

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROGRAMA COMPUTACIONAL DIDÁCTICO PARA
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN: TEORÍA,
SELECCIÓN Y DISEÑO**

ANÍBAL RUBÉN MANTILLA GUERRA

**Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero en Electrónica y Control de la
Escuela Politécnica Nacional**

Marzo, 2000

Certifico que bajo mi dirección la
presente tesis fue realizada en su
totalidad por el señor:

ANIBAL RUBEN MANTILLA GUERRA



Ing. Patricio Rosero O.
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

- A mi Padre por todos los sacrificios que ha hecho a lo largo de su vida, para llenar la mía con amor, fé y esperanza.
- A Dios por todas las bendiciones que me ha dado en la vida, y por estar consiente de ellas.

AGRADECIMIENTOS

- Al Sr. Ing. Patricio Rosero por su valiosa dirección en el desarrollo de esta tesis.
- Al personal docente, administrativo y empleados de la FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA por las enseñanzas y facilidades prestadas el tiempo que fui estudiante en esta facultad.
- A todos quienes de una o otra manera aportaron desinteresadamente en la culminación de mi carrera estudiantil.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 1: SISTEMAS DE INSTRUMENTACION 1

- 1.1 Introducción 2
- 1.2 Sistemas de medida 2
- 1.3. Acondicionamiento de datos 4
- 1.4 Sistemas de control 4

CAPITULO 2: TRANSDUCTORES 6

- 2.1 Introducción 7
- 2.2 Principios de transducción 7
- 2.3 Características de actuación 11

CAPITULO 3: MEDICION DE TEMPERATURA 15

- 3.1 Introducción 16
- 3.2 Escalas de temperatura 16
- 3.3 Tipos de sensores 18
- 3.4 Glosario 32

CAPITULO 4: MEDICION DE CAUDAL 34

- 4.1 Introducción 35
- 4.2 Tipos de sensores 35
- 4.3 Glosario 52

CAPITULO 5: MEDICION DE PRESION 54

- 5.1 Introducción 55
- 5.2 Tipos de sensores 55
- 5.3 Glosario 67

CAPITULO 6: MEDICION DE NIVEL 69

- 6.1 Introducción 70
- 6.2 Tipos de sensores 71
- 6.3 Glosario 76

CAPITULO 7: SELECCION DE SENSORES 77

- 7.1 Introducción 78
- 7.2 Criterios generales de selección 79
- 7.3 Sensores de temperatura 81
- 7.4 Sensores de caudal 99
- 7.5 Sensores de presión 106
- 7.6 Sensores de nivel 116

CAPITULO 8: DISENO DE ACONDICIONADORES 121

- 8.1 Introducción 122
- 8.2 Principio de acondicionamiento analógico de señales 122
- 8.3 Circuito pasivo 124
- 8.4 Circuito activo 127
- 8.5 Diseño de un circuito con termocuplas 128
- 8.6 Diseño de un circuito con termómetros de resistencia 132
- 8.7 Diseño de un circuito con termistores 136

INDICE DE FIGURAS

Figura	Tema	Página
1.1	sistema electronico básico de medición	2
1.2	Sistema de control en lazo cerrado	4
2.1	Transducción capacitiva	7
2.2	Transducción inductiva	8
2.3	Transducción reluctiva	8
2.4	Transducción electromagnética	8
2.5	Transducción piezoeléctrica	9
2.6	Transducción potenciométrica	9
2.7	Transducción por galga extensiométrica	10
2.8	Transducción fotoconductor	10
2.9	Transducción fotovoltaica	10
2.10	Transducción iónica	11
3.1	Efecto Seebeck	18
3.2	Voltaje Seebeck	19
3.3	Conexión de una termocupla	20
3.4	Hilos de extensión de termocuplas	20
3.5	Conexión de una pila de termocuplas	21
3.6	Fem generada por termopras comunes	23
3.7	Curva característica de los RTD	25
3.8	Curva característica de los termistores NTC	26
3.9	Acondicionador de termistor con corriente constante	27
3.10	Acondicionador de termistor con voltaje constante	27
3.11	Sensor bimetalico	30
4.1	Teorema de Bernouilli	36
4.2	Tubo de Venturi	39
4.3	Placa-orificio	39
4.4	Medición de flujo usando placa-orificio	40
4.5	Medición de flujo usando tobera	41
4.6	Medición de flujo usando tubo de Pitot	42
4.7	Rotámetro	43
4.8	Diagrama de fuerzas en el flotador	43
4.9	Sensores rotativos (turbina y hélice)	46
4.10	Sensores ultrasónicos	46
4.11	Medidor de flujo Thomas	49

4.12	Anemómetro de hilo caliente	49
4.13	Sensor magnético	50
5.1	Diafragma plano	56
5.2	Diafragma ondulado	56
5.3	Cápsula	56
5.4	Fuelle	57
5.5	Tubo de burdón trenzado	58
5.6	Tubo de burdón en C	58
5.7	Tubo de burdón helicoidal	59
5.8	Manómetro en U	60
5.9	Manómetro con depósito	61
5.10	Manómetro inclinado	62
5.11	Transductor resistivo de presión	63
5.12	Transductor de presión de inductancia variable	64
5.13	Transductor de presión de reluctancia variable	64
5.14	Transducotr de presión de capacitancia variable	65
5.15	Transductor de presión por galga extensiométrica	66
6.1	Determinación de nivel por presión	71
6.2	Determinación de nivel por peso	71
6.3	Detereminación de nivel por flotador	72
6.4	Determinación de nivel por conductividad	72
6.5	Determinación de nivel por capacitancia	73
6.6	Determinación de nivel por transferencia de calor	73
6.7	Determinación e nivel por elementos fotoeléctricos	74
6.8	Determinación poe oscilacion amortiguada	74
6.9	Determinación de nivel por ultrasonido	75
7.1	Características de las termocuplas	82
7.2	Características de los RTD	85
8.1	Divisor de voltaje	124
8.2	Puente de Whatstone	126
8.3	Amplificador de instrumentación	127
8.4	Acondicionador para termocuplas	128
8.5	Datos de entrada para el circuito de la fig 8.4	130
8.6	Circuito con valores para el circuito de la fig.8.4	131
8.7	Respuesta del sensor para el circuito de la fig. 8.4	131
8.8	Acondicionador para RTD	132
8.9	Datos e entrda para el circuito e la fig.8.8	134

8.10	Circuito con valores para el circuito de la fig. 8.8	135
8.11	Respuesta del sensor para el circuito de la fig. 8.8	136
8.12	Acondicionador de termistores	136
8.13	datos de entrada para el circuito e la fig 8.12	138
8.14	Circuito con valores para el circuito de la fig. 8.12	138
8.15	Respuesta del sensor para el circuito de la fig. 8.12	139

INDICE DE TABLAS

Tabla	Tema	pagina
3.1	Calibración de las escalas de temperatura	17
3.2	Fem generada por metales y aleaciones con el Pt	21
3.3	Cracterísticas de los termopares	22
7.1	Denominación de las aleaciones de los termopares	84
7.2	Rango de utiliaci□2n e los termopares	84
7.3	Valores de resitencia para un RTD Pt100	85
7.4	Comparación entre RTD	86
7.5	Características de sondas de resistencia	87
7.6	Características de los RTD Pt100	88
7.7	Características de los termistores	89
7.8	Características el pirómetro optico	90
7.9	Características del pirómetro infrarojo	90
7.10	Características del termómetro bimetalico	91
7.11	Características de los termómetros de dilatación	92
7.12	Características de los termómetros a presión de vapor	92
7.13	Características de los termómetros gas	93
7.14	Carácter□1sticas el termómetro e Mercurio	93
7.15	Características e los termómetros semiconductores	94
7.16	Características de los termómetros de vidrio	94
7.17	Temperaturas e utiliación de los tubos de protección	97
7.18	Guía de selección para tuos de protección	97
7.19	Características de los medidores de venturi	100
7.20	Características de los medidores de placa-orificio	101
7.21	Características de los medidores de tobera	101
7.22	Características de los medidores con tubo de pitot	102
7.23	Características del rotámetro	102
7.24	Características de losmedidores de turbina	103
7.25	Características de losmedidores sónicos	104
7.26	Características de los medidores termicos	104
7.27	Carácter□1sticas e losmedidores magnéticos	105
7.28	Carácter□1sticas de los elementos mecánico/elásticos	108
7.29	Características de los elementos de medidicon directa	109
7.30	Característica de los transductores resisitivos	110
7.31	Características del transductor inductivo de presión	110

7.32	Características del transductor reluctivo de presión	111
7.33	Características del transductor capacitivo de presión	111
7.34	Características de la galga cementada para presión	112
7.35	Características de la galga no cementada	113
7.36	Características del Si difundido para presión	114
7.37	Características de elementos piezoeléctricos	115
7.38	Características e los transductores electromecánicos	115
7.39	Características de lamembrana para medir nivel	116
7.40	Características del sensor por presión diferencial	116
7.41	Características del medidor por flotador	117
7.42	Características del sensor conductivo para nivel	118
7.43	Características del sensor capacitivo para nivel	119
7.44	Características el sensor ultrasónico para nivel	120
8.1	Datos de salida para el acondicionador del termopar	130
8.2	Datos de salida para el acondicionador de RTD	135
8.3	Datos de salida para el acondicionador de termistores	138

Esta tesis fue desarrollada con la idea de proporcionar una herramienta de aprendizaje y consulta, didáctica y rápida de los sistemas de instrumentación, abarcando los temas de : teoría, selección, y diseño.

Para mostrar con claridad y énfasis estos temas, el contenido de esta Tesis ha sido estructurado en tres módulos:

Módulo 1: Fundamentos teóricos sobre sistemas de instrumentación

Módulo 2: Selección de sensores en instrumentación

Módulo 3: Acondicionamiento analógico de señal

El Módulo 1 consta de 6 capítulos, donde se estudia en forma breve pero clara y concisa, los conceptos relacionados con: Sistemas de Instrumentación (Capítulo 1), Transductores (Capítulo 2), Medición de temperatura (Capítulo 3), Medición de caudal (Capítulo 4), Medición de presión (Capítulo 5), Medición de nivel (Capítulo 6). Al final de los Capítulos 3, 4 5 y 6, se incluye un glosario que hace referencia a los principales conceptos tratados en cada uno de ellos.

El Módulo 2 lo constituye el Capítulo 7 (Selección de sensores). Aquí se dan a conocer criterios generales de selección de sensores, criterios específicos para la selección de sensores de temperatura, de caudal, de presión, y de nivel; figuras que muestran el comportamiento de los sensores en diferentes condiciones, tablas de las características de los sensores (mostrando entre otros, el rango, las ventajas y las desventajas de su uso), tablas comparativas entre sensores; y, programas para seleccionar sensores de temperatura (termocuplas y termómetros de resistencia).

El Módulo 3 lo constituye el Capítulo 8 (Diseño de acondicionadores). Aquí se realiza el estudio de los principios del acondicionamiento analógico de señal, circuitos pasivos, circuitos activos. Se hace uso de varios programas en forma integrada para diseñar circuitos acondicionadores para termocuplas, termómetros de resistencia (RTD's), y para termistores. Estos programas proporcionan el circuito de acondicionamiento que se debe utilizar con un determinado tipo de sensor para obtener el voltaje requerido a la salida del acondicionador; además proporcionan los valores de todos los elementos del circuito y su configuración. También se puede obtener el comportamiento del

sensor en ese rango de temperaturas tanto en forma gráfica como tabular. La respuesta gráfica del comportamiento del sensor hace posible sobreponer curvas de características, lo cual permite comparar el desempeño de diferentes sensores en determinadas condiciones de operación y para diferentes requerimientos de salida (voltaje de salida).

El lenguaje de programación utilizado para realizar esta Tesis es TOOLBOOK, el cual ha sido desarrollado para crear este tipo de aplicaciones. Se hizo uso además, de Quick Basic para facilitar la obtención de las aproximaciones lineales de los RTD's por medio de polinomios interpoladores de Legendre.

El programa desarrollado en esta Tesis consta de varios botones (o teclas virtuales programadas) que facilitan mucho su uso y permiten una ágil navegación a través de todo el documento.

En las dos figuras siguientes se muestra los formatos utilizados para este propósito.

MEDICION DE CAUDAL 1 2 3 4 5 6 7 8

4.2 TIPOS DE SENSORES

4.2 TIPOS DE SENSORES

4.2.1 POR DIFERENCIA DE PRESIÓN

Se la realiza por lo general forzando al fluido a fluir dentro de un tubo con restricciones, de manera que la velocidad cambia en cada punto, y se crea una diferencia de presión proporcional al flujo.

El producto entre el área de la sección transversal del tubo y la velocidad del fluido es constante, esto hace que la velocidad aumente en las zonas donde la sección decrece, y por ende la presión se modifica.

La diferencia de presión resultante se mide por medio de un transductor diferencial. De acuerdo a esto, se han desarrollado muchos sensores de caudal, de los cuales los más comunes son: placa-orificio, Tobera, Tubo Venturi, Tubo Pitot, Tubo Annubar.

La ecuación de caudal obtenida con los elementos de presión diferencial, se basa en la aplicación del principio de Bernoulli (altura cinética+altura de potencial+altura de presión = constante) a una tubería horizontal.

TEMARIO

1 2 3 4 5 6 7 8

CAPITULO 1	CAPITULO 2	CAPITULO 3	CAPITULO 4
Sistemas de Instrumentación	Transductores	Medición de Temperatura	Medición de Caudal
1.1 Introducción 1.2 Sistemas de medida 1.3 Acondicionamiento de datos 1.4 Sistemas de Control	2.1 Introducción 2.2 Principios de Transducción 2.3 Características de actuación	3.1 Introducción 3.2 Escalas 3.2 Tipos de sensores 3.3 Glosario	4.1 Introducción 4.2 Tipos de sensores 4.3 Glosario

CAPITULO 5	CAPITULO 6	CAPITULO 7	CAPITULO 8
Medición de Presión	Medición de Nivel	Selección de Sensores	Diseño de Acondicionadores
5.1 Introducción 5.2 Tipos de sensores 5.3 Glosario	6.1 Introducción 6.2 Tipos de sensores 6.3 Glosario	7.1 Introducción 7.2 Criterios generales 7.3 Temperatura 7.4 Caudal 7.5 Presión 7.6 Nivel	8.1 Introducción 8.2 Principios para acondicionar 8.3 Circuito pasivo 8.4 Circuito activo 8.5 Diseño con termocoplas 8.6 Diseño con RTD's 8.7 Diseño con termistores

En el manual del usuario se incluye los detalles necesarios para su utilización.

En los anexos se muestra todos los programas desarrollados a lo largo de esta Tesis, información adicional respecto a sensores, tanto conceptos como direcciones de Internet referentes a su uso y aplicación.

Se espera que esta Tesis constituya un aporte efectivo para ayudar a suplir las necesidades de quienes desean aprender y consultar sobre este Tema.

CAPITULO: 1

Sistemas de Instrumentación

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de instrumentación pueden ser en una forma amplia, divididos en dos categorías: sistemas de medida y sistemas de control.

En un sistema de medida una magnitud o propiedad es medida y su valor es convenientemente visualizado.

En los sistemas de control la información acerca de la magnitud o propiedad que está siendo medida es usada para controlar la magnitud o propiedad, de manera que su valor permanezca dentro de un rango previamente establecido.

Los sistemas de control requieren de sistemas de medida. Los sistemas analizadores (sistema cuyo propósito es visualizar la naturaleza y la proporción de los constituyentes de una sustancia o magnitud), también constituyen sistemas de medida.

1.2 SISTEMAS DE MEDIDA

En su expresión más simple, un dispositivo de esta naturaleza se encarga de medir y visualizar una magnitud o propiedad física. Para llevar a cabo esta visualización es preciso utilizar un medio transmisor de la información entre el dispositivo de medida y el dispositivo de visualización (este medio puede ser mecánico, neumático, eléctrico, electrónico).

Un sistema electrónico básico de medida está formado por: transductor, fuente de alimentación, acondicionador de señal, dispositivo visualizador, como se indica en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Sistema electrónico básico de medición

El transductor y el visualizador no necesariamente requieren fuente de alimentación.

1.2.1 Transductor

Generalmente es el sensor. Convierte una señal física que se desea medir en una señal eléctrica utilizable. Los transductores reciben una señal de entrada función de la variable física y la convierten modificada o no en una señal de salida.

1.2.2 Acondicionador de señal

Toman la salida del Transductor y la convierten en una magnitud eléctrica adecuada a las exigencias de entrada del dispositivo visualizador.

1.2.3 Dispositivo visualizador

Visualiza la información requerida acerca de la magnitud que se mide.

1.2.4 Fuente de alimentación

Proporciona energía eléctrica adecuada a las exigencias de entrada al acondicionador de señal, proporciona excitación a todos los tipos de transductores, excepto a los autogenerados o activos, y puede abastecer también a los dispositivos visualizadores.

Los transductores constituyen la parte clave en cada uno de los sistemas de medida que se usan. Los acondicionadores de señal pueden variar de complejidad desde una simple red resistiva o dispositivos de impedancia equilibrada, hasta amplificadores multietapa con algún tipo de modulación o no, convertidores, filtros, etc.

La gran mayoría de sistemas de medida utilizan acondicionadores de señal ubicados en unidades independientes o incluidas en el propio transductor o en el equipo de lectura. La fuente de alimentación puede o no ser parte del equipo de lectura.

1.2.5 Sistemas de medida de datos múltiples

Muchos sistemas de medida están diseñados para visualizar y captar las salidas de más de un transductor. Los transductores de estos sistemas pueden ser de diferentes magnitudes.

1.2.6 Sistemas de telemetría

El propósito de estos sistemas es el de transmitir a unidades remotas (o simplemente de un punto a otro) las medidas realizadas. Una forma muy común de realizar esta transmisión es utilizando un portadora de alta frecuencia modulada.

1.3 Acondicionamiento de datos

Los datos obtenidos directamente de un sistema de medida o de análisis requieren de diversas operaciones sobre ellos que faciliten la adquisición de la información requerida.

Puede precisarse de amplificadores, filtros, discriminadores de amplitud, discriminadores de frecuencia, etc.

El acondicionamiento de datos puede ser análogo o digital.

1.4 Sistemas de Control

Los sistemas de control pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado. En cualquiera de los dos casos, el elemento clave del sistema es el sensor.

Los sistemas de control en lazo cerrado son por lo general sistemas de control automático, y de estos los más utilizados son los sistemas en bucle cerrado con realimentación. Un circuito típico de esta naturaleza y su funcionamiento se describen a continuación:

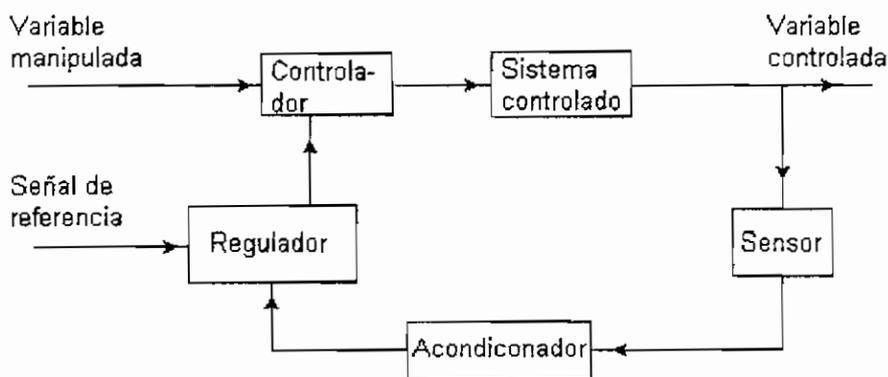


Figura 1.2 Sistema de control en lazo cerrado

Una magnitud específica de un sistema controlado (proceso) desea ser mantenida en un valor determinado. Esta magnitud controlada (variable controlada) es leída a través de un sistema sensor, usualmente un transductor. La salida del dispositivo sensor, acondicionada o no (según sea

el requerimiento), es aplicada a un elemento de comparación o punto de suma (punto de establecimiento) en un dispositivo de regulación (controlador). En este punto, la señal realimentada es comparada con la señal de referencia (señal de valor preestablecida). Si las dos señales tienen la misma magnitud, o están dentro de una tolerancia preestablecida relativamente estrecha, no sucede acción alguna. Si las dos señales difieren en un valor mayor al de la tolerancia, una señal de regulación es enviada por el controlador al elemento de control final. La acción de control permanece activa hasta que la magnitud controlada adquiere su valor apropiado.

2.1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento correcto de los sistemas de instrumentación garantiza la selección y operación adecuada de transductores que es fundamental en una amplia variedad de procesos.

En este capítulo se analizan los principios de transducción activos y pasivos, más comúnmente utilizados, y las características que establecen el comportamiento de los transductores en estado estacionario como también en estado dinámico en condiciones cambiantes del ambiente, y de su vida de servicio. Estas características son: características estáticas, características dinámicas, características del medio ambiental, características de fiabilidad.

2.2 PRINCIPIOS DE TRANSDUCCION

A continuación se detallan los principios de transducción más comúnmente utilizados por los transductores.

2.2.1 Transducción capacitiva

El cambio en la magnitud a medir se convierte en cambio de capacitancia. Dado que un condensador consiste básicamente de dos electrodos separados por un dieléctrico, el cambio de capacidad puede producirse variando la separación entre las placas, manteniendo el mismo dieléctrico; o variando el dieléctrico y manteniendo la misma separación entre los electrodos.



Figura 2.1 Transducción capacitiva

2.2.2 Transducción inductiva

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de la autoinductancia de un único devanado. Los cambios de inductancia pueden

realizarse mediante el movimiento de un núcleo ferromagnético interior al devanado o mediante cambios de flujo introducidos externamente en un devanado con un núcleo fijo.

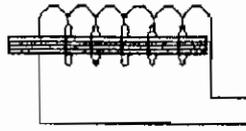


Figura 2.2 Transducción inductiva

2.2.3 Transducción reluctiva

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de tensión de c.a. debido al cambio en la reluctancia del camino magnético entre dos o más devanados. Aquí se incluyen: elementos de reluctancia variable, transformador diferencial y puente de inductancias. El cambio en la reluctancia del camino magnético se realiza generalmente mediante el movimiento de un núcleo magnético en el interior de un devanado.

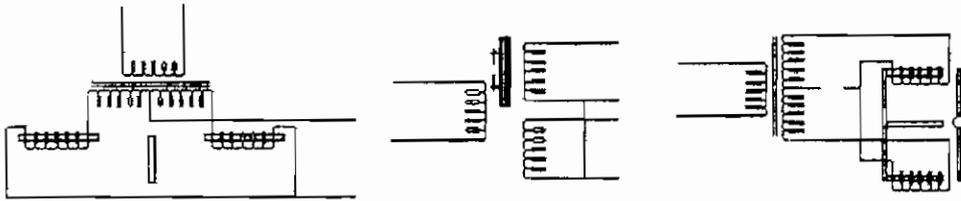


Figura 2.3 Transducción reluctiva

2.2.4 Transducción electromagnética

El cambio en la magnitud a medir se convierte en una fuerza electromotriz (tensión de salida) inducida en un conductor debido a un cambio en el flujo magnético en ausencia de excitación. El cambio en el flujo magnético se realiza generalmente con un movimiento relativo entre un electromagneto y un imán o una porción de material magnético.

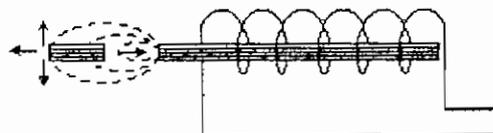


Figura 2.4 Transducción electromagnética

2.2.5 Elementos de transducción piezoeléctrica

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de carga electrostática o tensión E , generada por ciertos materiales cuando se encuentran sometidos a un esfuerzo mecánico. Este esfuerzo es realizado por fuerzas de tensión o compresión, o por fuerzas de cortadura ejercidas directamente sobre el material por el elemento sensor o por un enlace mecánico con el mismo

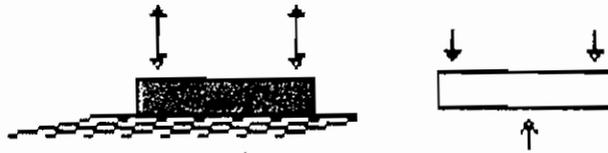


Figura 2.5 Transducción piezoeléctrica

2.2.6 Elementos de transducción resistivos

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de resistencia. Los cambios en la resistencia pueden producirse en conductores o en semiconductores por calentamiento o enfriamiento, aplicación de esfuerzos mecánicos, humedificación o deshumedificación de ciertas sales electrolíticas, y por el desplazamiento de una escobilla sobre un reóstato.

2.2.7 Transducción potenciométrica

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de relación de tensiones, mediante un cambio en la posición de un contacto móvil (escobilla), sobre un elemento resistivo en cuyos bornes se ha aplicado una tensión.

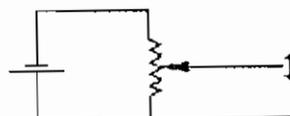


Figura 2.6 Transducción potenciométrica

2.2.8 Elementos de transducción por galgas extensométricas

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de resistencia debido a una deformación. (Es un caso especial de la Transducción resistiva). Este cambio de resistencia es detectado con un puente de Wheatstone.

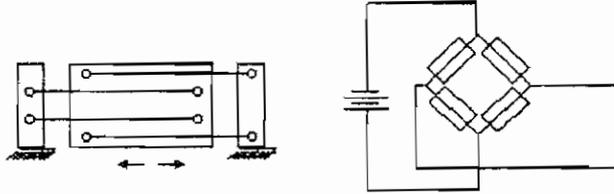


Figura 2.7 Transducción por galga extensiométrica

2.2.9 Transducción fotoconductor

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de resistencia o conductancia de un material semiconductor debido a un cambio en la cantidad de iluminación incidente sobre el material.

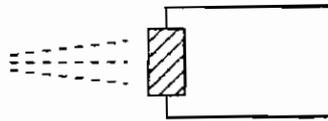


Figura 2.8 Transducción fotoconductor

2.2.10 Transducción fotovoltaica

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio en la tensión generada cuando la iluminación incidente sobre una unión entre ciertos materiales distintos cambia.

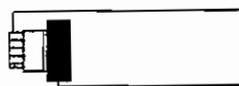


Figura 2.9 Transducción fotovoltaica

2.2.11 Transducción termoelectrica

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio de la fuerza electromotriz (fem) generada por la diferencia de temperaturas existente entre las uniones de dos materiales distintos seleccionados (debido al efecto Seebeck).

2.2.12 Transducción iónica

El cambio en la magnitud a medir se convierte en un cambio en la corriente de ionización producida entre dos electrodos en un medio lleno de gas.

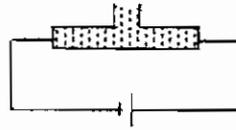


Figura 2.10 Transducción iónica

2.3 CARACTERÍSTICAS DE ACTUACIÓN

Estas características describen la operación o funcionamiento de un transductor cuando este se halla sometido a diferentes señales de entrada, o cuando este va a operar en un medio ambiente diferente al cual fue calibrado. Estas características comprenden: características estáticas, características dinámicas, características del medio ambiente, características de fiabilidad.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

Describen la actuación de un transductor bajo determinadas condiciones ambientales, con cambios muy lentos en la magnitud a medir y en ausencia de golpes, vibraciones o aceleraciones.

Entre estas características se acostumbra a definir a:

2.3.1.1 Error

Es la diferencia entre la salida y la salida definida por la curva de calibración.

2.3.1.2 Precisión

Es el error máximo que se espera obtener de un dispositivo en la medida de una variable

2.3.1.3 Calibración estática

Es una prueba durante la cual se aplica una magnitud de valor conocido a un transductor y se registra la lectura de salida correspondiente. Este registro resultante cuando se realiza en forma de una tabla de valores es el registro de calibración o en forma gráfica, lo cual constituye la curva de calibración. Esta prueba se realiza una vez con valores ascendentes y otra con valores descendentes en todo el rango del transductor o parte de él.

2.3.1.4 Histéresis

Es la máxima diferencia en la salida cuando la entrada cubre un ciclo de calibración o una porción del rango. La histéresis se origina en las características de retención que tienen ciertos transductores. La histéresis en un subrango es siempre menor que la histéresis total.

2.3.1.5 Repetibilidad (Reproductividad)

La repetibilidad es la habilidad de un transductor de reproducir lecturas idénticas cuando se aplica el mismo valor de señal de entrada de manera consecutiva, bajo las mismas condiciones y en la misma dirección.

2.3.1.6 Linealidad

Es la diferencia entre la curva de calibración y una línea recta previamente especificada.

2.3.1.7 Resolución

Es la magnitud de los cambios en escalón a la salida cuando la magnitud a medir varía continuamente dentro del rango.

2.3.1.8 Umbral

Es el cambio más pequeño en la magnitud a medir necesario para conseguir un cambio medible en la salida del transductor. Puede tener valores diferentes en porciones diferentes del rango.

2.3.1.9 Sensibilidad

A menudo se la confunde con el umbral. Es la relación del cambio en la salida al cambio en la magnitud a medir. Establece la pendiente de la curva de calibración.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

Relacionan la respuesta de un transductor con las variaciones de la magnitud a medir en el tiempo.

Cuando se utiliza un transductor en medidas en las cuales la magnitud varía de manera rápida, o en las cuales pueden existir cambios bruscos en la misma en forma de un escalón, se deben establecer ciertas características dinámicas de funcionamiento del transductor. Estas pueden estar definidas y determinadas en términos de la respuesta de frecuencia, tiempo de respuesta, amortiguamiento, frecuencia natural, dependiendo del tipo de transductor y de la aplicación.

2.3.2.1 Respuesta de Frecuencia

Es el cambio observado con la frecuencia de la relación: (amplitud de salida) / (amplitud de la magnitud de entrada), dentro de un rango definido de frecuencias cuando la magnitud aplicada al transductor varía sinusoidalmente en el tiempo. Es también el cambio con la frecuencia de la diferencia de fase entre esta magnitud y la salida.

2.3.2.2 Amortiguamiento y respuesta natural

Son las características que determinan el límite superior de respuesta de frecuencia, así como las características de la respuesta transitoria de un transductor.

El amortiguamiento es la característica de disipación de energía de un transductor, expresado normalmente como un coeficiente conocido como la relación de amortiguamiento.

2.3.2.3 Frecuencia natural

Es la frecuencia a la cual oscilaría un transductor si se lo colocaría en una situación de oscilación libre, esto es, la frecuencia a la cual oscilaría el dispositivo si no tuviera amortiguamiento.

2.3.2.4 Tiempo de respuesta

Son los diferentes tiempos involucrados en la respuesta del transductor en el dominio del tiempo. Se hace referencia al tiempo de subida, tiempo de bajada, constante de tiempo, tiempo de establecimiento, que caracterizan la respuesta transitoria de un transductor.

2.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE

Cuando un transductor opera bajo condiciones ambientales diferentes a aquellas en las que fueron calibrados (condiciones de operación del medio ambiental), existirán desviaciones de los valores preestablecidos en cuanto a su funcionamiento estático, dando lugar a los llamados errores ambientales, los mismos que deben ser determinados mediante pruebas experimentales y quedar limitados por tolerancias.

Estas pruebas ambientales adicionales tales como: prueba de temperatura, prueba de operación bajo condiciones de aceleraciones y vibraciones, y pruebas de presión ambiental, requieren de personal especializado, así como de equipos de prueba apropiados. Deben considerarse también las condiciones del medio ambiente en el modo no operacional, es decir, por ejemplo, durante su almacenamiento, transporte y manipulación.

2.3.4 CARACTERÍSTICAS DE FIABILIDAD

Son aquellas que están relacionadas con la vida útil de un transductor, así como aquellas que pueden ocasionar efectos adversos en el sistema en el cual el transductor está instalado cuando el transductor falla de alguna manera particular.

CAPITULO: 3

Medición de temperatura

3.1 INTRODUCCIÓN

Medir adecuadamente la temperatura es fundamental en todos los aspectos de la industria y la vida diaria.

Se han desarrollado muchos métodos para la medición de la temperatura que difieren unos de otros en el principio físico utilizado. Aquí se analizan los sensores de temperatura basados en: la fem creada en la unión de dos metales diferentes cuando sus uniones se encuentran a diferente temperatura; variación de la resistencia de un conductor con la temperatura; variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura; radiación emitida por un cuerpo a diferentes temperaturas; variación en el volumen de líquidos y gases con la variación de la temperatura; variación de las dimensiones de un metal con la temperatura.

3.2 ESCALAS DE TEMPERATURA

Medir temperatura equivale a medir energía térmica, podría pensarse entonces, que la unidad para medir la temperatura es el Joule (J), sin embargo, esta depende del tamaño del material ya que indica la energía térmica total contenida, razón por la cual no es utilizada. Por esta razón, conjuntos especiales de unidades cuyos orígenes están contenidos en la historia de las medidas de energía térmica, son utilizados para definir la energía promedio por molécula de un material.

Para definir las escalas de temperatura, un conjunto de puntos de calibración es empleado para cada una de ellas, la energía térmica promedio por molécula está perfectamente definida a través de condiciones de equilibrio existentes entre los estados sólido, líquido o gas de varios materiales puros. Algunos puntos estándares de calibración son:

1. Oxígeno: equilibrio líquido/gas
2. Agua: equilibrio sólido/líquido
3. Agua: equilibrio líquido/gas
4. Oro: equilibrio sólido/líquido

Las diferentes escalas de temperatura se definen asignando valores numéricos de temperatura a la lista indicada, y a puntos adicionales de calibración. Las escalas difieren esencialmente en dos aspectos:

1. Localización del cero de temperatura
2. Tamaño de la unidad de medida

A continuación se muestran los puntos de calibración de las escalas de temperatura:

CONDICIÓN	TEMPERATURA			
	K	R	F	C
Cero energía térmica	0	0	-459.6	-273.15
Oxígeno: líquido/gas	90.18	162.3	-297.3	-182.37
Agua: sólido/líquido	273.15	491.6	32	0
Agua: líquido/gas	373.15	671.6	212	100
Oro: sólido/líquido	1336.15	2405	1945.5	1063

Tabla 3.1 Puntos de calibración de las escalas de temperatura

De acuerdo a esto, las escalas de temperatura pueden ser clasificadas en dos tipos: escalas absolutas y escalas relativas.

3.2.1 Escala absoluta

En estas escalas el cero de su escala coincide con el cero energía térmica. Estas escalas son la Kelvin [K] y la Rankine [R].

3.2.2 Escala relativa

En estas escalas, su cero no coincide con el cero energía térmica. Son la Fahrenheit y la Centígrada.

3.2.3 Conversión entre escalas de temperatura

Las más comúnmente utilizadas son las siguientes:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \times ^{\circ}\text{C} + 31$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

3.3 TIPOS DE SENSORES

3.3.1 TERMOPARES

Los termopares son sensores de temperatura que generan un voltaje (fem) en respuesta a una temperatura dada. Esta fem se encuentra que aumenta en forma casi lineal con la temperatura y tiene una alta repetibilidad para un mismo material. Esta diferencia de potencial varía para diversos tipos de metales que se encuentren bajo las mismas condiciones de temperatura, debido a diferencias en sus conductividades térmicas y eléctricas.

Si se forma un circuito cerrado conectando los extremos de dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferente temperatura, se encuentra que circula una corriente eléctrica a través del lazo, la misma que aumentará con la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

A este fenómeno se denomina efecto Seebeck (en honor a su descubridor), su representación, en la que $T_2 > T_1$ es la siguiente:

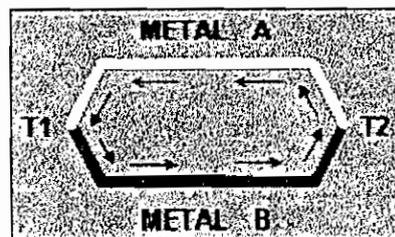


Figura 3.1 Efecto Seebeck

Efecto Seebeck

Analizando la teoría del estado sólido, se puede demostrar que la fem generada por un termopar viene dada por la expresión siguiente:

$$V_s = \int_{T_1}^{T_2} (Q_a - Q_b) dT$$

Donde:

V_s : fem (voltaje Seebeck) producida

T_1, T_2 : temperatura de las dos uniones

Q_a, Q_b : constantes de transportación térmica de los dos metales

En la practica se encuentra que las constantes Q_a y Q_b son casi independientes de la temperatura, lo que permite efectuar la siguiente aproximación lineal:

$$V_s = \alpha * (T_2 - T_1)$$

Donde :

α = constante en voltios/K

T_1, T_2 : temperatura de las uniones en K

Hay dos efectos que están relacionados con el efecto Seebeck, que son el efecto Peltier y el efecto Thomson.

Efecto Peltier: Cuando una corriente fluye a través de una unión de dos conductores diferentes, se absorbe o se libera calor de esa unión, dependiendo de la dirección del flujo de corriente.

Efecto Thomson: Cuando fluye una corriente a través de un conductor a lo largo del cual existe un gradiente de temperatura, se absorbe o se libera calor en el conductor.

Si al circuito de la figura 3.1 se abre en el centro como se indica a continuación, aparecerá un voltaje neto de circuito abierto, que es el voltaje Seebeck, que es función de la temperatura de la unión y de la composición de los dos metales.

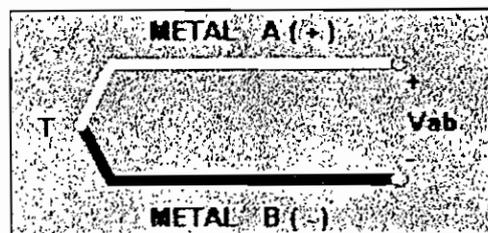


Figura 3.2 Voltaje Seebeck

Para la conexión no es necesario que la unión sensora se encuentre a una temperatura más alta que la unión de referencia ; esto es, tanto la magnitud como el signo del voltaje medido deben ser tomados en cuenta.

Por lo general la temperatura de referencia es 0 C. El circuito termopar correspondiente se indica en la figura 3.3 .

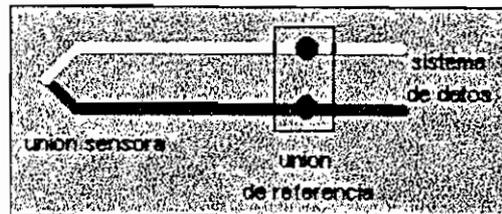


Figura 3.3 Conexión de una termocupla

Si el termopar está instalado lejos de donde se halla el instrumento, es necesario utilizar cables de extensión de los mismos materiales de los que están hechos los brazos de la termocuplas, o de conductores con propiedades eléctricas similares a los del termopar hasta ciertos límites de temperatura pues son más económicos, como se indica en la figura 3.4 .

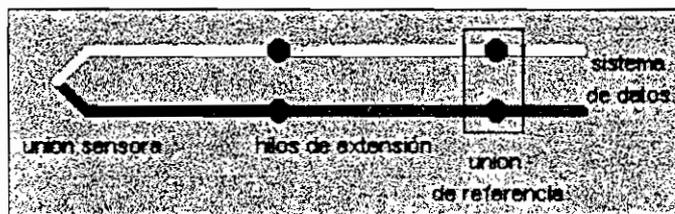


Figura 3.4 Uso de los hilos de extensión de una termocupla

Cuando se requiere una salida elevada en el punto de medición, se puede conectar un determinado número de termopares en serie, formando una termopila, como se indica en la figura 3.5 .

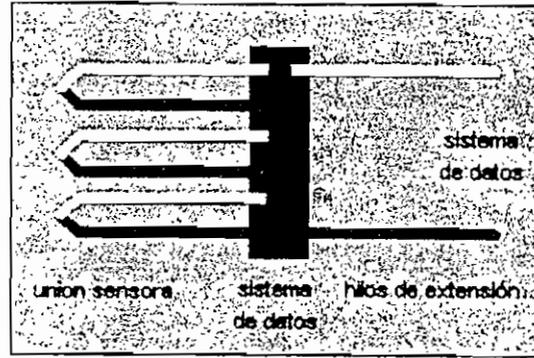


Figura 3.5 Conexión de una pila de termocuplas

En la tabla siguiente puede verse la fem térmica (en mV) generada por termopares formados por metales puros (o por aleaciones) con el platino, a diferentes temperaturas. La temperatura tomada como referencia es 0 °C, por esta razón la fem térmica generada a esta temperatura es 0 mV.

MATERIALES Elementos y aleaciones *	TEMPERATURA		
	-200 °C	0 °C	+200 °C
Aluminio	+0.45	0	+1.06
Cobre	-0.19	0	+1.83
Germanio	-46.00	0	+72.4
Oro	-0.21	0	+1.84
Hierro	-2.92	0	+3.54
Níquel	+2.28	0	-3.10
Silicio	+63.13	0	-80.6
Cromo	-3.36	0	+5.96
Alumel	+2.39	0	-2.17
Constantán	+5.35	0	-7.45

Tabla 3.2 Fem en mV generada por metales y aleaciones con el platino

Los materiales que en combinación con el platino muestran una fem (+) o potencial positivo, se utilizan como el brazo positivo del termopar, y los que muestran una fem (-) o potencial negativo se utilizan como el brazo negativo del termopar.

La fem térmica producida por un termopar es la diferencia algebraica entre los dos potenciales que pueden ser producidos si cada material estuviera combinado con el platino.

De acuerdo a los valores de la tabla, los termopares de silicio/germanio son los que producen la mayor tensión de salida, alcanzando 153mV a +200 °C. [(

$+72,4 \text{ mV} - (-80,6 \text{ mV}) = 153 \text{ mV}$]. Sin embargo por consideraciones prácticas no se utiliza esta combinación (silicio / germanio) para la medida de temperaturas.

La mayor parte de termopares son fabricados con aleaciones desarrolladas para obtener un rango de operación.

Dependiendo de la aplicación, se han desarrollado siete tipos de termocuplas definidas de la forma siguiente:

Termopar	Denominación	Rango de Operación [°C]
TIPO J	Hierro - Constantán	-185 a 870
TIPO T	Cobre - Constantán	-185 a 400
TIPO K	Cromel - Alumel	-185 a 1260
TIPO E	Cromel - Constantán	0 a 980
TIPO S	Pt - Pt/10%Rh	0 a 1537
TIPO R	Pt - Pt/13%Rh	0 a 1593
TIPO B	Pt/6%Rh - Pt/30%Rh	37 a 1800

Tabla 3.3 Características de termocuplas

El primer metal o aleación corresponde al terminal positivo del termopar, mientras que el segundo metal o aleación corresponde al terminal negativo del termopar.

En el capítulo 7 son analizados con mayor detenimiento.

En la figura 3.6 se muestra la salida de voltaje para un rango de temperatura de diferentes termopares construidos con aleaciones desarrolladas para ese propósito.

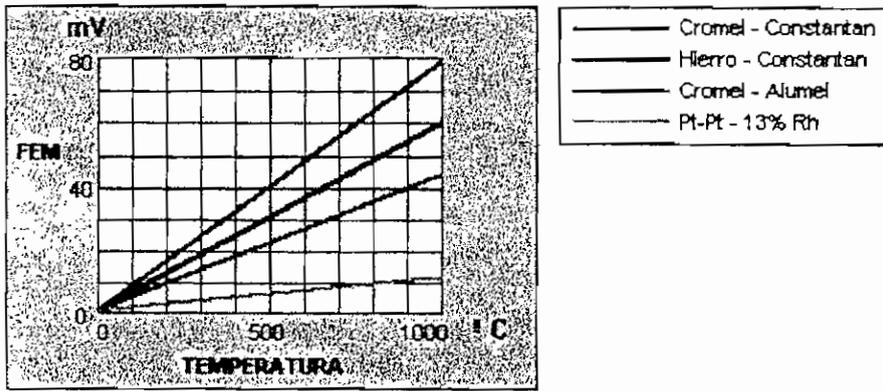


Figura 3.6 Fem generada por algunas de las termocuplas más comunes

3.3.2 TERMÓMETROS DE RESISTENCIA (RTD)

Los termómetros de resistencia conocidos también como RTD's (detectores resistivos de temperatura) son sensores de un metal cuyo funcionamiento se basa en la variación de la resistencia con la temperatura.

Es posible expresar analíticamente la resistencia de un metal particular a una temperatura constante T , por medio de la ecuación:

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

$$T = cte$$

Donde:

R : resistencia del material [Ω]

l : longitud [m]

A : área de la sección transversal [m^2]

ρ : resistividad [$\Omega \cdot m$]

En esta ecuación el principal incremento en la resistencia se debe a los cambios en la resistividad ρ del metal con la temperatura.

La aproximación de la relación resistencia versus temperatura se la puede realizar por medio de un polinomio de primer grado en la forma siguiente:

$$R(T) = R(T_0) * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$\Delta T = T - T_0$$

donde:

$R(T)$ = aproximación de la resistencia a la temperatura T

$R(T_0)$ = resistencia en a la temperatura de referencia T_0

α = coeficiente resistivo de temperatura

(coeficiente fraccional de la resistencia por grado).

Para el platino [Pt], el valor de α es 0.00385 para el rango entre 0 C y 100 C, según la Escala Práctica de Temperaturas Internacional [IPTS-68].

De requerir mayor precisión, se puede utilizar una aproximación cuadrática dada por la expresión:

$$R(T) = R(T_0) * [1 + \alpha_1 * \Delta T + \alpha_2 * (\Delta T)^2]$$

donde:

$R(T)$ = aproximación cuadrática de la resistencia a la temperatura T

$R(T_0)$ = resistencia a la temperatura de referencia T_0

$\Delta T = T - T_0$

α_1 = cambio fraccional lineal de la resistencia con la temperatura

α_2 = cambio fraccional cuadrático de la resistencia con la temperatura

Puede usarse también, las siguientes aproximaciones:

$$R(T) = R(T_0) * [1 + A * T + B * T^2 + C * (T - 100) * T^3] \text{ de } -200 \text{ C a } 0 \text{ C}$$

$$R(T) = R(T_0) * [1 + A * T + B * T^2] \text{ de } 0 \text{ C a } 850 \text{ C}$$

En estas expresiones, A, B, C son coeficientes resistivos de temperatura cuyos valores vienen dados por:

$$A = 3.90802 * 10^{-3}$$

$$B = -5.804 * 10^{-7}$$

$$C = -4.27350 * 10^{-12}$$

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el platino y níquel. El platino es el material más adecuado desde el punto de vista

de precisión y estabilidad, pero presenta el inconveniente de su costo. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tienen una resistencia de 100 ohmios a 0 °C, y se conoce en el mercado como Pt100.

El níquel es más barato que el platino y posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado; sin embargo tiene como desventaja la falta de linealidad en su relación resistencia versus temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes de fabricación.

El cobre tiene una relación resistencia versus temperatura uniforme, es estable y barato, pero tiene, para este propósito el inconveniente de su baja resistividad.

Estas características se muestran en la figura 3.7 .

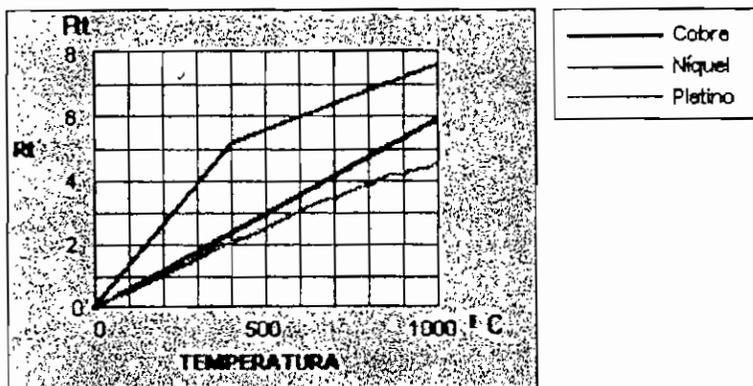


Figura 3.7 Curva característica de los termómetros de resistencia

3.3.3 TERMISTORES

Los termistores son sensores de temperatura fabricados de material semiconductor; estos materiales semiconductores son por lo general obtenidos de óxidos metálicos, empaquetados formando pequeñas perlas, discos o barillas que son posteriormente encapsulados. El resultado de este proceso es un dispositivo que muestra un cambio de resistencia eléctrica con la variación de la temperatura.

Hay dos clases de termistores: los NTC (coeficiente negativo de temperatura) y los PTC (coeficiente positivo de temperatura); en el primer caso los

termistores exhiben una disminución de la resistencia conforme aumenta la temperatura, mientras que en el segundo caso exhiben un incremento en la resistencia conforme aumenta la temperatura. Los NTC son mucho más utilizados que los PTC.

Respecto a otros sensores de temperatura, los termistores presentan como ventaja una muy alta sensibilidad y una elevada resistividad. Sus características están definidas con una resistencia base a 25 C, a diferencia de los RTD's cuyas características están definidas a 0 C.

Su pequeño tamaño físico le permite tener una muy rápida respuesta a cambios de temperatura. El poseer una resistencia elevada disminuye los efectos inherentes a las resistencias que pueden causar errores significativos, como por ejemplo la resistencia de los RTD's.

Su respuesta es no lineal y su rango de operación relativamente pequeño [-50 C a +300 C] . En la figura 3.8 puede verse el comportamiento de un NTC al variar la temperatura.

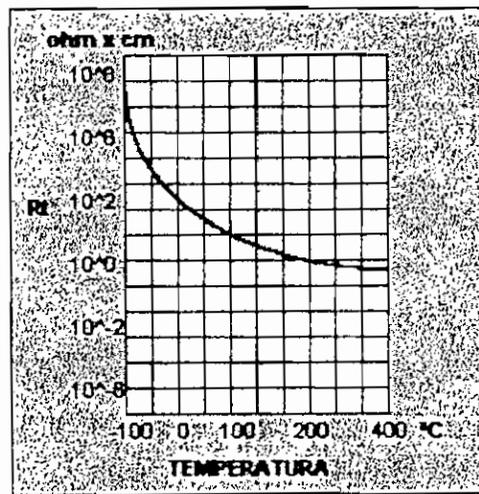


Figura 3.8 Curva característica de los termistores NTC

La curva característica del termistor puede ser aproximada con la ecuación de Steinhart-Hart, que se muestra a continuación:

$$T[K] = \frac{1}{a_0 + a_1 * \ln(R_T) + a_2 * [\ln(R_T)]^3}$$

Donde:

T[K]= temperatura en grados Kelvin

R_T= resistencia del termistor

$a_0, a_1, a_2 =$ coeficientes proporcionados por el fabricante, o calculados a partir de la curva característica del termistor.

Dado que el termistor es un dispositivo resistivo, debe pasar corriente a través de él para producir un voltaje que pueda ser sentido por un sistema de adquisición de datos. La alta resistencia y la alta sensibilidad de este sensor, simplifican los circuitos de medida y acondicionamiento de señal (en este caso no se requiere puente de Wheatstone). A continuación se muestran dos circuitos muy utilizados para este propósito:

a) Medición con fuente de corriente constante I_{EX}

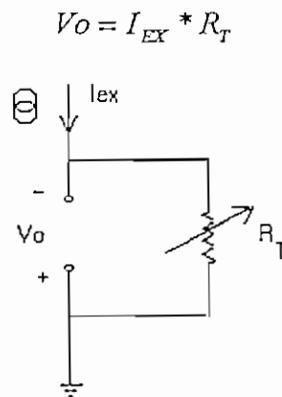


Figura 3.9 Circuito acondicionador con fuente de corriente constante

b) Medición con fuente de voltaje constante V_{EX} y una resistencia R_O .

$$V_O = \frac{R_T}{R_T + R_O} * V_{EX}$$

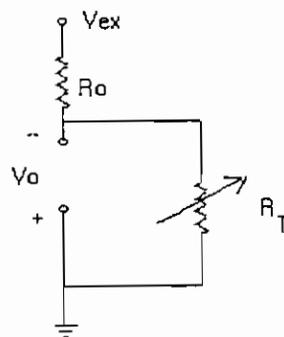


Figura 3.10 Circuito acondicionador con fuente de voltaje constante

3.3.4 PIROMETROS DE RADIACIÓN

Los pirómetros de radiación se fundamentan en la Ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir:

$$W = K * T^4$$

Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0.1 micras para radiaciones ultravioletas, hasta 12 micras para radiaciones infrarrojas.

Los **pirómetros** de radiación miden la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación electromagnética que este emite, se denominan **pirómetros ópticos** o de radiación parcial y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo se llaman **pirómetros de radiación total**.

3.3.4.1 Pirómetros ópticos

Los pirómetros ópticos manuales se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararla visualmente con la imagen del objeto enfocado.

Estos pirómetros pueden ser de dos tipos:

- De corriente variable en la lámpara
- De corriente constante en la lámpara con variación del brillo de la imagen de la fuente.

El factor de emisión de energía radiante depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor; para un metal como el cobre pasa de 0.10 a 0.85 si el metal perfectamente pulido se recubre bruscamente con una capa de óxido.

El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no proporcionará su verdadera temperatura si la superficie no es perfectamente negra. En los casos generales es preciso hacer una corrección de la temperatura leída para tener en cuenta el valor de absorción (o emisión) de la superficie.

3.3.4.2 Pirometros de radiación total

El pirómetro de radiación total está formado por una lente de pyrex, sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de Pt-Pt/Rh de pequeñas dimensiones y montados en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares.

La fem que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura ambiente. La compensación de esta se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro. Esta compensación se utiliza para temperaturas ambientes máximas de 120 C. A mayores temperaturas se emplean dispositivos de refrigeración por aire o por agua, que disminuyen la temperatura de la caja en unos 10 a 40 C, por debajo de la temperatura ambiente.

El pirómetro puede apuntar al objeto directamente, o a través de un tubo de mira abierto (se impide la llegada de radiación de fuentes extrañas) o cerrado (medida de temperatura en baños de sales para tratamientos térmicos, hornos).

La relación entre la fem generada y la temperatura del cuerpo es independiente de la distancia entre el cuerpo y la lente (excluyendo la presencia de gases o vapores que absorban energía) siempre que la imagen de la superficie del cuerpo emisor de la radiación cubra totalmente la unión caliente de la termopila.

3.3.5 TERMÓMETRO BIMETALICO

Este termómetro se fundamenta en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes.

Si se unen dos metales diferentes, cada uno de ellos con coeficientes de dilatación térmica muy diferentes, al ser calentados, los valores diferentes de

los coeficientes de dilatación térmica harán que el conjunto se curve como se muestra en la figura siguiente:



Figura 3.11 Sensor bimetalítico

3.3.6 TERMÓMETRO DE DILATACIÓN DE LÍQUIDOS

Al igual que la dilatación de los sólidos con la temperatura, un líquido experimenta una dilatación volumétrica con la temperatura. Este hecho constituye la base del funcionamiento de los termómetros de líquidos contenidos en ampollitas de vidrio, comunes en las mediciones de temperatura. La relación que gobierna la operación de estos dispositivos es la siguiente:

$$V(T) = V(T_0) * [1 + b * DT]$$

$$V(T) = \text{volumen a la temperatura } T$$

$$V(T_0) = \text{volumen a la temperatura } T_0$$

$$DT = T - T_0$$

$$b = \text{coeficiente de dilatación volumétrica}$$

3.3.7 TERMÓMETRO A PRESIÓN DE VAPOR

Un termómetro de presión a vapor convierte una señal de temperatura en presión como lo hace un termómetro a gas, pero opera basado en un proceso diferente. Si un recipiente cerrado está parcialmente lleno de un líquido, entonces el espacio sobre el nivel libre consistirá de vapor de ese líquido evaporado a una presión que depende de la temperatura. Si la temperatura se eleva, más líquido se evaporará y la presión se incrementará. Una disminución en la temperatura provocará alguna condensación del vapor y la presión disminuirá.

3.3.8 TERMÓMETROS A GAS

El principio de funcionamiento de un termómetro a gas se basa en la ley de los gases ideales. En particular, si un gas se mantiene en un recipiente a volumen constante, y si la presión y la temperatura varían, entonces la relación de la presión a la temperatura del gas se mantiene constante:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

P_1, T_1 : presión y temperatura en el estado 1

P_2, T_2 : presión y temperatura en el estado 2

3.4 GLOSARIO

TEMPERATURA: Es una medida de la energía cinética de las moléculas de una sustancia debida a la agitación térmica.

CALOR: Es la energía que se transfiere debido a la diferencia de temperatura entre un sistema y su entorno o entre dos sistemas . La transferencia de calor puede ocurrir en cualquiera de las forma siguientes:

Conducción: Difusión a través de un material sólido o de un fluido.

Convección: Por el movimiento de un fluido entre dos puntos.

Radiación: Por ondas electromagnéticas.

CAPACIDAD CALORÍFICA: Es la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura de un sistema en un grado.

CALOR ESPECÍFICO: Es la relación entre la capacidad calorífica de un cuerpo y su masa, o volumen si se especifica. Se define también como la relación entre la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo en un grado y la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del agua, que tenga la misma masa de este material, en un grado.

FLUJO CALORÍFICO: Es la cantidad de calor transferido a través de una superficie de área unitaria en una unidad de tiempo.

RESISTENCIA TÉRMICA: Es una medida de la habilidad de un cuerpo de impedir que el calor fluya hacia él, es igual a la diferencia de temperaturas entre las caras opuestas de un cuerpo dividido para el flujo calorífico.

EQUILIBRIO TÉRMICO: Es la condición de un sistema y su entorno, o de dos o más sistemas, cuando no existen diferencias de temperatura entre ellos; por tanto, no existe transferencia calorífica entre ellos.

CUERPO NEGRO: Idealmente es un cuerpo que absorbe toda la radiación que incide sobre él, es decir, tiene 100% de absorción y 0% de reflexión.

EMISIVIDAD: Es la relación entre la energía emitida por una superficie dada y la radiación emitida por una superficie de un cuerpo negro calentado a la misma temperatura que la superficie, bajo las mismas condiciones y dentro del mismo ángulo sólido.

PUNTO DE EBULLICIÓN: Es la temperatura de equilibrio entre las fases líquida y vapor de una sustancia (a 1 atmósfera estándar).

PUNTO DE CONGELACIÓN: Es la temperatura de equilibrio entre las fases sólida y líquida de una sustancia (a 1 atmósfera estándar).

PUNTO TRIPLE: Es la temperatura de equilibrio entre las fases sólida, líquida y gaseosas de una sustancia.

PUNTO DE HIELO: Es la temperatura a la cual el hielo está en equilibrio con el vapor de agua saturado a una presión de una atmósfera estándar y 0 C.

4.1 INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente de los fluidos en los procesos requiere información en cuanto a la cantidad de fluido en movimiento. La velocidad de flujo (caudal) es la velocidad del movimiento del fluido, expresada en magnitudes de cantidad de flujo por unidad de tiempo.

Hay muchos tipos de medidores de caudal, los más usados se clasifican por: diferencia de presión, area variable, velocidad, ultrasonido, transferencia de calor, campo magnético.

4.2 TIPOS DE SENSORES

4.2.1 POR DIFERENCIA DE PRESIÓN

Se la realiza por lo general forzando al fluido a fluir dentro de un tubo con restricciones, de manera que la velocidad cambia en cada punto, y se crea una diferencia de presión proporcional al flujo.

El producto entre el área de la sección transversal del tubo y la velocidad del fluido es constante, esto hace que la velocidad aumente en las zonas donde la sección decrece, y por ende la presión se modifica.

La diferencia de presión resultante se mide por medio de un transductor de presión diferencial. De acuerdo a esto, se han desarrollado muchos sensores de caudal, de los cuales los más comunes son: placa-orificio, Tobera, Tubo Venturi, Tubo Pitot.

La ecuación de caudal obtenida con los elementos de presión diferencial, se basa en la aplicación del principio de Bernoulli (altura cinética+altura de potencial+altura de presión = constante) en una tubería horizontal.

Figura 4.1 Teorema de Bernouilli

Si P_a , P_c y V_a , V_c son las presiones absolutas y las velocidades en la zona anterior a la placa donde el fluido llena todo el conducto y en la vena contraída respectivamente, y S_a , S_c son las secciones correspondientes, resulta:

$$\frac{V_a^2}{2} + \frac{P_a}{\rho} = \frac{V_c^2}{2} + \frac{P_c}{\rho} \quad ; \quad S_a * V_a = S_c * V_c$$

En esta ecuación ρ es la densidad del fluido (masa por unidad de volumen), que se la supone constante en toda la longitud de la vena estudiada.

Se obtienen entonces:

$$V_c^2 - \frac{S_c^2 * V_c^2}{S_a^2} = 2 * \left(\frac{P_a - P_c}{\rho} \right)$$

Si:

d = es el diámetro del orificio (en metros)

D = diámetro interior de la tubería aguas arriba (en metros)

$$V_c = \sqrt{\frac{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

Si se define la relación de diámetros de la siguiente manera: $\beta = \frac{d}{D}$, se tiene:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}$$

Se llama coeficiente de velocidad de acercamiento a: $E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$

Con lo cual la velocidad en la vena contraída queda así:

$$V_c = E * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}$$

Dado que el producto de la sección por la velocidad proporciona el caudal de volumen: $Q_v = S_c * V_c$, este puede ser evaluado con la expresión siguiente:

$$Q_v = E * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}$$

Otra expresión para el caudal es:

$$Q_v = K * \sqrt{\frac{h}{\rho}}$$

Como puede verse en esta expresión, el caudal de volumen es proporcional a la diferencia de presión o diferencia de alturas (H) del fluido en el manómetro en U:

$$Q_v = K * \sqrt{H}$$

Ahora, puede encontrarse también una expresión para el caudal de masa:

$$Q_m = E * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * (P_a - P_c) * \rho}$$

Las expresiones anteriores son aproximadas (válidas para fluidos incompresibles solamente). En la práctica se consideran factores de corrección que tienen en cuenta el reparto desigual de velocidades, la contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, el estado del líquido, del gas, del vapor. Es necesario entonces, considerar la existencia de un factor C, llamado "coeficiente de descarga", con lo cual:

$$Q_v = C * E * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}$$

Se define como coeficiente de caudal a la relación siguiente:

$$\alpha = \frac{Q_v}{\frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}}$$

La cual depende solamente del número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re_d = \frac{V * D}{\nu} * \frac{1}{\beta}$$

Donde:

V=velocidad axial media del fluido aguas arriba

ν =viscosidad cinemática del fluido

Luego: $C * E = \alpha$ y $C = \frac{\alpha}{E}$,

Con lo que:

$$Q_m = Q_v * \rho = C * E * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * (P_a - P_c) * \rho}$$

A continuación se introduce un coeficiente experimental de expansión ϵ , para tener en cuenta la expansión ocurrida durante la aceleración el flujo. Con lo cual la expresión final para el caudal de masa y de volumen quedan:

$$Q_m = C * E * \epsilon * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * (P_a - P_c) * \rho}$$

$$Q_v = C * E * \epsilon * \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{2 * \frac{P_a - P_c}{\rho}}$$

4.2.1.1 Tubo de Venturi

En la figura siguiente se muestra la forma general de un medidor Venturi. Este dispositivo implica una reducción gradual en la sección transversal del flujo, esta es una sección recta corta, y luego un retorno gradual del flujo a su sección transversal original. Las tomas para la presión se instalan en la contracorriente y en la garganta, y la diferencia en presión entre estos dos puntos es una medida de la velocidad total del flujo fluyendo a través del Venturi.

Un tubo de Venturi casi no tiene fricción bajo la mayor parte de las condiciones de operación y además el cambio en densidad de fluido entre las dos tomas de presión es usualmente pequeño.

Si se coloca otra toma de presión corriente abajo del Venturi, y se compara la presión con la de la toma corriente arriba (para la misma área transversal de flujo), se encuentra que la presión de fluido ha recuperado substancialmente su valor de la entrada, puesto que en un balance de energía no mostrará diferencia en energía cinética entre los dos puntos.

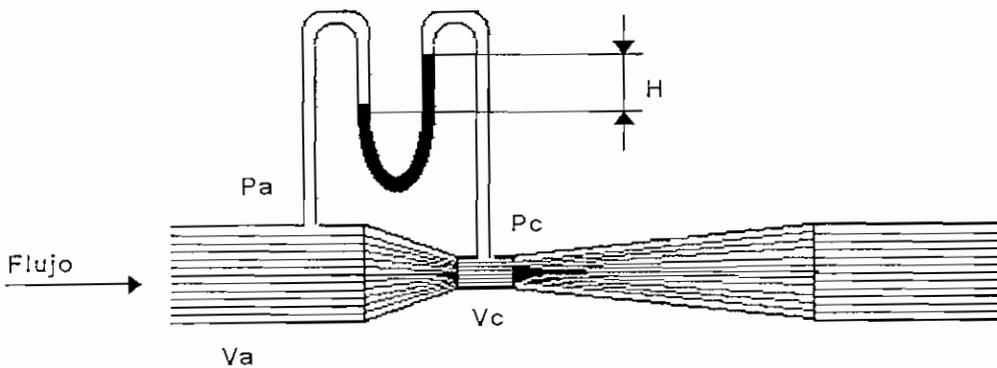


Figura 4.2 Tubo de Venturi

4.2.1.2 Placa - orificio

Es una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa captan la presión diferencial, la cual es proporcional al cuadrado del caudal. El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental.

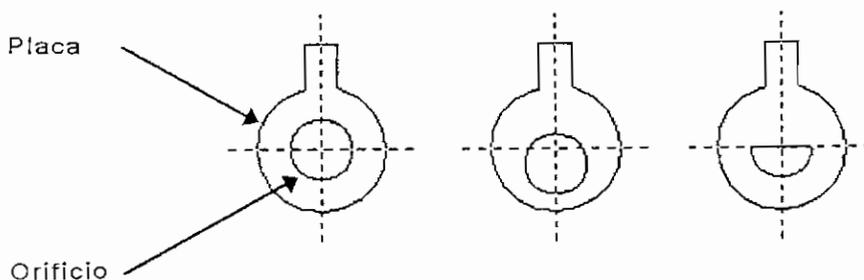


Figura 4.3 Placa - orificio

Un medidor de orificio es de construcción muy simple, consistiendo de una placa delgada con un agujero en la misma colocado a través del flujo. El paso principal del flujo a través del orificio es similar al de Venturi, pero el diseño del orificio resulta en una considerable alteración del flujo, por lo que la energía del flujo se disipa en corrientes turbulentas en la vecindad del orificio.

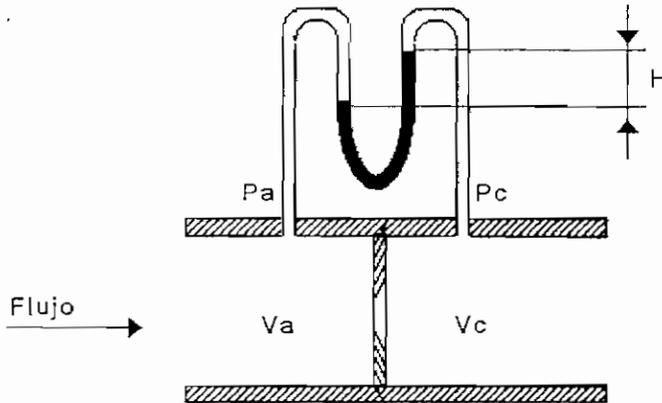


Figura 4.4 Medición del flujo utilizando una placa - orificio

4.2.1.3 Boquilla (Tobera)

Las boquillas son similares a los orificios en general, y se las puede instalar en forma parecida en las líneas de tubos, pero están diseñadas para que la abertura de descarga sea precedida por alguna clase de pasaje reductor suave. Como resultado, la boquilla tiene menos turbulencia corriente arriba, desde la descarga, de manera que la caída de presión medida corresponde aproximadamente a la de un Venturi, más bien que a la de un orificio. Corriente abajo de la descarga de la boquilla, sin embargo, el comportamiento del flujo es más parecido al de corriente abajo desde un orificio, por lo que hay una pérdida relativamente grande de energía de flujo en fricción a través de la instalación de boquilla en conjunto.

Tanto en los orificios como en las boquillas, los balances de energía mecánica implican el mismo principio que para el Venturi; esto es, el efecto primordial es la conversión de la energía de presión en energía cinética creciente en la sección contraída del flujo.

Por consiguiente, la expresión aplicable para los Venturis, es aplicable también a los orificios y a las boquillas.

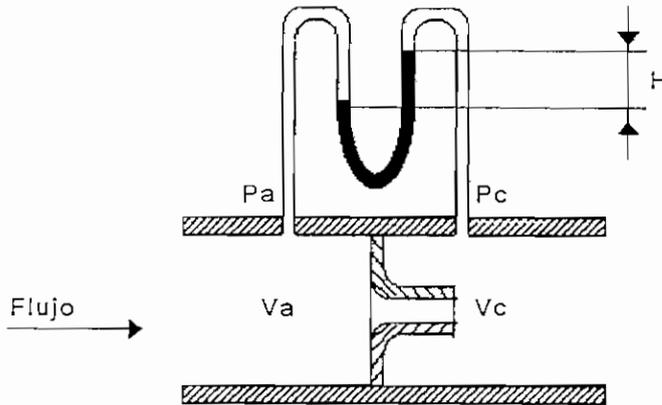


Figura 4.5 Medición del flujo utilizando una tobera

4.2.1.4 Tubo estático de Pitot

El tubo estático de Pitot mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad:

$$\frac{P_2}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}$$

Donde:

P_2 =presión de impacto o total absoluta en el punto donde el líquido anula su velocidad

P_1 =presión estática absoluta en el fluido

ρ =densidad

V_1 =velocidad del fluido en el eje de impacto

De donde se tiene que:

$$V_1 = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1) * 2}{\rho}}$$

Si se considera una irregular distribución de velocidades, rugosidades de la tubería, es necesario hacer uso de un coeficiente de velocidad C , con lo cual la expresión resultante queda así:

$$V1 = C * \sqrt{\frac{(P2 - P1) * 2}{\rho}}$$

El tubo de pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar, disponiéndolo en un tramo recto de la tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las raíces medias, es decir, se hace necesario medir la velocidad con el tubo pitot en puntos suficientes para establecer con exactitud la distribución de velocidad y de aquí la velocidad promedio a través de toda la sección.

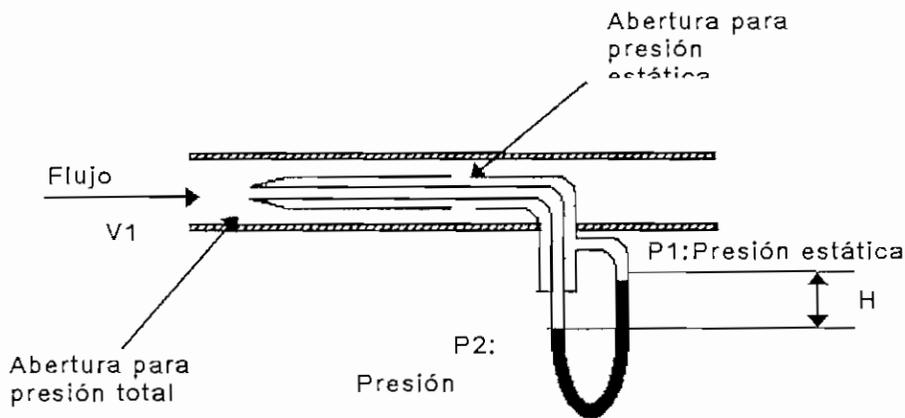


Figura 4.6 Medición de flujo utilizando un tubo de Pitot

4.2.2 POR AREA VARIABLE

4.2.2.1 Rotámetros

Es un dispositivo que ha probado ser efectivo para medir flujos relativamente pequeños tanto de líquidos como de gases. En este caso, un flotador cambia su posición dentro de un tubo, en forma proporcional al flujo del fluido.

El rotámetro consiste de un tubo cónico vertical en el cual un flotador se mueve hacia arriba y hacia abajo con un pequeño espacio para tomar una

posición que mide la velocidad de flujo ascendente a través del tubo. Los principales efectos de la energía de flujo son: primero, el peso del flotador debe ser balanceado por la diferencia entre la presión de impacto del flujo que actúa hacia arriba sobre el fondo del flotador y la presión estática que actúa hacia abajo sobre la parte superior del flotador; segundo, el anillo entre el flotador y el tubo actúa como un orificio de grado de contracción variable, dependiendo de la velocidad de flujo. Los rotámetros se calibran experimentalmente.

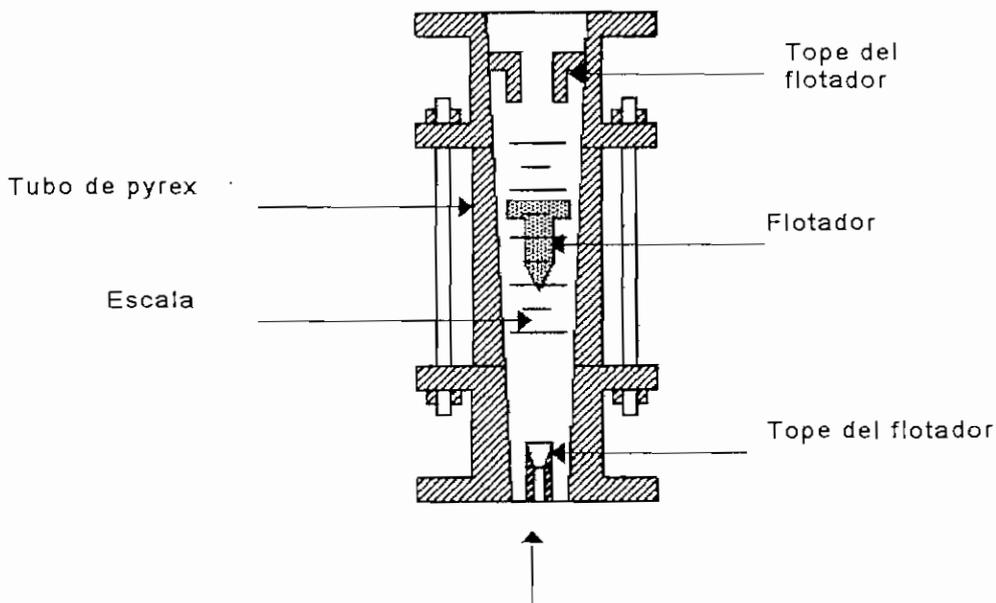


Figura 4.7 Rotámetro

Las fuerzas que actúan sobre el flotador se representan en la figura siguiente:

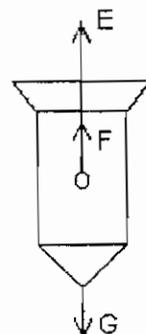


Figura 4.8 Diagrama de fuerzas en el flotador

En condiciones de equilibrio se cumple:

$$G = v_f * \zeta_f * g$$

$$F = v_f * \zeta_l * g$$

$$E = C_d * \zeta_l * A_f * \frac{v^2}{g}$$

$$F + E = G$$

Donde:

G = peso del flotador

v_f = volumen del flotador

ζ_f = densidad del flotador

ζ_l = densidad del fluido

E = fuerza de arrastre del fluido sobre el flotador

F = fuerza de empuje del fluido sobre el flotador

C_d = coeficiente de arrastre del fluido sobre el flotador (depende de la viscosidad del fluido)

v = velocidad del fluido

A_f = área de la sección transversal del flotador

A_w = sección interior del tubo

Si se resuelven las cuatro ecuaciones anteriores se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{2 * g * v_f * (\zeta_f - \zeta_l)}{C_d * \zeta_l * A_f}}$$

El rotámetro al ser un diafragma de orificio variable tendrá como este, un coeficiente de descarga que englobará el reparto desigual de velocidades, la contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, etc.

El término $\sqrt{\frac{1}{C_d}}$ se incorpora al coeficiente de descarga, con lo cual:

$$v = C * \sqrt{\frac{2 * g * v_f * (\zeta_f - \zeta_l)}{\zeta_l * A_f}}$$

Si se considera a A_w como la sección interior del tubo, y puesto que:

$Q_v = v * A_w$, resulta que el caudal de volumen se puede expresar del modo siguiente:

$$Q_v = C * A_w * \sqrt{\frac{2 * g * v_f * (\zeta_f - \zeta_l)}{\zeta_l * A_f}}$$

Mientras que el cudal de masa sería:

$$Q_m = C * A_w * \sqrt{\frac{2 * g * v_f * (\zeta_f - \zeta_l)}{A_f}} * \zeta_l$$

Estas expresiones permiten determinar el caudal de fluido que pasa a través de un rotámetro conocido. Este caudal depende evidentemente del peso específico del líquido y de los valores de la sección interior del tubo A_w , ya que la misma cambia según sea el punto de equilibrio del flotador.

4.2.3 POR VELOCIDAD

Son los sensores más comúnmente utilizados en la medición de caudales, utilizan diversos tipos de: hélices, turbinas, conjunto de copas, etc.

Los medidores de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. Su precisión es muy elevada.

Existen dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina.

En el de reluctancia la velocidad viene determinada por el paso de las palas individuales de la turbina a través de un campo magnético creado por un imán permanente montado en una bobina captadora exterior. El paso de cada pala varía la reluctancia del circuito magnético. Esta variación cambia el flujo induciendo en la bobina captadora una corriente alterna que, por lo tanto es proporcional al giro de la turbina.

En el tipo inductivo el rotor lleva incorporado un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

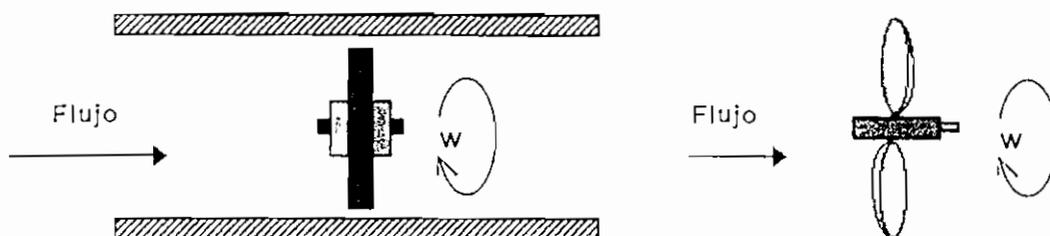


Figura 4.9 Sensores rotativos (Turbina y hélice)

4.2.4 POR ULTRASONIDO

La configuración más usual es la de un par de transductores que determinan la velocidad de flujo por la medida de la velocidad de propagación del sonido en el fluido. Los cambios de velocidad pueden ser medidas en términos de diferencia de tiempo de recorrido, diferencia de fase, o diferencia de frecuencia.

El principio básico para la detección de caudal por ultrasonidos por diferencia de frecuencia se muestra en la figura siguiente:

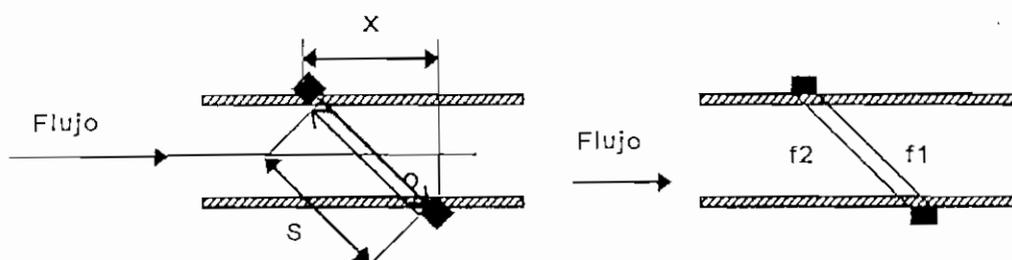


Figura 4.10 Sensores ultrasónicos

La diferencia entre las frecuencias de llegada f_1 y f_2 , se relaciona con la velocidad de flujo v , como:

$$v = K_v * \Delta f ,$$

siendo K_v =fator de escala de la velocidad de flujo, que a su vez viene dada por :

$$K_v = \frac{S^2}{2X}$$

Donde:

S y X son las distancias mostradas en la figura.

La orientación Θ viene en la expresión:

$$\cos(\Theta) = \frac{X}{S}$$

Dado que la velocidad del flujo debe ser multiplicada por el area de la sección ($\frac{\pi * D^4}{4}$) para obtener la velocidad volumétrica de flujo Q_v , esta viene dada por:

$$Q_v = K_Q * \Delta f$$

Donde:

K_Q = factor volumétrico de escala de flujo

Que a su vez es igual a K_v multiplicada por el área de la sección:

$$K_Q = \pi * \frac{S^2 * D^2}{8X}$$

Otro método sensor de flujo es el método Doppler, en el que se mide la velocidad del flujo por desplazamiento Doppler obtenido a partir de la energía reflejada por elementos dispersos , como burbujas de gas o sólidos, en el fluido.

4.2.5 POR TRANSFERENCIA DE CALOR

Los medidores térmicos de caudal se basan comúnmente en dos principios físicos:

- La elevación de la temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente
- La pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido

4.2.5.1 MEDIDOR DE FLUJO THOMAS

De los dos principios el más utilizado a nivel industrial es el primero, y recibe el nombre de medidor de flujo Thomas, lo forman un elemento calefactor inmerso en el fluido y dos sensores de temperatura, uno situado antes del calefactor (este es el que tiene la temperatura de referencia) y otro situado después del calefactor. La diferencia de temperatura indica la cantidad de calor transferido, y consecuentemente el caudal de masa.

Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento T2, y se presenta una diferencia de temperatura que va aumentando progresivamente entre las dos sondas a medida que aumenta el caudal. Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q=m*Ce*(t2-t1)$$

Donde:

Q=calor transferido

m=masa del fluido

Ce=calor específico

t1=tempertura anterior (por lo general es la de referencia)

t2=temperatura posterior

Si las sondas son el elemento cuyas resistencias varían con la temperatura, estas son conetadas a un puente de Wheatstone, para determinar la diferencia de temperaturas. Este medidor es representado en la figura 4.11 .

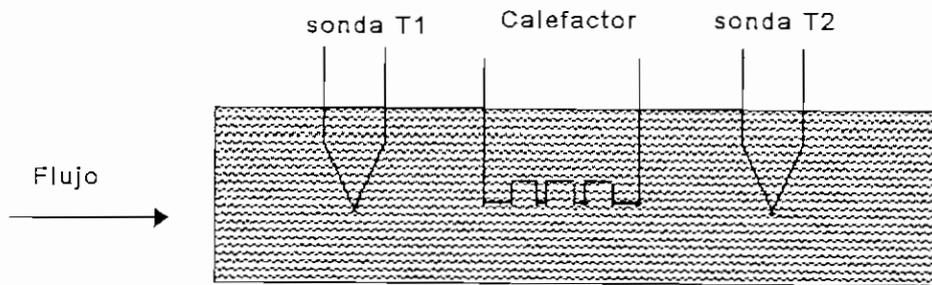


Figura 4.11 Medidor de flujo Thomas

4.2.5.2 ANEMÓMETRO DE HILO CALIENTE

Consiste en un hilo delgado calentado, cuyo enfriamiento debido al flujo del fluido es indicativo de la velocidad de masa del flujo.

El enfriamiento se detecta en forma de un cambio en la resistencia del hilo. El anemómetro de hilo caliente ha sido utilizado principalmente para medidas de flujo de aire; es aplicado actualmente en un amplio número de aplicaciones.

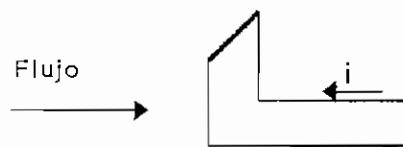


Figura 4.12 Anemómetro de hilo caliente

4.2.6 POR CAMPO MAGNÉTICO

Un fluido conductor que fluye transversalmente a un campo magnético induce una fuerza electromotriz que crece al aumentar la velocidad del flujo. Como puede verse se aplica la ley de Faraday que establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor que se mueve perpendicularmente a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor.

La fórmula del caudal que da la Ley de Faraday es la siguiente:

$$E_s = K \cdot B \cdot l \cdot v$$

Donde:

E_s =tensión generada por el conductor

K = constante

B =densidad del campo magnético

l =longitud del conductor

v =velocidad del movimiento

Como puede verse en la figura siguiente, en el medidor magnético de caudal, el conductor es el líquido y E_s es la señal generada, la cual es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos.

En la práctica, la única zona del líquido en movimiento que contribuye a f.e.m. es la que une en línea recta a los dos electrodos, B es la densidad de campo magnético creado por medio de la bobina de campo, D es el diámetro de la tubería y v es la velocidad del fluido a través del medidor.

Como:

$$Q = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Resulta que:

$$Q = K * \frac{E_s}{B} * D$$

Debe tomarse en cuenta que B está influida por la tensión de la línea y por la temperatura del fluido.

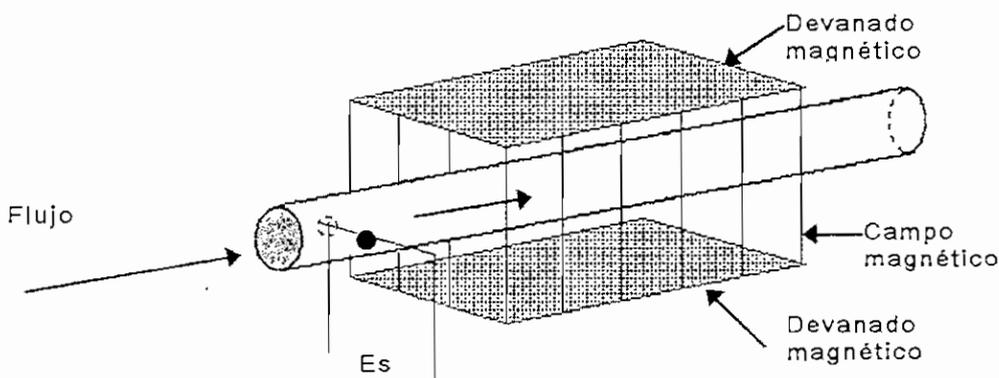


Figura 4.13 Sensor magnético

La conductividad del fluido es la única característica propia del líquido que puede limitar el uso de este medidor de caudal. La conductividad eléctrica de

los gases es generalmente mucho más baja. Por este motivo el medidor magnético no puede emplearse para la medida de caudales de gases.

4.3 GLOSARIO

FLUJO: es el movimiento de un fluido

VELOCIDAD DEL FLUJO (CAUDAL): es la velocidad de movimiento del fluido, expresada en magnitudes de cantidad de flujo por unidad de tiempo.

CAUDAL DE VOLUMEN: de fluido es la velocidad del; flujo expresada como volumen de fluido por unidad de tiempo.

CAUDAL DE MASA: de un fluido es la velocidad el flujo expresada en masa de fluido por unidad de tiempo.

FLUJO LAMINAR: es el movimiento de un fluido en el que las partículas siguen trayectorias paralelas a la dirección local del flujo; puede representarse como láminas de fluido desplazándose unas sobre otras.

DENSIDAD ABSOLUTA (DENSIDAD): es la relación entre la masa de un cuerpo o sustancia homogénea y su volumen (masa por unidad de volumen).

DENSIDAD RELATIVA: es la relación entre la masa de la sustancia y la masa de una sustancia de referencia en un mismo volumen.

CALOR ESPECIFICO: Es la relación entre la capacidad calorífica de un cuerpo y su masa.

PESO ESPECIFICO: es la relación entre la densidad de una sustancia a una temperatura dada y la densidad de una sustancia considerada como estándar; el agua destilada a 4 °C o a 15,5 °C se usa como estándar en líquidos y sólidos.

VISCOSIDAD: es la resistencia de un fluido al flujo.

VISCOSIDAD CINEMATICA: es la relación entre la viscosidad de un fluido y su densidad.

VISCOSIDAD RELATIVA: es la relación entre la viscosidad de un líquido y la viscosidad de otro líquido que se considera como estándar.

NUMERO DE REYNOLDS: es un número adimensional que se usa para expresar la fluidez de un fluido en movimiento.

CAUDAL DE MASA: de un fluido es la velocidad del flujo expresada en masa de fluido por unidad de tiempo.

FLUJO LAMINAR: es el movimiento de un fluido en el que las partículas siguen trayectorias paralelas a la dirección local del flujo; puede representarse como láminas de fluido desplazándose unas sobre otras.

5.1 INTRODUCCIÓN

La presión es un parámetro utilizado en muchos procesos industriales. La medición de la presión a más de ser importante en sí misma, permite medir otras condiciones tales como: nivel, caudal o temperatura. Esta magnitud puede ser medida en valores absolutos odiferenciales.

En este capítulo se estudia los medidores de presión clasificados en la forma siguiente: mecánico-elásticos, de medida directa, transductores electromecánicos.

5.2 TIPOS DE SENSORES

5.2.1 ELEMENTOS MECANICOS - ELASTICOS

Utilizan elementos mecánicos que, bajo la acción de una presión experimentan una deformación, pero que recuperan su forma original cuando esta desaparece. Los más usados son: diafragma, membrana, cápsula, fuelle y los tubos de burdón.

5.2.1.1 Diafragma

Es una lámina circular delgada unida continuamente alrededor de su borde. En los transductores de presión se usan dos tipos de diafragmas: plano y ondulado.

Los diafragmas planos se deforman de acuerdo a las leyes aplicables a las láminas circulares bajo condiciones de carga simétricas.

Los diafragmas ondulados contienen un número de ondulaciones concéntricas, lo cual aumenta la rigidez y el área efectiva del diafragma, proporcionado mayor flexión que un diafragma plano.

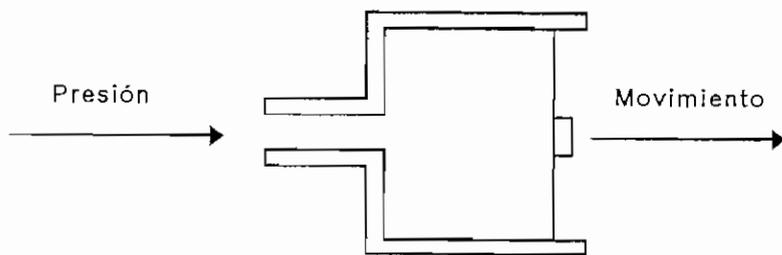


Figura 5.1 Diafragma plano

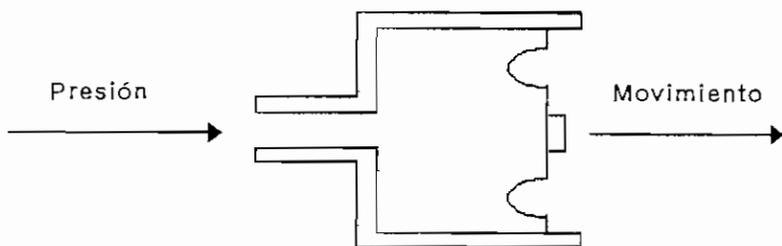


Figura 5.2 Diafragma ondulado

5.2.1.2 Membranas

Son diafragmas ligeros hechos de metal delgado o caucho, neopreno o plástico. Se usan a menudo como diafragmas de aislamiento, para prevenir la incompatibilidad de tener fluidos de entrada en contacto con el elemento sensor.

5.2.1.3 Cápsula

Consiste en dos diafragmas ondulados anulares, con las curvaturas de ondulación en oposición y selladas juntas por su periferia. En una cápsula única, un diafragma dispone de la entrada de presión y el otro dispone de un reforzamiento para dar lugar al desplazamiento mecánico.

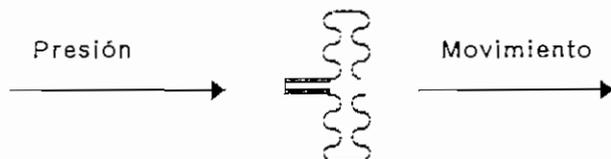


Figura 5.3 Cápsula

El empleo de los diafragmas en forma de cápsula duplica el efecto de flexión de una sola membrana. Multiplicaciones adicionales se las puede obtener con un apilamiento de cápsulas.

5.2.1.4 Fuelle

Están hechos a partir de tubos de paredes finas formando convoluciones en donde uno de los extremos está cerrado; el fuelle se desplaza axialmente cuando se aplica una presión en la apertura del lado opuesto. El número de convoluciones puede variar entre 10 y 20 dependiendo del rango de presión y de la carrera requerida. Se usan principalmente para rangos de presión baja y cuando no existen vibraciones significativas en el ambiente. También pueden ser utilizadas para aislamiento de la misma manera descrita para membranas.

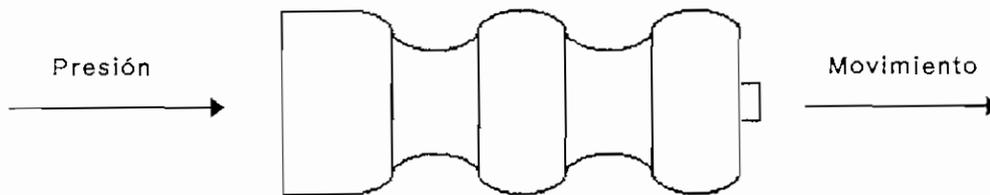


Figura 5.4 Fuelle

5.2.1.5 Tubo de Burdón

Es un tubo de sección elíptica u oval que tiene un extremo cerrado (es una funda). Cuando se le aplica una presión en el extremo libre, el tubo tiende a ponerse recto. Esto provoca una deformación angular en el extremo cerrado en el caso de un tubo trenzado y una deformación curvilínea del extremo cerrado, en los tubos en C.

La ley de deformación del tubo de Burdón es muy compleja y ha sido determinada a través de numerosos ensayos. El material del que normalmente está hecho es acero inoxidable, aleación de cobre, monel, etc.

5.2.1.5.1 Tubo de Burdón trenzado

Este tubo es un elemento aplanado, trenzado a lo largo (entre 2 y 8 giros), con la línea central del tubo a lo largo de la longitud.

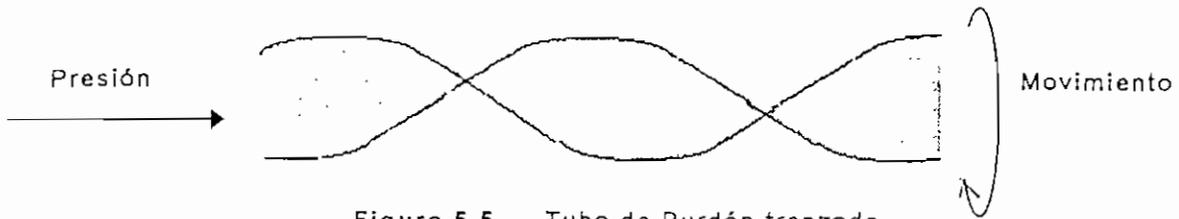


Figura 5.5 Tubo de Burdón trenzado

5.2.1.5.2 Tubo de Burdón en C

Es un tubo ovalado, con una forma semejante a la de la letra C. Un extremo del tubo está abierto mientras el otro extremo está sellado y libre. Cuando la presión se aplica a través del extremo abierto, el tubo empieza a enderezarse. Estos tubos son usados comúnmente en medición de la presión interna.

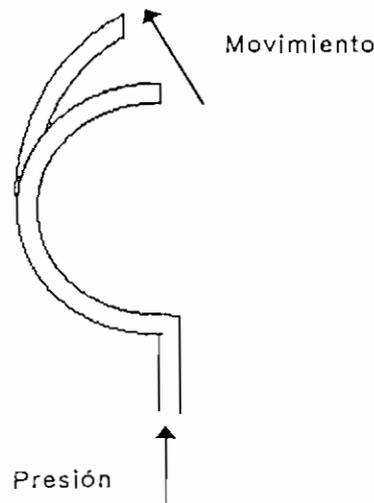


Figura 5.6 Tubo de Burdón en C

5.2.1.5.3 Tubo de Burdón helicoidal

Este es un tubo ovalado que forma una hélice enrollada. Su funcionamiento es similar al del tubo en C. Un extremo del tubo está cerrado y es independiente del movimiento, mientras el otro extremo está abierto y firmemente unido a la caja del transductor o estructura. Cuando se aplica presión, el tubo se mueve intentado desarrollarse.

Cómo el tubo está enrollado en una hélice multivuelta, la curvatura total puede variar entre 5 y 10 vueltas, la trayectoria del extremo libre es proporcionalmente mayor que en el tubo trenzado.

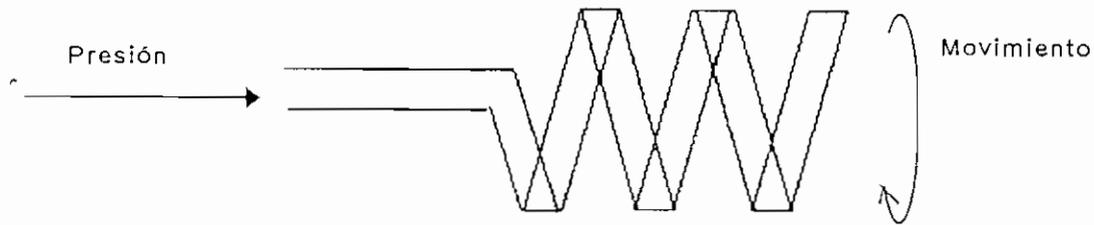


Figura 5.7 Tubo de Burdón helicoidal

5.2.1.5.4 Tubo de Burdón espiral

En este caso, el tubo ovalado está en forma de espiral. La mayor ventaja de este tipo de tubo de Burdón es que el extremo cerrado produce mayor movimiento que en el del tubo en C:

5.2.2 ELEMENTOS DE MEDIDA DIRECTA

Miden la presión comparándola con la presión ejercida por un líquido de altura y densidad conocida. Los más comúnmente utilizados son: barómetro cubeta, en U, manómetro de depósito, manómetro de tubo inclinado, manómetro de campana y manómetro de toro pendular. Se describe los más comunes.

5.2.2.1 MANOMETROS

Los manómetros son simples y exactos aparatos de medida de presión. Su principio de funcionamiento se basa en el hecho de que una variación en la presión hará que el líquido aumente o disminuya su altura en el tubo. En un fluido en equilibrio, la presión es la misma en todos los puntos de un mismo plano.

Los líquidos más ampliamente utilizados son agua, mercurio y aceite rojo. El agua y mercurio son usados porque son muy conocidos acerca de sus gravedades específicas, expansión térmica y masa.

Puesto que los manómetros son instrumentos precisos en medidas de presión, éstos son usados a menudo como elementos de calibración estándar. Sin embargo, hay un número de factores que pueden afectar la exactitud de los manómetros. Uno de estos factores es la condición del líquido en la interfase entre el líquido y el aire en la columna. Este nivel es llamado menisco, que puede ser cóncavo o convexo.

5.2.2.1.1 Manómetro tipo U

Estos dispositivos están constituidos por un tubo en forma de U, que contiene una cierta cantidad de líquido manométrico. La presión aplicada en uno de los extremos del tubo hace subir al líquido en el otro extremo justo hasta que la columna del líquido ejerza una presión igual a la presión aplicada.

En la figura 5.9, se representa un manómetro de tubo de vidrio en U, de sección uniforme, en el cual los dos extremos se encuentran abiertos. El equilibrio estático se alcanza para un desnivel h , tal que:

$$P = d * g * h$$

Donde:

P =presión medida

d =densidad del líquido manométrico

g =aceleración de la gravedad

h =altura del desnivel

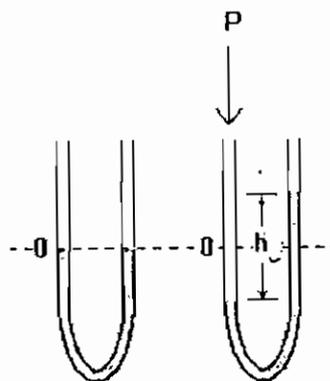


Figura 5.8 Manómetro en U

5.2.2.1.2 Manómetro con depósito (de estanque)

En la figura 5.9 se representa un manómetro de tubo en U donde uno de los segmentos ha sido reemplazada por un estanque que tiene un diámetro D , mucho más grande que el diámetro d del segmento de la derecha. Inicialmente el líquido manométrico se encuentra al mismo nivel en los dos costados. Cuando la presión es aplicada, el líquido en el estanque desciende una altura h y simultaneamente sube una altura H en la rama de la derecha. El desnivel tital es igual a $(h+H)$ y:

$$P=(h+H)*d*g$$

Cuando la relación de diámetros D/d es superior a 15, se puede despreciar h frente a H .

La sensibilidad de los manómetros de estanque es mayor a medida que la relación D/d sea más grande y que, además, el líquido manométrico sea más ligero.

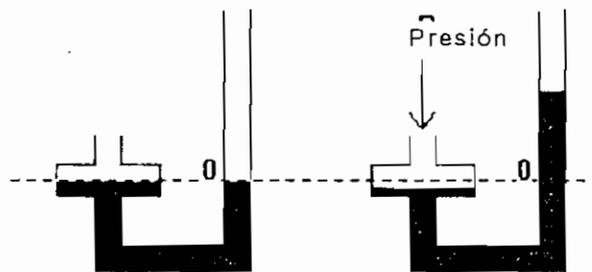


Figura 5.9 Manómetro con depósito

5.2.2.1.3 Manómetro inclinado

En la figura 5.10 se representa un manómetro de estanque en el cual el segmento de la izquierda ha sido inclinado. Este tipo de manómetro es utilizado para mediciones de presiones débiles. Si se mide la misma presión con un manómetro de estanque o con uno de tubo inclinado, el desnivel H será el mismo, sin embargo, en el segundo caso no es la altura H la que se mide sino más bien L_1 . Esta última magnitud será mayor a medida que el ángulo alfa sea más pequeño. Se aumenta así la sensibilidad disminuyendo el ángulo alfa.

Para calibración no obstante es necesario que el instrumento se mantenga perfectamente horizontal.

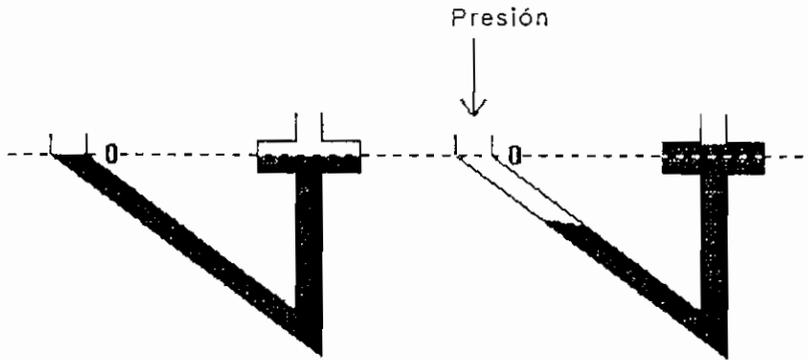


Figura 5.10 Manómetro inclinado

5.2.3 TRANSDUCTORES ELECTROMECHANICOS

Estos transductores utilizan un elemento mecánico-elástico combinado con un transductor eléctrico para generar una señal eléctrica correspondiente a la presión. Según el principio de funcionamiento pueden ser: resistivos, magnéticos, capacitivos, extensiométricos, piezoeléctricos.

5.2.3.1 Transductores resistivos de presión

Es uno de los transductores más sencillo. Consiste en un elemento mecánico elástico que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. Estos transductores son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

En la figura 5.11 se representa un transductor resistivo que constan de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. Cuando se aplica una presión, el extremo inferior del elemento de presión se

desplaza, este movimiento se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro de precisión. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

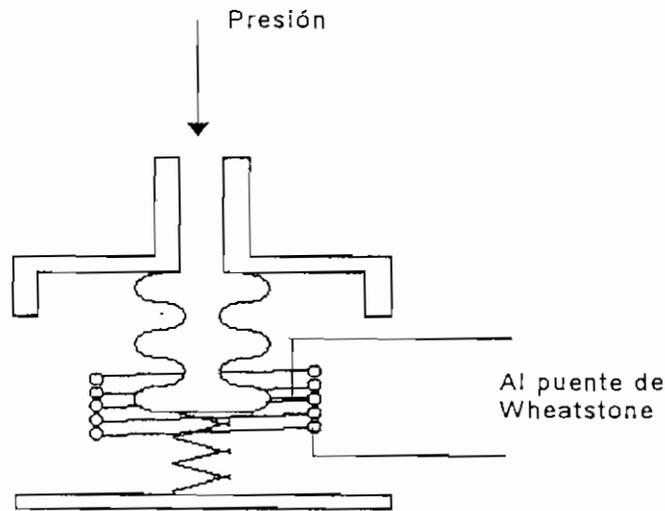


Figura 5.11 Transductor resistivo de presión

5.2.3.2 Transductores magnéticos de presión

Según el principio de funcionamiento se clasifican en: de inductancia variable y de reluctancia variable.

5.2.3.2.1 Transductores de inductancia variable

El desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de esta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina. El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la fem de autoinducción generada se opone a la fem de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la fem de autoinducción.

Estos transductores no producen rozamiento en la medición tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su precisión es del orden de (+_) 1%.

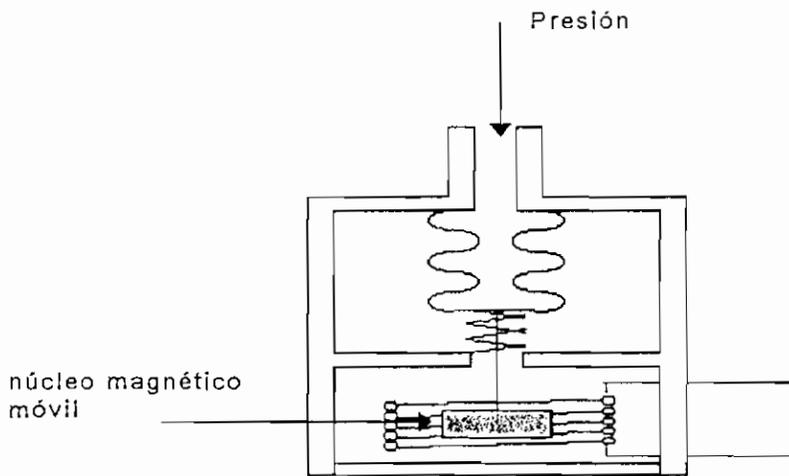


Figura 5.12 Transductor de presión de inductancia variable

5.2.3.2.2 Transductores de reluctancia variable

Consiste de un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético. El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación de flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.

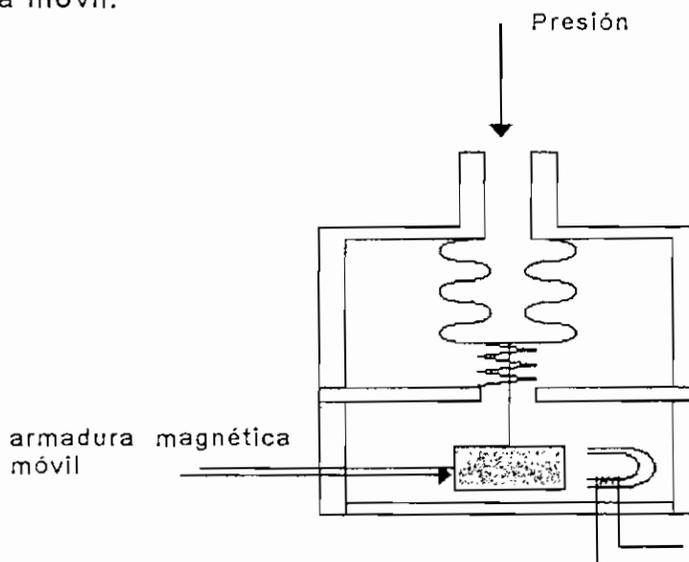


Figura 5.13 Transductor de presión de reluctancia variable

Estos transductores presentan una alta sensibilidad a las vibraciones, una estabilidad media en el tiempo y son sensibles a la temperatura. Su precisión es del orden de (+_) 0,5%.

5.2.3.3 Transductores capacitivos de presión

Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas, lográndose así tener una capacitor de referencia (fijo) y uno variable que son comparados.

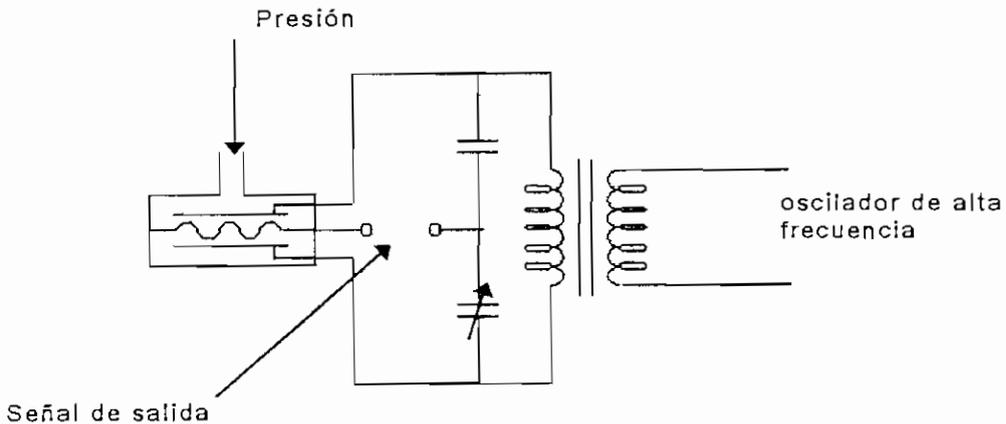


Figura 5.14 Transductor de presión de capacitancia variable

5.2.3.4 Transductor de presión por galga extensiométrica

Se basan en la variación de la resistencia (longitud y diámetro) de un hilo metálico cuando este es sometido a tensión mecánica por la acción de una presión. Las galgas extensiométricas pueden ser de dos tipos: cementadas y sin cementar, las primeras están formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico; mientras que en el segundo tipo los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial. En cualquiera de los dos casos, la presión estira o comprime los hilos de acuerdo al diseño.

El intervalo de medida de estos transductores varía de 0-0,6 a 0-10000 bar y su precisión es del orden de (+-) 0,5 %.

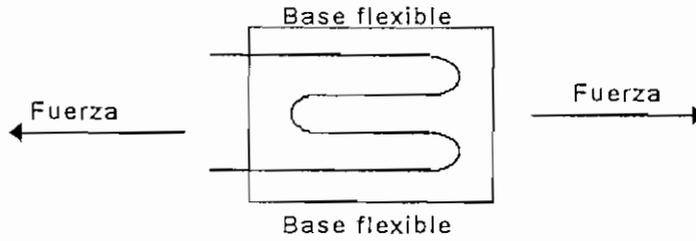


Figura 5.15 Transductor de presión por galga extensiométrica

5.2.3.5 Transductor de presión con elementos piezoeléctricos

Los materiales cristalinos que al ser deformados físicamente por la acción de una presión generan una señal eléctrica se denominan piezoeléctricos. Los dos materiales más utilizados son el cuarzo y el titanato de bario.

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su respuesta es lineal y son adecuados para medidas dinámicas pueden responder a muy altas frecuencias. Son sensibles a los cambios de temperatura y a fuertes impactos. Su señal de salida es relativamente débil, por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

Cuando una presión o esfuerzo es aplicada a cristales tales como cuarzo o titanato de bario, los cristales producirán voltajes medibles. Este voltaje es medida directamente proporcional de la presión aplicada.

5.3 GLOSARIO

PRESION: es un tipo de esfuerzo multidireccional y uniforme, una fuerza actuante en una area unidad; se mide como la fuerza por unidad de area ejercida en un punto.

PRESIÓN ABSOLUTA: es la medida relativa a la presión cero (vacío perfecto).

PRESIÓN MANOMÉTRICA: es la medida relativa a la presión ambiental.

PRESIÓN PARCIAL: es la presión ejercida por un cosntituyente en una mezcla de gases que no reaccionan químicamente entre ellos. La suma de las presiones parciales es igual a la presión total.

PRESIÓN ESTÁTICA: es la presión de un fluido, ejercida de manera normal a la superficie por la que fluye el líquido.

PRESIÓN DE IMPACTO: es la presión que un fluido en movimiento ejerce de manera paralela a la dirección del flujo (debido a la velocidad del flujo).

PRESIÓN TOTAL: es la suma de la presión estática y la presión de impacto.

ALTURA HIDROSTÁTICA: es la altura de una columna de un líquido determinado en cuya base se desarrolla una determinada presión: la presión de una altura h , sobre una superficie, es el producto de la altura por el peso específico del líquido.

PESO ESPECÍFICO: es la densidad multiplicada por la aceleración debida a la gravedad.

VACÍO: es la ausencia total de materia en un volumen de una región del espacio. En la práctica esta defición es utilizada para presiones por debajo de 1 atmósfera.

PRESION DIFERENCIAL: es la diferencia de presión entre dos puntos de medida, medida relativa a una presión de referencia o a un rango de presiones de referencia.

6.1 INTRODUCCIÓN

La medición de nivel es una determinación fundamental en el sector industrial y en cualquier tipo de actividad donde se manejen fluidos.

En este capítulo se estudian técnicas de medición basadas en: presión, flotación de un cuerpo, conductividad, capacitancia, elementos fotoeléctricos, amortiguamiento, ultrasonido.

El nivel se expresa generalmente en unidades de longitud, la altura de la superficie del líquido con respecto a un punto de referencia; cuando la geometría del recipiente es conocida, se expresa el nivel en términos de unidades de volumen; si se conoce la densidad del fluido, puede expresarse el nivel en términos de unidades de masa.

6.2 TIPOS DE SENSORES

6.2.1 Sensores de nivel mediante presión

Consiste en medir la altura de columna de líquido que crea una determinada presión. La expresión que hace posible esta medición es la siguiente:

$$h = (P_1 - P_2) / w$$

donde:

h = altura (nivel) del líquido que se desea medir

P_2 = presión en la superficie

P_1 = presión relativa a la presión en la superficie

w = peso específico del líquido

Para la medición de la altura existen técnicas de complejidad variada que se basan en la presión diferencial, lo cual da lugar a otras técnicas de medición de nivel.

Otro método que suele utilizarse cuando el recipiente está abierto en su parte superior es la determinación de la altura a partir de la deformación de la superficie inferior, utilizando un transductor de deflexión.

El siguiente método se basa en la compresión de un tubo flexible inmerso que contiene un contacto eléctrico continuo junto a un elemento resistivo, de manera que la resistencia medida decrece con el aumento de nivel.

Estos tres métodos se muestran en la figura siguiente:

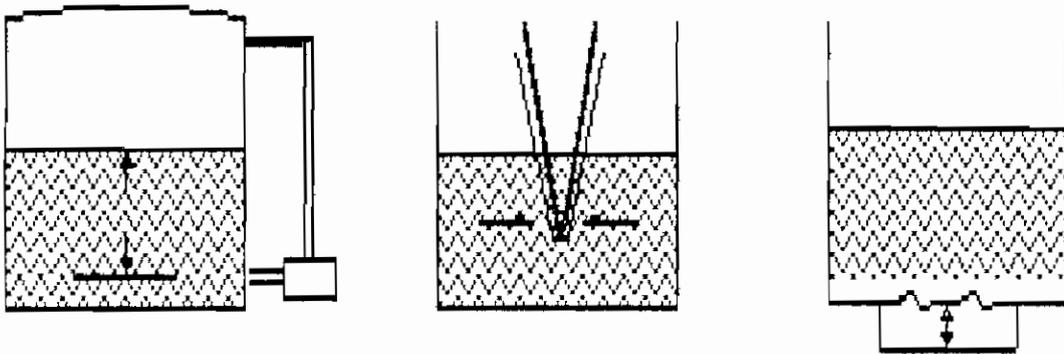


Figura 6.1 Determinación de nivel por presión

6.2.2 Sensor de nivel por peso

Pesando un tanque de geometría conocida que contienen un líquido de densidad conocida, se puede determinar el nivel del líquido restando el peso del tanque vacío. Se utilizan células de carga para determinación del peso.

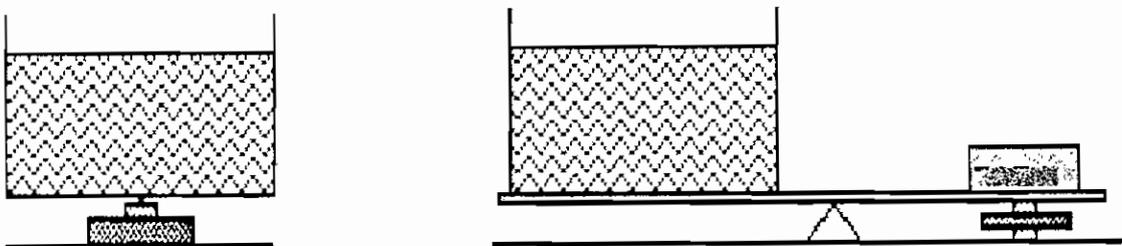


Figura 6.2 Determinación de nivel por peso

6.2.3 Sensor de nivel por flotador

El principio de Arquímedes (un cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza de flotación proporcional a la masa de fluido desalojada), se usa en sensores de nivel cuyo sensor es un flotador. El movimiento hacia arriba o hacia abajo del flotador se convierte en una señal de salida a través de un mecanismo y un transductor de desplazamiento. Lo más común es utilizar métodos reluctivos o potenciómetricos para movimientos continuos. Existe la posibilidad de uso de un "flotador " sin movimiento, en el que se mide la fuerza de empuje.



Figura 6.3 Determinación de nivel por flotador

6.2.4 Sensor de nivel por conductividad

El nivel de los líquidos conductores de carga eléctrica puede detectarse mediante dos electrodos en contacto con el fluido, a través de la resistencia entre los dos electrodos. Si el tanque es metálico puede utilizarse la pared del mismo como uno de los dos electrodos. Se usan para medidas discretas y medidas continuas

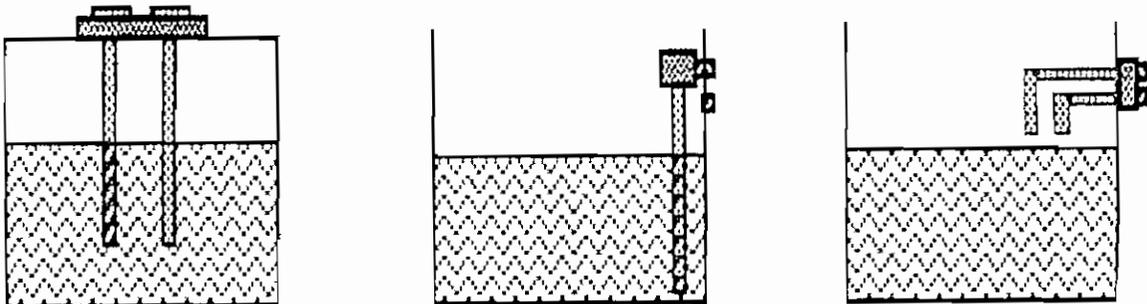


Figura 6.4 Determinación de nivel por conductividad

6.2.5 Sensor de nivel por capacitancia

Cuando uno o más pares de electrodos se sumerge en un líquido, las variaciones en el dieléctrico debidas a la subida o bajada del nivel del fluido provocan cambios de la capacidad de los pares de electrodos. Si las paredes del tanque son metálicas pueden ser usadas como electrodos. Se usa tanto en mediciones discretas como en mediciones continuas.

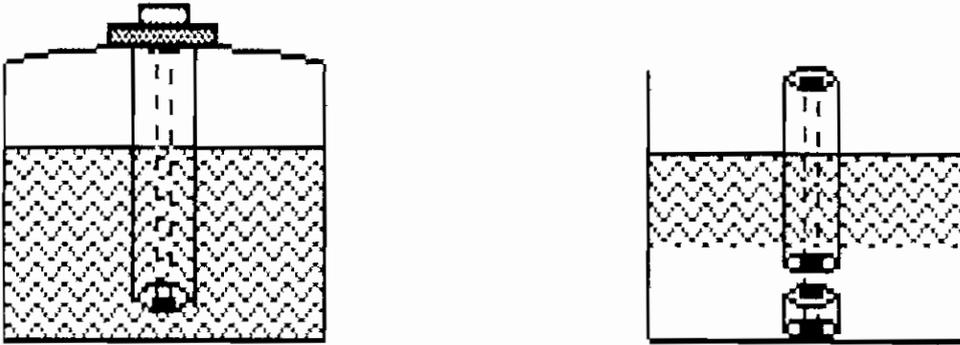


Figura 6.5 Determinación de nivel por capacitancia

6.2.6 Sensor de nivel por transferencia de calor

Este método se aplica para realizar mediciones discretas de nivel en líquidos. Se utilizan elementos resistivos, por los que circula una corriente para autocalentarlos (por lo general son termistores). Cuando el nivel asciende y el líquido entra en contacto con el cuerpo caliente, el elemento se enfría y resulta de ello un cambio en la resistencia del mismo.

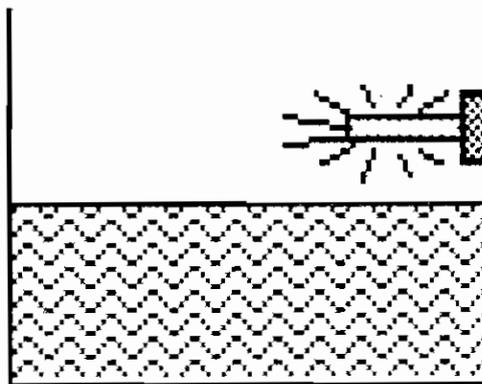


Figura 6.6 Determinación de nivel por transferencia de calor

6.2.7 Sensor de nivel por elementos fotoeléctricos

Con este método se usan separadamente la transmitancia y la reflexión. En el modo de transmitancia un haz de luz entre la fuente y el sensor de luz, se atenúa cuando el nivel del líquido asciende hasta el camino óptico. En el modo de reflexión, un prisma óptico refleja menos luz cuando el nivel del líquido lo ha alcanzado, se detecta entonces el cambio en el índice de refracción.



Figura 6.7 Determinación de nivel por elementos fotoeléctricos

6.2.8 Sensor de nivel por oscilación amortiguada

En este método se usa el cambio en la amortiguación de un elemento oscilante cuando el ambiente cambia de gas a líquido. La amortiguación viscosa ocasiona una reducción de la amplitud de un elemento vibrante cuando este pasa de estar en contacto con el aire a estar sumergido en un líquido.



Figura 6.8 Determinación de nivel por oscilación amortiguada

6.2.9 Sensor de nivel por ultrasonido

Se utilizan dos métodos: de cavidad resonante y de camino sónico. El método de cavidad de resonancia (cavidad resonante), se basa en la determinación del volumen del que se deriva el nivel. Cuando el nivel del líquido aumenta, el volumen disminuye y la frecuencia de resonancia cambia. Cuando se conoce la frecuencia de resonancia del tanque vacío, se puede determinar el nivel del líquido un factor de escala. Para la búsqueda de la frecuencia de resonancia se utilizan osciladores de frecuencia variable. Los métodos de camino sónico pueden ser utilizados para medir nivel en forma continua y en forma discreta.

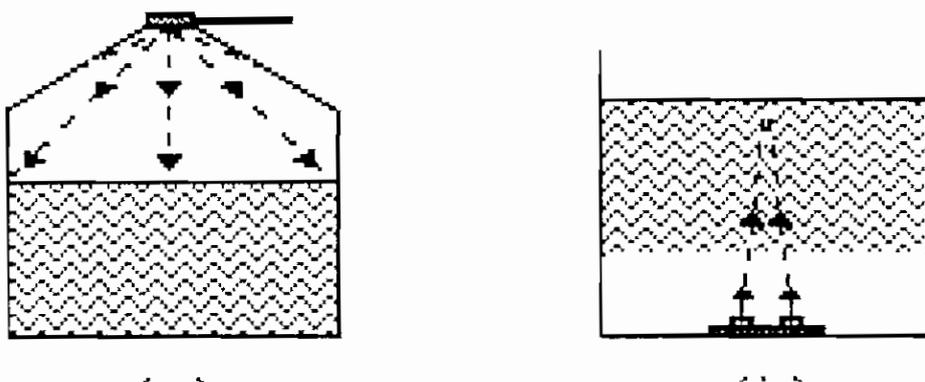


Figura 6.9 Determinación de nivel por ultrasonido

6.3 GLOSARIO

PRESION ABSOLUTA: Es la medida relativa a la presión cero.

PRESION MANOMETRICA: Es la medida relativa a la presión ambiental

PRESION DIFERENCIAL: Es la diferencia de presión entre dos puntos de medida.

DIELECTRICO: Característica aislante de un material

TERMISTOR: Sensor de temperatura basado en semiconductor. Tiene un alto coeficiente resistivo de temperatura, su resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura.

7.1 INTRODUCCION

La selección adecuada de un sensor es una tarea que requiere conocer muy bien aspectos como: características de la variable a ser medida, características del sistema de datos, diseño del transductor, disponibilidad, costo, ambiente operativo, y no operativo.

En este capítulo se da guías para la selección de sensores, poniendo atención especial al medio en el que operan, rango, linealidad, precisión, ventajas y desventajas de su uso, con un análisis comparativo entre diferentes sensores.

Se sigue la misma secuencia presentada en los capítulos anteriores, esto es:

- Introducción
- Criterios generales de selección
- Sensores de temperatura
- Sensores de caudal
- Sensores de presión
- Sensores de nivel

7.2 CRITERIOS GENERALES DE SELECCIÓN

7.2.1 Por la variable a ser medida

1. Propósito de la medida
2. Tipo de magnitud a medir
3. Comportamiento de la magnitud: aumenta, disminuye, etc.
4. Rango de valores en que varía la magnitud
5. Condiciones de sobrerango que puedan ocurrir
6. Precisión con la que deba realizarse la medida
7. Características dinámicas de la magnitud a medir
8. Tiempo de respuesta requerido en los datos
9. Naturaleza física y química de la magnitud
10. Sitio e instalación del transductor
11. Ambiente en el que estará el transductor

7.2.2 Por el sistema de datos

1. Naturaleza general del sistema de datos
2. Naturaleza de los elementos principales del sistema de datos
3. Precisión y respuesta de frecuencia del sistema de datos
4. Acondicionamiento de la señal del transductor
5. Impedancia de carga que "ve" el transductor
6. Requerimientos de corriente y voltaje

7.2.3 Diseño del transductor

1. Restricciones como: masa, excitación, potencia, configuración.
2. Requerimientos del sistema del transductor
3. Principio de transducción
4. Características estáticas, dinámicas, ambientales.
5. Vida o ciclo operativo requerido
6. Formas en que puede averiarse el transductor
7. Nivel de competencia técnica de quienes manejan el transductor
8. Métodos que se utilizan para verificar sus prestaciones.

7.2.4 Disponibilidad

1. Existencia de un transductor que satisfaga todos los requerimientos
2. Si no existe:
 - 2.1 Posibilidad de rediseñar algún existente
 - 2.2 Capacidad de fabricantes de desarrollar el requerimiento
 - 2.3 Tiempo requerido para el rediseño o fabricación

7.2.5 Costo

1. Compatibilidad del costo del transductor con la medida que va a realizar.
2. Costos adicionales requeridos para verificación, recalibración periódica, manipulación e instalación del transductor.
3. Requerimientos del transductor al que corresponden la mayor parte del costo.
4. Modificación de los requerimientos si se busca un gran ahorro.
5. Modificaciones en el sistema de datos que hagan posible disminuir costo en los transductores.

7.3 SENSORES DE TEMPERATURA

La selección y especificación de sensores de temperatura requiere un gran número de parámetros de muy diversa complejidad. Así, se requiere especificar las características del sensor básico, las características de su encapsulamiento (si está encapsulado), características para las sondas de inmersión (de ser necesario), la instalación, el mantenimiento, entre otros.

Las prestaciones comprenden el rango principal de salida, la salida, la respuesta dinámica y las características de precisión.

En los sensores de temperatura resistivos se pueden generar potenciales termoeléctricos entre los hilos de conexión interna de diferentes metales debido al gradiente de temperatura existente entre ellos. Este error puede eliminarse utilizando conexiones internas del mismo metal que el utilizado en el elemento sensor.

El autocalentamiento puede causar error en los sensores resistivos, especialmente en los sensores semiconductores. El autocalentamiento depende de la potencia disipada por el sensor debido a elementos resistivos, la corriente que circula por el elemento y el calor transferido al fluido o superficie de medida.

Si no se puede realizar una apertura en la tubería e instalar una sonda de inmersión o una cámara térmica, se puede realizar medidas de temperatura con sensores de temperatura de superficie, en cuyo caso es necesario que el sensor esté térmicamente aislado de la atmósfera ambiental y de las fuentes de radiación de calor y de conducción de calor. Los materiales sólidos a medir pueden ser metálicos o no metálicos, de diferentes espesores y configuraciones seccionales, expuestos a diferentes condiciones ambientales. Todos los tipos de sensores de temperatura de superficie modifican las características de la superficie o substratos del material.

El sensor, instrumento de la instalación, debe escogerse de manera que estos desequilibrios sean mínimos. Un buen sensor y su instalación introducen suficientemente poco material extraño al sólido, de manera que el efecto en la modificación de la configuración sea lo más pequeño posible. Muchas medidas de temperatura de sólidos se realizan en la superficie soldando o pegando un sensor termoeléctrico o resistivo a dicha superficie. Existe una gran variedad de sensores con un espesor de 1mm o menos, incluyendo a los tipos resistivo (hilo, película, termistor), así como termoeléctricos (lámina, hilo delgado, película delgada).

7.3.1 TERMOCUPLAS

En el caso de los termopares , la unión sensora, las conexiones adicionales y la circuitería asociada, están especificados por el material del hilo, el número de hilos en un cable, el aislamiento, su cobertura y los límites de error (precisión). Para la mayoría de hilos termopar e hilos de extensión existen designaciones estándar para sus características.

Para los terminales de unión expuesta se recomienda la utilización de los termopares tipo J para los fluidos reductores; termopares tipo K, E, R, S para los fluidos oxidantes, y termopares tipo T para los fluidos reductores y oxidantes. Las uniones expuestas de tungsteno-renio se limitan a la utilización en gases inertes o en el vacío; estas uniones son extremadamente frágiles y requieren un manejo cuidadoso.

La selección de uniones termopar conectadas a tierra o no conectadas a tierra, viene dada principalmente por el compromiso entre la constante de tiempo rápida de una unión conectada a tierra contra el aumento de potencial de ruido eléctrico asociado; muchos sistemas de datos requieren una puesta a tierra en un punto único, lo que provoca el uso de uniones sin conexión a tierra.

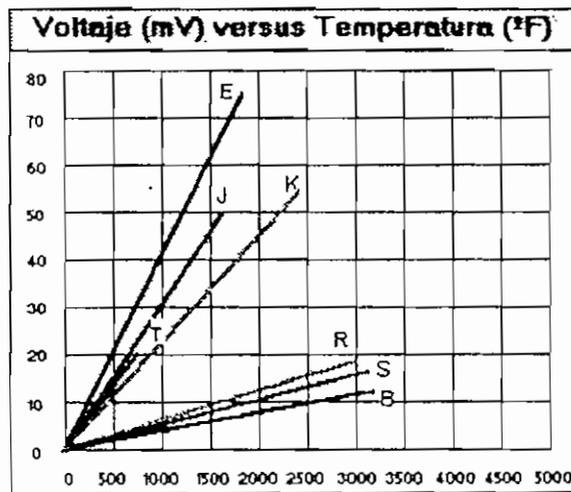


Figura 7.1 Característica de las termocuplas

TIPO J

[Hierro-Constantán]

El terminal positivo es el Hierro y el terminal negativo es el constantán. Es recomendado para atmósferas reductoras. Su rango de operación llega hasta 1600 °F.

TIPO T

[Cobre-Constantán]

El terminal positivo es el cobre y el terminal negativo es el constantán.

Es recomendada para atmósferas moderadamente oxidantes y reductoras hasta 750 °F. Son adecuadas para aplicaciones en la que existe humedad.

TIPO K

[Cromel-Alumel]

El terminal positivo es el cromel y el terminal negativo es el alúmel. Es recomendado para atmósferas oxidantes limpias. Su rango de operación llega hasta los 2300 °F.

TIPO E

[Cromel-Constantán]

El terminal positivo es el Cromel y el terminal negativo es el Constantán. Su rango de operación llega hasta 1600 °F. Su uso es recondado en vacío o gas inerte, atmósfera medianamente oxidante o reductora.

TIPO S

[Pt - Pt/ 10%Rh]

El terminal positivo es el conductor de 90% de Platino y 10% de Rodio, mientras que el negativo es el conductor de platino puro. Es resistente a la oxidación y a la corrosión. Sin embargo, hidrógeno, carbón y vapores de varios metales pueden contaminar esta termocupla. Su rango de operación llega hasta los 2800 °F.

TIPO R

[Pt - Pt/ 13%Rh]

El terminal positivo es el conductor de 87% de Platino y 13% de Rodio, mientras que el negativo es el conductor de platino puro. Es resistente a la oxidación y a la corrosión. Sin embargo, hidrógeno, carbón y vapores de varios metales pueden contaminar esta termocupla. Su rango de operación llega hasta los 2900 °F.

TIPO B

[Pt/ 6%Rh - Pt/ 30%Rh]

El terminal positivo es el conductor de 70% de Platino y 30% de Rodio, mientras que el negativo es el conductor de 94% de Platino y 6% de Rodio platino puro.

Es resistente a la oxidación y a la corrosión. Sin embargo, hidrógeno, carbón y vapores de varios metales pueden contaminar esta termocupla. Su rango de operación llega hasta los 3200 °F.

Denominación de las aleaciones de termopares	
Nombre	Aleación o metal puro
JP	Hierro
JN, EN, TN	Constantán (Cobre con Níquel)
KP o EP	Crómel (Cromo con Níquel)
KN	Alúmel (Aluminio con Níquel)
TP	Cobre
RN o SN	Platino puro
RP	Platino con 13% de Rodio
SP	Platino con 10% de Rodio

Tabla 7.1 Denominación de las aleaciones de los termopares

Rangos en que son utilizadas las termocuplas			
TIPO	COMBINACION	Rango °C	Fem (mV)
E	Crómel-Constantán	0 a 980	0 a 75.12
T	Cobre-Constantán	-185 a 400	-5.284 a 20.805
J	Hierro-Constantán	-185 a 870	-7.52 a 50.05
K	Crómel-Alúmel	-185 a 1260	-5.51 a 51.05
R	Pt-PtRh 13%	0 a 1593	0 a 18.636
S	Pt-PtRh 10%	0 a 1537	0 a 15.979
B	PtRh 6%/PtRh 30%	37 a 1800	0.007 a 13.449

Tabla 7.2 Rango de utilización de los termopares

Para proteger los termopares en medio ambientes ostiles, se usa un protector o vaina de acero inoxidable. Este tema se trata con mayor detalle más adelante.

7.3.2 TERMÓMETRO DE RESISTENCIA (RTD)

Los elementos resistivos son generalmente encapsulados o revestidos cuando se utilizan inmersos en líquidos y muchos gases. Los elementos resistivos expuestos (desnudos) no se pueden sumergir en fluidos contaminantes o conductores. Pueden sin embargo ser utilizados en aire seco y en número

limitado de otros gases y en algunos líquidos cuando sus constantes de tiempo deban ser pequeñas. Para aplicaciones en estático o con fluidos que se muevan muy lentamente, determinado tipo de jaula protegen al mismo, su finalidad es el aislamiento del elemento del calor radiado o cuando se consideran temperaturas estáticas.

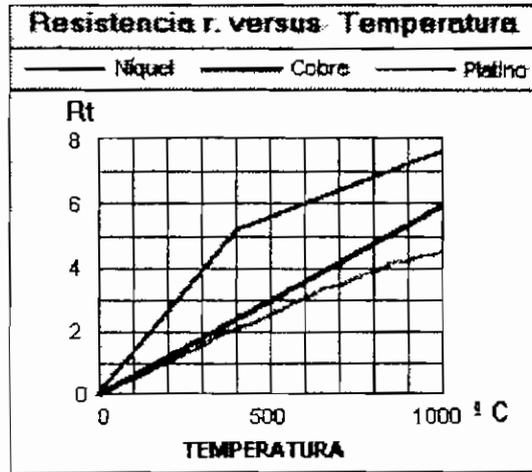


Figura 7.2 Curva característica de los termómetros de resistencia

El termómetro de resistencia que con mayor frecuencia se utiliza en el campo industrial es la Pt100.

Pt-100 / R versus T con alfa=0,00385

T(°C)	R(ohm)	T(°C)	R(ohm)
-190	22.782	330	222.660
-180	27.049	340	226.180
-170	31.280	350	229.689
-160	35.478	360	233.689
-150	39.651	370	236.672
-140	43.802	380	240.146
-130	47.932	390	243.608
-120	52.041	400	247.059
-110	56.131	410	250.498
-100	60.201	420	253.926
-90	64.252	430	257.342
-80	68.282	440	260.747
-70	72.291	450	264.140
-60	76.279	460	267.522
-50	80.250	470	270.891
-40	84.212	480	274.250
-30	88.170	490	277.597
-20	92.127	500	280.932
-10	96.072	510	284.255
0	100.000	520	287.568

Tabla 7.3 Valores de resistencia en función de la temperatura para el termómetro de resistencia Pt100

Pt-100 / R versus T con alfa=0.00385			
T(°C)	R(ohm)	T(°C)	R(ohm)
0	100.000	520	287.568
10	103.902	530	290.868
20	107.793	540	294.157
30	111.671	550	297.434
40	115.539	560	300.700
50	119.395	570	303.954
60	123.239	580	307.197
70	127.071	590	310.428
80	130.893	600	313.648
90	134.702	610	316.856
100	138.500	620	320.052
110	142.286	630	323.237
120	146.061	640	326.410
130	149.824	650	329.572
140	153.576	660	332.722
150	157.316	670	335.861
160	161.045	680	338.988
170	164.762	690	342.103
180	168.467	700	345.207
190	172.161	710	348.299

[Tabla 7.3 Continuación]

Comparación de termómetros de resistencia		
Tipo	Ventajas	Desventajas
Cobre	Barato	Baja resistividad
Níquel	Buena estabilidad	Bejo límite de temperatura
Platino	Gran estabilidad	Costo muy elevado
	Muy sensible	
	Rápida respuesta	

Tabla 7.4 Comparación entre termómetros de resistencia

Para la medición de temperatura es deseable que el valor de la constante de resistencia de temperatura (alfa) sea grande con el fin de obtener cambios substanciales de resistencia con pequeñas variaciones en la temperatura (esto permite tener un instrumento de medida muy sensible), que alfa sea prácticamente constante dentro de un amplio rango de temperatura (de esta manera se logra una relación R/T lineal), si la resistividad del material es elevada se puede minimizar la cantidad de conductor requerido para la fabricación del sensor a costos razonables.

Características de algunas sondas de resistencia					
Tipo	Coefficiente	Resistividad	Rango	Costo	Presición
Cobre	0,00425	1,56	-200 a 120	bajo	0,10
Níquel	0,0065	6,38	-150 a 300	medio	0,50
Platino	0,00385	9,83	-200 a 950	alto	0,01

Tabla 7.5 Características de sondas de resistencia

Además, el material debe poseer rigidez y ductilidad (con esto se logra tener pequeños tamaños, lo cual incrementa la rapidez de respuesta).

El más común de los sensores de resistencia consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento de hilo o de cerámica.

Originalmente se utilizó el cobre como el elemento resistivo, sin embargo cada vez ha sido menos utilizado debido a su baja resistividad y a la excesiva longitud de hilo necesario para formar el sensor, a pesar de esto, las ventajas que presenta son: resistencia uniforme, estable y barato.

Actualmente lo más común es la utilización de platino y níquel. El platino es el más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad, pero el inconveniente que presenta es el costo.

Los termómetros de resistencia son por lo general del tipo probeta para inmersión en un medio. El pequeño elemento es colocado en la punta de la probeta, esta se protege con una cubierta, con lo que se tienen el elemento

sensor completo. Prácticamente todos los termómetros de resistencia para aplicaciones industriales se montan en un tubo o pozo para protegerlos, estos tubos son diseñados para uso en líquidos o gases a altas presiones. El uso de un tubo de protección es imperativo para presiones superiores a las tres atmósferas.

Tipo:	Precisión:	Linealidad	Aleaciones	Coefficiente
resistencia	0.05 °C	buenas	Platino	0.00385 - 0.003927
			Níquel	0.00617 - 0.006725
			Cobre	0.00421
			Balco	0.005176
			Tungsteno	0.0045
Rango:				
-450 a 1800 F o (-260 a 980 C) extremo				
-420 a 1500 F o (-250 a 850 C) practico				
Ventajas			Desventajas	
-Apto para alta precisión			-Algunas formas son frágiles	
-Buena repetibilidad en corto tiempo			-Errores por autocalentamiento	
-No requiere compensación			-Generalmente largas	

Tabla 7.6 Características de los termómetros de resistencia (Pt100)

7.3.3 TERMISTORES

Cuando se utilizan termistores, el más utilizado es el tipo perla, este puede ser especificado por las dimensiones de la perla, su cobertura, los materiales, las dimensiones, el aislamiento, las configuraciones de las conexiones, resistencia base (resistencia fría), la resistencia a 25 °C, el rango de temperaturas de utilización, la constante beta del material, la curva característica (R vs.T) o una tabla de valores, constante de tiempo, y la constante de disipación.

Los termistores están usualmente revestidos y se pueden utilizar en muchos fluidos, sin embargo, las consideraciones de compatibilidad de material aplicable a otros elementos debe considerarse en la utilización de la sonda.

Son fabricados con óxidos de níquel, manganeso, cobalto, cobre, titanio, hierro y uranio, se forman perlas, discos o varillas que posteriormente son encapsuladas.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerada siempre que el instrumento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de la unión.

Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura. Cuando son utilizados para la medición de temperatura su rango se encuentra entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Algunos diseños han sido desarrollados para el rango criogénico bajo.

Tipo:	Precisión:	Linealidad
termistor	0.24 C	muy pobre

Rango:	Rango típico	Resistencia nominal (25 C)
-150 a 600 F	300 a 600 F	100 Kohm a 500 Kohm
(-100 a 315 C)	150 a 300 F	2 Kohm a 75 Kohm
	32 a 212 F	2 Kohm a 5 Kohm
	-100 a 150 F	100 ohm a 1 Kohm

Ventajas	Desventajas
-Pequeño tamaño permite una rápida respuesta	-Muy no lineal
-Alto coeficiente resistivo de temperatura	-Estabilidad es un problema a altas temperaturas
-Sensibilidad sube al caer la temperatura	-No es apto para amplios rangos
-No requiere compensación	
-Aumenta la estabilidad con el uso	
-Costo bastante bajo	

Tabla 7.7 Características de los termistores

7.3.4 PIROMETROS

Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0,1 micras para las radiaciones ultravioletas hasta 12 micras para las radiaciones infrarrojas.

El espectro de luz visible ocupa el intervalo desde longitud de onda 0,45 micras para el color violeta hasta 0,7 micras para el rojo.

Los pirómetros de radiación miden la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación.

El coeficiente de emisión de energía radiante depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor. El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no dará su verdadera temperatura, a menos que la superficie del cuerpo absorba todas las radiaciones y no refleje absolutamente ninguna.

Los pirómetros de banda estrecha utilizan generalmente detectores fotoconductivos o fotovoltaicos, en conjunto con filtros y ventanas limitadoras de espectro.

La emisividad de un cuerpo negro ideal es igual a 1 ($e=1$), sin embargo en la práctica no es posible tener este valor, el carbón tienen una de las emisividades más altas, llegando a 0,81. Las emisividades totales de los metales son mucho más bajas: 0.08 para el aluminio, 0.09 para muchos aceros, 0.02 para el oro.

Tipo:	Precisión:	Linealidad:
óptico	0.5 % a 2 %	pobre
Rango:		
1400 a 6300 F o (760 a 1480 C)		
Ventajas		
-Portatil		
-Unidades integradas portátiles		
Desventajas		
-Requiere operación manual para lectura		
-Solo se usa en altas temperaturas		

Tabla 7.8 Características del pirómetro óptico

Tipo:	Precisión:	Linealidad:
infrarojo	0.5 % a 2 %	pobre
Rango:		
0 a 6000 F o (-15 a 3315 C)		
Ventajas		
-Portatil		
-Unidades integradas portátiles		
Desventajas		
-Caro		

Tabla 7.9 Características del pirómetro infrarojo

7.3.5 TERMÓMETRO BIMETALICO

Los más utilizados son latón, acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35,5% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden

ser rectas o curvas, formando espirales o hélices, en cuyo extremo libre se conecta la aguja indicadora de temperatura.

Este termómetro puede utilizarse para cerrar o abrir el contacto de un interruptor o como actuador en un mecanismo on/off cuando la temperatura alcance el valor de ajuste. El efecto también puede utilizarse como indicador de temperatura, por medio de un ensamblaje para convertir la curvatura en la rotación de un dial

Tipo:	Precisión:	Linealidad:
bimetálico	0.5 a 11 C	buena
Rango:		
-80 a 800 F o (-65 a 430 C)		
Ventajas		
-Resistente bajo costo		
-Pueden ser usado para registros		
Desventajas		
-Puede cambiar la calibración con golpes		
-Restringido a medidas locales		

Tabla 7.10 Características del termómetro bimetálico

7.3.6 TERMÓMETROS DE DILATACIÓN DE LÍQUIDOS

En la práctica, los efectos de la dilatación del contenedor de vidrio con la temperatura deben ser tomados en cuenta en la indicación de la temperatura para obtener una exactitud muy alta.

Este tipo de transductor no es empleado en los sistemas de control de procesos porque necesita de otro transductor para convertir una temperatura indicada en una señal eléctrica.

Tipo: líquido	Precisión: 0.5% a 2%	Linealidad muy buena
Rango: -125 a 700 F o (-90 a 370 C)		
Ventajas -Bajo costo		
Desventajas -Sensibilidad del bulbo y posición de lectura críticas, Capilares pequeños - Requiere compensación		

Tabla 7.11 Características de los termómetros de dilatación de líquidos

7.3.7 TERMÓMETRO A PRESIÓN DE VAPOR

Diferentes líquidos tendrán diferentes curvas presión-temperatura.

Como en el caso de los termómetros de gas, el rango no es grande, y su respuesta de tiempo es lenta (20 segundos o más) debido a que tanto el líquido como el recipiente deben ser calentados.

Tipo: vapor	Precisión: 0.5 a 2%	Linealidad muy buena
Rango: -100 a 650 F o (-73 a 345 C)		
Ventajas -Rápida respuesta, Posible lectura remota -No requiere compensación		
Desventajas -Escala no lineal -Difícil medir temperaturas cercanas a la temperatura ambiente		

Tabla 7.12 Características de los termómetros a presión de vapor

7.3.8 TERMÓMETRO A GAS

Puesto que un termómetro de gas convierte una información de temperatura directamente en una señal de presión, son particularmente útiles en sistemas

neumáticos. Estos transductores son también ventajosos puesto que no tienen partes móviles y no necesitan un estímulo eléctrico.

Este tipo de transductor se utiliza a menudo en unión de un tubo de Burdón para obtener una indicación directa de la temperatura. El gas más utilizado es el nitrógeno. El tiempo de respuesta de estos dispositivos es bastante lento en comparación con los dispositivos eléctricos debido a una masa mayor que debe ser calentada.

Tipo: gas	Precisión: 0.5% a 2%	Linealidad: muy buena
Rango: -450 a 1400 F o (-273 a 760 C)		
Ventajas		
-Amplia escala de medición		
-Capacidad sustancial de sobrerango		
Desventajas		
-Requiere un largo bulbo, produce pequeña fuerza para uso en control		

Tabla 7.13 Características de los termómetros a gas

7.3.9 TERMOMETRO DE MERCURIO

Tipo: mercurio	Precisión: 0.5 a 2%	Linealidad: muy buena
Rango: -30 a 1200 F o (-34 a 630 C)		
Ventajas		
-La escala es la más lineal		
-Mayor potencia para elementos de control		
Desventajas		
-Accidentes con Hg pueden ser peligrosos		
-El más difícil de compensar		

Tabla 7.14 Características del termómetro de mercurio

7.3.10 SENSORES DE ESTADO SÓLIDO

Existen en el mercado muchos circuitos integrados empleados como sensores de temperatura tanto en el campo industrial como doméstico. Estos dispositivos ofrecen voltajes que varían ligeramente con la temperatura sobre un rango específico. Ellos operan aprovechando la sensibilidad con la temperatura de semiconductores dopados, tales como transistores y diodos. Su rango típico de operación es de -50 C a 150 C . La constante de tiempo con un buen contacto varía entre 1 y 5 segundos, mientras que con mal contacto térmico puede superar el minuto. Estos sensores son fáciles de usar en los sistemas de control y con computadores. Una aplicación importante es proveer una referencia automática para la compensación de temperatura de los termopares.

Tipo: semiconduc.	Precisión: $\pm 1\text{ C a } 25\text{ }^\circ\text{C}$	Linealidad: buena
Rango: -67 a 300 F o (-55 a 150 C)		
Ventajas		
-Bajo costo, alta impedancia		
-Corriente de salida, pequeño tamaño		
Desventajas		
-Rango limitado		
-Algo más largo que los termopares		

Tabla 7.15 Características de los termómetros en base a semiconductores

7.3.11 TERMOMETRO DE VIDRIO

Tipo: vidrio	Precisión: 0.05 a 1 C	Linealidad: buena
Rango: -200 a 600 F o (-120 a 320 C) práctico		
Ventajas		
-Bajo costo		
-Larga vida útil, diseño simple		
Desventajas		
-Difícil lectura, frágil, medidas locales		
-No sirve para control, mercurio peligroso		

Tabla 7.16 Características de los termómetros de vidrio

7.3.12 SONDAS

Existen importantes consideraciones que deben ser tomadas en cuenta respecto a las sondas de inmersión y sondas de temperatura. Existen una gran diversidad en configuraciones y dimensiones que deben ser escogidas con mucho cuidado. Pueden ser largas, cortas, soldables, adheribles, de aplicación directa, para unos u otros ambientes. Las precauciones en el montaje, los métodos a seguir, y los efectos sobre las configuraciones deben estar determinados para contribuir a una correcta medición de la temperatura.

La longitud de la caña en una sonda de inmersión en el caso de instalación en un conducto o tubería, se escoge de manera que el centro del elemento sensor (resistivo o termopar) se coloque en la posición radial localizada a $0.72 r$ para un flujo turbulento y $0.58 r$ para un flujo laminar a partir de la línea central de la tubería.

Las sondas de inmersión industriales son por lo general montables y desmontables por el usuario o por el fabricante. Las piezas que componen el conjunto deben ser seleccionadas utilizando un catálogo. Esto incluye el conjunto de cabeza de conexión, dispositivo de extensión (extiende el conjunto de cabecera sobre el lugar de montaje), tipo y longitud del termopar, protección requerida por el tubo o vaina, cámara térmica asociada.

Las consideraciones sobre las configuraciones incluyen protección del elemento sensor, como por ejemplo respecto al medio al cual está expuesto o presión de impacto causada por la velocidad del fluido, entre otros.

Deben conocerse las propiedades físicas y químicas de todos los fluidos a medir que estarán en contacto con el sensor (o la caja térmica), de manera que establezca compatibilidad entre el fluido y el sensor. Debe especificarse también la velocidad máxima de flujo del fluido a medir, el rango de presión operativa, la presión límite, y la presión máxima de las sondas.

Deben ser consideradas las características de diseño eléctrico tanto de los sensores como de los elementos que hacen la circuitería adicional de la instalación. Para los sensores que tienen un elemento no conectado a tierra se debe especificar la resistencia de aislamiento (o tensión de ruptura). En estas características se incluye (excepto en el caso de los termopares) la corriente

de excitación máxima o nominal, la tensión o potencia, tipo de alimentación requerida por el circuito y acondicionamiento de señal, y algunas veces la resistencia nominal en los terminales del transductor a temperatura ambiental. Cuando se aplican excitaciones de ca o cc a un sensor con elementos bobinados, se debe especificar la reactancia inductiva de los elementos.

El medio en el que trabajan las sondas de inmersión pueden ser corrosivos, oxidantes o reductores, estáticos o moviéndose a baja, media o alta velocidad, libre, en un conducto, tanque, tubería, etc.

Las cámaras térmicas alargan la constante de tiempo de la medida en forma considerable. Todos los materiales de una sonda de inmersión deben ser compatibles con los fluidos que entrarán en contacto con ellos. Cuando se utiliza una sonda encapsulada, usualmente es solo el material de la vaina y el material de una porción del montaje que deben considerarse. Cuando se utiliza una sonda expuesta, el diseño debe analizar cuidadosamente los materiales componentes del sensor, es decir: elemento sensor, hilos de conexión, soportes, caja, vaina parcial, que pueden entrar en contacto con el fluido de medición; todos estos materiales deben ser compatibles. Cuando se utiliza una cámara térmica solo debe considerarse el material de la caja térmica. La tabla siguiente se basa en determinadas consideraciones como reacciones catalíticas, contaminación y electrólisis.

La sonda de inmersión debe estar definida en cuanto a sus especificaciones de operación, y de presión soportada. Debe quedar definida la máxima velocidad de flujo transversal. Deber tener una longitud de inmersión adecuada para obtener una medida de temperatura medida en una tubería o en un conducto; además la sonda debe ser lo suficientemente larga para minimizar los errores de conducción.

Temperaturas de Tubos de protección		
Metal	Tmax	T. fusión
Cobre	149 °C	1082
Aluminio	371	660
Monel	538	1343
Acero con bajo Carbono	649	1525
Cupro-Níquel 30%	760	1238
430 Acero inoxidable	843	1427
347	899	1399
316	899	1371
304	899	1427
446	1093	1399
310	1093	1399
309	1093	1399
Inconel	1149	1427
Hastelloy X	1160	1288
Níquel	1260	1454
Inconel 702	1316	1410
Platino	1677	1773
Niobio	1982	2468
Molibdeno	2200	2622
Tantalio	2480	2996

Tabla 7.17 Temperaturas en que pueden ser utilizados los tubos de protección

Guía de selección de tubos de protección		
Sustancia	Cond.	Metal
Acido acético	10% - 70 °F	Acero inoxidable 304
Acido acético	50% - 70 °F	Acero inoxidable 304
Acido acético	90% - 70 °F	Acero inoxidable 430
Acetona	212°F	Acero inoxidable 304
Alcohol etílico	70°F	Acero inoxidable 304
Alcohol metílico	70°F	Acero inoxidable 304
Anilina	70°F	Acero inoxidable 304
Benzen	70°F	Acero inoxidable 304
Butano	70°F	Acero inoxidable 304
Dióxido de Carbono	Dry	Acero C1018, Monel
Dióxido de Carbono	Wet	Aluminio, Monel, Níquel
Acido cítrico	15% - 70 °F	Acero inoxidable 304
Acido cítrico	15% -212 °F	Acero inoxidable 316
Nitrato de Cobre		304,316
Sulfato de Cobre		304,316
Freón		Acero C1018
Gasolina	70°F	Acero inoxidable 304
Glucosa	70°F	Acero inoxidable 304
Glicerina	70°F	Acero inoxidable 304
Iodo	70°F	Tantalio

Tabla 7.18 Guía de selección para tubos de protección

Guía de selección de tubos de protección:		
Sustancia	Cond.	Metal
Iodo	70°F	Tantalio
Keroseno	70°F	Acero inoxidable 304
Latex		Acero C1018
Mercurio		Acero C1018,304,Monel
Metano	70°F	Acero 1020
Leche	70°F	304, Níquel
Gas natural	70°F	Acero inoxidable 304
Neón	70°F	Acero inoxidable 304
Oxígeno	70°F	Acero C1018
Acido fosfórico	1% - 70°F	Acero inoxidable 304
Acido fosfórico	10% - 70°F	Acero inoxidable 316
Acido fosfórico	10% - 212°F	Hastelloy C
Acido fosfórico	30% - 70°F	Hastelloy B
Acido fosfórico	85% - 70°F	Hastelloy B
Permanganato	5% - 70°F	Acero inoxidable 304
Propano		Acero inoxidable 304
Jabón	70°F	Acero inoxidable 304
Acido sulfúrico	5% - 70°F	Hastelloy B
Acido sulfúrico	90% - 212°F	Hastelloy D
Agua	Fresh	Cobre, Acero C1810

Tabla 7.18 Continuación]

7.4 SENSORES DE CAUDAL

A continuación se muestran los criterios que en forma general se pueden aplicar a todos los medidores de caudal. El tamaño del tubo donde se desea insertar el medidor dictamina el tamaño de este; en algunos diseños el medidor tiene una medida diferente a la de tubo. Las características físicas y químicas del fluido a medir influyen en la selección y en las características del diseño. El fluido puede ser líquido o gaseoso, si el líquido puede contener alguna parte de gas o sólidos en disolución, sólidos no disueltos o partículas abrasivas. La gravitación específica y la viscosidad del fluido deben conocerse perfectamente. También debe establecerse su conductividad y su capacidad corrosiva. Deben conocerse la presión máxima y mínima del fluido, así como su máxima temperatura.

El elemento sensor del medidor de caudal ofrece una obstrucción grande, mediana o nula al movimiento del fluido dependiendo del tipo y del principio de operación.

Normalmente los medidores de caudal se sustentan únicamente por medio de la tubería a la que están acoplados. Pueden estar sujetos a ciertos esfuerzos , introducidos por flexiones, deformaciones térmicas, vibraciones o montaje inadecuado.

El funcionamiento de cualquier elemento sensor mecánico puede ser afectado por la gravedad terrestre, debido a que están instalados en lugares diferentes a donde fueron calibrados.

En los medidores unidireccionales existen flechas marcadas en el cuerpo para evitar errores de instalación. Debe evitarse superar la velocidad máxima; estos excesos de velocidad pueden ser causados por la presencia de gases en los fluidos supuestamente líquidos.

7.4.1 POR DIFERENCIA DE PRESION

7.4.1.1 TUBO DE VENTURI

El diseño usual implica un ángulo de convergencia de unos 25 ° sobre el lado de la contracorriente, un diámetro de garganta entre un cuarto y una mitad del diámetro de la contracorriente de entrada, y un ángulo de divergencia corriente abajo de 7 ° o menos.

Así, la ventaja del diseño casi sin fricción del Venturi sobre dispositivos rudimentarios, es que permite mediciones de flujo sin pérdida apreciable en la presión del fluido.

Tipo: Venturi	Precisión: 0.75 %	Caudal: 3:1 max/min
Escala: Raíz	Temp:max 500 C	Presión: 400 bar máx
Ventajas		
-Preciso		
-Poca Δp		
Desventajas		
-Rango de presión		
-Fluidos limpios, muy caro		

Tabla 7.19 Características de los medidores de caudal de tubo de Venturi

7.4.1.2 PLACA-ORIFICIO

El diseño más común en tubos de sección circular tienen un agujero circular, de bordes a escuadra , localizado centralmente.

Las dos tomas de presión pueden ser colocadas en diferentes maneras, y métodos diferentes de colocar las tomas no dan exactamente las mismas lecturas.

Tipo: Placa	Precisión: 1-2%	Caudal: 3:1 max/min
Escala: Raíz	Temp: max 500 C	Presión: 400 bar máx
Ventajas		
-Simple		
-Económico		
Desventajas		
-Rango de presión		
-Fluidos limpios		

Tabla 7.20 Características de los medidores de caudal de Placa-orificio

7.4.1.3 TOBERA (BOQUILLA)

Tipo: Tobera	Precisión: 0.9 -1.5 %	Caudal: 3:1 max/min
Escala: Raíz	Temp: max 500 C	Presión: 400 bar máx
Ventajas		
-Simple		
-Preciso		
Desventajas		
-Rango de presión		
-Fluidos limpios, caro		

Tabla 7.21 Características de los medidores de caudal de tobera

7.4.1.4 TUBO ESTATICO DE PITOT

El comportamiento del tubo de Pitot ilustra la importancia de un diseño apropiado de las aberturas para mediciones de presión en general, especialmente cuando son importantes las pequeñas diferencias de presión. Esto es, el valor de presión deseado usualmente es el de presión estática, por lo que se debe evitar el efecto de impacto.

Para tubos de Pitot bien diseñados puede utilizarse con precisión la fórmula teórica. Sin embargo, si el instrumento no está calibrado, debe tenerse cuidado particular con la localización y forma de las aberturas estáticas, para

que den una verdadera medida de la presión estática real a lo largo de la misma línea de flujo para la que se mide la presión de impacto.

Tipo: Pitot	Precisión: 1.5 - 4 %	Caudal: 3:1 max/min
Esacala: Raíz	Temp: max 500 C	Presión: 400 bar máx
Ventajas		
- Simple		
- Económico		
Desventajas		
- Poca precisión		
- Fluidos limpios		

Tabla 7.22 Características de los medidores de caudal de tubo de Pitot

7.4.2 POR AREA VARIABLE

Los rotámetros son medidores de caudal de area variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido. Este dispositivo a mostradao ser muy bueno para medir rangos relativamente pequeños de líquidos o gases.

Tipo: Rotámetro	Precisión: 1-2%	Caudal: 10:1 max/min
Esacala: lineal	Temp: max 250 C	Presión: 400 bar máx
Ventajas		
- Simple		
- Económico, preciso		
Desventajas		
- Rango de presión		
- Fluidos limpios, golpe anete causa daño		

Tabla 7.23 Características de los medidores de caudal de rotámetro

7.4.3 POR VELOCIDAD

El rotor está diseñado para que convierta la velocidad lineal del flujo en un equivalente de velocidad angular del rotor. Se utilizan una gran variedad de técnicas destinadas a minimizar la fricción. La señal de salida es una frecuencia, proporcional a la velocidad volumétrica del flujo. La sensibilidad de un medidor de esta naturaleza se mide en Hz/m³.

El rango de las dimensiones de las turbinas (dimensiones dadas por el diámetro interno del tubo) va desde 0.6 cm a 25 cm, diseños especiales llegan a 60 cm.

Tipo: Turbina	Precisión: 0.3 %	Caudal: 15:1 max/min
Escala: lineal	Temp: max 250 C	Presión: 200 bar máx
Ventajas		
-Preciso		
-Margen amplio		
Desventajas		
-Requiere calibración		
-Fluidos limpios, caro		

Tabla 7.24 Características de los medidores de caudal de turbina

7.4.4 POR ULTRASONIDO

Son por lo general del tipo abrazadera . La frecuencia de ultrasonidos puede acercarse al rango de los megahertz.

Estos dispositivos son utilizables tanto para gases como para líquidos, incluyendo líquidos no conductores.

Los sensores del tipo abrazadera se utilizan por lo general en instalaciones semipermanentes.

Los medidores de caudal basados en el ruido del flujo y en el desplazamiento Doppler se utilizan para la medida de caudal de sangre.

Tipo: Sónico	Precisión: 2 %	Caudal: 20:1 max/min
Esacala: lineal	Temp:max 250 C	Presión: 100 bar máx
Ventajas		
-Cualquier líquido		
-Baja Δp		
Desventajas		
-Caro		
-Requiere calibración		

Tabla 7.25 Características de los medidores de caudal sónicos

7.4.5 POR TRANSFERENCIA DE CALOR

La aplicación típica de los medidores térmicos de caudal es la medida de velocidad de masa de gases.

Los anemómetros de hilo se utilizan tanto en gases como en líquidos. El sensor se conecta a un circuito en puente de Wheatstone en el que la excitación proporciona el autocalentamiento adecuado . La pérdida de calor del sensor cuando es sumergido es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad de flujo.

Tipo: Térmico	Precisión: 1 %	Caudal: 10:1 max/min
Esacala: lineal	Temp:max 65 C	
Ventajas		
- Δp		
Desventajas		
-Caro		
-Bajo caudales		
-Para gases		

Tabla 7.26 Características de los medidores térmicos de caudal

7.4.6 POR CAMPO MAGNÉTICO

Se utilizan para medir la velocidad de fluidos conductores; sin embargo la conductividad no necesita ser muy grande; muchos dispositivos trabajan con conductividades en el orden de 5 uS/cm (microsiemens por centímetro)); algunos diseños especiales puede utilizar conductividades de hasta 0.1 uS/cm. Los diámetros de los medidores magnéticos (diámetro interno) van desde 0.25 hasta 200 cm. Para una operación adecuada es deseable que la velocidad del fluido sea menor que 10m/s ; y en el caso de los líquidos abrasivos 3 m/s.

Tipo: Magnético	Precisión: 0.5 - 1%	Caudal: 30:1 max/min
Esacala: lineal	Temp: max 150 C	
Ventajas		
-Δp		
Desvetajas		
-Caro		
-Requiere líquidos conductores		

Tabla 7.27 Características de los medidores magnéticos de caudal

7.5 SENSORES DE PRESIÓN

Las características a especificar en los transductores de presión están encabezadas por el rango y el tipo de presión de referencia (absoluta, manométrica, diferencial, diferencial sellada; y si es del tipo diferencial o manométrica, si el rango es unidireccional o bidireccional pudiendo ser simétrico o no). Cuando la aplicación lo requiere, el rango del transductor puede estar expresado en términos de altura o profundidad (de agua por ejemplo) ya que se usan estas curvas para la calibración de los transductores. En el sistema internacional (SI) la unidad de presión absoluta es el pascal (Pa).

Las características mecánicas a considerar incluyen: la configuración, el tipo de montaje, nivelado o localización de las entradas de presión y sus dimensiones pertinentes, incluyendo los tornillos de sujeción; localización y tipo de las conexiones eléctricas; fluido a medir (limitaciones en sus características físicas o químicas); tipos de sellado del transductor (por ejemplo: herméticamente sellado, a prueba de explosión, a prueba de agua); elementos sensores de aislamiento, si existen, como membranas de aislamiento o fluidos de transferencia; par de montaje o de acoplo de presiones, peso; localización y contenido de la placa de características; tipo de amortiguamiento (fluido de amortiguamiento). Si el transductor debe ser limpiado con disolvente, el fluido en la limpieza debe ser considerado como un fluido de medida. Si un transductor está sellado herméticamente se deben indicar detalles sobre el tipo de sellado. En los transductores sumergidos en agua deben considerar sellados especiales del transductor y del cable eléctrico.

Las características eléctricas incluyen: excitación máxima y nominal (tensión, corriente o ambas); impedancia de salida, y en algunos tipos de transducción también la impedancia de entrada; resistencia de aislamiento o tensión de ruptura, aislamiento eléctrica de entrada y salida; ruido de las escobillas (en los transductores potenciométricos); ruido a la salida (cuando se incorpora un amplificador en un transductor).

En algunos casos pueden darse especificaciones adicionales. En los transductores de presión diferenciales es necesario identificar las dos entradas

de presión (alto y bajo, o de medida y de referencia), así como el rango de la presión de referencia. Las conexiones eléctricas externas deben estar perfectamente indicadas, señalando su función en los conectores a través de los colores. En los transductores de presión elevada se acostumbra a especificar la presión máxima de ruptura del transductor. Los enlaces de presión dentro del encapsulado deben prever presiones que provocarían la ruptura eventual del encapsulado, convirtiendo la plataforma que transporta el conector eléctrico en un peligroso proyectil.

Los materiales de los cuales se los construye son aleaciones metálicas elásticas como el latón, el bronce , el bronce - fósforo, el cobre - berilio, el acero inoxidable, y aleaciones especiales como el Monel. Tratamiento térmicos y ciclos de presión ayudan a reducir la deriva elástica y la histéresis en los diafragmas.

7.5.1 ELEMENTOS MECANICOS / ELASTICOS

7.5.1.1 Diafragma

Los diafragmas pueden estar compuestos de un determinado número de materiales. Diafragmas metálicos o diafragmas rígidos son usados generalmente en manómetros y dispositivos de control, estos diafragmas están hechos de bronce fosforado, berilio, cobre, latón atrompetado, acero inoxidable o metal monel. Diafragmas no metálicos pueden estar hechos de seda, polietileno, neopreno, cuero, teflón y silicona. Estos diafragmas son flexibles, sin embargos son de uso limitado en sistemas de presión pequeños.

7.5.1.2 Cápsula

El diafragma que con mayor frecuencia se usa en transductores de presión es un diafragma cápsula. Este tipo de diafragma está compuesto de dos diafragmas metálicos que están conectados o unidos en los bordes. El área entre los dos diafragmas está llena con un fluido que tiene un bajo punto de solidificación, un alto punto de ebullición, baja viscosidad y un bajo coeficiente de expansión térmica. De acuerdo con la ley de Pascal, puesto que el fluido es incompresible, cualquier movimiento producido por el borde del diafragma que está expuesto al proceso, será transmitido sin disminución hacia el otro diafragma . La varilla que está unida al diafragma se moverá en respuesta al cambio de presión.

Los diafragmas cápsula son utilizados con frecuencia como dispositivos de aislamiento; y también en transmisores de control, medidores de presión y transmisores de presión diferencial.

7.5.1.3 Fuelle

Los fuelles son generalmente hechos de bronce fosforado o latón. Por lo general un extremo del fuelle está unido a la caja del transductor y el otro extremo es independiente del movimiento. Cuando la presión se aplica en el interior del fuelle, este se expande, provocando el movimiento del extremo libre. Los elementos de fuelle son más sensibles que los elementos de Burdón y pueden ser usados en niveles de presión relativamente bajos. La precisión de un elemento fuelle es aproximadamente la misma que la de un elemento de tubo de Burdón: $\pm 1.2\%$ a $\pm 1\%$ del intervalo calibrado. Sus intervalos calibrados pueden ser muy pequeños. Puesto que los elementos de presión son muy sensibles a cambios de presión pequeños, ellos pueden ser fácilmente sobredimensionados y averiados, muchos fuelles transductor tendrán topes mecánicos superiores o inferiores, que previenen al fuelle contra excesiva expansión o contracción. Además, el fuelle incluye resortes que resisten la expansión o contracción del fuelle.

Esta información se resume en la siguiente tabla:

Características de los elementos mecánicos-elásticos				
Tipo	Campo de medida	Presición	Temp.max servicio	Presión máxima
Tubo de Burdón	0,5-6000 bar	0,5-1 %	90 °C	6000 bar
Espiral	0,5-2500 bar	0,5-1 %	90 °C	2500 bar
Helicoidal	0,5-5000 bar	0,5-1 %	90 °C	5000 bar
Diafragma	50 mm cda.- 2 bar	0,5-1 %	90 °C	2 bar
Fuelle	100 mm cda.- 2 bar	0,5-1 %	90 °C	2 bar

Tabla 7.28 Características de los elementos mecánicos/elásticos

7.5.2 ELEMENTOS DE MEDICION DIRECTA

El tipo de líquido usado en un manómetro a lo largo de la longitud de la columna afectará también el rango de la presión que el manómetro pueda medir. Los manómetros de mercurio son usados típicamente para detectar e indicar las presiones más altas porque éstas toman un incremento más grande de presión al mover el mercurio una pulgada del que toma mover al agua una pulgada. Sin embargo, mientras los manómetros de agua usualmente no tienen el rango de los manómetros de mercurio, ellos son más sensibles a bajas

presiones. Por tanto, los manómetros de agua son a menudo utilizados para medir muy bajas presiones.

Sin tomar en cuenta el tipo de líquido usado en el manómetro, su gravedad específica debe ser conocida con el fin de precisar la medición. El agua tiene una gravedad específica de 1 y el mercurio una gravedad específica de 13,6. Esto significa que le toma 13,6 veces aumentar la presión para subir el mercurio una pulgada en una columna como le toma al agua subir una pulgada. Una presión de un PSI soportará el agua en una columna a una altura de 27,864 pulgadas y el mercurio en una columna a una altura de 2,036 pulgadas. Esta información se resume en la tabla siguiente:

Características de los elementos de medida directa				
Tipo	Campo de medida	Presición	Temp. max. servicio	Presión máxima
Barómetro cubeta	0,1-3 m cda	0,5-1 %	ambiente	6 bar
Tubo en U	0,2-1,2 m dca	0,5-1 %	ambiente	10 bar
Tubo inclinado	0,01-1,2 m cda	0,5-1 %	ambiente	10 bar
Manómetro campana	0,005-1 m cda	0,5-1 %	90 °C	atmosférica

Tabla 7.29 Características de los elementos de medición directa

7.5.3 TRANSDUCTORES ELECTROMECHANICOS

7.5.3.1 Transductor resistivo

Este transductor utiliza generalmente un circuito puente de Wheatstone en el cual uno de los resistores del puente es reemplazado por un potenciómetro (elemento de resistencia variable: alambre devanado con una ranura movible en esta) .La ranura es conectada a algún tipo de elemento sensitivo de presión.

Este sensor tiene una respuesta limitada a los cambios de presión. Los pulsos de presión pueden causar daños al dispositivo.

Tipo: resistivo	Precisión: 1 %	Temp.máx: 80 C
Rango: 0-0.1 a 0-300 bar		
Ventajas - Simple, elevada salida, independiente de la temperatura y la aceleración		
Desventajas - Insensible a pequeños movimientos, muy sensible a vibraciones, mala estabilidad		

Tabla 7.30 Características del transductor resistivo para medir presión

7.5.3.2 TRANSDUCTORES MAGNÉTICOS

7.5.3.2.1 Transductor inductivo

En diseños clásicos se utiliza un diafragma de material magnético y su movimiento se utiliza para variar la posición del núcleo férreo sobre el que está arrollado el devanado, proporcionando así cambios de inductancia.

Los transductores de presión inductivos son menos utilizados que los transductores de presión reluctivos.

Tipo: Inductancia	Precisión: 0.5 %	Temp.máx: 80 C
Rango: 0-0.1 a 0-300 bar		
Ventajas - No hay rozamiento, respuesta lineal - De pequeño tamaño - No requiere ajustes críticos		

Tabla 7.31 Características del transductor inductivo para medir presión

7.5.3.2.2 Transductor reluctivo

Incluyen dos tipos principales: el transformador diferencial y el puente de inductancia de dos devanados. El primero utiliza cápsulas, fuelles o tubos de Burdón como elementos sensores.

Algunos transductores de presión del tipo puente de inductancia incorporan circuitos que permiten alimentar el transductor mediante una tensión c.c.

proporcionando tensiones de salida c.c. Los elementos que lo constituyen proporcionan voltajes de 0 a 5 V (o de 0 a 10 V) y corrientes de 4 a 20 mA; si el elemento sensor es un tubo de Burdón trenzado , es [posible tener un rango de presiones de 0 a 35 kPa (50 psi) y de 0 a 35 MPa (5000 psi).

os tubos de Burdón en forma de C o en U se utilizan para la medida de presiones en rangos con límite superior de hasta 3.5 MPa (500 psi).

Tipo: reluctivo	Precisión: 1 %	Temp.máx: 80 C
Rango: 0-0.1 a 0-300 bar		
Ventajas		
- No hay rozamiento		
- Estabilidad media en el tiempo		

Tabla 7.32 Características del transductor reluctivo para medir presión

7.5.3.3 TRANSDUCTOR CAPACITIVO

Estos transductores se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. Ya que su señal de salida es débil esta requiere de amplificación. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a la aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de c.a. a los que están acoplados. Produce grandes cambios de capacitancia con pequeños movimientos, efectos mínimos de autocalentamiento, histérisis mínima debido a la fricción interna.

Tipo: capacitivo	Precisión: 1 %	Temp.máx: 150 C
Rango: 0,05 -5 a 0.05 - 600 bar		
Ventajas		
-Pequeños, amplio rango		
-Para medidas estáticas y dinámicas		
Desvetajas		
-Salida débil, necesita ajustes, sensible a temperatura y aceleraciones transversales		

Tabla 7.33 Características del transductor capacitivo para medir presión

7.5.3.4 POR GALGA EXTENSIOMETRICA

7.5.3.4.1 Cementada

En estos sensores, los pequeños alambres o piezas e hojas de metal son pegadas a una pieza de material con adhesivo. Un medidor de este tipo es pegado a una parte movable de un elemento sensitivo mecánico. Si está conectado a una diafragma, la deflexión del mismo altera la resistencia del medidor y desbalancea el puente asociado.

Los elementos medidores de este tipo son ideales al hablar de medidas dinámicas. Ofrecen una respuesta rápida, baja impedancia de fuente, una mínima señal mecánicas, también una pequeña medida y peso. Los circuitos asociados trabajan igualmente bien con AC o DC.

Las desventajas incluyen una pérdida de exactitud en uso debido a la histéresis.

Tipo:	Precisión:	Temp.máx:
Cementada	0.5 %	120 C
Rango:		
0-0.5 a 0-3000 bar		
Ventajas		
-Se alimenta con cc o ca		
-Excelente respuesta frecuencial		
-Mmedidas estáticas y dinámicas		
-Insensible a campos magnéticos		
-Fácil compensación de temperatura		
Desvetajas		
-Señal de salida débil		
-Pequeño movimiento de la galga		
-Alta sensibilidad a vibraciones		
-Estabilidad dudosa a lo largo del tiempo		

Tabla 7.34 Características de la galga cementada para medir presión

7.5.3.4.2 No Cementada

El elemento estacionario y la armadura movable tienen pasadores aislados que soportan una serie de alambres pequeños, que son conectados de manera que responden a cambios de presión. La armadura movable de este sensor está conectado a un elemento mecánico sensible, tal como un fuelle o un diafragma.

Ofrecen una alta sensibilidad y exactitud moderada (corta sensibilidad térmica del 1%). Por histéresis las compuertas sin unión deben ser frecuentemente recalibradas.

Los elementos medidores de este tipo son ideales al hablar de medidas dinámicas. Ofrecen una respuesta rápida , baja impedancia de fuente, una mínima señal mecánica, también un pequeño tamaño y peso. Los circuitos asociados trabajan igualmente bien con AC o DC.

Las desventajas incluyen una pérdida de exactitud en uso debido a la histéresis.

Tipo:	Precisión:	Temp.máx:
No cementa.	1 %	120 C
Rango:		
0-0.01 a 0-600 bar		
Ventajas		
-Se alimenta con cc o ca		
-Excelente respuesta frecuencial		
-Medidas estáticas y dinámicas		
-Insensible a campos magnéticos		
-Fácil compensación de temperatura		
Desventajas		
- Señal de salida débil		
-Pequeño movimiento de la galga		
-Alta sensibilidad a vibraciones		
-Estabilidad dudosa a lo largo del tiempo		

Tabla 7.35 Características de la galga no cementada para medir presión

7.5.3.4.3 Con Si difundido

Los sistemas actuales utilizan galgas de plancha metálica. Las galgas de película metálica depositada (película delgada) tienen un impulso cada vez mayor. Se utilizan también galgas semiconductoras (sobretudo galgas difundidas directamente sobre un diafragma de silicio). El diafragma es el elemento sensor más comúnmente utilizado en este tipo de transductores. Las galgas están aplicadas directamente sobre el diafragma.

Se requiere por lo general resistencias de compensación y ajuste.

Las galgas extensiométricas semiconductoras se utilizan de la misma manera que las galgas metálicas, utilizando técnicas de conexionado especiales, estas galgas proporcionan una sensibilidad mucho mayor y por tanto una tensión a la salida del puente mucho mayor que las galgas metálicas de hilo, sin embargo la compensación de temperatura es más crítica.

Los sensores de presión difundidos integralmente han sido desarrollados y producidos por una amplia variedad de rangos de operación (entre 25 kPa y 200 MPa), y diversas configuraciones.

Tipo:	Precisión:	Temp.máx:
Si difundido	0.3 %	107 C
Rango:		
0-2 a 0-600 bar		
Ventajas		
-Se alimenta con cc o ca		
-Medidas estáticas y dinámicas		
-Insensible a campos magnéticos		
-Fácil compensación de temperatura		
-Está en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios		

Tabla 7.36 Características del Si difundido para medir presión

7.5.3.5 POR ELEMENTOS PIEZOELECTRICOS

Son utilizados en aplicaciones en las que se requiere una elevada respuesta de frecuencia (hasta 500 KHz) o en donde se requiere un pequeño tiempo de respuesta. Los cristales piezoeléctricos son fabricados de cuarzo o de una variedad de mezclas cerámicas. Los cristales de cuarzo son utilizables hasta temperaturas de alrededor de 350 °C. La temperatura límite del cristal cerámico es el punto de Curie, cuando es calentado por encima de este punto pierde sus características piezoeléctricas. Los rangos de presión se extienden hasta 150 MPa. Los rangos de 50 o 100 MPa son los más comunes. Estos transductores existen en una gran variedad de aplicaciones y configuraciones.

Tipo:	Precisión:	Temp. máx:
Piezoeléctric	1 %	30 C
Rango:		
0.1 - 600 bar		
Ventajas		
Pequeño, ligero, respuesta lineal, gran capacidad de respuesta dinámica		
Desventajas		
Sensible a la temperatura, señal débil, require ajustes de impedancias		

Tabla 7.37 Características de elementos piezoeléctricos para medir presión

En la tabla siguiente se presenta las principales características de los transductores electromecánicos:

Características de los transductores electromecánicos				
Tipo	Impedancia de salida	Nivel de salida	Sensibilidad a vibraciones	Estabilidad en el tiempo
Resistivo	0-res.total	Variac.res	alta	Mala
Magnéticos:				
Inductancia variable	2kohm	0-5 V	alta	Media
Reluctancia variable	2kohm	0-5 V	alta	Media
Capacitivo	5kohm	0-5 V	media	Media
Galgas				
Cementadas	350 ohm	35mV	alta	Mala
Sin cementar	350 ohm	35mV	alta	Mala
Silicio difundido	600 ohm	2-10 V	despre.	Muy buena
Piezoeléctricos	1000 Mohm	600 mV/bar	Baja	Mala

Tabla 7.38 Características de los transductores electromecánicos

7.6 SENSORES DE NIVEL

7.6.1 POR PRESION

7.6.1.2 Membrana

Tipo: Membrana	Precisión: 1 %	Campo: 0 - 25 m
Presión: máx atm	Temp: max 60 C	
Ventajas - Barato		
Desventajas - Tanques abiertos		

Tabla 7.39 Características de la membrana para medir nivel

7.6.1.1 Presión diferencial

Tipo: P. diferencial	Precisión: 0.15% a 0.5%	Campo: 0.3 m
Presión: máx 150 bar	Temp: max 200 C	
Ventajas - Intefase líquido		
Desventajas - Posible agarrotamiento		

Tabla 7.40 Características del sensor por presión diferencial para medir nivel

7.6.2 POR FLOTADOR

Cuando el interior del tanque no es accesible se utilizan sensores conectados al tanque a través de una conducción. Los sensores directamente inmersos pueden ser utilizados desde la parte superior o desde la parte inferior. Un flotador puede tener limitada su trayectoria cerca de la parte superior o cerca de la parte inferior. Se puede utilizar varios flotadores de trayectoria limitada en puntos intermedios, existiendo a lo largo del tubo un relé para cada flotador. En los montajes laterales se utilizan flotadores cilíndricos o esféricos.

Tipo: Flotador	Precisión: 1 - 2 %	Campo: 0-10 m
Presión: máx 400 bar	Temp: max fluido 250 C	
Ventajas		
- Simple		
- Independiente de la naturaleza del líquido		
Desventajas		
- Posible agarrotamiento		

Tabla 7.41 Características del flotador para medir nivel

7.6.3 POR CONDUCTIVIDAD

Se utilizan para sensar el nivel de líquidos conductores. La pared del tanque forma normalmente un camino conductor de manera que se detecta la resistencia entre la pared del tanque y el punto de inmersión. Se utiliza metales como acero inoxidable o titanio como electrodos-varilla. La parte superior de la varilla se sujeta con materiales aislantes como vidrio, cerámica, o plástico. La sonda se conecta por lo general como un brazo de un puente de c.a. de Wheatstone. El puente se ajusta para seguir la conductividad del líquido.

La corriente de paso del líquido debe ser pequeña para evitar la electrólisis o explosiones potenciales. Las sondas requieren ser limpiadas frecuentemente.

Tipo: Conductivo	Campo: limitado
Presión: máx 80 bar	Temp: max 200 C
Ventajas - Versátil	
Desventajas - Requiere líquido conductor	

Tabla 7.42 Características del sensor conductivo para medir nivel

7.6.4 POR CAPACITANCIA

La capacidad aumenta al aumentar el nivel del líquido, cuya constante dieléctrica es mayor que el aire u otro gas al que reemplaza.

Una única sonda en forma de varilla metálica (por lo general de acero) aislada de la cabeza de montaje se puede sumergir verticalmente en el tanque actuando como un electrodo de un condensador cuando las paredes del tanque son conductoras y el fluido a medir tiene una razonablemente alta constante dieléctrica; cuando las paredes del tanque no son conductoras o la constante dieléctrica es baja, la varilla se monta en el interior de un tubo que actúa como segundo electrodo. Este tubo está parcialmente ranurado o perforado.

Dependiendo de la constante dieléctrica, puede ser necesario el uso de dos o cuatro tubos. Cuando el medio es hostil, se usa una sonda en el interior de un protector. Las sondas de punto de nivel se colocan frecuentemente de manera lateral. El diseño de la sonda, el material y el acabado deben minimizar la adherencias.

El elemento de capacidad formado por la sonda o sondas se conecta como un brazo de un circuito en puente de impedancias, excitado por una tensión de ca de frecuencia entre 400 Hz y 10khz.

Tipo: Capacitivo	Precisión: 1 %	Campo: 0.6 m
Presión: máx 80 - 250 bar	Temp: max 200 C 400 C	
Ventajas - Resistencia corrosión		
Desventajas - Recubrimiento del electrodo		

Tabla 7.43 Características del sensor capacitivo para medir nivel

7.6.5 POR TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es más rápida al tratarse de líquidos que de gases. Para la aplicación de este principio se puede utilizar termistores con suficiente corriente como para producir autocalentamiento. Al pasar del contacto con el aire (o gas) al contacto con el líquido, su resistencia cambia súbitamente, lo cual puede ser detectado por medio de un puente. En algunas aplicaciones, se pueden utilizar sondas formadas por hilo arrollado alrededor de un tubo hueco o de una lámina en forma de rejilla soportada por elementos aislantes. Las sondas de hilo caliente pueden conectarse a un puente de Wheatstone o pueden ser existadas a corriente constante de manera que cambios en la resistencia se traducen en cambios de tensión.

7.6.6 POR OSCILACION AMORTIGUADA

Un ejemplo común es el siguiente: el elemento vibrante consiste en un pequeño remo soportado por dos finas varillas que hacen palanca sobre unos puntos nodales (puntos de mínima amplitud de oscilación). Una de las varillas se acciona para provocar la oscilación del remo. La otra varilla está conectada a un transductor de desplazamiento, que detecta la reducción de la amplitud de la oscilación cuando el remo que sumergido por el líquido y proporciona una

señal de salida apropiada. La frecuencia de oscilación que se encuentra en el rango bajo de las frecuencias audibles puede ser la frecuencia de red.

7.6.7 POR ULTRASONIDO

Estos sensores utilizan tres métodos que son: cavidad resonante, oscilación amortiguada, camino sónico. En cualquiera de los tres casos su frecuencia de operación está en el rango ultrasónico.

Los sensores especialmente diseñados para el método de cavidad resonante son relativamente raros, y se utilizan para aplicaciones muy especiales.

Tipo: Ultrasónico	Precisión: 0.5 - 2 %	Campo: 0.3 m
Presión: máx 400 bar	Temp: max 150 C	
Ventajas		
- Todo tipo de tanques		
- Todo tipo de líquidos		
Desventajas		
- Sensible a densidad		

Tabla 7.44 Características del sensor ultrasónico para medir nivel

CAPITULO: 8

Diseño de acondicionadores

8.1 INTRODUCCIÓN

La amplia variedad de sensores necesarios para transformar la amplia variedad de variables de sistemas de control de procesos en señales eléctricas analógicas producen una igualmente amplia variedad de señales características.

El acondicionamiento de una señal se refiere a las operaciones realizadas sobre tales señales para convertirlas a una forma adecuada para interactuar con otros elementos en el lazo de control de procesos.

En este capítulo nos centramos en las conversiones analógicas, donde la salida acondicionada todavía es una representación analógica de la variable de interés.

Aún en aplicaciones que implican un procesamiento digital, algún tipo de acondicionamiento analógico usualmente es necesario antes de realizar la conversión analógico a digital.

8.2 PRINCIPIOS DE ACONDICIONAMIENTO ANALÓGICO

El acondicionamiento analógico de señales suministra aquellas operaciones necesarias para transformar la salida del sensor a una forma adecuada para interactuar con otro elemento del lazo de control de procesos.

8.2.1 Cambios en el nivel de la señal

La forma más simple de acondicionamiento de una señal es cambiar el nivel o amplitud de la misma. El ejemplo más común es la necesidad de amplificar o de atenuar un nivel de voltaje. Generalmente, en las aplicaciones de control de procesos se operan con señales continuas o con señales que varían muy lentamente con la frecuencia, de manera que se pueden utilizar amplificadores de bajas frecuencias.

Un factor importante en la selección de un amplificador es la impedancia de entrada que este ofrece al sensor (o cualquier otro dispositivo que actúe como entrada). En el control de procesos, las señales son siempre representativas de una variable del proceso, y cualquier efecto de carga obscurece la correspondencia entre la señal medida y el valor de la variable.

8.2.2 Linealización

A menudo sucede que la relación entre la salida y la entrada en un sensor es no lineal. Aún en aquellos dispositivos que son aproximadamente lineales pueden presentarse problemas cuando es necesario una medida precisa de la variable. Una de las funciones del acondicionamiento analógico de señales es linealizar la respuesta de un transductor. La linealización puede obtenerse de un amplificador cuya ganancia sea una función del nivel del voltaje de entrada, para linealizar la variación en todo el rango del voltaje de entrada en el voltaje de salida.

8.2.3 Conversiones

A menudo el acondicionamiento de una señal se utiliza para convertir un tipo de variación eléctrica en otra. Así, una gran clase de sensores produce cambios de resistencia con cambios de una variable dinámica. En estos casos es necesario emplear un circuito para convertir un cambio de resistencia a un cambio de voltaje o corriente de salida. Esto se consigue generalmente mediante puentes cuando el cambio fraccional de resistencia es pequeño, o mediante amplificadores cuya ganancia varíe con la resistencia.

8.2.4 Transmisión de señales

Un importante tipo de conversión está asociado al control de procesos, en lo referente a la transmisión estandar de señales por un conductor, con niveles de corriente de 4 - 20 mA. Esto da la necesidad de convertir niveles de resistencia y de voltaje a un nivel apropiado de corriente en el terminal de transmisión y convertir luego la corriente en voltaje en el terminal de recepción. La transmisión de corriente se utiliza debido a que tales señales son independientes de las variaciones de la carga. De manera que convertir voltaje a corriente y corriente a voltaje es a menudo requerido.

8.2.5 Filtrado y acoplamiento de impedancias

Otras dos formas de acondicionamiento de señal requeridas son el filtrado y el acoplamiento de impedancias.

En muchos casos es necesario emplear filtros pasa alto, pasa bajo, o pasa banda para eliminar las señales indeseables de los lazos de control. Este filtrado puede obtenerse mediante filtros pasivos que empleen únicamente

resistencias, bobinas y condensadores, o bien filtros activos, que empleen ganancia y retroalimentación.

El acoplamiento de impedancias es un elemento importante en el acondicionamiento de señales, cuando la impedancia interna del transductor o la impedancia de la línea pueda producir errores en la medida de una variable dinámica. Tanto redes activas como redes pasivas se utilizan para conseguir este acoplamiento.

8.3 CIRCUITOS PASIVOS

Puentes y circuitos divisores son dos técnicas pasivas de medición que han sido ampliamente utilizadas en el acondicionamiento de señales por muchos años. Aunque circuitos activos modernos reemplazan estas viejas técnicas, existen todavía muchas aplicaciones en las cuales sus ventajas particulares los hacen útiles.

8.3.1 Circuito divisor

El divisor que se muestra a continuación es usado para convertir una variación de resistencia en una variación de voltaje:

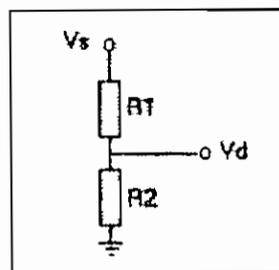


Figura 8.1 Divisor de voltaje

El voltaje de salida de este divisor es:

$$V_d = \frac{R_2 * V_s}{R_1 + R_2}$$

Donde:

V_s = voltaje suministrado

R_1, R_2 = resistores divisores

R1 o R2 pueden ser transductores cuya resistencia varía con alguna variable medida.

Es importante considerar los siguientes aspectos cuando se emplea un divisor para la conversión de un cambio de resistencia a un cambio de voltaje:

1. La variación de V_o con R1 y R2 es no lineal. Aún si las resistencias varían linealmente con la variable medida, el divisor de voltaje no variará linealmente.
2. La impedancia efectiva de salida del divisor es la combinación en paralelo de R1 y R2 . Esta no debe ser necesariamente alta , de manera que efectos de carga deben ser considerados.
3. En un circuito divisor, la corriente circula a través de las resistencia, de manera que cierta potencia será disipada en ambas resistencia, incluyendo el transductor. Esta disipación de potencia debe ser considerada.

8.3.2 Puentes

Los puentes son circuitos pasivos empleados a menudo para medidas de impedancia por medio de una técnica de igualamiento de potencial.

Los circuitos en puente son principalmente empleados como medios exactos para medir cambios de impedancia. Estos circuitos son particularmente útiles cuando se producen cambios fraccionales de impedancia muy pequeños.

En este caso un conjunto de impedancias exactamente conocidas se ajustan en valor en relación a una incógnita hasta alcanzar una condición en la cual la diferencia de potencial entre dos puntos del puente es cero. Esta condición define una ecuación utilizada para determinar la impedancia desconocida. Una ventaja distintiva de este método es que se basa en alcanzar esta condición nula o de balance (cero voltaje o cero corriente), en oposición a una medida absoluta.

Por lo general es más fácil refinar y mejorar esta técnica para la detección de una condición nula que para mediciones con algún otro valor específico. Esto

deja a la exactitud de la medida predominantemente de la exactitud con que la impedancia desconocida ha sido determinada.

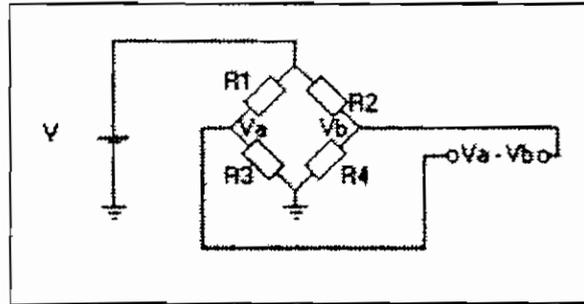


Figura 8.2 Puente de Wheatstone básico

$$\Delta V = V_a - V_b$$

V_a : potencial del punto a respecto al punto c

V_b : potencial del punto b respecto al punto c

$$V_a = \frac{V * R_3}{R_1 + R_3}$$

$$V_b = \frac{V * R_4}{R_2 + R_4}$$

$$\Delta V = \frac{V * R_3}{R_1 + R_3} - \frac{V * R_4}{R_2 + R_4}$$

$$\Delta V = \frac{R_2 * R_3 - R_1 * R_4}{(R_1 + R_3) * (R_2 + R_4)} * V$$

De aquí se desprende que para tener una diferencia de potencial igual a cero entre los puntos a y b, es necesario que:

$$R_2 * R_3 = R_1 * R_4$$

8.4 CIRCUITO ACTIVO

8.4.1 Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es de los más útiles, precisos y versátiles disponibles en la actualidad. Está hecho de tres amplificadores operacionales y siete resistencias, como se muestra en la figura 8.3 .

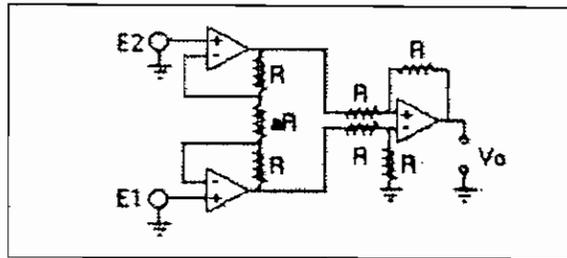


Figura 8.3 Amplificador de instrumentación

El amplificador operacional A3 y sus cuatro resistencias iguales R forman un amplificador diferencial con una ganancia unitaria. Sólo las resistencia de A3 tienen que igualarse. La resistencia aR es una resistencia variable que permite eliminar cualquier voltaje en modo común.

Como puede verse en la siguiente expresión, en esta configuración una sola resistencia debe modificarse para establecer la ganancia.

$$V_o / (E_1 - E_2) = 1 + 2/a = G$$

E1 se aplica a la entrada (+) y E2 se aplica a la entrada (-). Vo es proporcional a la diferencia entre los dos voltajes de entrada.

Sus características son las siguientes:

1. La ganancia de voltaje se establece con una resistencia
2. La resistencia de entrada de ambas entradas es muy elevada, la cual se mantiene constante aunque varíe la ganancia.
3. Vo solo depende de la diferencia entre E1 y E2.

8.5 DISEÑO DE UN CIRCUITO CON TERMOCUPLAS

Funcionamiento

El circuito consta de 3 partes: el transductor (en este caso un termopar), un circuito puente, y un amplificador de instrumentación.

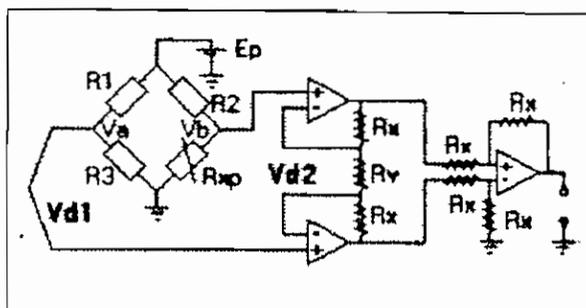


Figura 8.4 Circuito acondicionador para termocuplas

La temperatura es captada por el termopar, el cual la transforma en señal de voltaje (en el orden de los mV); en el conductor positivo del termopar se coloca un compensador de voltaje para proporcionar al amplificador de instrumentación una señal de entrada cuyo valor mínimo sea 0V, y obtener así, a la salida del acondicionador un voltaje cuyo rango empiece en 0V.

Diseño

El diseño está desarrollado de manera tal que el usuario proporciona información sobre el tipo de termopar a utilizar, el rango de temperatura operativo, y el voltaje que requiere a la salida, este puede ser: 0-5 V, 0-10 V, 0-dato .

Se definen:

T0: temperatura mínima del rango de operación

T1: temperatura máxima del rango de operación

Vd1: voltaje generado por el termopar a una temperatura T entre T0 y T1

Vc: voltaje de compensación proporcionado por el puente de resistencias

Vd2: voltaje a la entrada del amplificador de instrumentación

V0: voltaje a la salida del amplificador de instrumentación

Ep: fuente utilizada para el puente

R1,R2,R3,Rxp: resistencias del puente

Como: $V_{d2} = V_{d1} - V_c$

entonces: $V_{d2min} = V_{d1min} - V_c$

Si $V_{d2min} = 0 \implies V_c = V_{d1min}$

Osea que:

$V_c = V_a - V_b = V_{d1min}$, para que esto se cumpla, resolviendo las ecuaciones del puente de Wheatstone se tiene que:

$$R_{xp} = \frac{R_2 * R_3 * E_p - V_c * R_3 * R_2 - V_c * R_1 * R_2}{V_c * (R_3 + R_1) + R_1 * E_p}$$

(Con esto se logra que V_{d2min} sea igual a 0 V, es decir, el puente está equilibrado)

Dado que V_c está en el orden de los mV, se establece:

$$E_p = 0.5$$

$$R_1 = 56\Omega$$

$$R_2 = 100\Omega$$

$$R_3 = 120\Omega$$

De esta forma la salida mínima de voltaje del circuito acondicionador es igual a cero.

Para obtener la salida máxima del circuito acondicionador (V_o) ,se calcula la ganancia requerida para amplificar V_{d2max} :

$$G = \frac{V_o}{V_{d2max}}$$

Se sabe que $V_{d2max} = V_{d1max} - V_c$

V_{d1min} y V_{d1max} son calculados por el programa simulando las termocuplas con el uso de modelos matemáticos.

Esto se muestra en el anexo A: modelación (pag.2 - pag.8), simulación (pag.8 - pag.16)

Se conoce que la ganancia del amplificador de instrumentación es:

$$G = 2/a1 + 1$$

de donde:

$$a1 = \frac{2}{G - 1}$$

Dado que: $Rv = a1 * Rx$, una vez conocido el valor de $a1$, el programa busca un valor estandarizado adecuado para Rx , para luego calcular Rv .

Con lo cual quedan conocidos todos los elementos del circuito.

El programa que realiza el diseño se encuentra en el anexo A: pag. 17- pag.27

Los datos de entrada se presentan así:

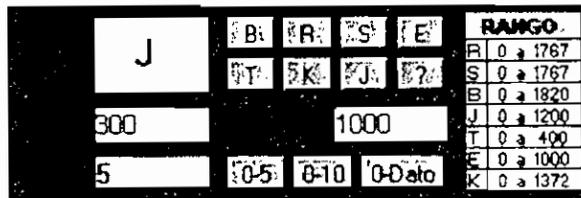


Figura 8.5 Datos de entrada para el circuito de la figura 8.4

Los datos de salida se presentan así:

Ep	0.5	Rx	20000
R1	56	Rv	335.73
R2	100	G	120.143
R3	120	Rxp	185.037
Vd1min	1.632510968761983e-002		
Vd1max	5.794209025999991e-002		
Vd2max	4.161698057238009e-002		

Tabla 8.1 Datos de salida para el circuito de la figura 8.4

El programa que proporciona los datos a al esquema se halla en el anexo A: pag.28

El circuito con los valores respectivos se presenta así:

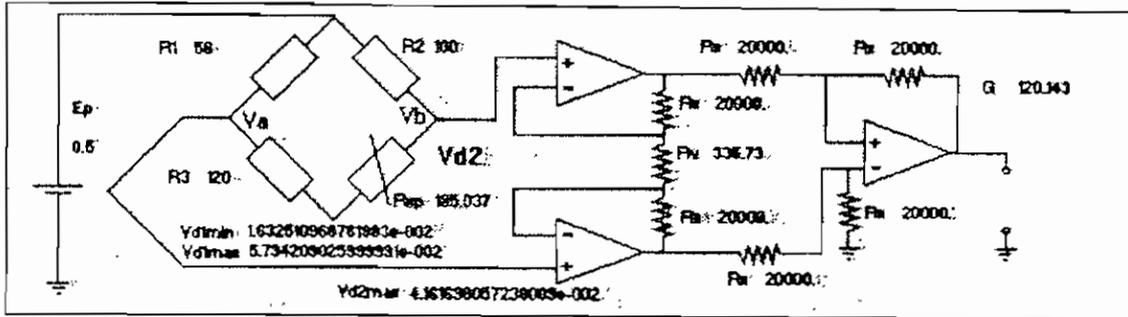


Figura 8.6 Circuito con valores para el circuito de la figura 8.4

El programa que perporciona el circuito con valores se halla en el anexo A: pag.29 .

La respuesta del sensor (X función de Y) se presenta así:

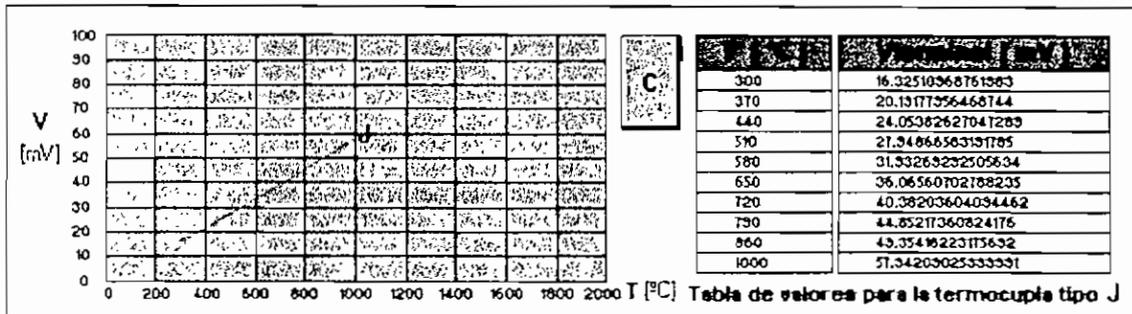


Figura 8.7 Respuesta del sensor para el circuito de la figura 8.4

El programa X función de Y se halla en el anexo A: pag.30 - pag. 42 .

Este programa toma T0 , T1 y saca $DT=(T1-T0)/10$; con estos 10 puntos de T calcula luego por modelación y simulación la fem correspondiente en el termopar.

8.6 DISEÑO DE UN CIRCUITO CON RTD

Funcionamiento

El circuito consta de 3 partes: transductor (en este caso un RTD), un circuito puente, y un amplificador de instrumentación.

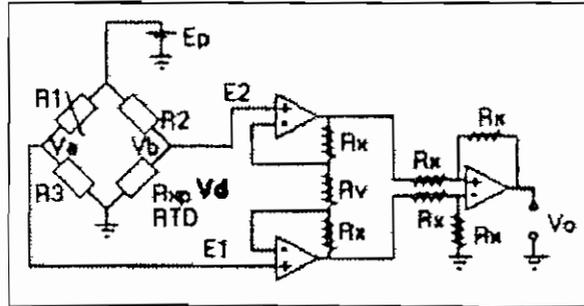


Figura 8.8 Circuito acondicionador para termómetros de resistencia

La temperatura es captada por el RTD. Los cambios en la temperatura son convertidos a cambios en resistencia por el RTD, y estos a cambios de voltaje en el puente de Wheatstone. En este puente hay una resistencia variable R_1 que permite balancear el puente y entregar así al amplificador de instrumentación un voltaje mínimo igual a 0 V, con lo cual la salida del acondicionador tendrá un rango cuyo valor mínimo será 0V.

Diseño

El diseño está desarrollado de manera tal que el usuario proporciona información sobre el tipo de RTD a utilizar, el rango de temperatura operativo, y el voltaje que requiere a la salida, este puede ser: 0-5 V, 0-10 V, 0-dato .

Se definen:

T_0 : temperatura mínima del rango de operación

T_1 : temperatura máxima del rango de operación

V_d : voltaje diferencial entre V_a y V_b . Es el voltaje de entrada al amplificador de instrumentación

V_0 : voltaje a la salida del amplificador de instrumentación
[voltage a la salida del acondicionador]

E_p : fuente utilizada para el puente

Entonces:

$$V_d = V_a - V_b$$

R_{xpmin} : resistencia del RTD a T_0

R_{xpmax} : resistencia del RTD a T_1

R_{xpmin} y R_{xpmax} : son calculados por el programa, simulando los RTD usando modelos matemáticos basados en polinomios de Legendre. Este programa se halla en el anexo B: modelación (pag. 44 - pag.45) , simulación (pag. 46 - 53) .

Para evitar que la ganancia del amplificador de instrumentación sea muy elevada, se establece, en voltios:

$$E_p = 10$$

Para que el voltaje de salida del puente sea igual a cero cuando se tiene un valor mínimo en la resistencia del sensor (es decir a T_0), es preciso que el puente esté balanceado, esto se consigue haciendo:

$$R_1 = \frac{R_2 * R_3}{R_{xpmin}}$$

Dependiendo del RTD utilizado, el programa establece los valores apropiados para R_2 y R_3 , así:

Si el RTD es Pt100, se establece:

$$R_2 = 300$$

$$R_3 = 300$$

Si el RTD es Pt500, se establece:

$$R_2 = 1200$$

$$R_3 = 1200$$

Si el RTD es Pt1000, se establece:

$$R_2 = 2000$$

$$R_3 = 2000$$

La diferencia máxima de voltaje a los terminales del puente se tiene cuando R_x es máxima, por consiguiente:

$$V_{d_{max}} = \frac{R_2 * R_3 - R_1 * R_{xp_{max}}}{(R_1 + R_3) * (R_2 * R_{xp_{max}})} * E_p$$

Para obtener la salida máxima del circuito acondicionador (V_o), se calcula la ganancia requerida para amplificar $V_{d_{max}}$:

$$G = \frac{V_o}{V_{d_{max}}}$$

De acuerdo a lo analizado en la sección anterior, se tiene:

$$a1 = \frac{2}{G-1}$$

Una vez conocido el valor de $a1$, el programa busca un valor adecuado para R_x , luego se aplica:

$$R_v = a1 * R_x$$

Con lo cual quedan conocidos todos los elementos del circuito.

Los datos de entrada se presentan así:

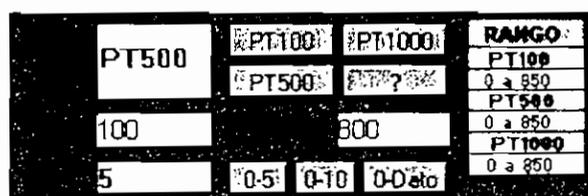


Figura 8.9 Datos de entrada para el circuito de la figura 8.8

Los datos de salida se presentan así:

Ep	10	Rx	4700
R1	2079.427	Rv	8975.489
R2	1200	G	2.047
R3	1200		
Rxpmin	692.498		
Rxpmax	1878.044		
Vdmax	2.442244877311414		

Tabla 8.2 Datos de salida para el circuito de la figura 8.8

El programa que proporciona los datos de salida a esquema se halla en el anexo B: pag. 60 .

El circuito con los valores respectivos se presenta así:

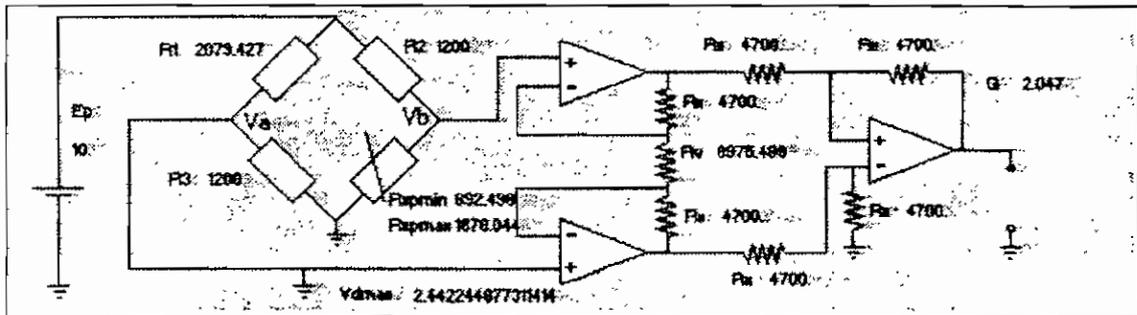


Figura 8.10 Circuito con valores para el circuito de la figura 8.8

El programa que presenta al circuito con los valores respectivos se halla en el anexo B: pag. 61

La respuesta del sensor (X función de Y) se presenta así:

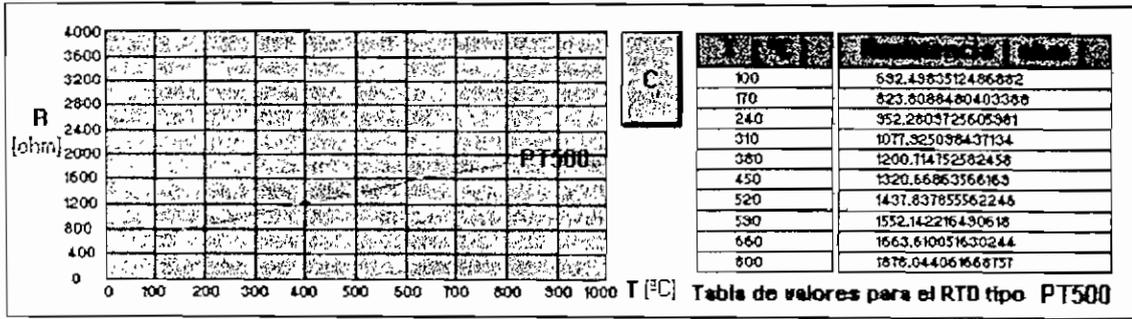


Figura 8.11 Respuesta del sensor para el circuito de la figura 8.8

El programa X función de Y se encuentra en el anexo B: pag. 62 - pag 69. Este programa toma T0, T1 y saca $DT=(T1-T0)/10$, luego calcula para estos 10 puntos por modelación y simulación los valores correspondientes al RTD.

8.7 DISEÑO DE UN CIRCUITO CON TERMISTORES

Funcionamiento

El circuito consta de dos partes: un circuito puente donde se encuentra el transductor (en este caso un termistor) y un amplificador no inversor. Este circuito muestra como un circuito puente convertir una cambio en la resistencia de un transductor en un cambio de voltaje.

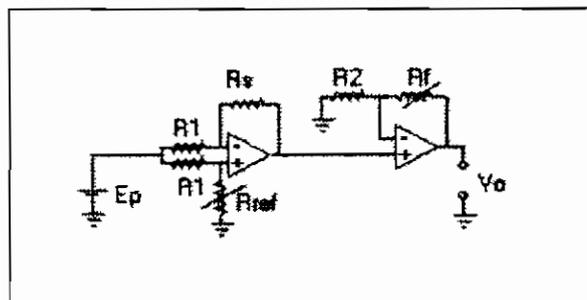


Figura 8.12 Circuito acondicionador de termistores

En definitiva, lo que este circuito hace es medir la temperatura entregando una señal de voltaje.

Diseño

El diseño está desarrollado de manera tal que el usuario proporciona información sobre el tipo de termistor a utilizar, el rango de temperatura operativo, y el voltaje que requiere a la salida, este puede ser: 0-5 V, 0-10 V, 0-dato .

Se definen:

T0: temperatura mínima del rango de operación

T1: temperatura máxima del rango de operación

Rs: resistencia del termistor a una temperatura T entre T0 y T1

Rref: resistencia variable del puente

Ep: fuente usada para el puente

Rsmax: resistencia del termistor a una temperatura T0

Rsmín: resistencia del termistor a una temperatura T1

Rsmax y Rsmín son calculados por el programa en base a una matriz de valores de resistencia y temperatura. Este programa se encuentra en el anexo C: pag.71

$$\Delta R_{s_{max}} = R_{s_{max}} - R_{s_{min}}$$

$$R_{ref} = R_{s_{max}}$$

Conocido el valor de Rref, el programa busca un valor para R1.

$$Vol_{max} = \frac{Ep * \Delta R_{s_{max}}}{R1 + R_{ref}}$$

Dado que la ganancia que se requiere para un voltaje de salida Vo es:

$$G = \frac{Vo}{Vol_{ma}}$$

Conocido el valor de G, el programa busca un valor para R2 .

Luego, aplicando la expresión de ganancia al amplificador no inversor, se tiene:

$$R_f = R_2 * \frac{V_o}{V_{o1_{max}}} - R_2$$

Con lo cual quedan conocidos todos los elementos del circuito.

Los datos de entrada se presentan así:

44034	44033	44034	RANGO
20	60		44033
5	0.5	0.10	0 a 70
		0.010	44034
		0.010	0 a 70

Figura 8.13 Datos de entrada para el circuito de la Figura 8.12

Datos de salida se presentan así:

Ep	117	R2	4700
R1	7500	Rf	59872.157
Rref	6247	G	13.739
Rmin	1244		
Rmax	6247		

Tabla 8.3 Datos de salida para el circuito de la Figura 8.12

El programa que proporciona los datos de salida al esquema se halla en el anexo C: pag.77 .

El circuito con los valores respectivos se presenta así:

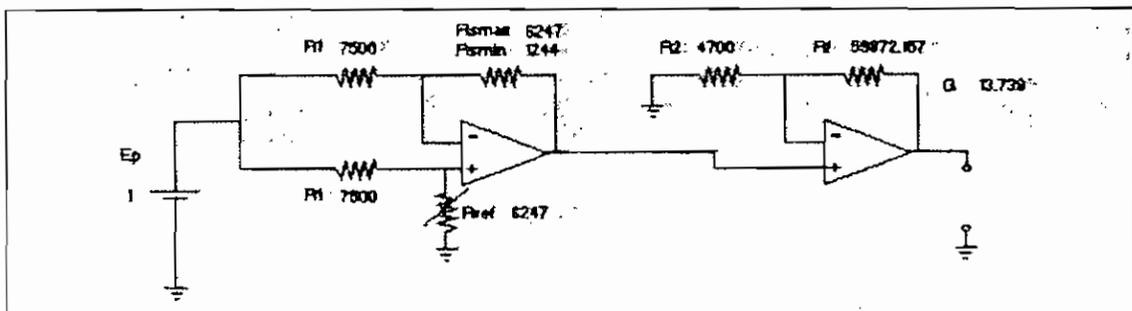


Figura 8.14 Circuito con valores para el circuito de la Figura 8.12

El programa que proporciona el circuito con valores correspondientes se halla en el anexo C: pag. 78.

La respuesta del sensor (X función de Y) se presenta así:

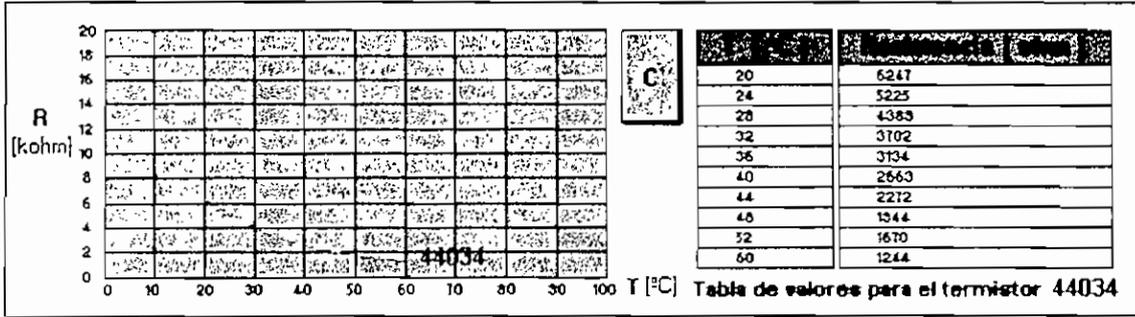


Figura 8.15 Respuesta del sensor para el circuito de la Figura 8.12

El program X función de Y, se halla en el anexo C: pag. 79 - pag. 85.

Este programa toma T0, T1, y saca $DT=(T1-T0)/10$, para obtener por el modelo y la simulación la resistencia del termistor.

CONCLUSIONES

- Se ha cumplido completamente con los objetivos planteados al inicio de esta Tesis.
- Esta Tesis constituye un aporte y ayuda didáctica para profesores y estudiantes
- Es una muy buena fuente de consulta sobre la materia.

RECOMENDACIONES

- En vista de los beneficios que ofrece, debería hacerse más tesis de este tipo para otras materias.

BIBLIOGRAFIA

Obra: Sensores y analizadores

Autor: Harry Norton

Editorial: Gustavo Gili, S.A. , 1984 , Segunda edición

Obra: Instrumentación Industrial

Autor: Antonio Creus

Editorial: Alfaomega-Marcombo, 1995, Quinta edición

Obra: Electrónica Industrial Moderna

Autor: Timothy Maloney

Editorial: Prentice - Hall, 1997, Tercera edición

Obra: Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición

Autor: William D. Cooper / Albert D. Helfrick

Editorial: Prentice - Hall, 1991, Primera edición

Obra: Apuntes de Instrumentación

Autor: Ing. Patricio Rosero

Editorial: Escuela Politécnica Nacional

Obra: Using TOOLBOOK

Autor: Asymetrix Corporation

Editorial: Asymetrix Corporation, 1991

Obra: Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales

Autor: Robert F. Couhlin - Frederick F. Driscoll

Editorial: Prentice - Hall, 1993, Cuarta edición

ANEXO: A

Termocuplas

A.1 Modelo matemático

A.2 Programas desarrollados para obtener:

- A.2.1 Simulación de las termocuplas
- A.2.2 Diseño de un circuito acondicionador
- A.2.3 Esquema del circuito acondicionador
- A.2.4 Circuito con valores
- A.2.5 X función de Y

A.1 MODELO MATEMATICO

Tipo R

De -50 C a 630.4 C

$$E = \sum_{t=0}^7 a_t * t^i$$

$$a_0 = 0$$

$$a_1 = 5.289139$$

$$a_2 = 1.3911111E-2$$

$$a_3 = -2.400524E-5$$

$$a_4 = 3.620141E-8$$

$$a_5 = -4.464502E-11$$

$$a_6 = 3.849769E-14$$

$$a_7 = -1.537264E-17$$

De 630.4 C a 1064,43 C

$$E = \sum_{t=0}^3 b_t * t^i$$

$$b_0 = -2.641801E+2$$

$$b_1 = 8.046868$$

$$b_2 = 2.989229E-3$$

$$b_3 = -2.687606E-7$$

De 1064.43 C a 1665 C

$$E = \sum_{t=0}^3 c_t * [(t-1365)/300]^i$$

$$c_0 = 1.5540414E+4$$

$$c_1 = 4.2357773E+3$$

$$c_2 = 1.4693087E+2$$

$$c_3 = -5.2213890E+1$$

De 1665 C a 1767 C

$$E = \sum_{t=0}^3 d_t * [(t-1715)/50]^i$$

$$d_0 = 2.0416695E+4$$

$$d_1 = 6.6850914E+2$$

$$d_2 = -1.2301472E+1$$

$$d_3 = -2.7861521$$

Tipo S

De -50 C a 630.4 C

$$E = \sum_{l=0}^6 a_l * t^l$$

a0= 0
 a1= 5.399578
 a2= 1.251977E-2
 a3= -2.244822E-5
 a4= 2.845216E-8
 a5= -2.244058E-11
 a6= 8.505417E-15

De 630.4 C a 1064,43 C

$$E = \sum_{l=0}^2 b_l * t^l$$

b0= -2.982448E+2
 b1= 8.237553
 b2= 1.645391E-3

De 1064.43 C a 1665 C

$$E = \sum_{l=0}^3 c_l * [(t - 1365) / 300]^l$$

c0 to 1.3943439E+4
 c1 to 3.6398687E+3
 c2 to -5.0281206
 c3 to -4.2450546E+1

De 1665 C a 1767 C

$$E = \sum_{l=0}^3 d_l * [(t - 1715) / 50]^l$$

d0= 1.8113083E+4
 d1= 5.6795375E+2
 d2= -1.2112492E+1
 d3= -2.8117589

Tipo B**De 0 C a 1820 C**

$$E = \sum_{i=0}^8 a_i * t^i$$

$$a_0 = 0$$

$$a_1 = -2.4674601620E-1$$

$$a_2 = 5.91021111169E-3$$

$$a_3 = -1.4307123430E-6$$

$$a_4 = 2.1509149750E-9$$

$$a_5 = -3.1757800720E-12$$

$$a_6 = 2.4010367459E-15$$

$$a_7 = -9.0928148159E-19$$

$$a_8 = 1.3299505137E-22$$

Tipo J**De -210 C a 760 C**

$$E = \sum_{i=0}^7 a_i * t^i$$

$$a_0 = 0$$

$$a_1 = 5.0372753027E+1$$

$$a_2 = 3.0425491284E-2$$

$$a_3 = -8.5669750464E-5$$

$$a_4 = 1.3348825735E-7$$

$$a_5 = -1.7022405966E-10$$

$$a_6 = 1.9416091001E-13$$

$$a_7 = -9.6391844859E-17$$

De 760 a 1200 C

$$E = \sum_{i=0}^5 b_i * t^i$$

$$b_0 = 2.9721751778E+5$$

$$b_1 = -1.5059632873E+3$$

$$b_2 = 3.2051064215$$

$$b_3 = -3.2210174230E-3$$

$$b_4 = 1.5949968788E-6$$

$$b_5 = -3.1239801752E-10$$

Tipo T

De -270 C a 0 C

$$E = \sum_{l=0}^{14} a_l * t^l$$

a0= 0
 a1= 3.8740773840E+1
 a2= 4.4123932482E-2
 a3= 1.1405238498E-4
 a4= 1.9974406568E-5
 a5= 9.0445401187E-7
 a6= 2.2766018504E-8
 a7= 3.6247409380E-10
 a8= 3.8648924201E-12
 a9= 2.8298678519E-14
 a10= 1.4281383349E-16
 a11= 4.8833254364E-19
 a12= 1.0803474683E-21
 a13= 1.3949291026E-24
 a14= 7.9795893150E-28

De 0 C a 400 C

$$E = \sum_{l=0}^8 b_l * t^l$$

b0= 0
 b1= 3.8740773840E+1
 b2= 3.3190198092E-2
 b3= 2.0714183645E-4
 b4= -2.1945834823E-6
 b5= 1.1031900550E-8
 b6= -3.0927581898E-11
 b7= 4.5653337165E-14
 b8= -2.7616878040E-17

Tipo E

De -270 C a 0 C

$$E = \sum_{l=0}^{13} a_l * t^l$$

a0= 0
 a1= 5.8695857799E+1
 a2= 5.1667517705E-2
 a3= -4.4652683347E-4
 a4= -1.7346270905E-5
 a5= -4.8719368427E-7

a6= -8.8896550447E-9
 a7= -1.0930767375E-10
 a8= -9.1784535039E-13
 a9= -5.2575158521E-15
 a10= -2.0169601996E-17
 a11= -4.9502138782E-20
 a12= -7.0177980633E-23
 a13= -4.3671808488E-26

De 0 C a 1000 C

$$E = \sum_{i=0}^9 b_i * t^i$$

b0= 0
 b1= 5.8695857799E+1
 b2= 4.3110945462E-2
 b3= 5.7220358202E-5
 b4= -5.4020668085E-7
 b5= 1.5425922111E-9
 b6= -2.4850089136E-12
 b7= 2.3389721459E-15
 b8= -1.1946296815E-18
 b9= 2.5561127497E-22

Tipo K

De -270 C a 0 C

$$E = \sum_{i=0}^{10} a_i * t^i$$

a0= 0
 a1= 3.9475433139E+1
 a2= 2.7465251138E-2
 a3= -1.6565406716E-4
 a4= -1.5190912392E-6
 a5= -2.4581670924E-8
 a6= -2.4757917816E-10
 a7= -1.5585276173E-12
 a8= -5.9729921255E-15
 a9= -1.2688801216E-17
 a10= -1.1382797374E-20

De 0 C a 1372 C

$$E = \sum_{t=0}^8 \{b_i * t^i + 125 * \exp[-(1/8450) * (t^i - 127)^2]\}$$

b0= -1.8533063273E+1

b1= 3.8918344612E+1

b2= 1.6645154356E-2

b3= -7.8702374448E-5

b4= 2.2835785557E-7

b5= -3.5700231258E-10

b6= 2.9932909136E-13

b7= -1.2849848798E-16

b8= 2.2239974336E-20

A.2 PROGRAMAS DESARROLLADOS PARA OBTENER:

A.2.1 SIMULACION DE LAS TERMOCUPLAS

TIPO R

to handle buttonup

----- TIPO R -----

put text of field "temperatura" into t

if t=0 then

 set text of field "n1" to 0

else

if t>-50 and t<630.74 then

----- desde 50 °C a 630,74 °C -----

 set E to 0

 set a(0) to 0

 set a(1) to 5.289139

 set a(2) to 1.391111E-2

 set a(3) to -2.400524E-5

 set a(4) to 3.620141E-8

 set a(5) to -4.464502E-11

 set a(6) to 3.849769E-14

 set a(7) to -1.537264E-17

 step i from 0 to 7

 set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))

 end step

 step i from 0 to 7

 set E to evaluate(E+E(i))

 end step

 set E to evaluate (E/1000)

 set text of field "n1" to E

else

if t>630.74 and t<1064.43 then

----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----

 set E to 0

 set b(0) to -2.641801E+2

 set b(1) to 8.046868

 set b(2) to 2.989229E-3

 set b(3) to -2.687606E-7

 step i from 0 to 3

 set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))

 end step

 step i from 0 to 3

 set E to evaluate(E+E(i))

 end step

 set E to evaluate (E/1000)

 set text of field "n1" to E

else

if t>1064.43 and t<1665 then

----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----

 set E to 0

 set c(0) to 1.5540414E+4

 set c(1) to 4.2357773E+3

 set c(2) to 1.4693087E+2

```

    set c(3) to -5.2213890E+1
    set t to evaluate ((t-1365)/300)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E

else
if t>1665 and t<1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----
    set E to 0
    set d(0) to 2.0416695E+4
    set d(1) to 6.6850914E+2
    set d(2) to -1.2301472E+1
    set d(3) to -2.7861521
    set t to evaluate ((t-1715)/50)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E

end if
end if
end if
end if
end if

```

```

-----
format text of field "n1" as ".###"
end

```

TIPO S

to handle buttonup

```

----- TIPO S -----

put text of field "temperatura" into t

if t=0 then
    set text of field "n1" to 0
else

if t>-50 and t<630.74 then
----- desde -50 °C a 630,74 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to 5.399578
    set a(2) to 1.251977E-2

```

```

set a(3) to -2.244822E-5
set a(4) to 2.845216E-8
set a(5) to -2.244058E-11
set a(6) to 8.505417E-15
step i from 0 to 6
set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
end step
step i from 0 to 6
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

else
if t>630.74 and t<1064.43 then
----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----
set E to 0
set b(0) to -2.982448E+2
set b(1) to 8.237553
set b(2) to 1.645391E-3
step i from 0 to 2
set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
end step
step i from 0 to 2
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

else
if t>1064.43 and t<1665 then
----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----
set E to 0
set c(0) to 1.3943439E+4
set c(1) to 3.6398687E+3
set c(2) to -5.0281206
set c(3) to -4.2450546E+1
set t to evaluate ((t-1365)/300)
step i from 0 to 3
set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
end step
step i from 0 to 3
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

else
if t>1665 and t<1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----
set E to 0
set d(0) to 1.8113083E+4
set d(1) to 5.6795375E+2
set d(2) to -1.2112492E+1
set d(3) to -2.8117589
set t to evaluate ((t-1715)/50)
step i from 0 to 3
set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
end step

```

```

step i from 0 to 3
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

```

```

end if
end if
end if
end if
end if

```

```

format text of field "n1" as ".###"
end

```

TIPO B

to handle buttonup

```

----- TIPO B -----

```

```

put text of field "temperatura" into t

if t=0 then
    set text of field "n1" to 0
else

if t>0 and t<1820 then
----- desde 0 °C a 1820 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to -2.4674601620E-1
    set a(2) to 5.9102111169E-3
    set a(3) to -1.4307123430E-6
    set a(4) to 2.1509149750E-9
    set a(5) to -3.1757800720E-12
    set a(6) to 2.4010367459E-15
    set a(7) to -9.0928148159E-19
    set a(8) to 1.3299505137E-22
    step i from 0 to 8
    set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 8
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
else
end if
end if

```

```

format text of field "n1" as ".###"
end

```

TIPO J

to handle buttonup

```

----- TIPO J -----

put text of field "temperatura" into t

if t=0 then
    set text of field "n1" to 0
else

if t>=-210 and t<760 then
----- desde -210 °C a 760 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to 5.0372753027E+1
    set a(2) to 3.0425491284E-2
    set a(3) to -8.5669750464E-5
    set a(4) to 1.3348825735E-7
    set a(5) to -1.7022405966E-10
    set a(6) to 1.9416091001E-13
    set a(7) to -9.6391844859E-17
    step i from 0 to 7
    set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 7
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E

else

if t>760 and t<1200 then
----- desde 760 °C a 1200 °C -----
    set E to 0
    set b(0) to 2.9721751778E+5
    set b(1) to -1.5059632873E+3
    set b(2) to 3.2051064215
    set b(3) to -3.2210174230E-3
    set b(4) to 1.5949968788E-6
    set b(5) to -3.1239801752E-10
    step i from 0 to 5
    set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 5
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E

end if
end if
end if

format text of field "n1" as ".###"
end

```

TIPO T

to handle buttonup

```

----- TIPO T -----
put text of field "temperatura" into t

if t=0 then
  set text of field "n1" to 0
else

if t>-270 and t<0 then
----- desde -270 °C a 0 °C -----
  set E to 0
  set a(0) to 0
  set a(1) to 3.8740773840E+1
  set a(2) to 4.4123932482E-2
  set a(3) to 1.1405238498E-4
  set a(4) to 1.9974406568E-5
  set a(5) to 9.0445401187E-7
  set a(6) to 2.2766018504E-8
  set a(7) to 3.6247409380E-10
  set a(8) to 3.8648924201E-12
  set a(9) to 2.8298678519E-14
  set a(10) to 1.4281383349E-16
  set a(11) to 4.8833254364E-19
  set a(12) to 1.0803474683E-21
  set a(13) to 1.3949291026E-24
  set a(14) to 7.9795893150E-28
  step i from 0 to 14
  set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 14
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E

else

if t>0 and t<400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----
  set E to 0
  set b(0) to 0
  set b(1) to 3.8740773840E+1
  set b(2) to 3.3190198092E-2
  set b(3) to 2.0714183645E-4
  set b(4) to -2.1945834823E-6
  set b(5) to 1.1031900550E-8
  set b(6) to -3.0927581898E-11
  set b(7) to 4.5653337165E-14
  set b(8) to -2.7616878040E-17
  step i from 0 to 8
  set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 8
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)

```

```
set text of field "n1" to E
```

```
end if
end if
end if
```

```
format text of field "n1" as ".###"
end
```

TIPO E

to handle buttonup

```
----- TIPO E -----
```

```
put text of field "temperatura" into t
```

```
if t=0 then
    set text of field "n1" to 0
else
```

```
if t>-270 and t<0 then
----- desde -270 °C a 0 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to 5.8695857799E+1
    set a(2) to 5.1667517705E-2
    set a(3) to -4.4652683347E-4
    set a(4) to -1.7346270905E-5
    set a(5) to -4.8719368427E-7
    set a(6) to -8.8896550447E-9
    set a(7) to -1.0930767375E-10
    set a(8) to -9.1784535039E-13
    set a(9) to -5.2575158521E-15
    set a(10) to -2.0169601996E-17
    set a(11) to -4.9502138782E-20
    set a(12) to -7.0177980633E-23
    set a(13) to -4.3671808488E-26
    step i from 0 to 13
    set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 13
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
```

```
else
if t>0 and t<1000 then
----- desde 0 °C a 1000 °C -----
    set E to 0
    set b(0) to 0
    set b(1) to 5.8695857799E+1
    set b(2) to 4.3110945462E-2
    set b(3) to 5.7220358202E-5
    set b(4) to -5.4020668085E-7
```

```

set b(5) to 1.5425922111E-9
set b(6) to -2.4850089136E-12
set b(7) to 2.3389721459E-15
set b(8) to -1.1946296815E-18
set b(9) to 2.5561127497E-22
step i from 0 to 9
set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
end step
step i from 0 to 9
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

```

```

end if
end if
end if

```

```

format text of field "n1" as ".###"
end

```

TIPO K

to handle buttonup

----- TIPO K -----

```

put text of field "temperatura" into t

```

```

if t=0 then
    set text of field "n1" to 0
else

```

```

if t>-270 and t<0 then
----- desde -270 °C a 0 °C -----

```

```

set E to 0
set a(0) to 0
set a(1) to 3.9475433139E+1
set a(2) to 2.7465251138E-2
set a(3) to -1.6565406716E-4
set a(4) to -1.5190912392E-6
set a(5) to -2.4581670924E-8
set a(6) to -2.4757917816E-10
set a(7) to -1.5585276173E-12
set a(8) to -5.9729921255E-15
set a(9) to -1.2688801216E-17
set a(10) to -1.1382797374E-20
step i from 0 to 10
set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
end step
step i from 0 to 10
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

```

```

else
if t>0 and t<1372 then

```

```
----- desde 0 °C a 1372 °C -----
set E to 0
set b(0) to -1.8533063273E+1
set b(1) to 3.8918344612E+1
set b(2) to 1.6645154356E-2
set b(3) to -7.8702374448E-5
set b(4) to 2.2835785557E-7
set b(5) to -3.5700231258E-10
set b(6) to 2.9932909136E-13
set b(7) to -1.2849848798E-16
set b(8) to 2.2239974336E-20
step i from 0 to 8
set z to evaluate (exp(-0.5*((t^(i)-127)/65)^2))
set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i))+125*z)
end step
step i from 0 to 8
set E to evaluate(E+E(i))
end step
set E to evaluate (E/1000)
set text of field "n1" to E

end if
end if
end if
```

```
format text of field "n1" as ".###"
end
```

A.2.2 DISEÑO DE UN CIRCUITO ACONDICIONAOR

to handle buttonup

set syscursor to 4

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----

select group "alerta"

hide group "alerta"

put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A

if (A=R and T0>1767) or (A=R and T1>1767) then
set saltar to 1
end if

if (S=R and T0>1767) or (S=R and T1>1767) then
set saltar to 1
end if

if (A=B and T0>1820) or (A=B and T1>1820) then
set saltar to 1
end if

if (A=J and T0>1200) or (A=J and T1>1200) then
set saltar to 1
end if

if (A=T9 and T0>400) or (A=T9 and T1>400) then
set saltar to 1
end if

if (A=Et and T0>1000) or (A=Et and T1>1000) then
set saltar to 1
end if

if (A=K and T0>1372) or (A=K and T1>1372) then
set saltar to 1
end if

if T0>=T1 then
set saltar to 1
end if

if T0<0 and T1<0 then
set saltar to 1
end if

if (T0*T1)<0 then
set saltar to 1

end if

if $V_0 \leq 0$ or $V_0 > 10$ then
 set saltar to 1
end if

if saltar = 0 then

-----SE VA A REALIZAR EL CALCULO EN LAS TERMOCUPLAS-----

step orden from 1 to 2

 put text of field "tipo" into A

 if orden=1 then
 put text of field "T0" into T0
 set text of field "temperatura" to T0
 end if

 if orden=2 then
 put text of field "Tf" into T1
 set text of field "temperatura" to T1
 end if

if A=R then

----- TIPO R -----

put text of field "temperatura" into t

 if orden =1 and $T_0=0$ then
 set t to 1E-8
 end if

 if $t > 0$ and $t \leq 630.74$ then
 ----- desde 50 °C a 630,74 °C -----
 set E to 0
 set a(0) to 0
 set a(1) to 5.289139
 set a(2) to 1.391111E-2
 set a(3) to -2.400524E-5
 set a(4) to 3.620141E-8
 set a(5) to -4.464502E-11
 set a(6) to 3.849769E-14
 set a(7) to -1.537264E-17
 step i from 0 to 7
 set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
 end step
 step i from 0 to 7
 set E to evaluate(E+E(i))
 end step
 set E to evaluate (E/1000)
 set text of field "n1" to E
 end if
 if $t > 630.74$ and $t \leq 1064.43$ then

```

----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----
  set E to 0
  set b(0) to -2.641801E+2
  set b(1) to 8.046868
  set b(2) to 2.989229E-3
  set b(3) to -2.687606E-7
  step i from 0 to 3
  set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 3
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
if t>1064.43 and t<=1665 then
----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----
  set E to 0
  set c(0) to 1.5540414E+4
  set c(1) to 4.2357773E+3
  set c(2) to 1.4693087E+2
  set c(3) to -5.2213890E+1
  set t to evaluate ((t-1365)/300)
  step i from 0 to 3
  set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 3
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
if t>1665 and t<=1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----
  set E to 0
  set d(0) to 2.0416695E+4
  set d(1) to 6.6850914E+2
  set d(2) to -1.2301472E+1
  set d(3) to -2.7861521
  set t to evaluate ((t-1715)/50)
  step i from 0 to 3
  set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 3
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
end if

```

```

end if

```

```

-----
if A=S then

```

```

----- TIPO S -----

```

```

  put text of field "temperatura" into t

```

```

if orden =1 and T0=0 then
    set t to 1E-8
end if

if t>0 and t<=630.74 then
----- desde -50 °C a 630,74 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to 5.399578
    set a(2) to 1.251977E-2
    set a(3) to -2.244822E-5
    set a(4) to 2.845216E-8
    set a(5) to -2.244058E-11
    set a(6) to 8.505417E-15
    step i from 0 to 6
    set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 6
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

if t>630.74 and t<=1064.43 then
----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----
    set E to 0
    set b(0) to -2.982448E+2
    set b(1) to 8.237553
    set b(2) to 1.645391E-3
    step i from 0 to 2
    set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 2
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

if t>1064.43 and t<=1665 then
----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----
    set E to 0
    set c(0) to 1.3943439E+4
    set c(1) to 3.6398687E+3
    set c(2) to -5.0281206
    set c(3) to -4.2450546E+1
    set t to evaluate ((t-1365)/300)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

if t>1665 and t<=1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----

```

```

        set E to 0
        set d(0) to 1.8113083E+4
        set d(1) to 5.6795375E+2
        set d(2) to -1.2112492E+1
        set d(3) to -2.8117589
        set t to evaluate ((t-1715)/50)
        step i from 0 to 3
        set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 3
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

end if

-----
if A=B then
----- TIPO B -----

    put text of field "temperatura" into t
    if orden =1 and T0=0 then
        set t to 1E-8
    end if

    if t>0 and t<=1820 then
    ----- desde 0 °C a 1820 °C -----
        set E to 0
        set a(0) to 0
        set a(1) to -2.4674601620E-1
        set a(2) to 5.9102111169E-3
        set a(3) to -1.4307123430E-6
        set a(4) to 2.1509149750E-9
        set a(5) to -3.1757800720E-12
        set a(6) to 2.4010367459E-15
        set a(7) to -9.0928148159E-19
        set a(8) to 1.3299505137E-22
        step i from 0 to 8
        set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 8
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

end if

-----
if A=J then
----- TIPO J -----

    put text of field "temperatura" into t

    if orden =1 and T0=0 then

```

```

                set t to 1E-8
    end if

    if t>0 and t<=760 then
    ----- desde -210 °C a 760 °C -----
        set E to 0
        set a(0) to 0
        set a(1) to 5.0372753027E+1
        set a(2) to 3.0425491284E-2
        set a(3) to -8.5669750464E-5
        set a(4) to 1.3348825735E-7
        set a(5) to -1.7022405966E-10
        set a(6) to 1.9416091001E-13
        set a(7) to -9.6391844859E-17
        step i from 0 to 7
        set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 7
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if
    if t>760 and t<=1200 then
    ----- desde 760 °C a 1200 °C -----
        set E to 0
        set b(0) to 2.9721751778E+5
        set b(1) to -1.5059632873E+3
        set b(2) to 3.2051064215
        set b(3) to -3.2210174230E-3
        set b(4) to 1.5949968788E-6
        set b(5) to -3.1239801752E-10
        step i from 0 to 5
        set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 5
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

end if

-----
if A=T9 then
----- TIPO T -----

    put text of field "temperatura" into t

    if orden =1 and T0=0 then
        set t to 1E-8
    end if

    if t>0 and t<=400 then
    ----- desde 0 °C a 400 °C -----
        set E to 0
        set b(0) to 0
        set b(1) to 3.8740773840E+1

```

```

    set b(2) to 3.3190198092E-2
    set b(3) to 2.0714183645E-4
    set b(4) to -2.1945834823E-6
    set b(5) to 1.1031900550E-8
    set b(6) to -3.0927581898E-11
    set b(7) to 4.5653337165E-14
    set b(8) to -2.7616878040E-17
    step i from 0 to 8
    set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 8
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

end if

-----
if A=Et then
----- TIPO E -----

    put text of field "temperatura" into t

    if orden =1 and T0=0 then
        set t to 1E-8
    end if

    if t>0 and t<=1000 then
    ----- desde 0 °C a 1000 °C -----
        set E to 0
        set b(0) to 0
        set b(1) to 5.8695857799E+1
        set b(2) to 4.3110945462E-2
        set b(3) to 5.7220358202E-5
        set b(4) to -5.4020668085E-7
        set b(5) to 1.5425922111E-9
        set b(6) to -2.4850089136E-12
        set b(7) to 2.3389721459E-15
        set b(8) to -1.1946296815E-18
        set b(9) to 2.5561127497E-22
        step i from 0 to 9
        set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 9
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

end if

-----
if A=K then
----- TIPO K -----

    put text of field "temperatura" into t

```

```

if orden =1 and T0=0 then
    set t to 1E-8
end if

if t>0 and t<=1372 then
----- desde 0 °C a 1372 °C -----
    set E to 0
    set b(0) to -1.8533063273E+1
    set b(1) to 3.8918344612E+1
    set b(2) to 1.6645154356E-2
    set b(3) to -7.8702374448E-5
    set b(4) to 2.2835785557E-7
    set b(5) to -3.5700231258E-10
    set b(6) to 2.9932909136E-13
    set b(7) to -1.2849848798E-16
    set b(8) to 2.2239974336E-20
    step i from 0 to 8
    set z to evaluate (exp(-0.5*((t^(i)-127)/65)^2))
    set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i))+125*z)
    end step
    step i from 0 to 8
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

end if

if orden=1 then
    put text of field "n1" into Vd1min
    if T0=0 then
        set Vd1min to 0
    else
        set Vd1min to evaluate (Vd1min/1000)
    end if
    set text of field "Vd1min" to Vd1min
end if

if orden=2 then
    put text of field "n1" into Vd1max
    set Vd1max to evaluate (Vd1max/1000)
    set text of field "Vd1max" to Vd1max
end if

```

end step

-----AQUI TERMINA EL CALCULO PARA LAS TERMOCUPLAS-----

```

set Vd2max to evaluate (Vd1max-Vd1min)
set text of field "Vd2max" to Vd2max
set R1 to 56
set R2 to 100
set R3 to 120
set Ep to 0.5

```

```
set Rxp to evaluate (R2*R3*Ep-Vd1min*R3*R2-Vd1min*R1*R2)/(Vd1min*(R3+R1)+R1*Ep)
set text of field "Rxp" to Rxp
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
```

```
put text of field "Vo" into Vo
set G to evaluate (Vo/Vd2max)
set text of field "G" to G
```

```
set a1 to evaluate (2/(G-1))
```

```
--ganacia entre 1.0002 y 2
if a1>2 then
    set Rx to 2.2E3
end if
```

```
--ganacia entre 2 y 5
if a1>0.5 and a1<=2 then
    set Rx to 4.7E3
end if
```

```
--ganacia entre 5 y 11
if a1>0.2 and a1<=0.5 then
    set Rx to 10E3
end if
```

```
--ganacia entre 11 y 21
if a1>0.1 and a1<=0.2 then
    set Rx to 15E3
end if
```

```
--ganacia entre 21 y 101
if a1>0.02 and a1<=0.1 then
    set Rx to 18E3
end if
```

```
--ganacia entre 101 y 300
if a1>6.6889632E-3 and a1<=0.02 then
    set Rx to 20E3
end if
```

```
--ganacia entre 300 y 500
if a1>4.008016032E-3 and a1<=6.6889632E-3 then
    set Rx to 24E3
end if
```

```
--ganacia entre 500 y 700
if a1>2.861230329E-3 and a1<=4.008016032E-3 then
    set Rx to 30E3
end if
```

```
--ganacia entre 700 y 900
if a1>2.2246941E-3 and a1<=2.861230329E-3 then
```

```
        set Rx to 33E3
end if

--ganacia entre 900 y 1100
if a1>1.819836215E-3 and a1<=2.2246941E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1100 y 1300
if a1>1.539645881E-3 and a1<=1.819836215E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1300 y 1500
if a1>1.334222815E-3 and a1<= 1.539645881E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1500 y 1700
if a1>1.177163037E-3 and a1<=1.334222815E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1700 y 1900
if a1>1.053185887E-3 and a1<=1.177163037E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganancia mayor a 1900

if a1<=1.053185887E-3 then
    set Rx to 47E3
end if

set Rv to evaluate (a1*Rx)

set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rv" to Rv

format text of field "Rx" as ".###"
format text of field "Rv" as ".###"
format text of field "G" as ".###"
format text of field "Rxp" as ".###"

else
    select group "alerta"
    show group "alerta"
    step i from 0 to 3000
    end step
    hide group "alerta"
    step i from 0 to 2000
    end step
    select group "alerta"
    show group "alerta"
```

```
step i from 0 to 3000  
end step  
hide group "alerta"
```

```
end if
```

```
set syscursor to 1  
end
```

A.2.3 ESQUEMA DEL CIRCUITO ACONDICIONADOR

to handle buttonup

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A
```

```
put text of field "Ep" into Ep
put text of field "R1" into R1
put text of field "R2" into R2
put text of field "R3" into R3
put text of field "Rxp" into Rxp
put text of field "Rx" into Rx
put text of field "Rv" into Rv
put text of field "G" into G
put text of field "Vd1min" into Vd1min
put text of field "Vd1max" into Vd1max
put text of field "Vd2max" into Vd2max
```

go to page DT1

```
set text of field "To" to T0
set text of field "Tf" to T1
set text of field "Vo" to Vo
set text of field "Tipo" to A
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Rxp" to Rxp
set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rv" to Rv
set text of field "G" to G
set text of field "Vd1min" to Vd1min
set text of field "Vd1max" to Vd1max
set text of field "Vd2max" to Vd2max
```

end

A.2.4 CIRCUITO CON VALORES

to handle buttonup

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A
```

```
put text of field "Ep" into Ep
put text of field "R1" into R1
put text of field "R2" into R2
put text of field "R3" into R3
put text of field "Rxp" into Rxp
put text of field "Rx" into Rx
put text of field "Rv" into Rv
put text of field "G" into G
put text of field "Vd1min" into Vd1min
put text of field "Vd1max" into Vd1max
put text of field "Vd2max" into Vd2max
```

go to page DT2

```
set text of field "To" to T0
set text of field "Tf" to T1
set text of field "Vo" to Vo
set text of field "Tipo" to A
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Rxp" to Rxp
set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rx1" to Rx
set text of field "Rx2" to Rx
set text of field "Rx3" to Rx
set text of field "Rx4" to Rx
set text of field "Rx5" to Rx
```

```
set text of field "Rv" to Rv
set text of field "G" to G
set text of field "Vd1min" to Vd1min
set text of field "Vd1max" to Vd1max
set text of field "Vd2max" to Vd2max
```

end

A.2.5 X FUNCION DE Y

to handle buttonup

set syscursor to 4

```
select field "sensor11"  
hide field "sensor11"  
select field "sensor22"  
hide field "sensor22"  
select field "sensor33"  
hide field "sensor33"  
select field "sensor44"  
hide field "sensor44"  
select field "sensor55"  
hide field "sensor55"  
select field "sensor66"  
hide field "sensor66"  
select field "sensor77"  
hide field "sensor77"
```

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----

```
select group "alerta"  
hide group "alerta"
```

```
    put text of field "To" into T0  
    put text of field "Tf" into T1  
    put text of field "Vo" into Vo  
    put text of field "Vo" into Vo  
    put text of field "Tipo" into A
```

```
if (A=R and T0>1767) or (A=R and T1>1767) then  
    set saltar to 1  
end if
```

```
if (S=R and T0>1767) or (S=R and T1>1767) then  
    set saltar to 1  
end if
```

```
if (A=B and T0>1820) or (A=B and T1>1820) then  
    set saltar to 1  
end if
```

```
if (A=J and T0>1200) or (A=J and T1>1200) then  
    set saltar to 1  
end if
```

```
if (A=T9 and T0>400) or (A=T9 and T1>400) then  
    set saltar to 1  
end if
```

```

if (A=Et and T0>1000) or (A=Et and T1>1000) then
    set saltar to 1
end if

```

```

if (A=K and T0>1372) or (A=K and T1>1372) then
    set saltar to 1
end if

```

```

if T0>=T1 then
    set saltar to 1
end if

```

```

if T0<0 and T1<0 then
    set saltar to 1
end if

```

```

if (T0*T1)<0 then
    set saltar to 1
end if

```

```

if Vo<=0 or Vo>10 then
    set saltar to 1
end if

```

```

-----
if saltar = 0 then

```

```

    set deltaT to evaluate ((T1-T0)/10)

```

```

    step q from 1 to 9
        set Tc(q) to evaluate (T0+(q-1)*deltaT)
    end step

```

```

        set Tc(10) to T1

```

```

    step orden from 1 to 10

```

```

        if T0=0 then
            set Tc(1) to 1E-8
        end if

```

```

        set text of field "temperatura" to Tc(orden)

```

```

-----
if A=R then

```

```

----- TIPO R -----

```

```

    put text of field "temperatura" into t

```

```

if t>0 and t<=630.74 then
----- desde 50 °C a 630,74 °C -----
  set E to 0
  set a(0) to 0
  set a(1) to 5.289139
  set a(2) to 1.391111E-2
  set a(3) to -2.400524E-5
  set a(4) to 3.620141E-8
  set a(5) to -4.464502E-11
  set a(6) to 3.849769E-14
  set a(7) to -1.537264E-17
  step i from 0 to 7
  set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 7
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
if t>630.74 and t<=1064.43 then
----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----
  set E to 0
  set b(0) to -2.641801E+2
  set b(1) to 8.046868
  set b(2) to 2.989229E-3
  set b(3) to -2.687606E-7
  step i from 0 to 3
  set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 3
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
if t>1064.43 and t<=1665 then
----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----
  set E to 0
  set c(0) to 1.5540414E+4
  set c(1) to 4.2357773E+3
  set c(2) to 1.4693087E+2
  set c(3) to -5.2213890E+1
  set t to evaluate ((t-1365)/300)
  step i from 0 to 3
  set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 3
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if
if t>1665 and t<=1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----
  set E to 0
  set d(0) to 2.0416695E+4
  set d(1) to 6.6850914E+2
  set d(2) to -1.2301472E+1

```

```

    set d(3) to -2.7861521
    set t to evaluate ((t-1715)/50)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

end if

```

if A=S then

----- TIPO S -----

```

    put text of field "temperatura" into t

    if t>0 and t<=630.74 then
    ----- desde -50 °C a 630,74 °C -----
        set E to 0
        set a(0) to 0
        set a(1) to 5.399578
        set a(2) to 1.251977E-2
        set a(3) to -2.244822E-5
        set a(4) to 2.845216E-8
        set a(5) to -2.244058E-11
        set a(6) to 8.505417E-15
        step i from 0 to 6
        set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 6
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

    if t>630.74 and t<=1064.43 then
    ----- desde 630,74 °C a 1064,43 °C -----
        set E to 0
        set b(0) to -2.982448E+2
        set b(1) to 8.237553
        set b(2) to 1.645391E-3
        step i from 0 to 2
        set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 2
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E
    end if

    if t>1064.43 and t<=1665 then
    ----- desde 1064.43 °C a 1665 °C -----
        set E to 0

```

```

    set c(0) to 1.3943439E+4
    set c(1) to 3.6398687E+3
    set c(2) to -5.0281206
    set c(3) to -4.2450546E+1
    set t to evaluate ((t-1365)/300)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (c(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

if t>1665 and t<=1767.6 then
----- desde 1665 °C a 1767.6 °C -----
    set E to 0
    set d(0) to 1.8113083E+4
    set d(1) to 5.6795375E+2
    set d(2) to -1.2112492E+1
    set d(3) to -2.8117589
    set t to evaluate ((t-1715)/50)
    step i from 0 to 3
    set E(i) to evaluate (d(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 3
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

end if

```

```

-----
if A=B then
----- TIPO B -----

```

```

    put text of field "temperatura" into t

if t>0 and t<=1820 then
----- desde 0 °C a 1820 °C -----
    set E to 0
    set a(0) to 0
    set a(1) to -2.4674601620E-1
    set a(2) to 5.9102111169E-3
    set a(3) to -1.4307123430E-6
    set a(4) to 2.1509149750E-9
    set a(5) to -3.1757800720E-12
    set a(6) to 2.4010367459E-15
    set a(7) to -9.0928148159E-19
    set a(8) to 1.3299505137E-22
    step i from 0 to 8
    set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
    end step
    step i from 0 to 8
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step

```

```

    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

```

```

end if

```

```

-----
if A=J then

```

```

----- TIPO J -----

```

```

    put text of field "temperatura" into t

```

```

    if t>0 and t<=760 then

```

```

    ----- desde -210 °C a 760 °C -----

```

```

        set E to 0
        set a(0) to 0
        set a(1) to 5.0372753027E+1
        set a(2) to 3.0425491284E-2
        set a(3) to -8.5669750464E-5
        set a(4) to 1.3348825735E-7
        set a(5) to -1.7022405966E-10
        set a(6) to 1.9416091001E-13
        set a(7) to -9.6391844859E-17
        step i from 0 to 7
        set E(i) to evaluate (a(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 7
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E

```

```

    end if

```

```

    if t>760 and t<=1200 then

```

```

    ----- desde 760 °C a 1200 °C -----

```

```

        set E to 0
        set b(0) to 2.9721751778E+5
        set b(1) to -1.5059632873E+3
        set b(2) to 3.2051064215
        set b(3) to -3.2210174230E-3
        set b(4) to 1.5949968788E-6
        set b(5) to -3.1239801752E-10
        step i from 0 to 5
        set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
        end step
        step i from 0 to 5
        set E to evaluate(E+E(i))
        end step
        set E to evaluate (E/1000)
        set text of field "n1" to E

```

```

    end if

```

```

end if

```

```

-----
if A=T9 then

```

```

----- TIPO T -----

```

```

    put text of field "temperatura" into t

```

```

if t>0 and t<=400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----
  set E to 0
  set b(0) to 0
  set b(1) to 3.8740773840E+1
  set b(2) to 3.3190198092E-2
  set b(3) to 2.0714183645E-4
  set b(4) to -2.1945834823E-6
  set b(5) to 1.1031900550E-8
  set b(6) to -3.0927581898E-11
  set b(7) to 4.5653337165E-14
  set b(8) to -2.7616878040E-17
  step i from 0 to 8
  set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 8
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if

```

```
end if
```

```
-----
if A=Et then
```

```
----- TIPO E -----
```

```
  put text of field "temperatura" into t
```

```

if t>0 and t<=1000 then
----- desde 0 °C a 1000 °C -----
  set E to 0
  set b(0) to 0
  set b(1) to 5.8695857799E+1
  set b(2) to 4.3110945462E-2
  set b(3) to 5.7220358202E-5
  set b(4) to -5.4020668085E-7
  set b(5) to 1.5425922111E-9
  set b(6) to -2.4850089136E-12
  set b(7) to 2.3389721459E-15
  set b(8) to -1.1946296815E-18
  set b(9) to 2.5561127497E-22
  step i from 0 to 9
  set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i)))
  end step
  step i from 0 to 9
  set E to evaluate(E+E(i))
  end step
  set E to evaluate (E/1000)
  set text of field "n1" to E
end if

```

```
end if
```

```
end if
```

```
-----
if A=K then
```

```
----- TIPO K -----
```

```

put text of field "temperatura" into t

if t>0 and t<=1372 then
----- desde 0 °C a 1372 °C -----
    set E to 0
    set b(0) to -1.8533063273E+1
    set b(1) to 3.8918344612E+1
    set b(2) to 1.6645154356E-2
    set b(3) to -7.8702374448E-5
    set b(4) to 2.2835785557E-7
    set b(5) to -3.5700231258E-10
    set b(6) to 2.9932909136E-13
    set b(7) to -1.2849848798E-16
    set b(8) to 2.2239974336E-20
    step i from 0 to 8
    set z to evaluate (exp(-0.5*((t^(i)-127)/65)^2))
    set E(i) to evaluate (b(i)*(t^(i))+125*z)
    end step
    step i from 0 to 8
    set E to evaluate(E+E(i))
    end step
    set E to evaluate (E/1000)
    set text of field "n1" to E
end if

end if

```

```

put text of field "n1" into Vc(orden)

```

```

if orden=1 then
    put text of field "n1" into Vd1min
    if T0=0 then
        set Vd1min to 0
    end if
    set Vd1min to evaluate (Vd1min/1000)
    set text of field "Vd1min" to Vd1min
end if

```

```

if orden=10 then
    put text of field "n1" into Vd1max
    set Vd1max to evaluate (Vd1max/1000)
    set text of field "Vd1max" to Vd1max
end if

```

```

end step

```

```

if T0=0 then
    set Tc(1) to 0
end if
set text of field Tc1 to Tc(1)
set text of field Tc2 to Tc(2)

```

```
set text of field Tc3 to Tc(3)
set text of field Tc4 to Tc(4)
set text of field Tc5 to Tc(5)
set text of field Tc6 to Tc(6)
set text of field Tc7 to Tc(7)
set text of field Tc8 to Tc(8)
set text of field Tc9 to Tc(9)
set text of field Tc10 to Tc(10)
```

```
if T0=0 then
  set Vc(1) to 0
end if
set text of field Vc1 to Vc(1)
set text of field Vc2 to Vc(2)
set text of field Vc3 to Vc(3)
set text of field Vc4 to Vc(4)
set text of field Vc5 to Vc(5)
set text of field Vc6 to Vc(6)
set text of field Vc7 to Vc(7)
set text of field Vc8 to Vc(8)
set text of field Vc9 to Vc(9)
set text of field Vc10 to Vc(10)
```

step q from 1 to 9

```
draw line from 1000+2*Tc(q),4000-20*Vc(q) to 1000+2*Tc(q+1),4000-20*Vc(q+1)
set syslinestyle to 1
```

```
if A=B then
  set the strokecolor of the selection to blue
end if

if A=R then
  set the strokecolor of the selection to white
end if

if A=S then
  set the strokecolor of the selection to green
end if

if A=Et then
  set the strokecolor of the selection to magenta
end if

if A=T9 then
  set the strokecolor of the selection to red
end if

if A=K then
  set the strokecolor of the selection to yellow
end if

if A=J then
  set the strokecolor of the selection to cyan
end if
```

```
set    EJEX to evaluate (1000+2*Tc(q+1))
set    EJEY to evaluate (4000-20*Vc(q+1)-150)
```

```
end step
```

```
if A=B Then
    select field "sensor1"
    select field "sensor11"
    show field "sensor11"
    move field "sensor1" to EJEX,EJEY
    show field "sensor1"
end if
```

```
if A=R Then
    select field "sensor2"
    select field "sensor22"
    show field "sensor22"
    move field "sensor2" to EJEX,EJEY
    show field "sensor2"
end if
```

```
if A=S Then
    select field "sensor3"
    select field "sensor33"
    show field "sensor33"
    move field "sensor3" to EJEX,EJEY
    show field "sensor3"
end if
```

```
if A=Et Then
    select field "sensor4"
    select field "sensor44"
    show field "sensor44"
    move field "sensor4" to EJEX,EJEY
    show field "sensor4"
end if
```

```
if A=T9 Then
    select field "sensor5"
    select field "sensor55"
    show field "sensor55"
    move field "sensor5" to EJEX,EJEY
    show field "sensor5"
end if
```

```
if A=K Then
    select field "sensor6"
    select field "sensor66"
    show field "sensor66"
    move field "sensor6" to EJEX,EJEY
    show field "sensor6"
end if
```

```
if A=J Then
```

```
select field "sensor7"  
select field "sensor77"  
show field "sensor77"  
move field "sensor7" to EJEX,EJEY  
show field "sensor7"  
end if
```

```
-----AQUI TERMINA EL CALCULO PARA LAS TERMOCUPLAS-----  
-----AQUI TERMINAN LAS DOS PASADAS-----
```

```
set Vd2max to evaluate (Vd1max-Vd1min)  
set text of field "Vd2max" to Vd2max  
set R1 to 56  
set R2 to 100  
set R3 to 120  
set Ep to 0.5
```

```
set Rxp to evaluate (R2*R3*Ep-Vd1min*R3*R2-Vd1min*R1*R2)/(Vd1min*(R3+R1)+R1*Ep)  
set text of field "Rxp" to Rxp
```

```
set text of field "Ep" to Ep  
set text of field "R1" to R1  
set text of field "R2" to R2  
set text of field "R3" to R3
```

```
put text of field "Vo" into Vo  
set G to evaluate (Vo/Vd2max)  
set text of field "G" to G
```

```
set a1 to evaluate (2/(G-1))
```

```
--ganacia entre 1.0002 y 2  
if a1>2 then  
    set Rx to 2.2E3  
end if
```

```
--ganacia entre 2 y 5  
if a1>0.5 and a1<=2 then  
    set Rx to 4.7E3  
end if
```

```
--ganacia entre 5 y 11  
if a1>0.2 and a1<=0.5 then  
    set Rx to 10E3  
end if
```

```
--ganacia entre 11 y 21  
if a1>0.1 and a1<=0.2 then  
    set Rx to 15E3  
end if
```

```
--ganacia entre 21 y 101  
if a1>0.02 and a1<=0.1 then
```

```
        set Rx to 18E3
end if

--ganacia entre 101 y 300
if a1>6.6889632E-3 and a1<=0.02 then
    set Rx to 20E3
end if

--ganacia entre 300 y 500
if a1>4.008016032E-3 and a1<=6.6889632E-3 then
    set Rx to 24E3
end if

--ganacia entre 500 y 700
if a1>2.861230329E-3 and a1<=4.008016032E-3 then
    set Rx to 30E3
end if

--ganacia entre 700 y 900
if a1>2.2246941E-3 and a1<=2.861230329E-3 then
    set Rx to 33E3
end if

--ganacia entre 900 y 1100
if a1>1.819836215E-3 and a1<=2.2246941E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1100 y 1300
if a1>1.539645881E-3 and a1<=1.819836215E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1300 y 1500
if a1>1.334222815E-3 and a1<= 1.539645881E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1500 y 1700
if a1>1.177163037E-3 and a1<=1.334222815E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1700 y 1900
if a1>1.053185887E-3 and a1<=1.177163037E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganancia mayor a 1900
if a1<=1.053185887E-3 then
    set Rx to 47E3
end if
```

```
set Rv to evaluate (a1*Rx)
```

```
set text of field "Rx" to Rx
```

```
set text of field "Rv" to Rv
```

```
format text of field "Rx" as ".###"
```

```
format text of field "Rv" as ".###"
```

```
format text of field "G" as ".###"
```

```
format text of field "Rxp" as ".###"
```

```
else
```

```
    select group "alerta"
```

```
    show group "alerta"
```

```
    step i from 0 to 3000
```

```
    end step
```

```
    hide group "alerta"
```

```
    step i from 0 to 2000
```

```
    end step
```

```
    select group "alerta"
```

```
    show group "alerta"
```

```
    step i from 0 to 3000
```

```
    end step
```

```
    hide group "alerta"
```

```
end if
```

```
set syscursor to 1
```

```
end
```

ANEXO: B

RTD's

B.1 Modelo matemático

B.2 Programas desarrollados para obtener:

- B.2.1 Simulación de los RTD's
- B.2.2 Diseño de un circuito acondicionador
- B.2.3 Esquema el circuito acondicionador
- B.2.4 Circuito con valores
- B.2.5 X función de Y

B.1 MODELO MATEMATICO

Polinomio interpolador de Legendre

Si se conocen los valores de cierta función f en distintos $n+1$ puntos $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$; pueden ser denotados del modo siguiente:

$$f_i = f(x_i)$$

Puede ser que dichos valores se hayan obtenido experimentalmente o a base de cálculos bastante complejos.

Si surge el problema de reestablecer aproximadamente la función f en un punto arbitrario x . Para resolverlo hay que construir un polinomio algebraico $L_n(x)$ de grado n , en cuyos puntos x_i , el mismo adquiere los valores preñados, es decir:

$$L_n(x) = f_i \quad ; \quad i=0,1,2,3,\dots,n$$

A este polinomio se le denomina polinomio interpolador, y el restablecimiento de la función f por medio de la expresión $f(x) \approx L_n(x)$ recibe el nombre de interpolación de la función f con ayuda de un polinomio algebraico.

$$n = 1$$

$$L_1(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} * f_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} * f_1$$

$$n = 2$$

$$L_2(x) = \frac{(x - x_1) * (x - x_2)}{(x_0 - x_1) * (x_0 - x_2)} * f_0 + \frac{(x - x_0) * (x - x_2)}{(x_1 - x_0) * (x_1 - x_2)} * f_1 + \frac{(x - x_0) * (x - x_1)}{(x_2 - x_0) * (x_2 - x_1)} * f_2$$

Por último, en cualquier caso genral, para cualquier n natural se tiene:

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n P_{n,i}(x) * f_i$$

(Esta expresión recibe el nombre de polinomio interpolador de Lagrange)

Siendo los coeficientes de Lagrange expresados de la forma siguiente:

$$P_{n_i}(x) = \frac{(x-x_0)\dots\dots(x-x_{l-1}) * (x-x_{l+1})\dots\dots(x-x_n)}{(x_l-x_0)\dots\dots(x_l-x_{l-1})\dots\dots(x_l-x_n)}$$

La implementación en computadora de un programa que permita obtener un expresión en base a la cual se pueda calcular una función f en un punto cualquiera x usando el polinomio interpolador de Lagrange se desarrollo en Quick Basic, y es el que se muestra a continuación:

REM PROGRAMA PARA CALCULAR UNA FUNCION f EN UN PUNTO CUALQUIERA x, USANDO EL POLINOMIO INTERPOLADOR DE LAGRANGE.

```

DIM x(15)
DIM f(15)
DIM u(15)
INPUT "numero de muestras=";M
LET N=M-1
CLS
FOR i=0 TO N
CLS
LOCATE 0,0: PRINT "x(";i;")=";
LOCATE 7,0: INPUT x(i)
LOCATE 15,0: PRINT "f(";i;")="
NEXT i
BEEP1
FOR j=0 TO N
LET u(j)=1
NEXT j
FOR j=0 TO N
FOR i=0 TO N
If j>i then let u(j)=[x(j)-x(i)]*u(j)
NEXT i
NEXT j
FOR j=0 TO N
PRINT "u(";j;")=";u(j)
NEXT j
BEEP0
FOR j=0 TO N
LET P=0
FOR i=0 to N
If i>j then let P=P+1: PRINT "D(";j;",";P;")=";"(x-";x(i);")"
NEXT i
BEEP0
NEXT j
END
    
```

B.2 PROGRAMAS DESARROLLADOS PARA OBTENER

B.2.1 SIMULACION DE LOS RTD's

PT100

to handle buttonup

-----PT 100-----

put text of field "temperatura" into t

```
if t=0 then
    set text of field "n1" to 100
else
```

```
if t>0 and t<400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----
    set u0 to -1.887749325E20
    set u1 to 3.501540597E19
    set u2 to -6.626243428E18
    set u3 to 4.525689147E18
    set u4 to -4.66825451E18
    set u5 to 2.278057942E18
    set u6 to -1.044190311E18
    set u7 to 1.418882885E18
    set u8 to -1.392969998E19
    set u9 to 1.509612471E20
```

```
    set f0 to 102.733
    set f1 to 116.311
    set f2 to 136.602
    set f3 to 147.568
    set f4 to 171.054
    set f5 to 195.527
    set f6 to 209.534
    set f7 to 215.230
    set f8 to 231.439
    set f9 to 246.715
```

```
set P0 to evaluate ((t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P1 to evaluate ((t-7)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P2 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P3 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P4 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P5 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P6 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P7 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-355)*(t-399))
set P8 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-399))
set P9 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355))
```

```
    set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
    set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
    set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
    set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
    set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
    set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
```

```

set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
set text of field "n1" to E

```

```

else

```

```

if t>400 and t<=850 then

```

```

----- desde 400 °C a 850 °C -----

```

```

set u0 to -1.785535278E21
set u1 to 1.110627548E20
set u2 to -2.538365114E19
set u3 to 8.179811772E18
set u4 to -4.662187768E18
set u5 to 1.474541691E18
set u6 to -1.276620987E18
set u7 to 4.018127907E18
set u8 to -4.001596438E19
set u9 to 2.247252999E20

```

```

set f0 to 249.468
set f1 to 272.572
set f2 to 289.549
set f3 to 308.491
set f4 to 323.873
set f5 to 344.587
set f6 to 350.765
set f7 to 360.249
set f8 to 379.180
set f9 to 390.084

```

```

set P0 to evaluate ((t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P1 to evaluate ((t-407)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P2 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P3 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P4 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P5 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P6 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P7 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-812)*(t-849))
set P8 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-849))
set P9 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812))

```

```

set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
set text of field "n1" to E

```

```

end if
end if
end if

```

```

end

```

PT500

to handle buttonup

```

-----PT 500-----

put text of field "temperatura" into t

if t=0 then
    set text of field "n1" to 500
else

if t>0 and t<400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----
    set u0 to -1.887749325E20
    set u1 to 3.501540597E19
    set u2 to -6.626243428E18
    set u3 to 4.525689147E18
    set u4 to -4.66825451E18
    set u5 to 2.278057942E18
    set u6 to -1.044190311E18
    set u7 to 1.418882885E18
    set u8 to -1.392969998E19
    set u9 to 1.509612471E20

    set f0 to 102.733
    set f1 to 116.311
    set f2 to 136.602
    set f3 to 147.568
    set f4 to 171.054
    set f5 to 195.527
    set f6 to 209.534
    set f7 to 215.230
    set f8 to 231.439
    set f9 to 246.715

set P0 to evaluate ((t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P1 to evaluate ((t-7)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P2 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P3 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P4 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P5 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P6 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P7 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-355)*(t-399))
set P8 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-399))
set P9 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355))

    set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
    set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
    set G2 to evaluate (P2*f2/u2)

```

```

set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E

```

else

if t>400 and t<=850 then

----- desde 400 °C a 850 °C -----

```

set u0 to -1.785535278E21
set u1 to 1.110627548E20
set u2 to -2.538365114E19
set u3 to 8.179811772E18
set u4 to -4.662187768E18
set u5 to 1.474541691E18
set u6 to -1.276620987E18
set u7 to 4.018127907E18
set u8 to -4.001596438E19
set u9 to 2.247252999E20

```

```

set f0 to 249.468
set f1 to 272.572
set f2 to 289.549
set f3 to 308.491
set f4 to 323.873
set f5 to 344.587
set f6 to 350.765
set f7 to 360.249
set f8 to 379.180
set f9 to 390.084

```

```

set P0 to evaluate ((t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P1 to evaluate ((t-407)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P2 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P3 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P4 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P5 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P6 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P7 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-812)*(t-849))
set P8 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-849))
set P9 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812))

```

```

set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E

```

```

end if
end if
end if

```

```

end

```

PT1000

to handle buttonup

```

-----PT 1000-----

```

```

put text of field "temperatura" into t

```

```

if t=0 then
    set text of field "n1" to 1000
else

```

```

if t>0 and t<400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----

```

```

    set u0 to -1.887749325E20
    set u1 to 3.501540597E19
    set u2 to -6.626243428E18
    set u3 to 4.525689147E18
    set u4 to -4.66825451E18
    set u5 to 2.278057942E18
    set u6 to -1.044190311E18
    set u7 to 1.418882885E18
    set u8 to -1.392969998E19
    set u9 to 1.509612471E20

```

```

    set f0 to 102.733
    set f1 to 116.311
    set f2 to 136.602
    set f3 to 147.568
    set f4 to 171.054
    set f5 to 195.527
    set f6 to 209.534
    set f7 to 215.230
    set f8 to 231.439
    set f9 to 246.715

```

```

set P0 to evaluate ((t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P1 to evaluate ((t-7)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P2 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P3 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P4 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P5 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P6 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P7 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-355)*(t-399))
set P8 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-399))
set P9 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355))

```

```

set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

set E to evaluate(10*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E

```

```

else

```

```

if t>400 and t<=850 then

```

```

----- desde 400 °C a 850 °C -----

```

```

set u0 to -1.785535278E21
set u1 to 1.110627548E20
set u2 to -2.538365114E19
set u3 to 8.179811772E18
set u4 to -4.662187768E18
set u5 to 1.474541691E18
set u6 to -1.276620987E18
set u7 to 4.018127907E18
set u8 to -4.001596438E19
set u9 to 2.247252999E20

```

```

set f0 to 249.468
set f1 to 272.572
set f2 to 289.549
set f3 to 308.491
set f4 to 323.873
set f5 to 344.587
set f6 to 350.765
set f7 to 360.249
set f8 to 379.180
set f9 to 390.084

```

```

set P0 to evaluate ((t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P1 to evaluate ((t-407)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P2 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P3 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P4 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P5 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P6 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P7 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-812)*(t-849))
set P8 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-849))
set P9 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812))

```

```

set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)

```

B.2.2 DISEÑO DE UN CIRCUITO ACONDICIONADOR

to handle buttonup

set syscursor to 4

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----

select group "alerta"

hide group "alerta"

put text of field "To" into T0

put text of field "Tf" into T1

put text of field "Vo" into Vo

put text of field "Vo" into Vo

put text of field "Tipo" into A

if (A=PT100 and T0>850) or (A=PT100 and T1>850) then

set saltar to 1

end if

if (A=PT500 and T0>850) or (A=PT500 and T1>850) then

set saltar to 1

end if

if (A=PT1000 and T0>850) or (A=PT1000 and T1>850) then

set saltar to 1

end if

if T0>=T1 then

set saltar to 1

end if

if T0<0 and T1<0 then

set saltar to 1

end if

if (T0*T1)<0 then

set saltar to 1

end if

if Vo<=0 or Vo>10 then

set saltar to 1

end if

if saltar = 0 then

-----SE VA A REALIZAR EL CALCULO EN LOS RTD'S-----

step orden from 1 to 2

put text of field "tipo" into A

```

if    orden=1 then
      put text of field "To" into T0
      set text of field "temperatura" to T0
end if

```

```

if    orden=2 then
      put text of field "Tf" into T1
      set text of field "temperatura" to T1
end if

```

```

put text of field "temperatura" into t

```

```

if t>=0 and t<400 then
----- desde 0 °C a 400 °C -----
      set u0 to -1.887749325E20
      set u1 to 3.501540597E19
      set u2 to -6.626243428E18
      set u3 to 4.525689147E18
      set u4 to -4.66825451E18
      set u5 to 2.278057942E18
      set u6 to -1.044190311E18
      set u7 to 1.418882885E18
      set u8 to -1.392969998E19
      set u9 to 1.509612471E20

```

```

      set f0 to 102.733
      set f1 to 116.311
      set f2 to 136.602
      set f3 to 147.568
      set f4 to 171.054
      set f5 to 195.527
      set f6 to 209.534
      set f7 to 215.230
      set f8 to 231.439
      set f9 to 246.715

```

```

set P0 to evaluate ((t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P1 to evaluate ((t-7)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P2 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P3 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P4 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P5 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P6 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-309)*(t-355)*(t-399))
set P7 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-355)*(t-399))
set P8 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-399))
set P9 to evaluate ((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355))

```

```

      set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
      set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
      set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
      set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
      set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
      set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
      set G6 to evaluate (P6*f6/u6)

```

```

set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

if A=PT100
set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
set text of field "n1" to E
end if

```

```

if A=PT500
set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E
end if

```

```

if A=PT1000
set E to evaluate(10*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E
end if

```

```

else

```

```

if t>400 and t<=850 then
----- desde 400 °C a 850 °C -----

```

```

set u0 to -1.785535278E21
set u1 to 1.110627548E20
set u2 to -2.538365114E19
set u3 to 8.179811772E18
set u4 to -4.662187768E18
set u5 to 1.474541691E18
set u6 to -1.276620987E18
set u7 to 4.018127907E18
set u8 to -4.001596438E19
set u9 to 2.247252999E20

```

```

set f0 to 249.468
set f1 to 272.572
set f2 to 289.549
set f3 to 308.491
set f4 to 323.873
set f5 to 344.587
set f6 to 350.765
set f7 to 360.249
set f8 to 379.180
set f9 to 390.084

```

```

set P0 to evaluate ((t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P1 to evaluate ((t-407)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P2 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P3 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P4 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P5 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P6 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P7 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-812)*(t-849))
set P8 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-849))
set P9 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812))

```

```

set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

if A=PT100
set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
set text of field "n1" to E
end if

```

```

if A=PT500
set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E
end if

```

```

if A=PT1000
set E to evaluate(10*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
set text of field "n1" to E
end if

```

```

end if
end if

```

```

if orden=1 then
put text of field "n1" into Rxpmin
set text of field "Rxpmin" to Rxpmin
end if

```

```

if orden=2 then
put text of field "n1" into Rxpmax
set text of field "Rxpmax" to Rxpmax
end if

```

```

end step

```

```

set Ep to 10

```

```

if A=PT100 then
set R2 to 300
set R3 to 300
set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep))
end if

```

```

if A=PT500 then

```

```
    set R2 to 1200
    set R3 to 1200
    set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
    set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep))
end if
```

```
if A=PT1000 then
    set R2 to 2000
    set R3 to 2000
    set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
    set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep))
end if
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Vdmax" to Vdmax
```

```
put text of field "Vo" into Vo
set G to evaluate (Vo/Vdmax)
set text of field "G" to G
```

```
set a1 to evaluate (2/(G-1))
```

```
--ganacia entre 1.0002 y 2
if a1>2 then
    set Rx to 2.2E3
end if
```

```
--ganacia entre 2 y 5
if a1>0.5 and a1<=2 then
    set Rx to 4.7E3
end if
```

```
--ganacia entre 5 y 11
if a1>0.2 and a1<=0.5 then
    set Rx to 10E3
end if
```

```
--ganacia entre 11 y 21
if a1>0.1 and a1<=0.2 then
    set Rx to 15E3
end if
```

```
--ganacia entre 21 y 101
if a1>0.02 and a1<=0.1 then
    set Rx to 18E3
end if
```

```
--ganacia entre 101 y 300
if a1>6.6889632E-3 and a1<=0.02 then
    set Rx to 20E3
end if
```

```
--ganacia entre 300 y 500
```

```
if a1>4.008016032E-3 and a1<=6.6889632E-3 then
    set Rx to 24E3
end if
```

```
--ganacia entre 500 y 700
if a1>2.861230329E-3 and a1<=4.008016032E-3 then
    set Rx to 30E3
end if
```

```
--ganacia entre 700 y 900
if a1>2.2246941E-3 and a1<=2.861230329E-3 then
    set Rx to 33E3
end if
```

```
--ganacia entre 900 y 1100
if a1>1.819836215E-3 and a1<=2.2246941E-3 then
    set Rx to 39E3
end if
```

```
--ganacia entre 1100 y 1300
if a1>1.539645881E-3 and a1<=1.819836215E-3 then
    set Rx to 39E3
end if
```

```
--ganacia entre 1300 y 1500
if a1>1.334222815E-3 and a1<= 1.539645881E-3 then
    set Rx to 39E3
end if
```

```
--ganacia entre 1500 y 1700
if a1>1.177163037E-3 and a1<=1.334222815E-3 then
    set Rx to 39E3
end if
```

```
--ganacia entre 1700 y 1900
if a1>1.053185887E-3 and a1<=1.177163037E-3 then
    set Rx to 39E3
end if
```

```
--ganancia mayor a 1900
if a1<=1.053185887E-3 then
    set Rx to 47E3
end if
```

```
set Rv to evaluate (a1*Rx)
```

```
set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rv" to Rv
```

```
.format text of field "Rxpmax" as ".###"
format text of field "Rxpmin" as ".###"
format text of field "G" as ".###"
format text of field "R1" as ".###"
```

```
format text of field "Rv" as ".###"
```

```
format text of field "Rx" as ".###"
```

```
else
```

```
  select group "alerta"
```

```
  show group "alerta"
```

```
  step i from 0 to 3000
```

```
  end step
```

```
  hide group "alerta"
```

```
  step i from 0 to 2000
```

```
  end step
```

```
  select group "alerta"
```

```
  show group "alerta"
```

```
  step i from 0 to 3000
```

```
  end step
```

```
  hide group "alerta"
```

```
end if
```

```
set syscursor to 1
```

```
end
```

B.2.3 ESQUEMA DEL CIRCUITO ACONDICIONADOR

to handle buttonup

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A
```

```
put text of field "Ep" into Ep
put text of field "R1" into R1
put text of field "R2" into R2
put text of field "R3" into R3
put text of field "Rxpmin" into Rxpmin
put text of field "Rxpmax" into Rxpmax
put text of field "Rx" into Rx
put text of field "Rv" into Rv
put text of field "G" into G
put text of field "Vdmax" into Vdmax
```

go to page PT1

```
set text of field "To" to T0
set text of field "Tf" to T1
set text of field "Vo" to Vo
set text of field "Tipo" to A
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Rxpmin" to Rxpmin
set text of field "Rxpmax" to Rxpmax
set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rv" to Rv
set text of field "G" to G
set text of field "Vdmax" to Vdmax
```

end

B.2.4 CIRCUITO CON VALORES

to handle buttonup

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A
```

```
put text of field "Ep" into Ep
put text of field "R1" into R1
put text of field "R2" into R2
put text of field "R3" into R3
put text of field "Rxp" into Rxp
put text of field "Rx" into Rx
put text of field "Rv" into Rv
put text of field "G" into G
put text of field "Vd1min" into Vd1min
put text of field "Vd1max" into Vd1max
put text of field "Vd2max" into Vd2max
```

go to page DT2

```
set text of field "To" to T0
set text of field "Tf" to T1
set text of field "Vo" to Vo
set text of field "Tipo" to A
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Rxp" to Rxp
set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rx1" to Rx
set text of field "Rx2" to Rx
set text of field "Rx3" to Rx
set text of field "Rx4" to Rx
set text of field "Rx5" to Rx
```

```
set text of field "Rv" to Rv
set text of field "G" to G
set text of field "Vd1min" to Vd1min
set text of field "Vd1max" to Vd1max
set text of field "Vd2max" to Vd2max
```

end

B.2.5 X FUNCION DE Y

to handle buttonup

set syscursor to 4

select field "sensor11"
 hide field "sensor11"
 select field "sensor22"
 hide field "sensor22"
 select field "sensor33"
 hide field "sensor33"

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----

select group "alerta"
 hide group "alerta"

put text of field "To" into T0
 put text of field "Tf" into T1
 put text of field "Vo" into Vo
 put text of field "Vo" into Vo
 put text of field "Tipo" into A

if (A=PT100 and T0>850) or (A=PT100 and T1>850) then
 set saltar to 1
 end if

if (A=PT500 and T0>850) or (A=PT500 and T1>850) then
 set saltar to 1
 end if

if (A=PT1000 and T0>850) or (A=PT1000 and T1>850) then
 set saltar to 1
 end if

if T0>=T1 then
 set saltar to 1
 end if

if T0<0 and T1<0 then
 set saltar to 1
 end if

if (T0*T1)<0 then
 set saltar to 1
 end if

if Vo<=0 or Vo>10 then
 set saltar to 1
 end if

 if saltar = 0 then

-----SE VA A REALIZAR EL CALCULO EN LOS RTD'S-----

set deltaT to evaluate $((T1-T0)/10)$

step q from 1 to 9

set Tc(q) to evaluate $(T0+(q-1)*deltaT)$

end step

set Tc(10) to T1

step orden from 1 to 10

set text of field "temperatura" to Tc(orden)

put text of field "temperatura" into t

if t>=0 and t<=400 then

----- desde 0 °C a 400 °C -----

set u0 to -1.887749325E20

set u1 to 3.501540597E19

set u2 to -6.626243428E18

set u3 to 4.525689147E18

set u4 to -4.66825451E18

set u5 to 2.278057942E18

set u6 to -1.044190311E18

set u7 to 1.418882885E18

set u8 to -1.392969998E19

set u9 to 1.509612471E20

set f0 to 102.733

set f1 to 116.311

set f2 to 136.602

set f3 to 147.568

set f4 to 171.054

set f5 to 195.527

set f6 to 209.534

set f7 to 215.230

set f8 to 231.439

set f9 to 246.715

set P0 to evaluate $((t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P1 to evaluate $((t-7)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P2 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P3 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P4 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P5 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-293)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P6 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-309)*(t-355)*(t-399))$

set P7 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-355)*(t-399))$

set P8 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-399))$

set P9 to evaluate $((t-7)*(t-42)*(t-95)*(t-124)*(t-187)*(t-254)*(t-293)*(t-309)*(t-355))$

set G0 to evaluate $(P0*f0/u0)$

set G1 to evaluate $(P1*f1/u1)$

```

set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

if A=PT100

```

```

    set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
    set text of field "n1" to E

```

```

end if

```

```

if A=PT500

```

```

    set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
    set text of field "n1" to E

```

```

end if

```

```

if A=PT1000

```

```

    set E to evaluate(10*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
    set text of field "n1" to E

```

```

end if

```

```

else

```

```

if t>400 and t<=850 then

```

```

----- desde 400 °C a 850 °C -----

```

```

    set u0 to -1.785535278E21
    set u1 to 1.110627548E20
    set u2 to -2.538365114E19
    set u3 to 8.179811772E18
    set u4 to -4.662187768E18
    set u5 to 1.474541691E18
    set u6 to -1.276620987E18
    set u7 to 4.018127907E18
    set u8 to -4.001596438E19
    set u9 to 2.247252999E20

```

```

    set f0 to 249.468
    set f1 to 272.572
    set f2 to 289.549
    set f3 to 308.491
    set f4 to 323.873
    set f5 to 344.587
    set f6 to 350.765
    set f7 to 360.249
    set f8 to 379.180
    set f9 to 390.084

```

```

set P0 to evaluate ((t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P1 to evaluate ((t-407)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P2 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P3 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P4 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P5 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-718)*(t-749)*(t-812)*(t-849))

```

```

set P6 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-749)*(t-812)*(t-849))
set P7 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-812)*(t-849))
set P8 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-849))
set P9 to evaluate ((t-407)*(t-475)*(t-526)*(t-584)*(t-632)*(t-698)*(t-718)*(t-749)*(t-812))

```

```

    set G0 to evaluate (P0*f0/u0)
    set G1 to evaluate (P1*f1/u1)
    set G2 to evaluate (P2*f2/u2)
    set G3 to evaluate (P3*f3/u3)
    set G4 to evaluate (P4*f4/u4)
    set G5 to evaluate (P5*f5/u5)
    set G6 to evaluate (P6*f6/u6)
    set G7 to evaluate (P7*f7/u7)
    set G8 to evaluate (P8*f8/u8)
    set G9 to evaluate (P9*f9/u9)

```

```

    if A=PT100
    set E to evaluate(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9)
    set text of field "n1" to E
    end if

```

```

    if A=PT500
    set E to evaluate(5*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
    set text of field "n1" to E
    end if

```

```

    if A=PT1000
    set E to evaluate(10*(G0+G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9))
    set text of field "n1" to E
    end if

```

```

end if
end if

```

```

put text of field "n1" into Rc(orden)

```

```

if orden=1 then
    put text of field "n1" into Rxpmin
    set text of field "Rxpmin" to Rxpmin
end if

```

```

if orden=10 then
    put text of field "n1" into Rxpmax
    set text of field "Rxpmax" to Rxpmax
end if

```

```

end step

```

```

set text of field Tc1 to Tc(1)
set text of field Tc2 to Tc(2)
set text of field Tc3 to Tc(3)
set text of field Tc4 to Tc(4)
set text of field Tc5 to Tc(5)
set text of field Tc6 to Tc(6)
set text of field Tc7 to Tc(7)

```

```

set text of field Tc8 to Tc(8)
set text of field Tc9 to Tc(9)
set text of field Tc10 to Tc(10)

```

```

set text of field Rc1 to Rc(1)
set text of field Rc2 to Rc(2)
set text of field Rc3 to Rc(3)
set text of field Rc4 to Rc(4)
set text of field Rc5 to Rc(5)
set text of field Rc6 to Rc(6)
set text of field Rc7 to Rc(7)
set text of field Rc8 to Rc(8)
set text of field Rc9 to Rc(9)
set text of field Rc10 to Rc(10)

```

```

step q from 1 to 9

```

```

draw line from 1000+4*Tc(q),4000-0.5*Rc(q) to 1000+4*Tc(q+1),4000-0.5*Rc(q+1)
set syslinestyle to 1

```

```

    if A=PT100 then
        set the strokecolor of the selection to blue
    end if

```

```

    if A=PT500 then
        set the strokecolor of the selection to yellow
    end if

```

```

    if A=PT1000 then
        set the strokecolor of the selection to green
    end if

```

```

set    EJEX to evaluate (1000+4*Tc(q+1))
set    EJEY to evaluate (4000-0.5*Rc(q+1)-150)

```

```

end step

```

```

if A=PT100 Then
    select field "sensor1"
    select field "sensor11"
    show field "sensor11"
    move field "sensor1" to EJEX,EJEY
    show field "sensor1"
end if

```

```

if A=PT500 Then
    select field "sensor2"
    select field "sensor22"
    show field "sensor22"
    move field "sensor2" to EJEX,EJEY
    show field "sensor2"
end if

```

```

if A=PT1000 Then
    select field "sensor3"

```

```

        select field "sensor33"
        show field "sensor33"
        move field "sensor3" to EJEX,EJEY
        show field "sensor3"
    end if

```

```
set Ep to 10
```

```

if A=PT100 then
    set R2 to 300
    set R3 to 300
    set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep)
end if

```

```

if A=PT500 then
    set R2 to 1200
    set R3 to 1200
    set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep)
end if

```

```

if A=PT1000 then
    set R2 to 2000
    set R3 to 2000
    set R1 to evaluate (R2*R3/Rxpmin)
set Vdmax to evaluate (abs(((R2*R3-R1*Rxpmax)/((R1+R3)*(R2+Rxpmax))))*Ep)
end if

```

```

set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "R3" to R3
set text of field "Vdmax" to Vdmax

```

```

put text of field "Vo" into Vo
set G to evaluate (Vo/Vdmax)
set text of field "G" to G

```

```
set a1 to evaluate (2/(G-1))
```

```
--ganacia entre 1.0002 y 2
```

```

if a1>2 then
    set Rx to 2.2E3
end if

```

```
--ganacia entre 2 y 5
```

```

if a1>0.5 and a1<=2 then
    set Rx to 4.7E3
end if

```

```
--ganacia entre 5 y 11
if a1>0.2 and a1<=0.5 then
    set Rx to 10E3
end if

--ganacia entre 11 y 21
if a1>0.1 and a1<=0.2 then
    set Rx to 15E3
end if

--ganacia entre 21 y 101
if a1>0.02 and a1<=0.1 then
    set Rx to 18E3
end if

--ganacia entre 101 y 300
if a1>6.6889632E-3 and a1<=0.02 then
    set Rx to 20E3
end if

--ganacia entre 300 y 500
if a1>4.008016032E-3 and a1<=6.6889632E-3 then
    set Rx to 24E3
end if

--ganacia entre 500 y 700
if a1>2.861230329E-3 and a1<=4.008016032E-3 then
    set Rx to 30E3
end if

--ganacia entre 700 y 900
if a1>2.2246941E-3 and a1<=2.861230329E-3 then
    set Rx to 33E3
end if

--ganacia entre 900 y 1100
if a1>1.819836215E-3 and a1<=2.2246941E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1100 y 1300
if a1>1.539645881E-3 and a1<=1.819836215E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1300 y 1500
if a1>1.334222815E-3 and a1<= 1.539645881E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1500 y 1700
if a1>1.177163037E-3 and a1<=1.334222815E-3 then
    set Rx to 39E3
end if

--ganacia entre 1700 y 1900
if a1>1.053185887E-3 and a1<=1.177163037E-3 then
    set Rx to 39E3
```

end if

--ganancia mayor a 1900

```
if a1 <= 1.053185887E-3 then
    set Rx to 47E3
end if
```

set Rv to evaluate (a1*Rx)

set text of field "Rx" to Rx
set text of field "Rv" to Rv

```
format text of field "Rxpmax" as ".###"  
format text of field "Rxpmin" as ".###"  
format text of field "G" as ".###"  
format text of field "R1" as ".###"  
format text of field "Rv" as ".###"  
format text of field "Rx" as ".###"
```

else

```
    select group "alerta"  
    show group "alerta"  
    step i from 0 to 3000  
    end step  
    hide group "alerta"  
    step i from 0 to 2000  
    end step  
    select group "alerta"  
    show group "alerta"  
    step i from 0 to 3000  
    end step  
    hide group "alerta"
```

end if

set syscursor to 1

end

ANEXO: C

Termistores

C.1 Modelo matemático

C.2 Programas desarrollados para obtener:

- C.2.1 Simulación de los termistores
- C.2.2 Diseño de un circuito acondicionador
- C.2.3 Esquema del circuito acondicionador
- C.2.4 Circuito con valores
- C.2.5 X función de Y

C.1 MODELO MATEMATICO**C.2 PROGRAMAS DESARROLLADOS PARA OBTENER:****C.2.1 SIMULACION DE LOS TERMISTORES**

Para cada termistor se hace uso de una matriz de valores de resistencia en función de la temperatura presentada en el Catálogo OMEGA de temperatura.

C.2.2 DISEÑO DE UN CIRCUITO ACONDICIONADOR

to handle buttonup

set syscursor to 4

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----

select group "alerta"

hide group "alerta"

 put text of field "To" into T0

 put text of field "Tf" into T1

 put text of field "Vo" into Vo

 put text of field "Tipo" into A

if (A=44033 and T0>70) or (A=44033 and T1>70) then
 set saltar to 1

end if

if (A=44034 and T0>70) or (A=44034 and T1>70) then
 set saltar to 1

end if

if T0>=T1 then
 set saltar to 1

end if

if T0<0 and T1<0 then
 set saltar to 1

end if

if (T0*T1)<0 then
 set saltar to 1

end if

if Vo<=0 or Vo>10 then
 set saltar to 1

end if

if saltar = 0 then

 put text of field "tipo" into A

if A=44033 then

-----TIPO 44033-----
 set E(0) to 7355
 set E(1) to 6989
 set E(2) to 6644
 set E(3) to 6319
 set E(4) to 6011
 set E(5) to 5719
 set E(6) to 5444
 set E(7) to 5183
 set E(8) to 4937
 set E(9) to 4703
 set E(10) to 4482
 set E(11) to 4273
 set E(12) to 4074
 set E(13) to 3886
 set E(14) to 3708
 set E(15) to 3539
 set E(16) to 3378
 set E(17) to 3226
 set E(18) to 3081
 set E(19) to 2944
 set E(20) to 2814
 set E(21) to 2690
 set E(22) to 2572
 set E(23) to 2460
 set E(24) to 2354
 set E(25) to 2252
 set E(26) to 2156
 set E(27) to 2064
 set E(28) to 1977
 set E(29) to 1894
 set E(30) to 1815
 set E(31) to 1739
 set E(32) to 1667
 set E(33) to 1599
 set E(34) to 1533
 set E(35) to 1471
 set E(36) to 1412
 set E(37) to 1355
 set E(38) to 1301
 set E(39) to 1249
 set E(40) to 1200
 set E(41) to 1152
 set E(42) to 1107
 set E(43) to 1064
 set E(44) to 1023

```
set E(45) to 983.8
set E(46) to 946.2
set E(47) to 910.2
set E(48) to 875.8
set E(49) to 842.8
set E(50) to 811.3
set E(51) to 781.1
set E(52) to 752.2
set E(53) to 724.5
set E(54) to 697.7
set E(55) to 672.5
set E(56) to 648.1
set E(57) to 624.8
set E(58) to 602.4
set E(59) to 580.9
set E(60) to 560.3
set E(61) to 540.5
set E(62) to 521.5
set E(63) to 503.3
set E(64) to 485.8
set E(65) to 469.0
set E(66) to 452.9
set E(67) to 437.4
set E(68) to 422.5
set E(69) to 408.2
set E(70) to 394.5
```

end if

if A=44034 then

```
-----TIPO 44034-----
set E(0) to 16.33E3
set E(1) to 15.52E3
set E(2) to 14.75E3
set E(3) to 14.03E3
set E(4) to 13.34E3
set E(5) to 12.70E3
set E(6) to 12.09E3
set E(7) to 11.51E3
set E(8) to 10.96E3
set E(9) to 10.44E3
set E(10) to 9951
set E(11) to 6486
set E(12) to 9046
set E(13) to 8628
set E(14) to 8232
set E(15) to 7857
set E(16) to 7500
set E(17) to 7162
set E(18) to 6841
set E(19) to 65336
set E(20) to 6247
set E(21) to 5972
set E(22) to 5710
set E(23) to 5462
set E(24) to 5225
set E(25) to 5000
set E(26) to 4787
```

```
set E(27) to 4583
set E(28) to 4389
set E(29) to 4204
set E(30) to 4029
set E(31) to 3861
set E(32) to 3702
set E(33) to 3549
set E(34) to 3404
set E(35) to 3266
set E(36) to 3134
set E(37) to 3008
set E(38) to 2888
set E(39) to 2773
set E(40) to 2663
set E(41) to 2559
set E(42) to 2459
set E(43) to 2363
set E(44) to 2272
set E(45) to 2184
set E(46) to 2101
set E(47) to 2021
set E(48) to 1944
set E(49) to 1871
set E(50) to 1801
set E(51) to 1734
set E(52) to 1670
set E(53) to 1608
set E(54) to 1549
set E(55) to 1493
set E(56) to 1439
set E(57) to 1387
set E(58) to 1337
set E(59) to 1290
set E(60) to 1244
set E(61) to 1200
set E(62) to 1158
set E(63) to 1117
set E(64) to 1079
set E(65) to 1041
set E(66) to 1006
set E(67) to 971.1
set E(68) to 938.0
set E(69) to 906.3
set E(70) to 875.7
```

end if

```
set Ep to 1
```

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
```

```
set Rsmax to E(T0)
set Rsmin to E(T1)
```

-----Hasta aquí tengo Rs y T-----

```
set Rref to Rsmax
set deltaRsmax to evaluate (Rref-Rsmin)

if Rref>15E3 and Rref<=18E3 then
  set R1 to 18E3
end if
if Rref>12E3 and Rref<=15E3 then
  set R1 to 15E3
end if
if Rref>10E3 and Rref<=12E3 then
  set R1 to 12E3
end if
if Rref>8.2E3 and Rref<=10E3 then
  set R1 to 10E3
end if
if Rref>7.5E3 and Rref<=8.2E3 then
  set R1 to 8.2E3
end if
if Rref>6.2E3 and Rref<=7.5E3 then
  set R1 to 7.5E3
end if
if Rref>5.6E3 and Rref<=6.2E3 then
  set R1 to 6.2E3
end if
if Rref>4.7E3 and Rref<=5.6E3 then
  set R1 to 5.6E3
end if
if Rref>3.3E3 and Rref<=4.7E3 then
  set R1 to 4.7E3
end if
if Rref>2.7E3 and Rref<=3.3E3 then
  set R1 to 3.3E3
end if
if Rref>2E3 and Rref<=2.7E3 then
  set R1 to 2.7E3
end if
if Rref>1.5E3 and Rref<=2E3 then
  set R1 to 2E3
end if
if Rref>1E3 and Rref<=1.5E3 then
  set R1 to 1.5E3
end if
if Rref>820 and Rref<=1E3 then
  set R1 to 1E3
end if
if Rref>560 and Rref<=820 then
  set R1 to 820
end if
if Rref>470 and Rref<=560 then
  set R1 to 560
end if
if Rref>330 and Rref<=470 then
  set R1 to 470
end if
if Rref<=300 then
  set R1 to 330
```

```
end if

set Vo1max to evaluate (Ep*deltaRsmx/(R1+Rref))

set text of field "R1" to R1
set text of field "Rref" to Rref
set text of field "Rsmx" to Rsmx
set text of field "Rsmin" to Rsmin

put text of field "Vo" into Vo
set G to evaluate (Vo/Vo1max)

if G>1 and G<=10 then
    set R2 to 10E3
end if

if G>10 and G<=20 then
    set R2 to 4.7E3
end if

if G>20 then
    set R2 to 2.2E3
end if

set Rf to evaluate ((Vo/Vo1max)*R2 -R2)

set text of field "Ep" to Ep
set text of field "G" to G
set text of field "Rf" to Rf
set text of field "R2" to R2
```

```
format text of field "G" as ".###"
format text of field "Rf" as ".###"
```

```
else
    select group "alerta"
    show group "alerta"
    step i from 0 to 3000
    end step
    hide group "alerta"
    step i from 0 to 2000
    end step
    select group "alerta"
    show group "alerta"
    step i from 0 to 3000
    end step
    hide group "alerta"
```

```
end if
```

```
set syscursor to 1
```

```
end
```

C.2.4 CIRCUITO CON VALORES

to handle buttonup

```
put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A
```

```
put text of field "Ep" into Ep
put text of field "R1" into R1
put text of field "R2" into R2
put text of field "Rsmin" into Rsmin
put text of field "Rsmax" into Rsmax
put text of field "Rref" into Rref
put text of field "Rf" into Rf
put text of field "G" into G
```

go to page HT2

```
set text of field "To" to T0
set text of field "Tf" to T1
set text of field "Vo" to Vo
set text of field "Tipo" to A
```

```
set text of field "Ep" to Ep
set text of field "R1" to R1
set text of field "R2" to R2
set text of field "Rsmin" to Rsmin
set text of field "Rsmax" to Rsmax
set text of field "Rx1" to R1
set text of field "Rref" to Rref
set text of field "Rf" to Rf
set text of field "G" to G
```

end

C.2.5 X FUNCION DE Y

to handle buttonup

set syscursor to 4

select field "sensor11"
hide field "sensor11"
select field "sensor22"
hide field "sensor22"

set saltar to 0

-----FACTIBILIDAD-----
select group "alerta"
hide group "alerta"

put text of field "To" into T0
put text of field "Tf" into T1
put text of field "Vo" into Vo
put text of field "Tipo" into A

if (A=44033 and T0>70) or (A=44033 and T1>70) then
set saltar to 1
end if

if (A=44034 and T0>70) or (A=44034 and T1>70) then
set saltar to 1
end if

if T0>=T1 then
set saltar to 1
end if

if T0<0 and T1<0 then
set saltar to 1
end if

if (T0*T1)<0 then
set saltar to 1
end if

if Vo<=0 or Vo>10 then
set saltar to 1
end if

if saltar = 0 then

-----AQUI EMPIEZA EL CALCULO-----

set deltaT to evaluate $((T1-T0)/10)$

step q from 1 to 9

set Tc(q) to evaluate $((T0+(q-1)*deltaT))$

PUT round (Tc(q)) into Tc(q)

end step

set Tc(10) to T1

put text of field "tipo" into A

if A=44033 then

-----TIPO 44033-----

set E(0) to 7355
set E(1) to 6989
set E(2) to 6644
set E(3) to 6319
set E(4) to 6011
set E(5) to 5719
set E(6) to 5444
set E(7) to 5183
set E(8) to 4937
set E(9) to 4703
set E(10) to 4482
set E(11) to 4273
set E(12) to 4074
set E(13) to 3886
set E(14) to 3708
set E(15) to 3539
set E(16) to 3378
set E(17) to 3226
set E(18) to 3081
set E(19) to 2944
set E(20) to 2814
set E(21) to 2690
set E(22) to 2572
set E(23) to 2460
set E(24) to 2354
set E(25) to 2252
set E(26) to 2156
set E(27) to 2064
set E(28) to 1977
set E(29) to 1894
set E(30) to 1815
set E(31) to 1739
set E(32) to 1667
set E(33) to 1599
set E(34) to 1533
set E(35) to 1471
set E(36) to 1412
set E(37) to 1355
set E(38) to 1301
set E(39) to 1249
set E(40) to 1200
set E(41) to 1152

```
set E(42) to 1107
set E(43) to 1064
set E(44) to 1023
set E(45) to 983.8
set E(46) to 946.2
set E(47) to 910.2
set E(48) to 875.8
set E(49) to 842.8
set E(50) to 811.3
set E(51) to 781.1
set E(52) to 752.2
set E(53) to 724.5
set E(54) to 697.7
set E(55) to 672.5
set E(56) to 648.1
set E(57) to 624.8
set E(58) to 602.4
set E(59) to 580.9
set E(60) to 560.3
set E(61) to 540.5
set E(62) to 521.5
set E(63) to 503.3
set E(64) to 485.8
set E(65) to 469.0
set E(66) to 452.9
set E(67) to 437.4
set E(68) to 422.5
set E(69) to 408.2
set E(70) to 394.5
```

end if

if A=44034 then

```
-----TIPO 44034-----
set E(0) to 16.33E3
set E(1) to 15.52E3
set E(2) to 14.75E3
set E(3) to 14.03E3
set E(4) to 13.34E3
set E(5) to 12.70E3
set E(6) to 12.09E3
set E(7) to 11.51E3
set E(8) to 10.96E3
set E(9) to 10.44E3
set E(10) to 9951
set E(11) to 6486
set E(12) to 9046
set E(13) to 8628
set E(14) to 8232
set E(15) to 7857
set E(16) to 7500
set E(17) to 7162
set E(18) to 6841
set E(19) to 65336
set E(20) to 6247
set E(21) to 5972
set E(22) to 5710
set E(23) to 5462
```

set E(24) to 5225
set E(25) to 5000
set E(26) to 4787
set E(27) to 4583
set E(28) to 4389
set E(29) to 4204
set E(30) to 4029
set E(31) to 3861
set E(32) to 3702
set E(33) to 3549
set E(34) to 3404
set E(35) to 3266
set E(36) to 3134
set E(37) to 3008
set E(38) to 2888
set E(39) to 2773
set E(40) to 2663
set E(41) to 2559
set E(42) to 2459
set E(43) to 2363
set E(44) to 2272
set E(45) to 2184
set E(46) to 2101
set E(47) to 2021
set E(48) to 1944
set E(49) to 1871
set E(50) to 1801
set E(51) to 1734
set E(52) to 1670
set E(53) to 1608
set E(54) to 1549
set E(55) to 1493
set E(56) to 1439
set E(57) to 1387
set E(58) to 1337
set E(59) to 1290
set E(60) to 1244
set E(61) to 1200
set E(62) to 1158
set E(63) to 1117
set E(64) to 1079
set E(65) to 1041
set E(66) to 1006
set E(67) to 971.1
set E(68) to 938.0
set E(69) to 906.3
set E(70) to 875.7

end if

set Ep to 1

set Rsm_{ax} to E(T₀)

set Rsm_{in} to E(T₁)

step m from 1 to 10

```

    set Rc(m) to E(Tc(m))
end step

```

```

set text of field "Rc1" to Rc(1)
set text of field "Rc2" to Rc(2)
set text of field "Rc3" to Rc(3)
set text of field "Rc4" to Rc(4)
set text of field "Rc5" to Rc(5)
set text of field "Rc6" to Rc(6)
set text of field "Rc7" to Rc(7)
set text of field "Rc8" to Rc(8)
set text of field "Rc9" to Rc(9)
set text of field "Rc10" to Rc(10)

```

```

set text of field "Tc1" to Tc(1)
set text of field "Tc2" to Tc(2)
set text of field "Tc3" to Tc(3)
set text of field "Tc4" to Tc(4)
set text of field "Tc5" to Tc(5)
set text of field "Tc6" to Tc(6)
set text of field "Tc7" to Tc(7)
set text of field "Tc8" to Tc(8)
set text of field "Tc9" to Tc(9)
set text of field "Tc10" to Tc(10)

```

```

step q from 1 to 9

```

```

draw line from 1000+40*Tc(q),4000-0.1*Rc(q) to 1000+40*Tc(q+1),4000-0.1*Rc(q+1)
set syslinestyle to 1

```

```

    if A=44033 then
        set the strokecolor of the selection to blue
    end if

```

```

    if A=44034 then
        set the strokecolor of the selection to yellow
    end if

```

```

set EJEX to evaluate (1000+40*Tc(q+1))
set EJEY to evaluate (4000-0.1*Rc(q+1)-150)

```

```

end step

```

```

if A=44033 Then
    select field "sensor1"
    select field "sensor11"
    show field "sensor11"
    move field "sensor1" to EJEX,EJEY
    show field "sensor1"
end if

```

```

if A=44034 Then
    select field "sensor2"
    select field "sensor22"
    show field "sensor22"

```

```
        move field "sensor2" to EJEX,EJEY
        show field "sensor2"
    end if
```

-----Hasta aquí tengo Rs y T-----

```
    set Rref to Rsmax
    set deltaRsmax to evaluate (Rref-Rsmin)

    if Rref>15E3 and Rref<=18E3 then
        set R1 to 18E3
    end if
    if Rref>12E3 and Rref<=15E3 then
        set R1 to 15E3
    end if
    if Rref>10E3 and Rref<=12E3 then
        set R1 to 12E3
    end if
    if Rref>8.2E3 and Rref<=10E3 then
        set R1 to 10E3
    end if
    if Rref>7.5E3 and Rref<=8.2E3 then
        set R1 to 8.2E3
    end if
    if Rref>6.2E3 and Rref<=7.5E3 then
        set R1 to 7.5E3
    end if
    if Rref>5.6E3 and Rref<=6.2E3 then
        set R1 to 6.2E3
    end if
    if Rref>4.7E3 and Rref<=5.6E3 then
        set R1 to 5.6E3
    end if
    if Rref>3.3E3 and Rref<=4.7E3 then
        set R1 to 4.7E3
    end if
    if Rref>2.7E3 and Rref<=3.3E3 then
        set R1 to 3.3E3
    end if
    if Rref>2E3 and Rref<=2.7E3 then
        set R1 to 2.7E3
    end if
    if Rref>1.5E3 and Rref<=2E3 then
        set R1 to 2E3
    end if
    if Rref>1E3 and Rref<=1.5E3 then
        set R1 to 1.5E3
    end if
    if Rref>820 and Rref<=1E3 then
        set R1 to 1E3
    end if
    if Rref>560 and Rref<=820 then
        set R1 to 820
    end if
    if Rref>470 and Rref<=560 then
        set R1 to 560
```

```
end if
if Rref>330 and Rref<=470 then
    set R1 to 470
end if
if Rref<=300 then
    set R1 to 330
end if

set Vo1max to evaluate (Ep*deltaRsmx/(R1+Rref))

set text of field "R1" to R1
set text of field "Rref" to Rref
set text of field "Rsmx" to Rsmx
set text of field "Rsmin" to Rsmin

put text of field "Vo" into Vo
set G to evaluate (Vo/Vo1max)

if G>1 and G<=10 then
    set R2 to 10E3
end if

if G>10 and G<=20 then
    set R2 to 4.7E3
end if

if G>20 then
    set R2 to 2.2E3
end if

set Rf to evaluate ((Vo/Vo1max)*R2 -R2)

set text of field "Ep" to Ep
set text of field "G" to G
set text of field "Rf" to Rf
set text of field "R2" to R2

format text of field "G" as ".###"
format text of field "Rf" as ".###"

else
    select group "alerta"
    show group "alerta"
    step i from 0 to 3000
    end step
    hide group "alerta"
    step i from 0 to 2000
    end step
    select group "alerta"
    show group "alerta"
    step i from 0 to 3000
    end step
    hide group "alerta"

end if
set syscursor to 1
end
```

ANEXO: D

Información de sensores

D.1 Leyes empíricas de las termocuplas

D.2 Direcciones de Internet para:

- D.2.1 Temperatura
- D.2.2 Caudal
- D.2.3 Presión
- D.2.4 Nivel

D.1 LEYES DE LAS TERMOCUPLAS

1. **Ley de los metales Intermedios:** Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde el punto de unión A hasta otro punto de unión B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
2. **Ley de las temperaturas sucesivas:** la fem generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 y T3 es la suma algebraica de la fem del termopar con sus uniones a T1 y T2 y de la fem del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.
3. **Ley del circuito homogéneo:** En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación única de calor.

D.2 DIRECCIONES DE INTERNET

D.2.1 TEMPERATURA

<http://www.jonix.com.ar/sensores.hgtm>

<http://www.grippo.com/negocios/archivo/14518.htm>

<http://www.aea.com.ar/Producto/Auxloman>

D.2.2 CAUDAL

[http://www.schilling.com.ar/Medidors%20 de %20.com](http://www.schilling.com.ar/Medidors%20de%20.com)

<http://www.fidemar.com.uy/news.htm>

<http://www.coner.com.ar/instcaudal.htm>

D.2.3 PRESION

<http://www.entran.com/ptoc.htm>

<http://www.entran.com/epb.htm>

<http://www.entran.com/epe.htm>

<http://www.entran.com/epi.htm>

<http://www.entran.com/epih.htm>

<http://www.entran.com/epl.htm>

<http://www.entran.com/epn.htm>

D.2.4 NIVEL

<http://www.schilling.com.ar/nuevos.htm>

<http://solinst.com/Prod/Span/101Sp1.html>

<http://solinst.com/Prod/Span/101Sp3.html>