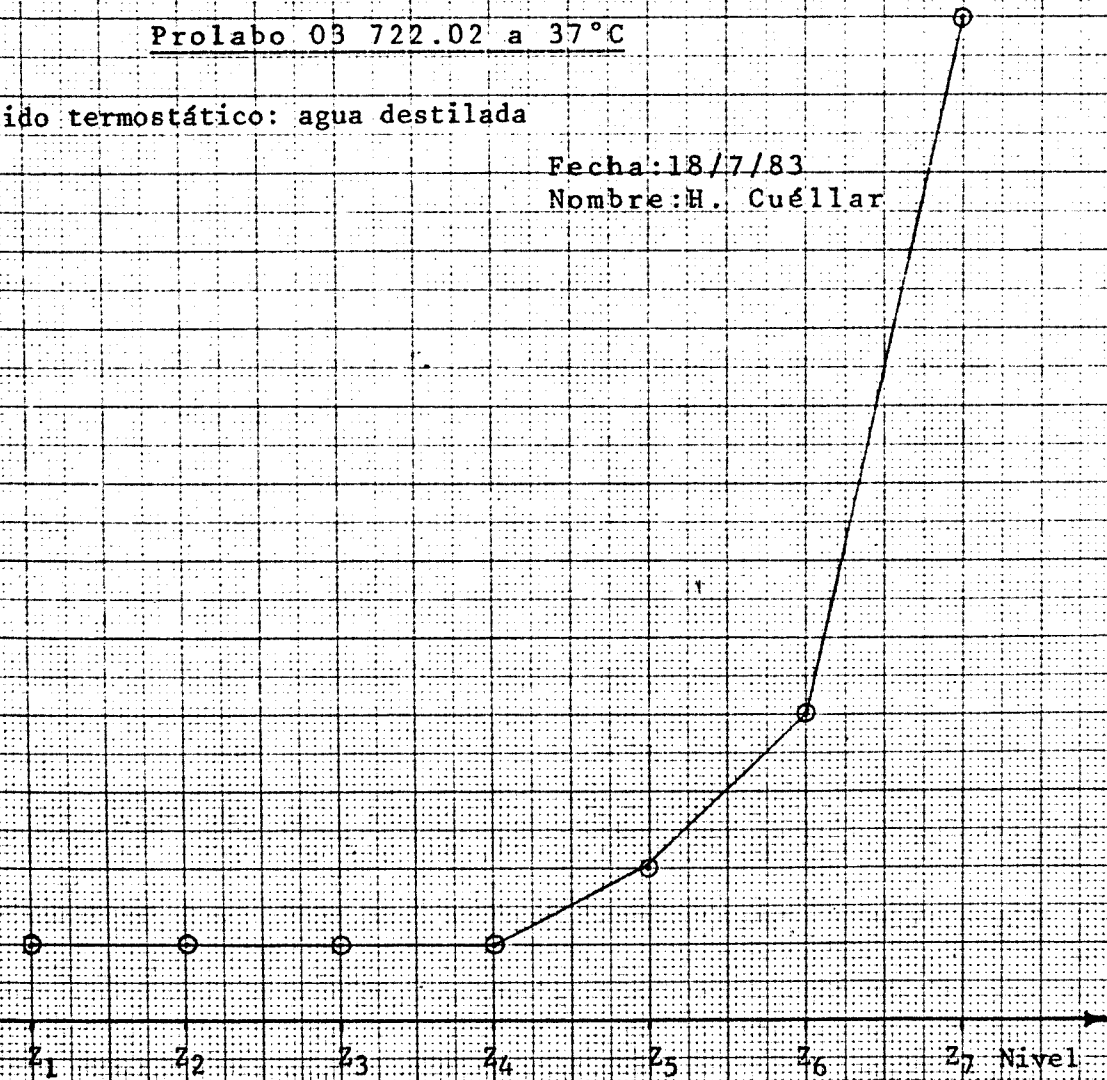
Graf. 5.2 Uniformidad y Estabilidad del Baño

Prolabo 03 722.02 a 37°C

Líquido termostático: agua destilada

Fecha: 18/7/83

Nombre: H. Cuéllar



$\Delta T = T_L - 37$; T_L : temperatura medida (°C)

ciones del catálogo y determinar la zona de trabajo para la calibración de termómetros. Se midieron 15 puntos distribuidos simétricamente en cada plano de medición Z según se aprecian en Fig. 5.4a. Se realizó la medición consecutiva para todos los puntos rápidamente y recorriendo todos los puntos 2 veces.

En el gráfico 5.1 se presentan estos valores medidos.

Resultados :

Del gráfico 5.1 se concluye que el baño Lauda D60S, que dispone de una bomba de recirculación, cumple las características de estabilidad y uniformidad de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ en todos sus puntos (a 70°C). Igualmente se efectuará para otras temperaturas referenciales de trabajo.

5.5.1.2 En el baño termostático Prolabo 03727.02; se efectuó esta prueba para poder determinar la zona de trabajo para la calibración de los termómetros clínicos, es decir para el diseño del dispositivo porta termómetros clínicos destinado para este baño por lo cual se efectuó la prueba a 37°C . Se midieron 17 puntos distribuidos simétricamente en cada plano de medición Z, según Fig. 5.4b. Las mediciones se efectuaron de modo semejante al anterior visto y se presentan los valores medidos en el gráfico 5.2.

Resultados :

De acuerdo al gráfico 5.2 se observa uniformidad y estabilidad requerida ($\pm 0,01^{\circ}\text{C}$) de las temperaturas en el baño para los niveles a Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 por lo cual se recomendó la -

construcción del dispositivo porta termómetros clínicos con la base para los bulbos de los termómetros coincidente con el nivel Z_3 .

El nivel Z_7 presenta la máxima variación de temperatura --- (-0,12°C) respecto al punto referencial de 37°C y esto es debido a que el baño sólo dispone de un pequeño agitador y -- colocado en el fondo del baño.

5.5.2 Prueba de Influencia del Serpentín de Enfriamiento - en la Estabilidad del Baño Termostático

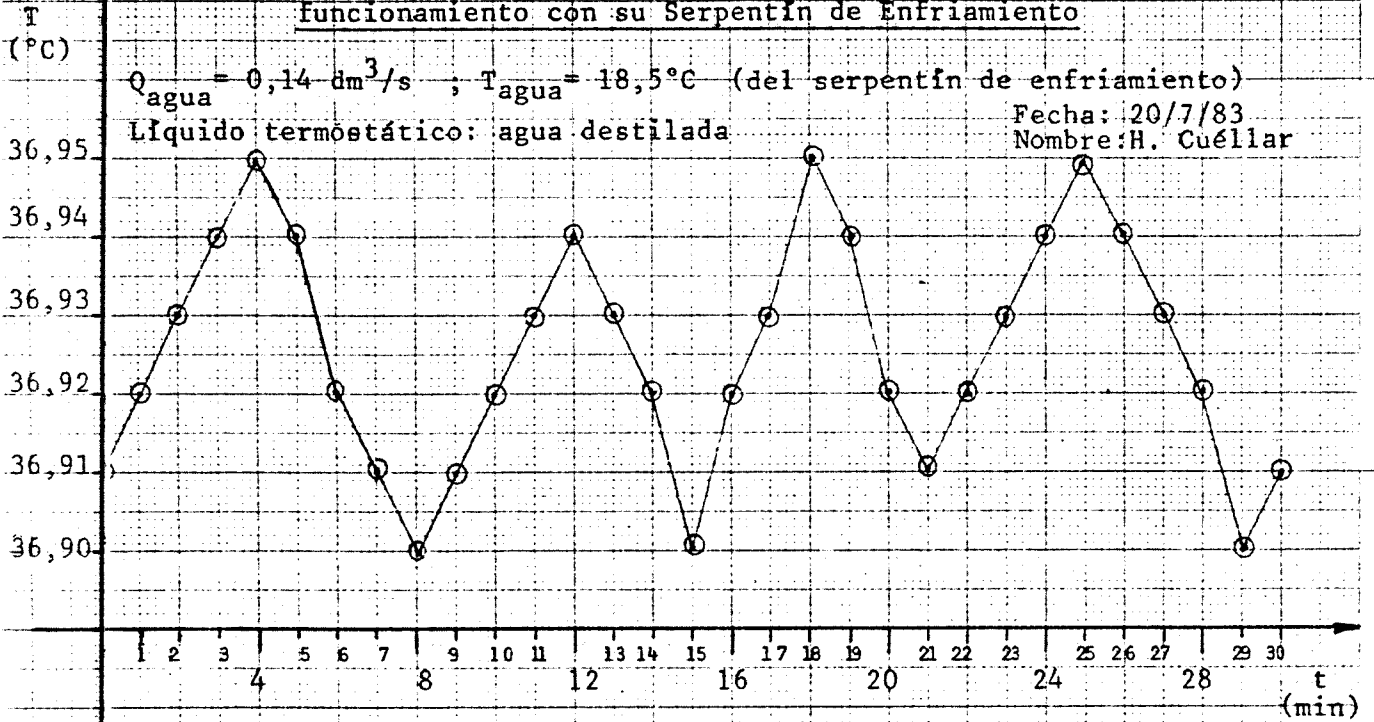
Con esta prueba se determina la variación de la temperatura respecto a una temperatura de referencia, para un mismo punto y para un tiempo determinado, en un baño termostático -- instalado con un serpentín de enfriamiento.

Esta prueba se efectuó en el baño termostático Lauda D60S - instalado con su serpentín de enfriamiento con circulación de agua. Esta prueba se realizó para determinar la estabilidad del baño en temperaturas inferiores de 40°C. Se graduó para una temperatura de referencia de 36,90°C y se procedió a efectuar las mediciones. Los valores medidos se - presentan en el gráfico 5.3

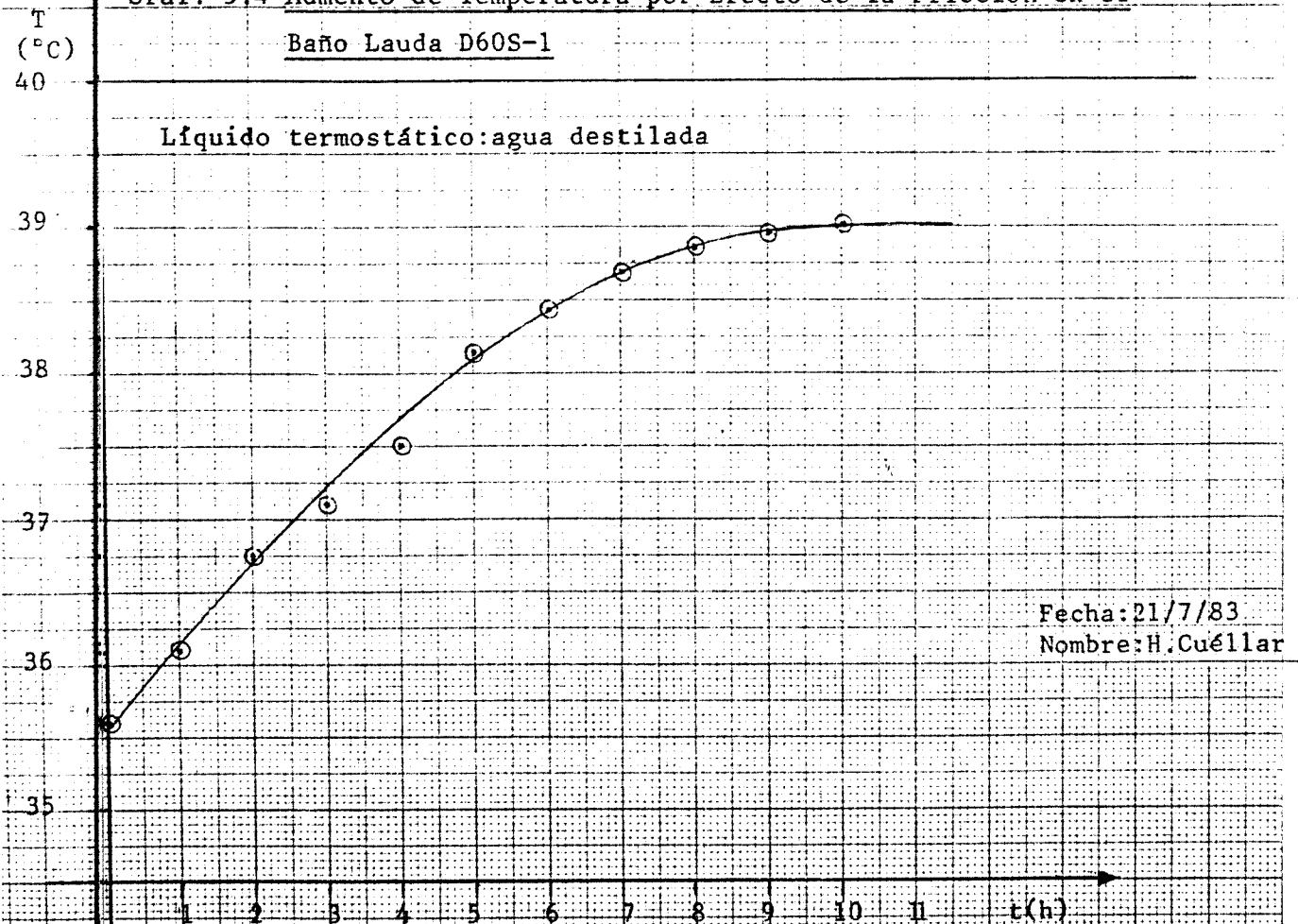
Resultado :

Del gráfico 5.3 se concluye que la estabilidad del baño Lauda D60S a 36,90°C es de $\pm 0,05^\circ\text{C}$ lo cual es un dato importante, no informado en su catálogo, para la calibración de los termómetros.

Graf. 5.3 Estabilidad del Baño termostático Lauda D60S-1 en
funcionamiento con su Serpentín de Enfriamiento



Graf. 5.4 Aumento de Temperatura por Efecto de la Fricción en el
Baño Lauda D60S-1



5.5.3 Prueba de Aumento de la Temperatura del Baño por efecto de la Fricción

Por efecto de la bomba de recirculación del baño termostático, a causa de la fricción en el líquido termostático hay un aumento de temperatura en un determinado rango que ha de conocerse para la correcta utilización del baño.

Esta prueba se efectuó para el baño Lauda D60S que dispone de una bomba de recirculación para conseguir la uniformidad del baño. Se midió la temperatura en un punto determinado del baño. Se empezó la prueba para una temperatura del agua de 35,7°C, luego se desconectó las resistencias de calentamiento, permaneciendo en funcionamiento sólo la bomba de recirculación. El objetivo es ver la factibilidad de utilizar el baño a 37°C para la verificación de los termómetros clínicos.

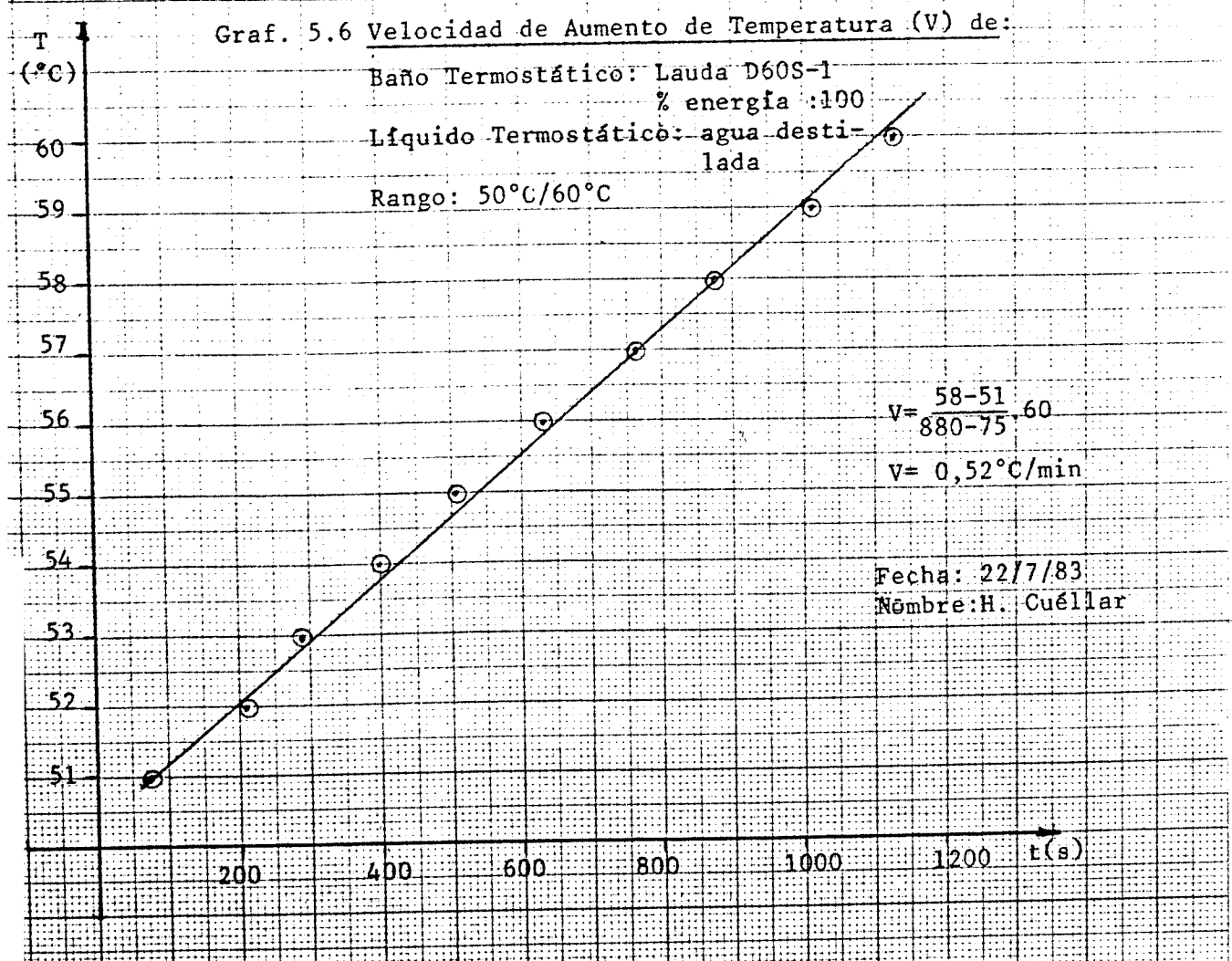
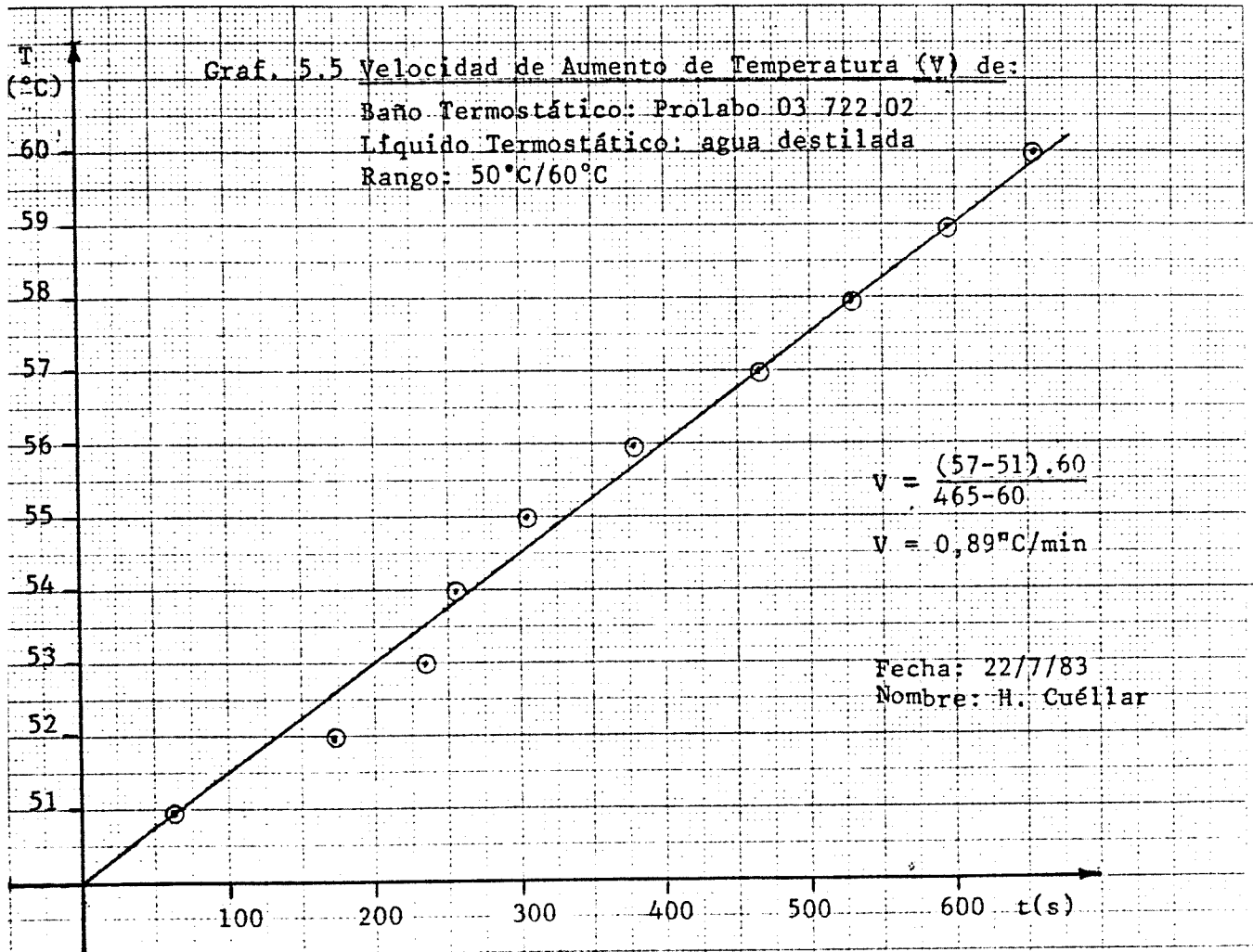
En gráfico 5.4 se presentan los valores medidos.

Resultado :

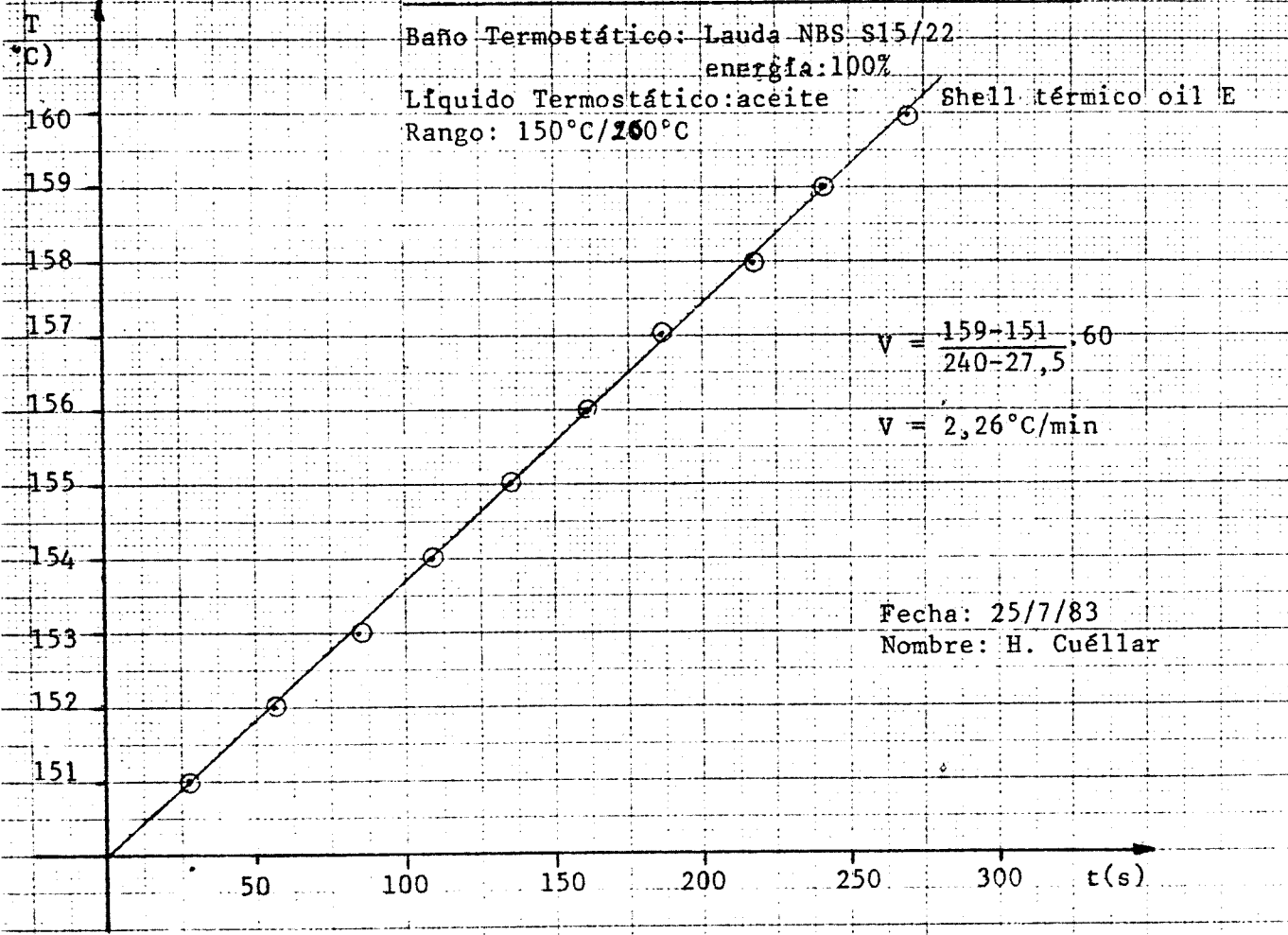
Del gráfico 5.4 se comprueba que el baño Lauda D60S se ha de utilizar a partir de 40°C para disponer de la estabilidad necesaria en la calibración de termómetros.

5.5.4 Pruebas de Velocidad de Aumento de Temperatura de los Baños Termostáticos

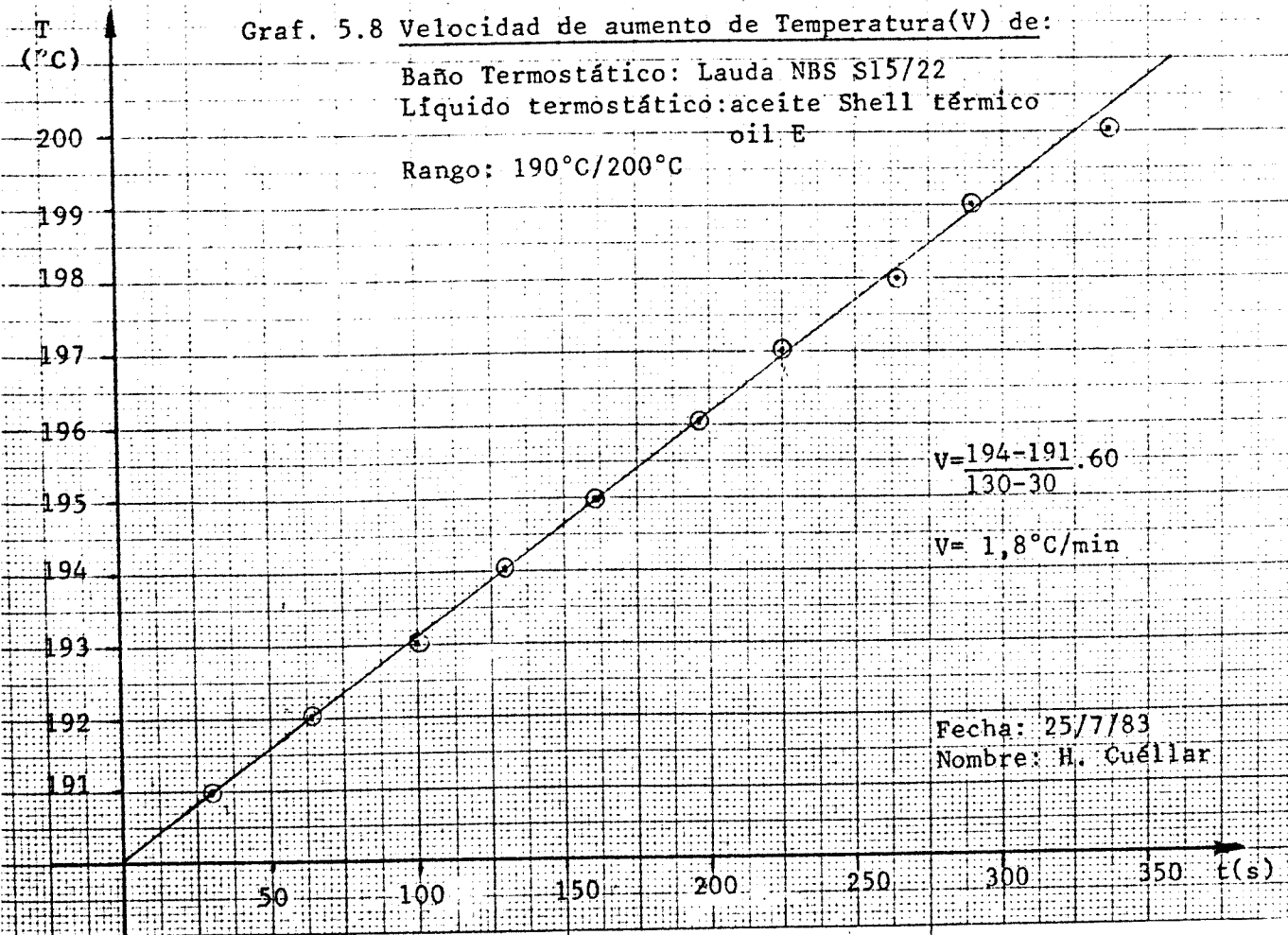
Para tener un mejor conocimiento de la operación de cada baño termostático en sus rangos de mayor utilización en otras



Graf. 5.7 Velocidad de aumento de Temperatura (V) de:



Graf. 5.8 Velocidad de aumento de Temperatura (V) de:



condiciones especiales de trabajo, se grafican los valores del aumento de temperatura en función del tiempo y se determina la velocidad de calentamiento correspondiente.

En los gráficos 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 se presentan los valores medidos de la temperatura en función del tiempo para los diferentes baños termostáticos.

5.6 CAMARA EXTRACTORA DE GASES

Finalidad , el objetivo de la construcción de la cámara extractora es poder expulsar los vapores o gases que resultan indeseables en el ambiente de trabajo y/o que dan lugar a un aumento sensible de la temperatura del laboratorio tales como :

- El aire caliente que se origina alrededor de los baños u hornos de comparación en funcionamiento del laboratorio.
- Vapores indeseables de los diferentes líquidos termostáticos.
- Los gases del fenol u otros reactivos químicos, que se utilizan para prueba de permanencia de marcas en el termómetro. El fenol es volátil y altamente tóxico.

5.6.1 Determinación del Desplazamiento de Aire del Extractor

Determinación del Flujo de Aire Caliente (q_0) originado por el cuerpo caliente. (ver Fig. 5.5).

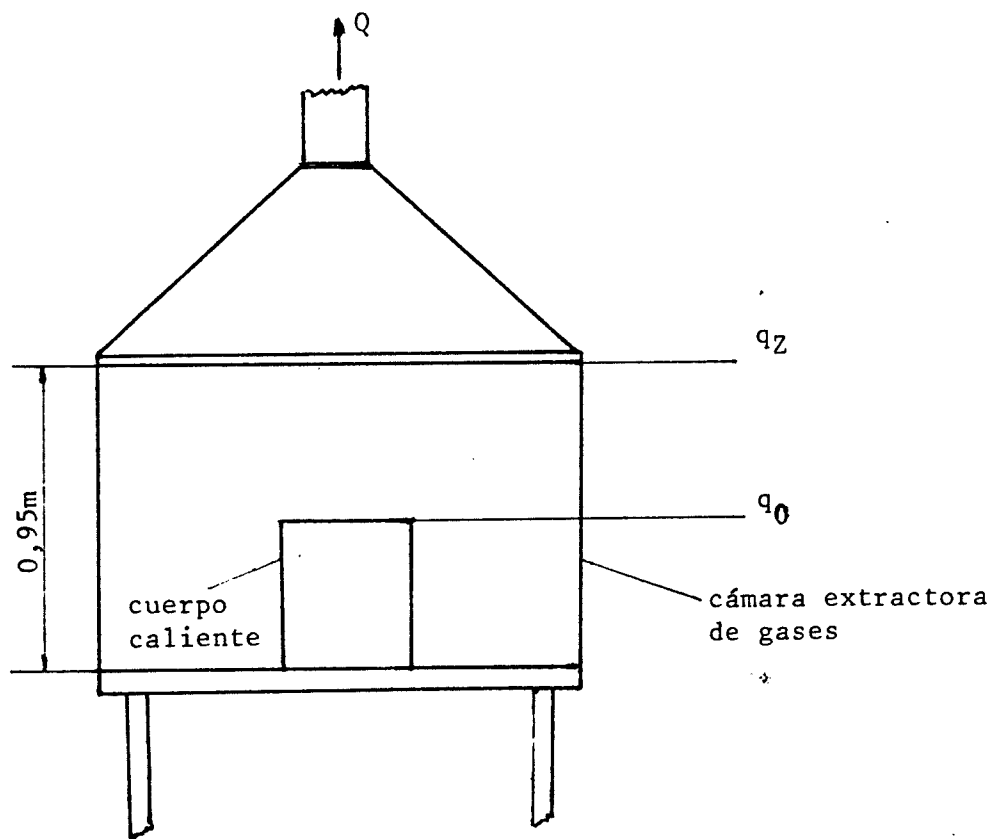


Fig. 5.5

La velocidad (V_h) con que una masa de aire caliente se eleva está determinada por la fuerza de la gravedad (g) y su magnitud se expresa en términos de la fórmula de caída libre para los cuerpos :

$$V_h = \sqrt{2gh} \quad (71)$$

El movimiento de una masa de aire en movimiento está influenciado por la turbulencia relativa debido a la mezcla y dilución con el aire ambiente como se aprecia en la Fig. 5.6

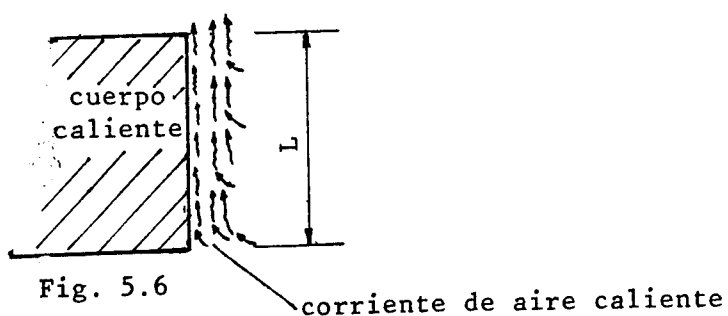


Fig. 5.6

Corriente de aire caliente :

Vh : velocidad del aire caliente.

T₂ : temperatura en la parte superior.

Th : temperatura promedio.

sh : gravedad específica del aire caliente.

Aire circundante :

Sc : gravedad específica del aire circundante

Tc : temperatura del aire circundante.

De aquí

$$h = (Sc - Sh) L$$

SC ≈ 1, luego:

$$h = (1 - Sh) L \quad (72)$$

donde :

h : altura neta responsable de la velocidad.

Sh : gravedad específica del aire caliente.

Sc : gravedad específica del aire que rodea la columna de aire caliente.

L : altura de la columna de aire caliente.

Sh puede ser expresado en términos de temperaturas absolutas :

$$Sh = \frac{T_c}{T_h} \quad (73)$$

donde :

Tc : temperatura del cuarto.

Th : temperatura de la superficie del cuerpo caliente.

Reemplazando (72) y (73) en (71) se tiene :

$$v_h = \sqrt{2 L g \left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right)}$$

$$v_h = \sqrt{2 L g \left(\frac{T_h - T_c}{T_h}\right)} \quad (74)$$

Aplicando la fórmula de capacidad de calor para la corriente de aire tenemos :

$$t_2 - t_c = T_2 - T_c = \frac{H'}{\rho_h q_o C_p} \quad (75)$$

H' : Flujo de calor conveccional

ρ_h : Densidad del aire caliente.

q_o : Flujo de aire al nivel de la parte superior del cuerpo caliente.

C_p : calor específico del aire.

t_2, T_2 : temperatura final de salida de la corriente de - aire caliente (en grado Celsius, Kelvin)

t_c, T_c : temperatura del aire del cuarto (en grado Celsius, Kelvin).

Se asume que :

$$T_2 = T_h \quad T_h: \text{temperatura promedio de la superficie del cuerpo caliente.}$$

Luego reemplazando T_h en (75) se tendrá :

$$T_h - T_c = \frac{H'}{\rho_h q_o C_p} \quad (76)$$

De (74) se despeja :

$$T_h - T_c = \frac{V_h^2}{2 L g} T_h \quad (77)$$

La velocidad V_h también se puede expresar como , :

$$V_h = \frac{q_o}{A_p} \quad (78)$$

donde :

q_o : el mismo significado que en (75) .

A_p : área de la corriente de aire caliente en la parte superior de la fuente de calor .

Reemplazando (78) en (77) se tiene :

$$T_h - T_c = \frac{\left(\frac{q_o}{A_p} \right)^2}{2 L g} T_h \quad (79)$$

Igualando (79) y (76) y despejando q_o , se tendrá :

$$\left(\frac{q_o}{A_p} \right)^2 \cdot \frac{T_h}{2 L g} = \frac{H'}{\rho_h q_o C_p}$$

$$q_o^3 = \frac{H' A_p^2 2 L g}{T_h \rho_h C_p} \quad (80)$$

En el diseño de la cámara extractora en un Laboratorio de Temperatura para la verificación de medios de medición de temperatura se ha de preveer el q_o para el uso de tempera-

turas elevadas en la superficie del cuerpo caliente por lo cual se hará el cálculo para el siguiente cuerpo caliente (Fig. 5.7).

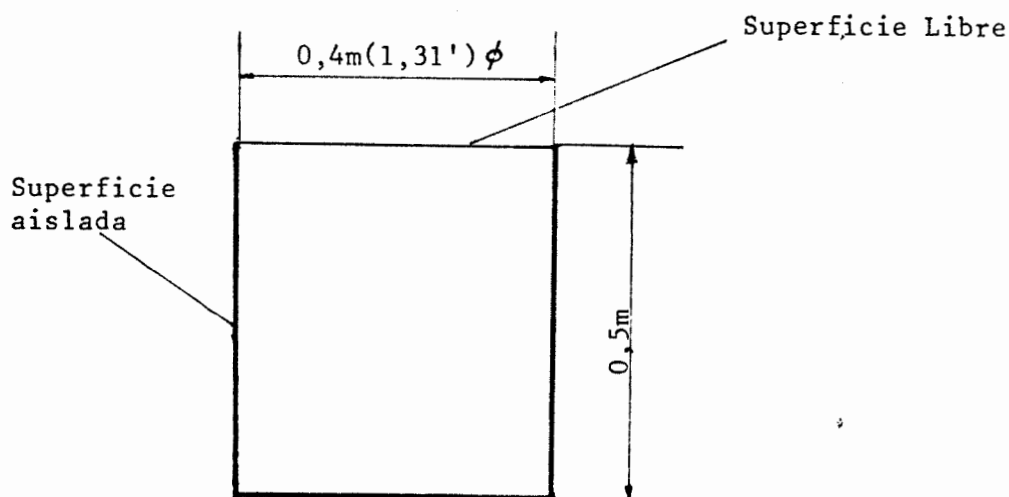


Fig. 5.7 Cuerpo caliente

Como la altura de este baño es menor de 0,90 m (3') se hará el cálculo de q_0 considerando la superficie caliente -- únicamente como la placa horizontal correspondiente a la superficie libre del baño, ya que la temperatura de la superficie lateral es mucho menor.

Determinación de la Pérdida de Calor (H')

$$H' = hc \quad A_s \quad \Delta T \quad (81)$$

hc : coeficiente de convección

A_s : área emitente de calor

ΔT : diferencia de temperatura entre el cuerpo caliente y el aire circundante.

Cálculo de hc

De la Tabla 8-3 pag. 170 Ref. {16} , para placas horizontales hacia arriba se tiene :

$$hc = 0,34 (\Delta t)^{1/4} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h-pie}^2\text{°F}} \right)$$

$$\Delta t = 1,8 (600^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 1044^\circ\text{F}$$

$$hc = 0,38 (1044)^{1/4}$$

$$hc = 2,16 \frac{\text{BTU}}{\text{h-pie}^2\text{°F}}$$

Cálculo de As

Para superficies horizontales A_p es igual a algo menor que el plano mismo*:

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(1,31)^2}{4} = 1,35 \text{ pies}^2$$

$$\text{Tomamos } A_p = 1,35 \text{ pies}^2$$

$$A_s = A_p , \text{ luego :}$$

$$A_s = 1,35 \text{ pies}^2$$

Cálculo de H'

Reemplazando hc, ΔT y A_s en (81) :

$$H' = 2,16 \cdot 1,35 \cdot 1044 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$H' = 3044,30 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \cdot \frac{0,252 \text{ kcal}}{\text{BTU}}$$

*Basado en datos experimentales pág. 168 Ref. {16} .

$$H' = 767,16 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Cálculo de q_o

$$A_p = 1,35 \text{ pies}^2 = 0,125 \text{ m}^2$$

$$L = 0,4 \text{ m} \quad (\text{para superficies horizontales se considera } L \text{ como si fuese posicionando verticalmente) *}$$

De (73) :

$$\rho_h = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{(20 + 273)}{(600 + 273)} = 0,434 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p \text{ aire} = 0,24 \text{ kcal/kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$T_h = 873 \text{ K}$$

Reemplazando en (80) :

$$q_o^3 = \frac{767,16 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot (0,125 \text{ m}^2)^2 \cdot 2 \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{(3600 \text{ s})^2}{\text{h}^2}}{873 \text{ K} \cdot 0,434 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$q_o = 237,57 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_o = 0,0659 \text{ m}^3/\text{s}$$

* Basado en datos experimentales , pag. 169 Ref. {16} .

Estimado de q_z

Se establece q_z considerando que hay un aumento de volúmen de q_o por la mezcla con el aire circundante en su desplazamiento hacia arriba, por ser un desplazamiento pequeño (menor que 0,90 m) se estima como una pequeña cantidad superior a q_o .

Luego podemos asumir q_z como :

$$q_z = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_z = 0,083 \text{ m}^3/\text{s}$$

Desplazamiento de aire del Extractor (Q)

Debido a un posible intercambio de baños termostáticos o el uso de más de un baño, y para facilidades de trabajo, se ha construido una campana de área mayor que el área A_p , para la cual se efectuó los cálculos. Pero se corre el peligro de crearse corrientes de aire laterales que también arrastrarían un porcentaje del aire caliente y para evitarlo el sistema de extracción dispondrá de paredes laterales (cámara extractora). Creándose así sólo una recirculación del aire caliente como se ve en la Fig. 5.8. De esta manera se establece para Q el mismo valor que para q_z

De acuerdo a lo mencionado $Q = q_z$, pero en previsión de un mayor número de hornos ó baños termostáticos en la cámara extractora del LTI, se tomará para Q :

$$Q = 4 q_z$$

$$Q = 4 \text{ (300 m}^3\text{/h)}$$

$$Q = 1200 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$Q = 0,333 \text{ m}^3\text{/s}$$

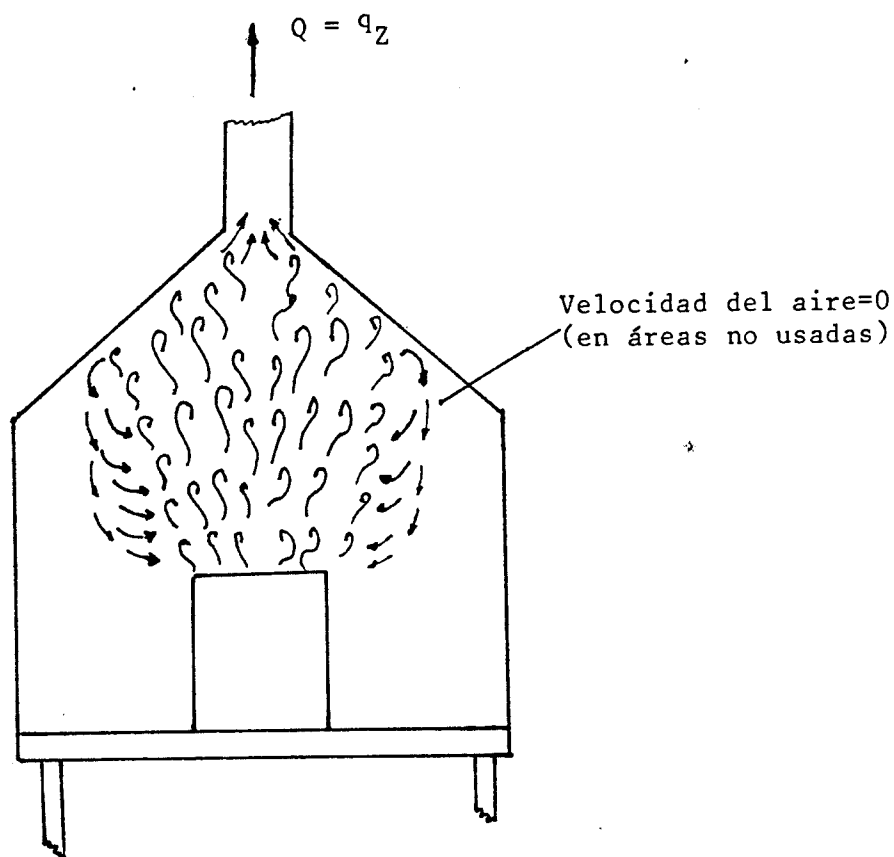


Fig. 5.8

5.6.2 Determinación de la Pérdida de Presión Estática

Se determinará la pérdida de presión estática (H_s) sumando las pérdidas de presión (P) que se producen en las secciones sucesivas del sistema de canalización que se ha de evaluar del siguiente modo :

$$P = \kappa P_v \quad (\text{mm de agua})$$

$$P_v = \left(\frac{v}{4,033} \right)^2 \frac{\rho_h}{\rho_c}$$

Donde :

P : pérdida de presión (mm de agua)

P_v : presión dinámica (mm de agua)

v : velocidad media (m/s)

ρ_h : peso específico del aire caliente

ρ_c : peso específico del aire circundante

κ : factor definido en cada sección (de Tabla 5.3)

Presión dinámica (P_v)

$$v = \frac{Q}{A \text{ ductos}} = \frac{0,333 \text{ m}^3/\text{s}}{(0,20 \cdot 0,20) \text{ m}^2}$$

$v = 8,33 \text{ m/s}$ (la velocidad máxima recomendada, para mantener el nivel de vibración en los ductos es de 15 m/s).

$$P_v = \left(\frac{8,33}{4,033} \right)^2 \frac{\rho_h}{\rho_c}$$

$$P_v = 4,266 \left(\frac{\rho_h}{\rho_c} \right)$$

Tomamos $\frac{\rho_h}{\rho_c} = 1$ (conservadoramente)

Tabla 5.3 Pérdidas de presión en el sistema de ventilación

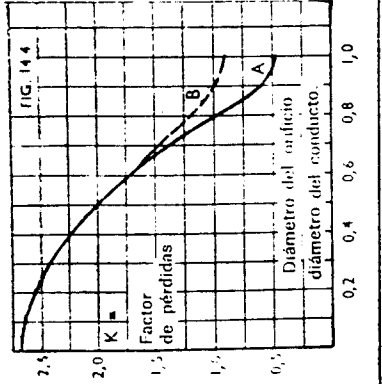
(pág. 152, 153; Ref { 35 })

SÍMBOLOS

- L = Longitud del conducto (m)
- D = Diámetro del conducto (m)
- p = Pérdida de presión total (mm de agua)
- p_v = Presión dinámica (mm de agua)
- V = Velocidad media (m/s)
- ρ = Peso específico del gas (Kg/m³)
- G_m = Factor definido en cada sección
- K =

1. PERDIDAS A LA ENTRADA DEL SISTEMA

Ver fig. 14.4 Curva A	Ver fig. 14.4 Curva B	Rejilla estampada Sup. libre 70%, 60%, 50%



2. PERDIDAS A LO LARGO DE CONDUCTOS RECTILÍNEOS

Formulas aproximadas para las pérdidas en conductos con:

Sección circular: $K = 0.02 \frac{L}{D}$

Sección rectangular: $K = 0.01 \frac{A+B}{AB} \frac{L}{P}$

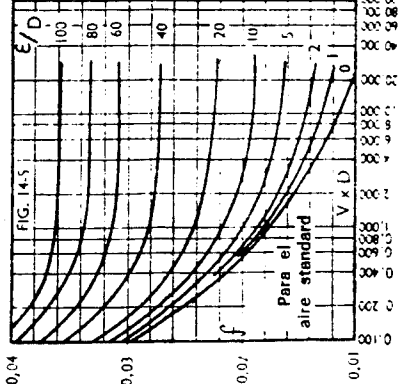
Otras secciones: $K = 0.005 \frac{L}{P}$

Perim en m
Área en m²

Comentario:
Para tener la máxima precisión en el caso de largos conductos cilíndricos con paredes rugosas.

Determinar f en la fig. 14.5 y estimar la rugosidad de la superficie ε con la ayuda de la tabla siguiente:

Superficie tipo ε	20	0.01
Tubo estirado	0.1	0.1
Chapa laminada	0.5	0.5
Chapa barnizada	1	1
Superficie con cemento	3	3
Puertecillos remachados	200	200
Ladrillos	500	500



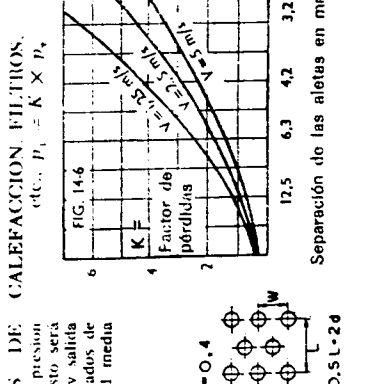
3. PERDIDAS PROVENIENTES DE BATERÍAS DE CALEFACCIÓN FILTROS.

Obtener de los datos del fabricante la pérdida de carga en presión total a través del elemento considerado para el flujo deseado. Esto será igual a la caída de presión estática si los orificios de entrada y salida son iguales en superficie. La figura 14.6 da los valores aproximados de K para pequeños tubos con aletas. Se basa en la velocidad media frontal. Para los tubos simples se emplea la fórmula:

$K = C \frac{L}{d}$ donde n es el número de baterías

Disposición de los tubos d = diámetro del tubo

C = 0.25	C = 0.5	C = 0.4
W = 1-1.5D	W = 0.5L-1.5D	W = 0.5L-2D



4. PERDIDAS EN LAS EXPANSIONES Y CONTRACCIONES, $p_k = K \times p_v$

Ver fig. 14.8 Curva B	Ver fig. 14.8 Curva A	Ver fig. 14.7 Curva A	Ver fig. 14.7 Curva A	Ver fig. 14.7 Curva A

5. PERDIDAS EN LOS CAMBIOS DE DIRECCION, $p_k = K \times p_v$

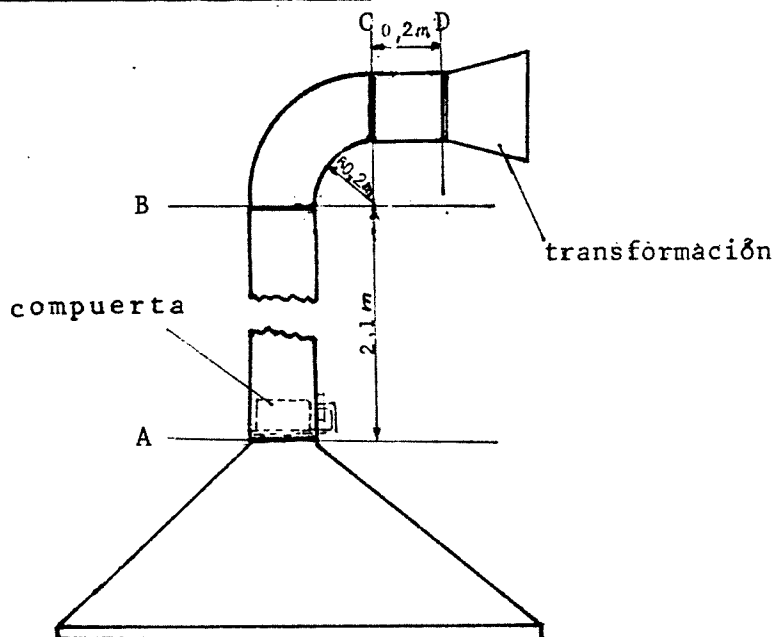
Ver fig. 14.8 Curva A	Ver fig. 14.8 Curva A	Ver fig. 14.8 Curva A	Ver fig. 14.8 Curva A

6. PERDIDAS A LA SALIDA DEL SISTEMA, $p_k = K \times p_v$

Ver fig. 14.7 Curva B	Ver fig. 14.7 Curva B	Ver fig. 14.7 Curva B	Ver fig. 14.7 Curva B

Luego $P_v = 4,266$ mm de agua

Sistema de Canalización



Pérdida a la entrada del Sistema (P_1)

Para Cobertizo ; de la pág. 155 Ref. {35} :

$$\kappa = 0,5$$

$$P_1 = 0,5 \cdot 4,266 = 2,13 \text{ mm de agua}$$

Pérdida por compuerta (P_2)

$$\kappa = 3,9 \quad (\text{para } \alpha = 30^\circ, \text{ de tabla 5.3})$$

$$P_2 = 3,9 \cdot 4,266 = 16,64 \text{ mm de agua}$$

Pérdida a lo largo del tramo AB (P_3)

$$P_3 = f \frac{L}{Deq}$$

f : coeficiente de fricción Fig. 14-5 de Tabla 5.3

L : longitud del conducto

Deq : diámetro equivalente al conducto circular

Diámetro equivalente (Deq) para un conducto rectangular :

$$\text{Deq} = \frac{2(AB)}{A + B} = \frac{2(0,2 \cdot 0,2)}{0,2 + 0,2}$$

Deq = 0,2 m A, B longitud del lado del ducto rectangular.

De la Fig. 14-5 de Tabla 5.3 se determina :

Para los valores de :

$$\frac{\epsilon}{\text{Deq}} = \frac{5}{0,2} = 25$$

ϵ : Coeficiente de rugosidad.

$\epsilon=5$ (para conducto de fierro galvanizado).

$$V \cdot D = 8,33 \cdot 0,2 = 1,666$$

$$f = 0,0248$$

Luego :

$$P_3 = 0,0248 \cdot \frac{2,1}{0,2} = 0,260 \text{ mm de agua}$$

Pérdida por cambio de dirección, codo BC (P_4)

$$\text{Para } \frac{R}{A} = \frac{0,2}{0,2} = 1 ; \frac{B}{A} = 1 ; \kappa=0,13 \text{ (de Tabla 5.3)}$$

$$P_4 = 0,13 \cdot 4,266 = 0,56 \text{ mm de agua}$$

R : radio de curvatura

A,B : longitud del lado del ducto rectangular

Pérdida a lo largo del tramo CD (P_5)

Semejante al tramo AB

$$P_5 = 0,0248 \cdot \frac{0,2}{0,2} = 0,0248$$

$$P_5 = 0,02 \text{ mm agua}$$

Pérdida presión estática (H_s)

$$\begin{aligned} H_s &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \\ &= 2,13 + 16,64 + 0,26 + 0,56 + 0,02 \end{aligned}$$

$$H_s = 19,61 \text{ mm de agua}$$

El extractor se seleccionará para : $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$ y

$$H_s = 20,0 \text{ mm de agua}$$

5.6.3 Características Técnicas de la Cámara Extractora de Gases

- Un extractor industrial para un rendimiento de :

$$Q = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_s = 20 \text{ mm de agua}$$

- vitrina de gases, con medidas principales : 1,50 m de frente; 0,75 m de fondo y 0,93 m de altura; fabricado con planchas de acero inoxidable. La ventana frontal es de tipo guillotina de vidrio duplex, accionada con

un sistema de contrapeso. En la parte superior está -- instalada una campana cerrando todo el perímetro con -- los ductos de descarga.

El aire ha de circular en la vitrina con una velocidad - de 0,5 a 1,2 m/s.

- Los ductos de descarga son de 20 . 20 cm de sección que atravieza el techo para conectarse con el extractor.

La velocidad en los ductos es inferior a 15m/s para no - exceder los niveles de vibración y ruido del laboratorio.

- El extractor está instalado en el techo de laboratorio, con una base antivibratoria.
- El ducto de descarga y el tubo de instalación eléctrica deben ser revestidos de Teknopor, entre las dos losas - del laboratorio, con el objeto de mantener el límite -- del nivel de vibración requerido en el interior del la- boratorio.

NOTA.- En los planos LT-4 y LT-5 se presentan los detalles constructivos de la cámara extractora de gases

5.7 Centrífuga de Eje Vertical

Esta pequeña centrífuga se hace necesaria para los siguien-- tes usos :

- La columna dividida de los termómetros de líquido en vi- drio se puede unir con un método de centrifugación.
- En la verificación de los termómetros clínicos de máxima una de las pruebas es la de dureza, mediante la cual se evalúa el comportamiento del dispositivo de máxima cen--

trifugándola con una aceleración establecida, y también para volver la columna de los termómetros de máxima que se verifican en gran número, se utiliza la centrífuga.

Se seleccionó esta centrífuga para el LTI de acuerdo al siguiente requisito :

"La centrífuga de eje vertical debe ser capaz de ejercer -- una aceleración de $51 g \pm 2 g$ ($g =$ aceleración de la gravedad) en un punto del termómetro distante 34 mm del bulbo".

(en la prueba de dureza para termómetros clínicos de máxima según la Norma ITINTEC LT-001).

Determinación del Radio mínimo útil (R_c); y Velocidad angular (n) de la centrífuga

Para un movimiento circular alrededor de un eje fijo :

$$a_n = r \omega^2 \quad ; \quad \omega = 2 \pi n \quad (82)$$

$$a_n = \frac{r n^2 \pi^2}{900} \left(\frac{m}{s^2} \right) \quad (83)$$

donde :

- a_n : aceleración normal; (m/s^2)
- n : velocidad angular; (rpm)
- r : radio de la circunferencia en la cual se aplicará la aceleración de $51 g \pm 2 g$, donde estará localizado el punto del termómetro distante 34 mm del bulbo; (m).

Sabemos que :

$$a_n = 51 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$$

Para $a_n = 51 \text{ g}$ ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

$$a_n = 500,31 \text{ m/s}^2$$

Reemplazando este valor de a_n en (83) y despejando r_n^2 , tenemos :

$$r_n^2 = \frac{a_n \cdot 900}{\pi^2} \quad (84)$$

$$r_n^2 = \frac{500,31 \cdot 900}{2} \quad r_n^2 = 45\,662,8$$

Para $a_n = 51 \text{ g} + 2 \text{ g}$

$$a_n = 519,93 \text{ m/s}^2$$

$$r_n^2 = 47\,411,9$$

Para $a_n = 51 \text{ g} - 2 \text{ g}$

$$a_n = 480,69 \text{ m/s}^2$$

$$r_n^2 = 43\,833,7$$

Rc, r

R_c = radio mínimo útil de la centrífuga = longitud del termómetro.

Para termómetros clínicos de máxima se toma :

$$R_c = 0,13 \text{ m}$$

De acuerdo al requisito establecido para la centrífuga :

$$r = R_c - 0,034$$

$$r = 0,13 - 0,034$$

$$r = 0,096 \text{ m}$$

$$r = 9,6 \text{ cm}$$

n

De las evaluaciones de rn^2 se tiene que :

$$rn^2 = 45\ 662,8 ; \text{ ó}$$

$$43\ 833,7 \leq rn^2 \leq 47\ 411,9$$

Reemplazando $r = 0,096$ m, se evalúa n :

$$n = 690 \text{ rpm} ; \text{ ó}$$

$$676 \text{ rpm} \leq n \leq 703 \text{ rpm}$$

En general :

Para cualquier r determinado según el termómetro a centrífugar se determina el n correspondiente para la a_n establecida, por lo cual será recomendable una centrífuga de velocidad variable para ser utilizado con diferentes valores de r . Será conveniente que la centrífuga disponga de tacómetro y cronómetro incorporado. Así también el material de fabricación de la centrífuga en contacto con los termómetros ha de ser inoxidable.

De acuerdo a las características mencionadas y los valores de R_c , r y n establecidos se selecciona o diseña la centrífuga para su uso específico. En el apéndice "H" se presenta la pequeña centrífuga (fabricación Sargent-Welch) seleccionada del mercado especializado de Lima, para su utilización en el LTI.

C O N C L U S I O N E S

1. Los temas expuestos en la presente Tesis sobre la técnica de calibración de los termómetros de líquido en vidrio constituyen un avance especializado en el país en el desarrollo de la técnica metrológica de calibración de termómetros para su aprovechamiento en los laboratorios metrológicos de industrias y otras instituciones.

2. Los termómetros de líquido en vidrio, patrones secundarios en la cadena de calibración de medios de medición de temperatura, se utilizan como termómetros patrones en ventaja sobre los termómetros de otros tipos constructivos por las siguientes razones :
 - . Alta confiabilidad
 - . Dispone de métodos ampliamente estudiados.
 - . Bajo costo
 - . Mantenimiento económico
 - . Tiempo de vida prolongada.

3. Se da a conocer en este trabajo el Sistema Nacional de Metrología y su importancia, así también la Escala Internacional de Temperaturas con el objetivo de de--

terminar la necesidad de establecimiento de los programas de desarrollo metrológico de nivel industrial y científico, que canalizado en nuestro país permitirá satisfacer en mayor proporción las necesidades de servicio metrológico y así también la uniformización de la unidad de medida de la temperatura en todo el país.

4. Los conocimientos teóricos y prácticos, referente a los termómetros de líquido en vidrio, vertidos en la presente Tesis, permiten:
 - El conocimiento teórico de la construcción, funcionamiento y utilización.
 - La reparación de fallas y su correspondiente mantenimiento.
 - Determinación de las correcciones de escala del termómetro y de la incertidumbre de la medición, de acuerdo a un método desarrollado para los termómetros de uso ordinario y los de usos especiales.
 - Evaluación y determinación de métodos de calibración de otros medios de medición de temperatura de otros tipos constructivos, así también de las características metrológicas de equipos específicos en los que se mida temperatura utilizando termómetros patrones de líquido de vidrio.

5. Los aspectos técnicos desarrollados para el laboratorio de metrología en temperatura, que ha de brindar -- servicios de calibración de termómetros, solucionan:
- . Determinar las condiciones normales de calibración.
 - . Seleccionar los equipos para un laboratorio de nivel técnico que ha de efectuar los servicios de calibración de medios de medición de temperatura para el rango de -55°C a 900°C y así también determinar las características de los termómetros patrones de vidrio en su rango de uso de -55°C a 300°C .
 - . El diseño de la cámara extractora de gases del laboratorio.
 - . Efectuar las pruebas de funcionamiento de los baños termostáticos con fines específicos.
 - . Conocer las características principales de operación y construcción del Laboratorio de Temperatura del ITINTEC.
 - . La construcción y/o selección de otros elementos - (pequeña centrífuga de eje vertical, mobiliario, - instalaciones).
6. Desde Enero de 1982 en que se ha iniciado la instalación de los equipos correspondientes de los laboratorios de metrología del ITINTEC, el laboratorio de temperatura viene desarrollándose para aumentar sus posibilidades de brindar servicios metrológicos y respec-

to a su alcance actual e inmediato en relación con lo desarrollado en la presente Tesis, se concluye lo -- siguiente :

- . Con el equipo que se ha de completar en su adquisición permitirá de inmediato brindar servicios de calibración de termómetros de líquido en vidrio en el rango de -55°C a 300°C , comparándolos con termómetros patrones de líquido en vidrio.
- . Se brinda servicios metrológicos para termómetros de diferentes tipos constructivos o de equipos específicos en las que se mida temperatura comparándolos con termómetros patrones de líquido en vidrio.
- . Se ha estudiado e implementado el servicio de aferición de termómetros clínicos en forma obligatoria con el objeto de proteger al consumidor directo en el área de la salud.
- . En el establecimiento de nuevos servicios de calibración y de aferición de manera semejante que para los termómetros de líquido en vidrio se ha de desarrollar las fases de : Estudio y análisis de los métodos de calibración y de aferición, selección y/o diseño del equipo requerido, desarrollo experimental de los métodos estudiados y capacitación del personal involucrado.

- . De acuerdo al programa integral de desarrollo del laboratorio de temperatura y en atención a las necesidades de la industria se recomendó en un plazo inmediato la adquisición del equipo correspondiente para la calibración de termocuplas y termómetros de resistencia.
7. La difusión de los servicios metrológicos ha de continuarse en forma activa, ya que de un estudio sobre las necesidades metrológicas en el país se sabe de una falta de entendimiento generalizado sobre la metrología.
8. Se ha de tratar de conseguir una efectiva coordinación e intercambio en los diferentes aspectos de metrología con otros países, tales como : Argentina, - Brasil y Venezuela de amplios recursos en la metrología científica e industrial; así también en la gestión de cooperación técnica con países altamente industrializados.

B I B L I O G R A F I A

1. Asociación Española para el control de la calidad. Comité de Metrología - Expresión de los Resultados de una Calibración o Medida.
2. Benedic Robert P. - Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement - New York, J. Willey & Sons (1969 , 1977).
3. Bureau National de Metrologie - Special "Temperature"- Bulletin d' information du BNM Avrill - Juillet 1978. Números 32 - 33. París - France.
4. Bureau International des Metrologie Légale - Equipment of a National Metrology Service - París 1980.
5. Corrier air conditioning Co. - Manual de aire acondicionado. Barcelona Edit. Marcombo S.A. 1976.
6. Cuéllar Helena - Generalidades sobre aferición de Termómetros de Vidrio - Laboratorio de Temperatura ITINTEC, Lima, 1984.
7. Cuéllar Helena - Desarrollo de Métodos de Verificación de Termómetros Clínicos - Laboratorio de Temperatura- ITINTEC, Lima 1983.
8. De Colubi Ramón-Laboratorios Multinacionales de Metrología en Latinoamérica - Unión Panamericana de Asociación de Ingenieros (UPADI), 1972.
9. De Colubi Ramón - Metrología Fondo de Desarrollo Metrológico S.N.M.L. Caracas, 1978.
10. Doebelin Ernest O. - Measurement Systems. Application and Design Mc Graw Hill. Kogakusha Ltd. Japon, 1975.
11. Elonka Stephen M., Parsons Alonzo R. - Manual de Instrumentação - Sistemas de Medição - Vol. 1. Mc. Graw - Hill do Brasil, Ltda. 1978.
12. Erofitzky Gary - Bases de Metrología - ITINTEC.
13. Faires Virgil Moring - Termodinámica - Editorial Hispanoamericana, México D.F., 1965.

14. Guillaume C.E. - Traite Practique de la Thermometrie Gautier Vilars et Fils - París 1889.
15. Hall J. A. and Leaver U.M. - The design of mercury -- thermometers for calorimetry - J. Scient Inst. 1959.
16. Hemeon W.C.L. - Plant and Process Ventilation - Pittsburgh 1963.
17. Herencia Daniel Q. - Aire Acondicionado - Asociación Electrotécnica Peruana, Lima 1984.
18. Japan International Cooperation Agency in National -- Research Laboratory of Metrology.
19. Kikoin A.K. Kikoin J.K. - Física Molecular - Segunda Edición. Editorial MIR 1979.
20. Marks Lionel S. - Manual del Ingeniero Mecánico - Editorial Hispanoamericana. Primera Edición en Español.
21. Novoa Ingenieros - Estudio de Mercado de las Necesidades Metrológicas del País - ITINTEC, Lima 1980.
22. Obert F. Edward - Transferencia de Calor - Serie/In--ternational text - books in Mechanical Engineering.
23. Organization Internationale de Metrologie Legale - Vocabulaire de Métrologie Legale, París 1968.
24. Preobrazhensky V.P. - Mediciones Termotécnicas y aparatos para efectuarlas - Tomo I. Editorial Mir 1980.
25. Rabinowicz Ernest - An Introduction to Experimentation - Adalyson Wesley Publishing Company, Inc. 1970.
26. Rossini D. Frederick - Fundamental Measueres and Constants for Sciencie and Technology - CRC Press. Houston, Texas 1974.
27. Seymour Doolittle J. - El Laboratorio del Ingeniero - Mecánico - Editorial Hispano Americana S.A. - Buenos Aires, 1971.
28. Shames Irwing H. - La Mecánica de los Fuídos - Mc. -- Graw - Hill de Mexico S.A. de C.V. 1967.
29. Shigley Edward J. - El Proyecto en Ingeniería Mecánica - Ediciones del Castillo S.A. Madrid 1965.
30. Spiegel Murray R. - Estadística - Libros Mc. Graw --- Hill de México S.A. de C.V. , 1970.

31. Suguer T.R. - Calibración y Uso de Termómetros de Vidrio - Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires 1975.
32. Swindells J.F. - Calibration of Liquid in Glass Thermometer - National Bureau of Standards. Monograph 90 Washington D.C. 1965.
33. Swindells J.F. - Precisión Measurement and Calibration. Temperature Volume 2. Special Publication 300. National Bureau of Standards. - Washington D.C. 1968.
34. Van Wylen Gordon J. y Sonntag Richard E. - Fundamentos de Termodinámica - Editorial Limusa S.A., Mexico D.F. 1973.
35. Woods of Colchester Ltd. - Guía Práctica de la Ventilación - Editorial Blume. Barcelona 1970.
