

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACION DE TECNOLOGOS

**“CONSTRUCCION DE UN TABLERO DE SIMULACION PARA
GRAFICAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTROLES DE
TEMPERATURA PID, COMANDADO POR UN REGISTRADOR Y
CONTROLADOR DE TEMPERATURA”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL GRADO DE TEGNOLOGO EN
ELECTROMECHANICA**

CHRISTIAN SANTIAGO ESPINOZA ANGAMARCA
christian85_epn@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FERNANDO JACOME JIJON
luis.jacome@epn.edu.ec

QUITO, NOVIEMBRE DEL 2008

DECLARACIÓN

Yo, Espinoza Angamarca Christian Santiago, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Sr. Christian Espinoza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Espinoza Angamarca Christian Santiago, bajo mi supervisión.

Ing. Fernando Jácome Jíjon
DIRECTOR DE PROYECTO

CONTENIDO

PAGINAS

CAPITULO I INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. - INTRODUCCIÓN.....	9
1.2. - ESQUEMA DEL SISTEMA DE.....	10
CONTROL DE TEMPERATURA	

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS DEL TABLERO Y SUS COMPONENTES...14

2.1. – PROCESO.....	15
2.1.1. - SENSOR DE TEMPERATURA.....	15
2.1.1.1. - Descripción General.....	16
2.1.1.2. - Descripción funcional.....	20
2.1.1.2.1.- Efectos que intervienen en el funcionamiento de los termopares.....	20
2.1.1.2.2.- Tres leyes del comportamiento de los termopares.....	22
2.1.1.2.3.- Cómo funcionan los termopares.....	22
2.1.1.2.4.- Temperatura relativa frente a temperatura absoluta.....	24
2.1.1.2.5.- Ejemplo.....	27
2.1.1.3. - Características y aplicaciones.....	28
2.1.1.3.1. - Construcción con blindaje metálico de los termopares.....	29
2.1.1.3.2. – Características de los 6 termopares más frecuentemente usados en la práctica	32

2.1.1.3.3. – Cables de Extensión de los termopares.....	33
2.1.2.- RESISTENCIA.....	33
2.1.2.1.- Descripción General.....	34
2.1.2.1.1.- Partes que conforman la resistencia de cartucho.....	34
2.1.2.2.- Descripción funcional.....	35
2.1.2.2.1.- Temperatura de operación.....	35
2.1.2.2.2.- Determinación de la holgura para el uso.....	35
2.1.2.2.3.- Control de Poder.....	36
2.1.2.2.4.- Control de temperatura y ubicación del sensor de temperatura.....	36
2.1.2.2.5.- Instrucciones de montaje y colocación.....	37
2.1.2.3.- Características y aplicaciones.....	38
2.1.2.3.1.- Condiciones de uso.....	38
2.1.2.3.2.- Potencia.....	38
2.1.2.3.3.- Acero inoxidable 321 la envoltura.....	39
2.1.2.3.4.- Aislamiento total.....	39
2.1.2.3.5.- Hilo calefactor Ni-Cr 80/20.....	40
2.1.2.3.6.- Cable conductor.....	40
2.1.2.3.7.- Aplicaciones.....	40
2.1.3.- TERMOPOZO.....	41
2.1.3.1.- Descripción General.....	41
2.1.3.2.- Descripción funcional.....	41
2.1.3.2.1. - Criterios que se deben tomar para la elección del termopozo.....	42
2.1.3.3.- Características y aplicaciones.....	43
2.1.4.- TANQUE DE ACERO INOXIDABLE.....	44

2.1.5.- ACEITE.....	44
2.2.- REGISTRADOR Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA PID.....	45
2.2.1.- Descripción general.....	45
2.2.2.- Descripción funcional.....	46
2.2.2.1.- Interfaz del operador.....	46
2.2.2.2.- Configuración.....	47
2.2.2.3.- Comunicaciones.....	48
2.2.3.- Características y aplicaciones.....	49
2.2.3.1.- Características Particulares de los Controladores.....	49
2.2.3.2.- Los controladores 1/4 DIN.....	50
2.2.3.3.- Los controladores de proceso.....	50
2.2.4.- Características de los controles.....	51
2.2.4.1.- Control tipo ON – OFF.....	54
2.2.4.2.- Control Proporcional.....	55
2.2.4.3.- Control PI (Proporcional-Integral).....	56
2.2.4.4.- Control PD (Proporcional-Derivativo).....	58
2.2.4.5.- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo).....	59
2.2.4.6.- Auto ajuste.....	61
2.2.5.- Características de las entradas y salidas.....	61
2.2.6.- Glosario de términos comunes.....	62
2.2.7.- Registro.....	64
2.3. – ELEMENTO DE CONTROL FINAL.....	65
2.3.1. - Descripción General.....	65

2.3.1.1. - El SSR a utilizarse.....	66
2.3.2.- Descripción funcional.....	68
2.3.2.1.- Protección de SSR's.....	68
2.3.2.2.- Factores para escoger un SSR's.....	69
2.3.3.- Características y aplicaciones.....	69
2.3.3.1.- Carga resistiva.....	69
2.3.3.2.- Carga con lámparas incandescentes.....	70
2.3.3.3.- Carga con un motor.....	70
2.3.3.4.- Carga con un transistor.....	70
2.3.3.5.- Carga con un rectificador de media onda.....	71
2.3.3.6.- Carga con un rectificador de onda completa.....	71
2.3.3.7. - Microcargas.....	72
2.3.3.8.- Carga con un transformador.....	72
2.3.3.9. - Cargas capacitivas.....	72
2.3.3.10.- Carga con unos fluorescentes y lámparas de vapor de mercurio.....	73
2.3.3.11.- Cargas de alta impedancia.....	74
2.3.4.- Protección en la salida del SSR.....	74
2.3.4.1. - Utilización de un disipador.....	74
2.3.4.2. -Protección por fusible.....	75
2.3.4.3. -Red RC – “Snubber”.....	75
2.3.4.4. - Protección por varistores.....	75
2.3.4.5. - Protección de los SSR de CC.....	76
2.3.5.- Protección en la entrada.....	77
2.3.5.1.- Pulso de ruido.....	78

2.3.5.2.- Ruido inductivo.....	78
2.3.6.- Condiciones de entrada.....	79
2.3.7.- Tratamiento de las anomalías de los SSR.....	80
2.3.7.1.- Defecto en el cierre.....	80
2.3.7.2.- Defecto en la apertura.....	81
2.3.8.- Glosario de términos de los SSR`s.....	82
2.4.- CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO.....	83

CAPITULO III PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1.- PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	87
3.2.- GRAFICAS DE LAS SEÑALES DE CONTROL.....	87
3.2.1.- Control tipo ON – OFF.....	87
3.2.2.- Control Proporcional.....	88
3.2.3.- Control PI (Proporcional-Integral).....	91
3.2.5.- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo).....	93
3.2.4.- Control PD (Proporcional-Derivativo).....	95
3.2.5.- Control PDI AUTO-TUNING.....	96
3.3.– CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFIA.....	99

ANEXOS

A.- Fotografías del Tablero.....	100
B.- Manual de uso del tablero.....	101
C.- Manual del registrador controlador de temperatura.....	105

CAPITULO I INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. - INTRODUCCIÓN

1.2. - ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

CAPITULO I INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. - INTRODUCCIÓN

La temperatura es una de las variables mas utilizadas en la industria, por ello es necesario tener un conocimiento de los métodos para controlar dicha variable.

Es por esta razón que surge la necesidad de implementar en esta tesis un tablero bastante sencillo para el control de temperatura, que permita apreciar en forma clara en un modelo simplificado la instrumentación y las acciones de control que tienen lugares dentro de los distintos procesos industriales. Tal es el caso de los controles tipo PID.

Es importante que el alumno vea reflejada en la práctica la teoría de control dada en pizarra, de forma que constate dicha teoría y sienta un mayor interés en las clases teóricas. Dado que la mayoría de las técnicas de control parten de un modelo matemático de la planta y que este modelo en raras ocasiones está disponible.

En este trabajo se propone la construcción de un tablero de simulación para graficar el comportamiento de los controles de temperatura PID, comandado por un registrador y controlador de temperatura, con el cuál se pueden realizar simulaciones en tiempo real con la planta físicamente disponible, pudiendo realizar un ajuste fino de los parámetros del controlador para optimizar la respuesta del sistema.

El objetivo de la tesis es construir un tablero de simulación para graficar el comportamiento de los controles de temperatura PID, comandado por un registrador y controlador de temperatura. La tesis para una mayor comprensión, ha sido dividida en tres capítulos, cada uno de los cuales abarca las diferentes partes constructivas del tablero que se construye.

Al final se presenta la bibliografía y los anexos en los cuales se pueden encontrar, tablas, diagramas circuitales y los manuales para el uso del tablero de simulación.

1.2. - ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

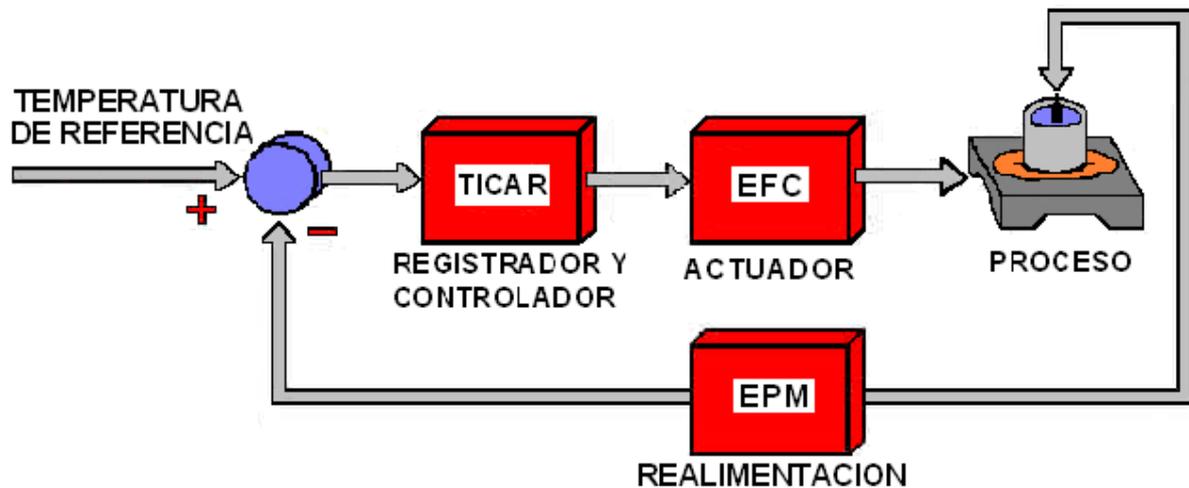


Figura 1.1.- Esquema del tablero

Cada uno de los componentes se detalla a continuación de la figura 1.1

En este control de temperatura de lazo cerrado se utiliza una realimentación, que consta de un EPM (Elemento Primario de Medición) y el elemento a utilizarse es una termocupla tipo "J".

El TICAR (registrador, controlador, indicador y alarma de temperatura) su función principal es monitorear la señal del elemento primario de medición para compararla con la señal de referencia y mediante un actuador o EFC (Elemento final de control) llevar a la señal de salida al valor deseado.

El EFC (Elemento final de control) es un SSR (State Solid Relay); Relee de estado sólido, el mismo que es el encargado de permitir la circulación de corriente para los cambios de potencia disipada de la resistencia eléctrica dependiendo de la señal de control del TICAR.

Para la simulación del proceso se utiliza un tanque de acero inoxidable lleno de aceite, calentado por una resistencia eléctrica interna, la misma que varía la

temperatura cuando cambia el voltaje que llega a sus terminales. Se utiliza el tanque de aceite debido a su simplicidad y fácil manejo.

Este tablero nos permite realizar prácticas con los diferentes tipos de control como son:

- Control tipo ON – OFF
- Control Proporcional
- Control PI (Proporcional-Integral)
- Control PD (Proporcional-Derivativo)
- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo)

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS DEL TABLERO Y SUS COMPONENTES

2.1. – PROCESO

2.1.1. - SENSOR DE TEMPERATURA

2.1.1.1. - Descripción General

2.1.1.2. - Descripción funcional

2.1.1.3. - Características y aplicaciones

2.1.2.- RESISTENCIA

2.1.2.1.- Descripción General

2.1.2.2.- Descripción funcional

2.1.2.3.- Características y aplicaciones

2.1.3.- TERMOPOZO

2.1.3.1.- Descripción General

2.1.3.2.- Descripción funcional

2.1.3.3.- Características y aplicaciones

2.1.4.- TANQUE DE ACERO INOXIDABLE

2.1.5.- ACEITE

2.2.- REGISTRADOR Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA PID

2.2.1.- Descripción general

2.2.2.- Descripción funcional

2.2.3.- Características y aplicaciones

2.2.4.- Características de los controles

2.2.5.- Características de las entradas y salidas

2.3. – ELEMENTO DE CONTROL FINAL

2.3.1. - Descripción General

2.3.2.- Descripción funcional

2.3.3.- Características y aplicaciones

2.4.- CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS DEL TABLERO Y SUS COMPONENTES

Tomando en cuenta que el objetivo de realizar esta tesis es el de tener un equipo sencillo en el cual se pueda simular los efectos del control de temperatura en un proceso industrial, y que el tablero va a ser utilizado para las diferentes practicas a realizarse en la materia de instrumentación industrial.

Otra consideración a tomar en cuenta es la facilidad de manejo del tablero y tanto en su uso como el reemplazo de partes para la simulación del proceso y se puede utilizar cualquier tipo de elemento resistivo construido para este efecto, pero como la idea es la de tener un tablero con carácter demostrativo, se opto por el uso de un tanque de aceite y en su interior una niquelina para la generación de calor.

El tablero esta formado por:

- Un TICAR (registrador, controlador, indicador y alarma de temperatura).
- El EFC (Elemento final de control) que incluye un SSR (Relee de estado sólido).
- Un tanque de acero inoxidable.
- Aceite térmico para la transmisión de calor.
- Una resistencia eléctrica que sirve para la generación de calor.
- Un termopozo para la protección de la termocupla.
- Un sensor de temperatura o EPM (Elemento Primario de Medición) que es una termocupla tipo “J”

La resistencia eléctrica y el termopozo se instalan en el interior del tanque de acero inoxidable lleno de aceite, y la termocupla para su cuidado y mayor facilidad de cambio se instala en el termopozo.

2.1. – PROCESO

El proceso es el elemento físico que se desea controlar este puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de aceite térmico, etc.

2.1.1.- SENSOR DE TEMPERATURA

“La termocupla de tipo “J” o hierro-constantán es por mucho la más empleada. En los EE UU se emplean más de 200 toneladas de dichos materiales para la fabricación de termocuplas. No obstante, muchos se opusieron al empleo del hierro en el campo de la termometría, enfatizaron este punto, basando sus objeciones en la falta de homogeneidad de los alambres de hierro, ya que se desarrollaban f.e.m. parásitas si existían gradientes de temperatura a su largo. Sin embargo, su señal de salida es relativamente alta, un costo comparativamente bajo y su adaptabilidad a atmósferas, tanto oxidantes como reductoras con las debidas protecciones, justifican el amplio uso del hierro-constantán”. **Según [www. wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)**

Además, hoy en día, el hierro no es mucho menos homogéneo que el constantán con el cual se encuentra unido. Cuando se emplea en condiciones tales que el gradiente a lo largo del alambre no está sujeto a fluctuaciones rápidas, las f.e.m. parásitas raras veces resultan en errores mayores que 1 ó 2 grados °F.

La termocupla a utilizarse es:

Tipo: “J”

Marca: GEFran

Límites de la temperatura: -40....750 °C

Tolerancia: ± 2,5 °C

Envoltura continúa del metal

Flexibilidad del uso



Figura 2.1.- La termocupla a utilizarse

En el cuadro 2.1 podemos apreciar los tipos de elementos primarios de medición y sus debidas clases, estos son los más utilizados

	Termómetros	<ul style="list-style-type: none"> • De Alcohol • De Mercurio • Bimetálico
Elementos Primarios de medición de temperatura	Sistemas Termales	<ul style="list-style-type: none"> • Líquido (Clase I) • Vapor (Clase II) • Gas (Clase III) • Mercurio (Clase IV)
	Termoeléctricos	<ul style="list-style-type: none"> • Termopar • Resistencia • Radiación • Óptico

Cuadro 2.1.- Elementos Primarios de medición de temperatura

2.1.1.1.- Descripción General

Diferentes efectos producidos por la temperatura

1. Aumento de las dimensiones (Dilatación).
2. Aumento de presión o volumen constante.
3. Cambio de fem. inducida.
4. Aumento de la resistencia eléctrica.
5. Aumento en radiación superficial.
6. Cambio de temperatura.
7. Cambio de estado de sólido a líquido y de líquido a gaseoso.

Observando el cambio de cada una de las propiedades en los materiales podemos medir la temperatura observando los efectos en los cuerpos.

Todos los instrumentos de medición de temperatura cualquiera que fuese su naturaleza dan la misma lectura en cero por ciento (0%) y 100%, si se calibra adecuadamente, pero en otros puntos generalmente la lectura no corresponderá porque las propiedades de expansión de los líquidos varían, en este caso se hace una elección arbitraria y, para muchos fines será totalmente satisfactoria, sin embargo es posible definir una escala de temperatura de un gas ideal como base suprema de todo trabajo científico.

Las unidades de temperatura son: °C (Celsius), °F (Fahrenheit), °K (Kelvin), °R Rankine, °Reamur, las unidades más común son las Celsius y Fahrenheit

$$T (^{\circ}\text{C}) = [T (^{\circ}\text{F}) - 32] / 1.8$$

$$T (^{\circ}\text{F}) = [1.8 T (^{\circ}\text{C})] + 32$$

Existe relaciones entre las unidades de temperatura estas se las menciona en el cuadro 2.2

Escala	Cero Absoluto	Fusión del Hielo	Evaporación
Kelvin	0°K	273.2°K	373.2°K
Rankine	0°R	491.7°R	671.7°R
Reamur	-218.5°Re	0°Re	80.0°Re
Centígrada	-273.2°C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212.0°F

Cuadro 2.2.- Relación entre escalas de temperatura

Los elementos primarios de medición de temperatura, son transductores que convierten la energía térmica en otra clase de energía.

La diferencia ente el calor y temperatura, es que el calor es una forma de energía y la temperatura es el nivel o valor de esa energía.

Se han dividido los elementos primarios de medición de temperatura en 3 tipos:

- **Termómetros.-** Transductores que convierten la temperatura en movimiento.
- **Sistemas termales.-** Transductores que convierten la temperatura en presión (y después en movimiento).
- **Termoeléctricos.-** Transductores que convierten la temperatura en energía eléctrica (y mediante un circuito en movimiento)

Cuadro 2.3.- Escala de temperatura de los elementos primarios de medición

Dispositivo	Escala de temperatura aplicables		Exactitud aproximada		Notas
	°F	°C	°F	°C	
Termómetro de líquido en vidrio					
a. Alcohol	-90 a 150	-70 a 65	± 1	±0.5	Usados como termómetros baratos para temperaturas bajas.
b. Mercurio	-35 a 600	-40 a 300	± 0.5	± 0.25	Exactitud de ± 0.1 °F (0.05°C que puede obtenerse con termómetros calibrados especialmente.

c. Mercurio lleno con gas	-35 a 1000	-40 a 550	± 0.5	± 0.25	Exactitud de $\pm 0.1^{\circ}\text{F}$ (0.05°C que puede obtenerse con termómetros calibrados especialmente).
Termómetro de expansión de fluido					
a. Líquido o gas	-150 a 1000	-100 a 550	± 2	± 1	Ampliamente usados en las mediciones industriales de temperatura.
b. Presión de vapor	20 a 400	-4 a 200	± 2	± 1	
Cinta bimetalica	-100 a 1000	-70 a 550	± 0.5	± 0.25	Ampliamente usados como dispositivos simples de medición de temperatura
Termómetro de resistencia eléctrica	-300 a 1800	-180 a 1000	\pm 0.005	\pm 0.0025	El más exacto de todos los métodos
Termistor	-100 a 500	-70 a 250	± 0.02	± 0.01	Útil para los circuitos compensadores de temperatura; las cuentas termistores pueden obtenerse en tamaños muy pequeños.
Termopar Cobre - Constantán	-300 a 650	-180 a 350	± 0.5	± 0.25	

Termopar Hierro - Constantán	-300 a 1200	-180 a 650	± 0.5	± 0.25	Superior en atmósferas reductoras
Termopar Cromel - Aluminio	-300 a 2200	-180 a 1200	± 0.5	± 0.25	Resistente a la oxidación a temperaturas altas
Termopar Platino - Platino con 10% de sodio	0 a 3000	-15 a 1650	± 0.5	± 0.25	Salida baja; el mas resistente a la oxidación a temperaturas altas

2.1.1.2.- Descripción funcional

Termopares

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

2.1.1.2.1.- Efectos que intervienen en el funcionamiento de los termopares

Efecto Peltier

El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos "junturas de Peltier". La corriente propicia una transferencia de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. Una manera para entender cómo es que este efecto enfría una juntura es notar que cuando los electrones fluyen de una región de alta densidad a

una de baja densidad, se expanden (de la manera en que lo hace un gas ideal) y se enfría la región.

Cuando una corriente I se hace pasar por el circuito, el calor se genera en la junta superior (T_2) y es absorbido en la junta inferior (T_1), A y B indican los materiales.

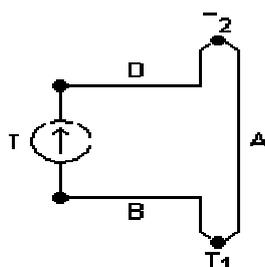


Figura 2.2.- Circuito que muestra el efecto Peltier

Efecto Seebeck

El efecto termoeléctrico o efecto Seebeck es el efecto inverso al anterior. Fue descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821. Este efecto provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Una diferencia de temperaturas T_1 y T_2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V .

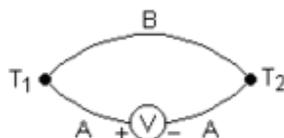


Figura 2.3.- Circuito que muestra el efecto Seebeck

Efecto Thomson

La porción de la fem total de un termopar, que existe debido a una diferencia de potencial en una sección de conductor que tiene un gradiente de temperatura. Esto significa que exista un potencial en un alambre de material homogéneo cuando uno de los extremos está a una temperatura mayor que el otro.

2.1.1.2.2.- Tres leyes del comportamiento de los termopares

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer estas leyes fundamentales:

1) Ley de Homogeneidad del circuito.

No se puede obtener corriente calentando un solo metal. (Efecto Thomson)

2) Ley de Metales Intermedios.

La sumatoria de las diferencias de potencial térmicas es cero en un circuito con varios metales, si estos están a temperatura uniforme.

En la figura 2.1 ambos instrumentos marcarán igual, es decir la corriente circulante dependerá en ambos casos de T_1 y T_2 exclusivamente.

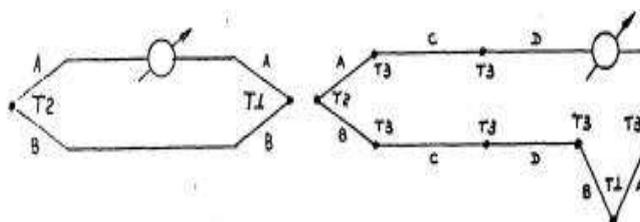


Figura 2.1.- Ley de Metales Intermedios

3) Ley de Temperaturas intermedias.

En un circuito formado por dos metales diferentes la FEM generada es diferente de cero, siempre y cuando las temperaturas sean diferentes en la unión caliente con respecto de la unión fría

2.1.1.2.3.- Cómo funcionan los termopares

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro (Figura 2.4). La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales

utilizados en los dos hilos. Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

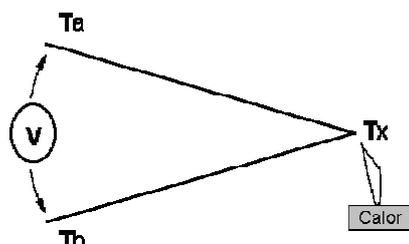
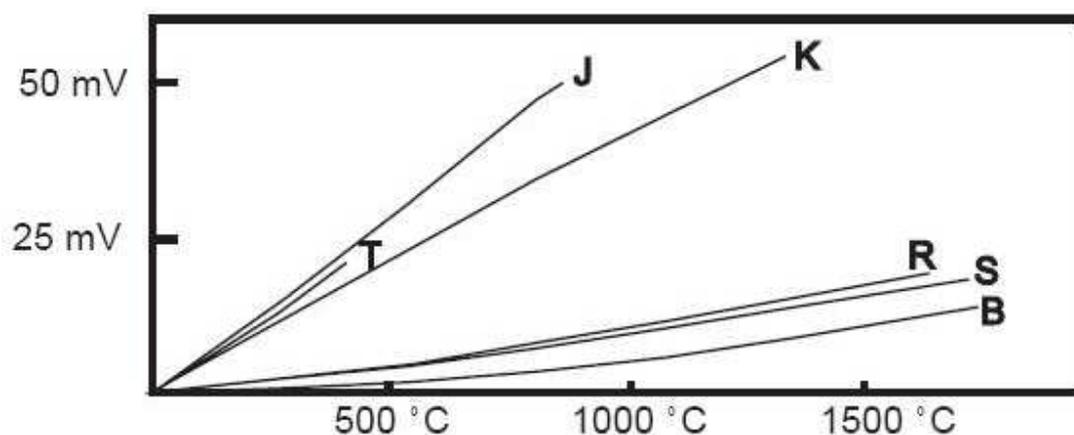


Figura 2.4

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Figura 2.5- Relación de la fem con la temperatura de diferentes termocuplas



Según la figura 2.5 la fuerza electromotriz (fem) en función de la temperatura para las termocuplas estándar y varias termocuplas no estándar por encima de 0 °C. A la derecha arriba se puede observar la respuesta de la termocupla PtRh 30% - PtRh

6% en la zona de temperaturas ambiente; la pendiente de su curva de respuesta es prácticamente despreciable, lo que permitió su utilización sin compensación.

2.1.1.2.4.- Temperatura relativa frente a temperatura absoluta

Los RTD, termistores, y otros miden todos ellos temperaturas absolutas, pero el termopar mide solamente temperaturas relativas, y el motivo resulta obvio cuando pensamos en la conexión de un termopar a un voltímetro o a un sistema de adquisición de datos.

Como estamos utilizando un termopar Tipo J, que es el más normal y consiste en un hilo de hierro y otro de constantan (una aleación con un 45% de níquel y un 55% de cobre). ¿Qué ocurrirá cuando conectemos los dos hilos conductores de prueba, que probablemente sean de cobre? Que crearemos otros dos termopares (Figura 2.6 cada uno de los cuales aportará una tensión al circuito, con lo que tendremos tres termopares y tres temperaturas desconocidas.

La solución clásica a este dilema consiste en añadir un termopar opuesto y una unión de referencia a una temperatura conocida (Figura 2.7) en este ejemplo, el termopar opuesto es otra unión de cobre y hierro equivalente a la unión de cobre y hierro que hemos creado al añadir un hilo conductor de cobre al hilo conductor de hierro del termopar "real". Estas dos uniones, si están aisladas en un bloque isotérmico (temperatura constante), se anularán mutuamente.

Ahora tenemos sólo dos uniones, la unión original del termopar (T_x) y la de referencia (T_{ref}) que acabamos de añadir. Si conocemos la temperatura de la unión de referencia, podremos calcular T_x . (Muchos sistemas de adquisición de datos y muchos voltímetros que efectúan medidas con un termopar realizan este cálculo de forma automática.)

Lamentablemente, la naturaleza de la temperatura dificulta un poco las cosas en este caso, ya que hay muy pocos puntos de referencia prácticos y económicos para la temperatura. Los puntos de congelación y ebullición del agua, a 0 y a 100 °C

respectivamente, son prácticamente los únicos asequibles que nos ofrecen la madre naturaleza. Una forma habitual de determinar la temperatura de T_{ref} es introducir físicamente la unión en un baño de hielo, forzando la temperatura a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. De hecho, todas las tablas de termopares utilizan un baño de hielo como referencia.

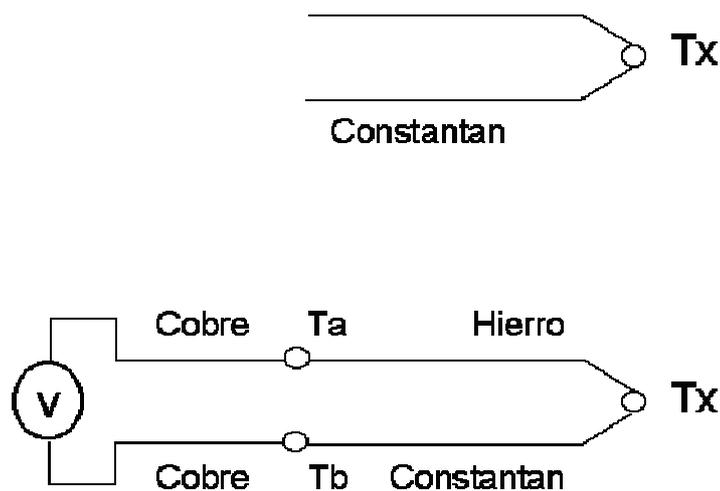


Figura 2.6

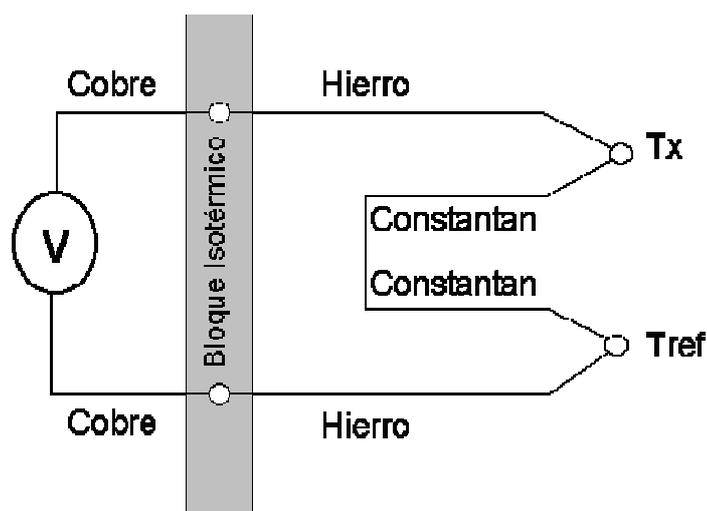


Figura 2.7

Ahora, para simplificar el panorama

El enfoque del baño de hielo ofrece lecturas exactas, pero no es precisamente el accesorio más indicado para un sistema de adquisición de datos y, además, seguimos teniendo que conectar dos termopares. El primer paso hacia la simplificación es eliminar el baño de hielo. Si medimos T_{ref} con un dispositivo de medida de temperaturas absolutas (como por ejemplo un RTD) y compensamos el resultado matemáticamente, no tenemos necesidad de forzarlo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El siguiente paso es eliminar el segundo termopar (Figura 2.8) Ampliando el bloque isotérmico para incluir T_{ref} , ajustamos la temperatura del bloque isotérmico a T_{ref} (puesto que los otros dos termopares del bloque siguen anulándose mutuamente).

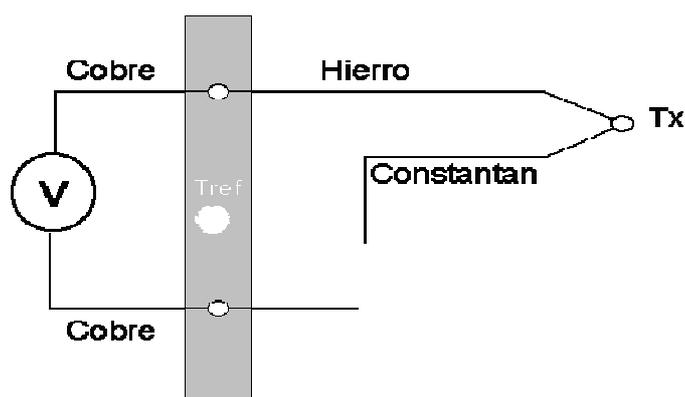


Figura 2.8

La determinación de T_{ref} es cuestión de medir la temperatura del bloque isotérmico con el RTD o con otro cualquier dispositivo de medida de temperaturas absolutas.

Cómo llegar a la respuesta

T_{ref} es una de las dos cantidades que necesitamos conocer para calcular T_x . La otra es V , que medimos con el sistema de adquisición de datos (o voltímetro). Aplicando la fórmula $V = (T_x - T_{ref})$, podemos calcular tensiones equivalentes para los dos valores de temperatura y a continuación restar para determinar el valor de T_x .

2.1.1.2.5.- Ejemplo

El termopar tipo J, a una diferencia de temperatura de 400 °F, el voltaje de la malla del termopar es de 12 mV. Si se supiera que la unión fría siempre estará, digamos a 75 °F, entonces podríamos concluir que un voltaje de la malla de 12 mV representaría una temperatura de la unión caliente de 475 °F

$$(475\text{ °F} - 75\text{ °F} = 400\text{ °F}).$$

Mientras la unión fría se mantuviera constantemente a la temperatura de referencia de 75°F se podría ir directamente a la tabla del termopar y sumar 75°F a cada lectura de diferencia de temperatura. El valor de temperatura resultante entonces representaría la temperatura de la unión caliente.

De hecho, esto es exactamente lo que se hace en las tablas de termopares industriales. La cifra de 75 °F se ha escogido porque representa una estimación bastante razonable de la temperatura ambiental promedio en una instalación industrial. (En las tablas de termopares para uso de laboratorio, se considera normalmente que la temperatura de referencia es de 32 °F, el punto de congelación del agua)

Para que el enfoque anterior funcione adecuadamente, la unión fría debe mantenerse constantemente a la temperatura de referencia de 75 °F. Esto por lo general es impráctico, a menos que el dispositivo de medición de temperatura esté colocado en un cuarto con aire acondicionado. Con toda seguridad, el equipo de medición estará ubicado junto con el equipo industrial y la maquinaria.

La temperatura ambiente podrá variar con facilidad de unos 50°F en el invierno a unos 100 °F en el verano. Son comunes los cambios de estación aún mayores en la temperatura ambiente. Debido a esta variación en la temperatura de la unión fría, las mallas de termopares industriales deben ser compensadas.

2.1.1.3. - Características y aplicaciones

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

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

Hay una gran variedad de diseños de termocuplas para numerosas aplicaciones. En su diseño más común, los conductores (alambres) de los materiales deseados se juntan, normalmente mediante soldadura, para formar la junta de medición.

Los alambres son separados, después de la junta soldada y aislados, normalmente por medio de una sustancia como ser fibra de vidrio, resina fluoro carbonada (por ejemplo, Teflón), aisladores cerámicos, fibra cerámica, polvo cerámico, etcétera.

Los alambres pueden usarse desprotegidos o instalados dentro de un tubo o vaina de protección. Los tubos y las vainas de protección se usan casi siempre con las termocuplas básicas mientras las termocuplas provistas de blindaje protector metálico pueden brindar suficiente protección química y mecánica sin tubo o vaina en la mayoría de los casos.

2.1.1.3.1. - Construcción con blindaje metálico de los termopares

Las termocuplas con blindaje metálico, normalmente llamadas compactadas (fig. 2.9), suelen compactarse con óxido de magnesio, aun cuando puedan utilizarse otros materiales como ser óxido de aluminio y óxido de berilio.

Las termocuplas compactadas se construyen insertando el aislamiento en forma de polvo, o como cordones especiales sobre los alambres dentro del tubo metálico. Posteriormente se procede a reducir el diámetro del tubo trafilándolo, aplastando así los aisladores o comprimiendo el polvo hasta formar una masa más densa.

La unidad, finalmente, es tratada térmicamente para aliviar las tensiones provocadas por la reducción del diámetro y para eliminar cualquier humedad residual.

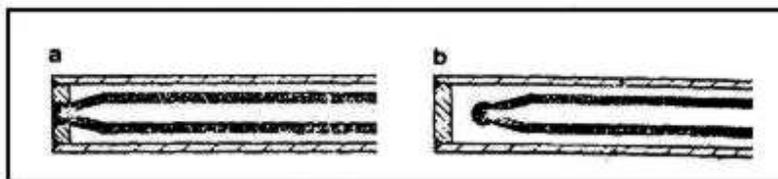


Fig. 2.9. - Construcción de la junta de medición en termocuplas compactadas.

a. Solidaria; construcción especial para lograr una mayor velocidad de respuesta

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

La junta de medición de las termocuplas con blindaje metálico puede tener tres configuraciones distintas: soldada al extremo del blindaje (fig. 2.9a); aislada del extremo del blindaje (fig. 2.9b); o expuesta fuera del extremo del blindaje.

Soldando los alambres al extremo del blindaje se logra hacer masa con el blindaje, se los protege de daños mecánicos y condiciones ambientales adversas, y se asegura una construcción hermética a la presión.

La velocidad de respuesta de este tipo de construcción se encuentra entre la velocidad de la junta expuesta (la más rápida) y la aislada (la más lenta).

La junta aislada es similar a la junta puesta a masa, salvo hallarse aislada del blindaje y tener una respuesta mas lenta. Su construcción elimina la tensión entre los alambres y el material del blindaje provocada por las diferencias en los coeficientes de dilatación.

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

La termocupla blindada es mecánicamente más fuerte que la termocupla común con alambre aislado, y se la puede doblar o conformar con radios de curvatura muy reducidos inclusive dos veces el diámetro del blindaje.

Esta termocupla puede ser cargada a resorte dentro de un tubo o vaina de protección (cuando se requiere protección adicional) para el contacto con el fondo de la vaina o el tubo a fin de obtener una respuesta rápida.

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

Cuadro 2.4.- Datos técnicos de referencia de las termocuplas

TIPO DE TERMOCUPLA	NOMBRE DE MATERIALES	LA APLICACIÓN ÚTIL RANGO (°F)	mV
B	Platino 30% Rodio (+) Platino 6% Rodio (-)	100 – 3270	0.007-13.499
C	Tungsteno 5% Rhenium (+) Tungsteno 26% Rhenium (-)	3000-4200	-
E	Cromel (+) Constantan (-)	32 – 1800	0 – 75.12
J	Hierro (+) Constantan (-)	-300 – 1600	-7.52 – 50.05
K	Cromel (+) Aluminio (-)	-300 – 2300	-5.51 – 51.05
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	1200 - 2300	-
R	Platino + 13% Radio (+) Platino (-)	32 - 2900	0 – 18.636
S	Platino + 10% Radio (+) Platino (-)	32 - 2800	0 – 15.979
T	Cobre (+) Constantan (-)	-300 – 750	-5.28 – 20.80

2.1.1.3.2. – Características de los 6 termopares más frecuentemente usados en la práctica

Cobre - Constantán (T)

Se utiliza para medir temperaturas entre los -18.5°C a 379°C y son de un precio bajo y ofrecen resistencia a la corrosión en atmósferas húmedas. Pueden ser usados en atmósferas reductoras y oxidantes.

Hierro - Constantán (J)

Se aplican normalmente para temperaturas, que van de -15°C a 750°C , dependiendo de su calibre. Son recomendables para usarse en atmósferas donde existe deficiencia de oxígeno libre. Son recomendables ampliamente en atmósferas reductoras. Como tienen un precio relativamente bajo son muy ampliamente usados para la medición de temperaturas dentro de su rango recomendado.

Cromel - Constantán (E)

Se emplean primordialmente en atmósferas oxidantes.

Cromel - Alumel (K)

El rango de temperatura recomendado es desde los 280°C a 580°C de acuerdo con el calibre del alambre usado. Este tipo de termopares presta un servicio óptimo en atmósferas oxidantes aunque también se puede usar en atmósferas reductoras o alternativamente oxidantes o reductoras o siempre y cuando se use un tubo de protección apropiado y ventilado.

Platino - Radio (R y S)

Si se cuenta con una protección adecuada sirven para la medición de temperaturas hasta de 1650°C en atmósferas oxidantes. Estos termopares se contaminan con facilidad cuando se usan en cualquier otra atmósfera por lo que deben ser tomadas algunas precauciones en el caso de usarse en estas condiciones, mediante tubos de protección adecuados.

Los vapores metálicos, el hidrogeno y los silicones son veneno para este tipo de termopares. Sus precios, comparando con los demás termopares discutidos son mas altos y si fem pequeños por lo que la aplicación de este tipo de termopares esta restringida a altas temperaturas.

Tungsteno - Tungsteno y Renio

Este tipo de termopares es recomendado para la misma temperatura, que los de tungsteno - renio. La diferencia esta en que provee 3 veces potencia termoeléctrica 1650°C.

2.1.1.3.3. – Cables de Extensión de los termopares

El cable de extensión esta constituido generalmente de 2 conductores y esta provisto con una clase de aislante de acuerdo con las condiciones de servicio particulares. Evidentemente en lugar de los cables de extensión que podrían usar los mismos alambres de los cuales consisten los termopares, sin embargo, no seria económico hacerlo ya que por ejemplo:

En el caso de los termopares platino - platino radio el costo de los mismos es elevado por lo cual se usan otros metales para construir los cables de extensión que tienen propiedades termoeléctricas iguales o semejantes al de los termopares originales su objetivo; es extender el termopar hasta la junta de referencia del instrumento.

2.1.2.- RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia comprimida de cartuchos.

Estas resistencias eléctricas proporcionan una mayor transferencia uniforme de calor y están contruidos herméticamente aumentando considerablemente la vida de las resistencias al evitar la oxidación del hilo calefactor incluso a altas temperaturas.

La resistencia eléctrica de cartucho a utilizarse es la siguiente:

Marca: CARTRIDGE HEATERS
FIREROD

Diámetro: ½" (12.7mm)

Longitud: 2 ½" (63.5mm)

Potencia: 130 watts

Voltaje: 110 v

2.1.2.1.- Descripción General

Las resistencias son fabricadas mediante un proceso de compactación interno de todos sus componentes con el objeto de aumentar su vida útil.

El hilo conductor esta enrollado espiralmente sobre un cuerpo cerámico duro al cual se le introduce el cable conductor sin ningún empalme (ocasionalmente se puede producir un empalme en el exterior del cartucho) se introducen discos y cabezales cerámicos con el objeto de su aislamiento y protección.

Todo ello recubierto con óxido de magnesio puro de granulometría controlada para asegurar el lleno completo del cartucho. Más tarde un proceso de compactación y otro de rectificado de la superficie hasta calibrar a la medida deseada.

2.1.2.1.1.- Partes que conforman la resistencia de cartucho



Figura 2.10.- Partes de la resistencia de cartucho

1. Base soldada por Tig estanca hasta una presión 60 kg/cm².
2. Acero inoxidable
3. Disco cerámico de aislamiento.
4. Oxido de magnesio puro de granulometría controlada.
5. Hilo calefactor Níquel-Cromo 80/20 punto de fusión 1400 °C.
6. Núcleo cerámico.
7. Cabezal cerámico duro.
8. Cable conductor.
9. Pasta dura refractaria.

El exclusivo sistema de construcción permite lograr una concentricidad perfecta, conjuntamente con su sistema electrónico de separación de espiras, hacen garantizar la misma temperatura por todo el perímetro y longitud de la resistencia obteniendo una temperatura uniforme y duradera

2.1.2.2.- Descripción funcional

2.1.2.2.1.- Temperatura de operación

La temperatura de operación de una resistencia es el factor más importante en determinar las expectativas de vida de una resistencia. La vida de una resistencia depende de la temperatura actual del alambre de resistencia en el elemento calentador y no en la temperatura de operación del proceso.

2.1.2.2.2.- Determinación de la holgura para el uso

Cuando se calienta un cartucho de alta concentración insertado en los barrenos (orificios), la holgura es un factor importante para determinar la vida útil de la resistencia. La holgura es la diferencia entre el diámetro menor de la resistencia tipo cartucho el diámetro máximo del barreno.

La holgura típica es de 0.03" (0.762) a 0.08" (2.032) para mayores concentraciones de watts y/o para usos con temperaturas más altas, recomendamos que los barrenos

se taladren con la holgura más ajustada. En los casos que se necesite un control de temperatura preciso y se requiera de una transferencia de calor específica, las resistencias tipo cartucho de alta concentración pueden ser ajustadas en su redondez a 0.03" (0.762).

A pesar de que una holgura mínima es lo mejor para que sea más eficiente la transferencia de calor y alargar la vida de la resistencia, una holgura amplia ayuda a instalar y quitar las resistencias, especialmente en el caso de los cartuchos largos. Recomendamos recubrir con un anti-adherente para mejorar la transferencia de calor y será más fácil sacar el cartucho.

2.1.2.2.3.- Control de Poder

Los métodos de control de poder afectan la expectativa de vida de las resistencias. En general los controles "on-off" económicos, incrementan la fatiga térmica y el rango de oxidación en las resistencias, causando amplias oscilaciones de la temperatura en la parte interna de la resistencia.

Los Rectificador Controlado de Silicio (SCR's), los Relays de Mercurio y los relevadores de estado sólido pueden incrementar la expectativa de vida de las resistencias reduciendo las oscilaciones de temperatura en la parte interna de la resistencia.

2.1.2.2.4.- Control de temperatura y ubicación del sensor de temperatura

Para tener un mejor control de la temperatura de la resistencia y por lo tanto de la temperatura del alambre de la resistencia, el uso de un control de temperatura adecuado, y la proximidad del sensor a la resistencia es muy importante.

Las resistencias de alta densidad de watts pueden generar calor más rápido que la capacidad de disipar el calor del área que las rodea. Esto crea diferencia térmica

entre la resistencia y el sensor. Mientras más cerca este el sensor de la resistencia podrá tener un mejor control de la temperatura de la resistencia.

Cuando se mantiene el sensor alejado de la resistencia la variación de la temperatura puede ser de cientos de grados, esto se observa en varias aplicaciones especialmente en el inicio y en ciclos termales muy calientes. A pesar de que la temperatura de operación determinada puede ser baja, la resistencia puede estar trabajando a muy altas temperaturas.

Esto es una causa muy común por lo que las resistencias fallen. Esta falla se puede reducir utilizando controles de temperatura como, tipo proporcional y P.I.D. (Proporcional Integral Derivativo).

2.1.2.2.5.- Instrucciones de montaje y colocación:

- La vida útil de una resistencia de cartucho depende del ajuste que se produzca entre el orificio y el cuerpo del calefactor. Un ajuste demasiado holgado provocará una peor transmisión térmica y un sobrecalentamiento en el cartucho que reducirá considerablemente su duración.
- El aislamiento universal de óxido de magnesio es muy higroscópico (absorbente de la humedad), por esto se aconseja que el control de temperatura permita un calentamiento inicial gradual. Esta operación eliminará lentamente la eventual humedad del interior del cartucho. Así mismo, por este motivo, recomendamos que se almacenen en lugares secos.
- El ajuste del cartucho en el agujero es muy importante para el buen funcionamiento y rendimiento.
- Es imprescindible la regulación de la temperatura y para esto le recomendamos que la toma de temperatura no debe estar a más de 15 mm. del cartucho tal como le demuestra la figura 2.11

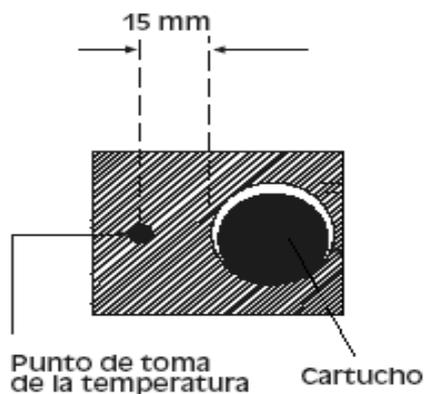


Figura 2.11.- Instrucciones de montaje

2.1.2.3.- Características y aplicaciones

2.1.2.3.1.- Condiciones de uso

Son los indicados para soportar las más duras condiciones de trabajo (vibraciones, humedad, caída de líquidos, dilataciones frecuentes y donde se requieran temperaturas en un mínimo espacio.

2.1.2.3.2.- Potencia

Cuando se trabaja con cartuchos calefactores se debe tener en cuenta la cantidad exacta de potencia requerida para una correcta función y vida útil de la resistencia.

Las resistencias se diseñan de forma, que valorando el envejecimiento natural del hilo calefactor en funcionamiento y la naturaleza del mismo, coincida con la potencia nominal de la resistencia.

La coincidencia de la potencia real a la potencia nominal se realiza por mediación de un proceso selectivo, el cual sólo se seleccionan las resistencias cuyas tolerancias en potencias correspondan al 7% de la potencia nominal.

2.1.2.3.3.- Acero inoxidable 321 la envoltura

La envoltura de acero inoxidable 321 presenta las mejores cualidades para la fabricación de resistencias.

Los materiales que se pueden utilizar en la fabricación son limitados al tener que reunir una buena deformabilidad, producidas por las dilataciones constantes al enfriarse y calentarse la resistencia, la ausencia de cascarillas producidas por la oxidación. Y un buen comportamiento abrasivo, ha demostrado que es el material más óptimo para la construcción de resistencias.

2.1.2.3.4.- Aislamiento total

El aislamiento se realiza con óxido de magnesio puro, este material es el más indicado y empleado para aislar el hilo calefactor y el cable conductor de corriente de la funda de protección del cartucho.

Cuando las distancias del hilo calefactor y la funda de protección son extremadamente pequeñas se necesita un aislador que reúna las mejores cualidades, como gran pureza, elevada resistencia térmica, elevado punto de fusión, compactación uniforme y precisa, una perfecta conductividad térmica, etc. Para con todo ello obtener los mejores resultados de aislamiento.

Es fundamental controlar la temperatura de trabajo, que nunca se superen los límites especificados de funcionamiento del cartucho y una buena conservación del cartucho en lugares secos, ya que el óxido de magnesio es altamente higroscópico sólo con tener algunas partículas de agua se reduce considerablemente la capacidad de aislamiento del óxido de magnesio.

2.1.2.3.5.- Hilo calefactor Ni-Cr 80/20

En los cartuchos calefactores el elemento más importante para la larga duración del cartucho es el hilo calefactor que se emplee en su fabricación, después de extensos trabajos de investigación se emplea el hilo calefactor Ni-Cr 80/20 por su rendimiento y resistencia a la formación de cascarilla producida por la oxidación hacen de la mezcla austenítica del Níquel y Cromo que carecen de hierro el hilo calefactor con mejores prestaciones.

2.1.2.3.6.- Cable conductor

En la conducción de la electricidad se utiliza cable de Níquel puro forrado de fibra de vidrio recubierto todo a su vez de silicona y barnices ignífugos. El cable de níquel se compone de varios hilos retorcidos entre sí, en ocasiones la carga del cartucho impide utilizar este tipo de conexionado y para tal efecto existen ejecuciones especiales como salidas con pernos, roscadas, salidas opuestas etc.

2.1.2.3.7.- Aplicaciones

- Moldes.
- Funciones de líquidos.
- Calentamiento de líquidos.
- Soldaduras por calor, etc.

2.1.3.- TERMOPOZO

El termopozo a utilizarse es el siguiente:

Longitud: 55mm

Diámetro interno para la termocupla: 1/8" (3.175mm)

Diámetro de la tuerca de ajuste: 1/2" (12.7mm)



Figura 2.12.- El termopozo a utilizarse

2.1.3.1.- Descripción General

Termopozo es un tubo diseñado para encerrar un aparato sensor de temperatura y lo protege de los efectos de deterioro por el medio.

En la mayoría de las aplicaciones de medición de temperatura no es recomendable exponer el elemento sensor al fluido del proceso.

La utilización de un tubo protector o termopozo, aunque produzca retardos en la medición es recomendable su utilización para proteger al elemento sensor de la corrosión, erosión y altas presiones y ante todo permite su remoción o cambio mientras la planta o el proceso está en operación.

2.1.3.2. - Descripción funcional

La función principal de los termopozos es de salvaguardar la integridad de la termocupla. En el siguiente cuadro se refiere a las limitaciones de las termocuplas a diversas atmósferas.

Cuadro 2.5.- Limitaciones ambientales de termocuplas (sin vainas o tubos protectores).

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

(1) Mejor que las termocuplas E, J o T por encima de 550°C

(2) La más satisfactoria para temperaturas subcero.

2.1.3.2.1. - Criterios que se deben tomar para la elección del termopozo

- Que sea resistente a la temperatura.
- Acción de gases oxidantes y reductores.
- Que contengan una conductividad térmica muy alta para hacer una transferencia de energía rápida.
- Resistente a los cambios bruscos de temperatura.
- Resistente a los esfuerzos mecánicos.
- Resistente a la corrosión de vapores ácidos.

2.1.3.3. - Características y aplicaciones

Cuadro 2.6.- Características y aplicaciones de varios termopozos

Industria	Aplicación	Tubo protector
Tratamientos térmicos	Recocido Carburación Templado <700 grados centígrados 700 a 1.100 grados centígrados >1.100 grados centígrados Nitruración Baños de sales	Inconel o hierro Inconel Hierro forjado Inconel o hierro Cerámico o pirómetro de radiación Hierro Inconel, hierro o pirómetro de radiación
Hierro y acero	Hornos de soplado Hogar Techo Calderas de recuperación Focos de recalentamiento <1.100 grados centígrados >1.100 grados centígrados Palanquilla, calentamiento de planchas y soldadura a tope <1.100 grados centígrados >1.100 grados centígrados Soldadura fuerte Recocido brillante Forjado Galvanización Baños de capado Estañado	Inconel o hierro o carburo de silicio Inconel o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Inconel o hierro Inconel o hierro Cerámico y carburo de silicio o pirómetros de radiación Inconel o hierro Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Termopar tipo J sin tubo de protección o pirómetro de radiación Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Acero o carburo de silicio Plomo Acero dulce o hierro
Química		Acero inoxidable en general Debido a la gran variedad de aplicaciones químicas es difícil establecer recomendaciones
Alimentación		Acero inoxidable
Gas	Productor de gas Gas de agua sobrecalentado	Inconel o hierro Inconel o hierro
Petroquímica	Desparafinador Columna de fraccionamiento Cámara de reacción Unidades catalíticas Líneas de transferencia Torres Torre de llamas	Acero inoxidable Acero inoxidable Acero inoxidable Acero inoxidable Acero inoxidable Acero inoxidable Acero inoxidable
Centrales térmicas	Conducto de gases Precalentadores Líneas de vapor Líneas de agua	Hierro Hierro Acero inoxidable Acero Dulce

2.1.4.- Tanque de acero inoxidable

El recipiente esta construido de acero inoxidable, en la figura 2.12 podemos observar las especificaciones de este.

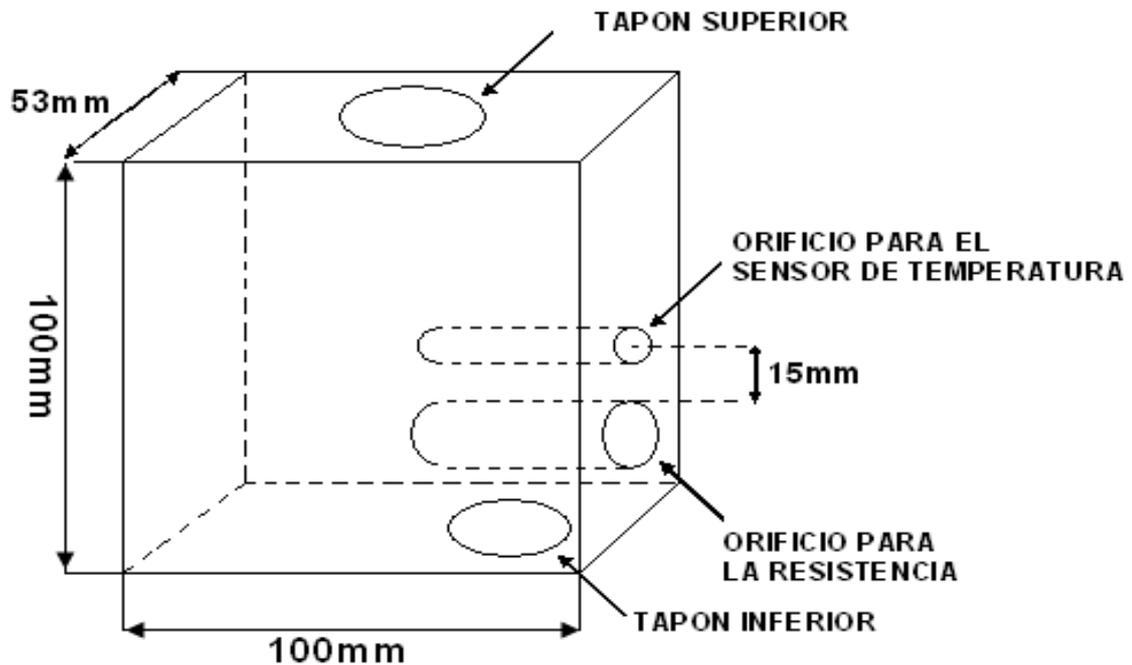


Figura 2.13.- Tanque de acero inoxidable

2.1.5.- Aceite

El aceite a utilizarse es el siguiente:

LUBRICATION ENGINEERS

ISO V6 100

6804 SAE 30

Este aceite se utilizara por su baja viscosidad y amplia utilización en diversos procesos de aumento de temperatura.

2.2.- REGISTRADOR Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA PID



Figura 2.14.- Registrador y controlador de temperatura PID

2.2.1.- Descripción general

El nombre comercial con el que normalmente se conocen a este tipo de instrumentos, que tienen a cargo el control de un solo lazo de control y basados en microprocesadores o microcontroladores, es el de instrumentos unilazo programables SLPI por sus siglas en inglés “Single Loop Programmable Instrument” (Una sola vuelta del instrumento programable).

Una definición más precisa de estos instrumentos puede ser: “SLPI” son aquellos que contienen, en una unidad, la capacidad de cumplir una función específica con relación a una variable de proceso.

Esta capacidad no solo implica resolver los algoritmos correspondientes (implementados en un microcontrolador), sino también el acondicionamiento de las entradas y salidas variables del proceso, la interfaz del operador, etc.

Dentro de estos SLPI se pueden considerar, no por el estricto cumplimiento del concepto antes definido, sino por la generalidad que engloba éste a los siguientes instrumentos:

- Indicadores
- Controladores
- Computadoras de Caudal
- Registradores
- Totalizadores

Los fundamentos aquí presentados sirven como base no sólo para los controladores unilazo, sino también para los controladores multilazo implementados en los sistemas digitales como los DCS o los OIS

DCS = Distributed Control Systems (Los Sistemas de Mando distribuidos)

OIS = Open Industrial Systems (Abrir los Sistemas Industriales)

Debido a una disminución en los costos de producción, en este momento la mayoría de SLPI son digitales, además, podemos mencionar sus mayores capacidades y características.

2.2.2.- Descripción funcional

Cuando se encara el estudio de un equipo, debemos definir las características que debe tener la interfaz del operador, cómo debe ser su configuración, de qué manera deben conectarse los instrumentos entre sí y cómo se los tiene que instalar. Según esto, un SLPI debe tener las siguientes características:

2.2.2.1.- Interfaz del operador

En general la interfaz del operador está dada por un display digital, en el que se indican el estado o variables, un teclado para la configuración, y de forma opcional (en otros casos es de forma obligatoria), barras indicadoras que comúnmente se denominan “indicación analógica”, aún cuando se trata de una indicación digital gráfica.

2.2.2.2.- Configuración

La flexibilidad de los instrumentos basados en microprocesadores o microcontroladores lleva a la necesidad de configurarlos, esto es, determinan los parámetros requeridos para obtener del equipo la función deseada.

Típicamente, algunos parámetros a configurar (dependiendo de las características del instrumento) son:

- TAG (o identificación del instrumento), que puede o no, aparecer en un display alfanumérico.
- Tipo de entrada, y su correspondiente caracterización.
- Límite superior e inferior del rango en control ON - OFF.
- Ajuste de parámetros de Control (K_p proporcional, K_i integral, K_d derivativo o del algoritmo presente en el SLPI)
- Ajuste de alarmas y de ser deseado, contacto de salida de las mismas.

En muchos casos, la capacidad de equipo y sus posibilidades de configuración se representan por medio de diagramas funcionales. Dependiendo del diseño del instrumento, se puede disponer de varias formas de configuración, usualmente excluyente una de otra:

Teclado del Instrumento: Mediante un menú tipo árbol y las teclas en el frente del instrumento, se procede a la configuración del equipo, no requiriéndose ningún elemento adicional.

Configuración Portátil: Se trata de un equipo portátil especial, que permite la configuración del instrumento.

Conexión con Computadora: Requiere de la conexión del instrumento con la PC y un software. Si bien demanda equipo adicional, permite funciones de interés como la autodocumentación y archivo de la configuración.

2.2.2.3.- Comunicaciones

Esta característica permite la creación de una red de instrumentos entre sí y con un equipo de supervisión (PC); Como resultado de esta comunicación, al instrumento le pueden ser requeridos y, en algunos casos, se pueden modificar valores tales como: parámetros de ajuste, variables de proceso, etc.

Es importante aclarar que, en general, estas características no permitirá la configuración del instrumento de forma remota. Además esta característica sólo está disponible en algunos modelos de SLPI.

En panel: en cuyo caso se caracterizan por una pequeña superficie frontal y mayor profundidad, a esta forma se logran paneles con frentes más compactos.

En campo: se trata de equipos con gabinetes NEMA 4 (apto intemperie), de menor profundidad que los instrumentos de panel, de mayor superficie frontal

Estos instrumentos permiten la implementación de lazos de control locales, que pueden ser supervisados desde un sistema de sala de control. De esta forma, sustituyen con mayor flexibilidad y funcionalidad a sus predecesores neumáticos.

Una desventaja se observa en industrias que manejan fluidos y/o polvos que puedan generar mezclas explosivas, ya que requieren alimentación eléctrica no intrínsecamente segura (Por ejemplo 220 VAC, o corrientes elevadas en 24 VDC)

Nota: La capacidad y flexibilidad que permite un equipo basado en microprocesador/microcontrolador ha llevado a los proveedores a ofrecer múltiples funciones en un mismo instrumento. De esta forma, es frecuente que un instrumento cuente con la posibilidad de implementación de alarmas con contactos de salida, cálculos sencillos (como: suma, resta, multiplicación y división) y complejos (como cálculo de humedad relativa, logaritmos, potencias fraccionarias, etc.), etc.

Estas características varían notablemente de equipo en equipo, por lo que es necesario consultar al proveedor a efectos de determinar la capacidad de satisfacer un determinado requerimiento.

2.2.3.- Características y aplicaciones

2.2.3.1.- Características Particulares de los Controladores

La principal característica de estos equipos es que pueden implementar algoritmos comunes de dispositivos de estructuras fijas “integrales, proporcionales y derivativas” (PID). Otras características son:

Cantidad de algoritmos PID implementados.- Se dispone de equipos con lazo simple, lazo doble en cascada o lazo doble independiente.

Características particulares del algoritmo.- Podemos encontrar equipos con auto sintonía, ya sea a lazo abierto o a lazo cerrado.

Desde el punto de vista de funciones: En general, podemos agrupar a los controladores en dos grupos: los controladores 1/4 DIN, y los controladores de proceso. Ambos tipos difieren entre sí en su funcionalidad, y también en su aspecto físico.

2.2.3.2.- Los controladores 1/4 DIN

Reciben esta denominación debido a su frente normalizado de 96 mm x 96 mm. Estos controladores se caracterizan, en general, por un bajo costo, y una prestación limitada. Pueden tener funciones adicionales (con costos extra) tales como el ajuste remoto del calor deseado, contactos para salida de alarmas, o interfaz de comunicaciones.

Muchos aspectos de diseño, tales como los materiales del gabinete o el tipo de borneras, están orientadas a lograr un bajo costo total del instrumento.

2.2.3.3.- Los controladores de proceso

Se caracterizan por una mayor flexibilidad que los de 1/4 DIN. La mayor parte de las funciones que son opcionales en un controlador 1/4 DIN son estándar en un controlador de procesos. Otras funciones estándar, como la capacidad de cálculo matemático, usualmente no están disponibles en un controlador 1/4 DIN.

Adicionalmente, el frente de un controlador de los procesos imita al frente de los controladores de tecnologías más antiguas, disponiendo de indicadores de barras independientes para el valor deseado, la variable medida y la salida de la válvula.

Este tipo de controladores es preferido en la industria de procesos químicos y petroquímicos. Su mayor desventaja es su precio, que puede llegar a cuadruplicar al de un controlador de 1/4 DIN, en casos de prestaciones reducidas.

Cabe aclarar que ambos controladores implementan algoritmos PID similares, pudiendo diferir en su tiempo de barrido.

2.2.4.- Características de los controles

Cualquier tipo de control es un sistema que, mediante un actuador, es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide.

Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna(o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada

una de las componentes de un controlador para generar las señales que, sumadas, componen la señal que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador.

La señal resultante de la suma de estas diferentes señales, que posteriormente explicaremos, se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, si no que debe ser transformada para ser compatible con el actuador que usemos.

Las componentes de un controlador son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente.

Proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional como para que hagan que el error permanente sea casi nulo pero, en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados.

Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobre oscilación

La parte proporcional no considera el tiempo, por tanto la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación con respecto al tiempo es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

Integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional.

El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un periodo de tiempo determinado; Luego es multiplicado por una constante "I".

"I" representa la constante de integración. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control "**P + I**" con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El modo integral presenta un desfase en la respuesta de 90° que sumados a los 180° de la retroalimentación (negativa) acercan al proceso a tener un retraso de 270° , luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con 90° de retardo para provocar la oscilación del proceso. <<< La ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. >>>

Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la velocidad misma que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante "**D**" y luego se suma a las señales anteriores "**(P + I)**" gobernar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

Significado de las constantes

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

I constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional (duplicándola), sin esperar (a que el error se duplique). El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá.

Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula.

2.2.4.1.- Control ON – OFF

Los controladores "Sí/No", son los más básicos sistemas de control. Estos envían una señal de activación (encendido) cuando la entrada de señal es menor que un nivel de referencia definido previamente y desactiva la señal de salida (Apagado) cuando la señal de entrada es mayor que la señal de referencia.

Los controladores "Sí/No" son utilizados en termostatos de aire acondicionado. Estos activan el aire frío ("Sí") cuando la temperatura es mayor que la de referencia (la de preferencia del usuario) y lo desactivan ("No") cuando la temperatura ya es menor (o igual) que la de referencia.

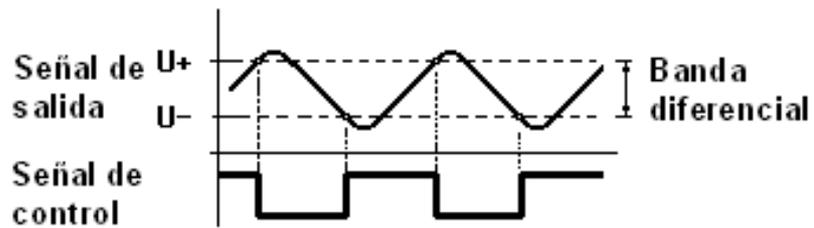


Figura 2.15.- Control ON – OFF

2.2.4.2.- Control Proporcional

El controlador proporcional genera a la salida una señal de control que es proporcional a la señal de error. De este modo:

$$m(t) = k \cdot e(t) \Rightarrow M(s) = k \cdot E(s)$$

Con lo cual, la función de transferencia del control proporcional es:

$$G_c(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = k$$

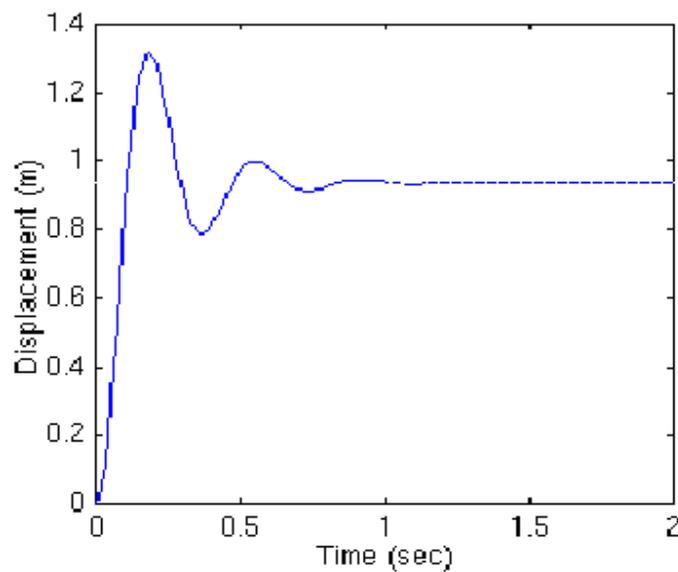


Figura 2.16.- Control proporcional

En la figura 2.16 se pueden observar las respuestas típicas (señal de error, señal de control y señal de salida) de un control proporcional con dos valores diferentes de ganancia proporcional.

Cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, mayor es la señal de control generada para un mismo valor de señal de error. De este modo, se puede decir que para una señal de control determinada cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, menor es la señal de error actuante.

En conclusión, el aumento de la ganancia del control proporcional permite reducir el error en estado estacionario. Al error cometido se le denomina error de corrimiento.

2.2.4.3.- Control Proporcional Integral

La acción de control proporcional integral (PI) genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional y la acción integral conjuntamente.

$$m(t) = k \cdot e(t) + k_i \int_0^t e(t) \cdot dt = k \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \right]$$

Donde T_i es el tiempo integral.

$$\frac{TL}{CI} = 0: \quad M(s) = k \cdot \left[1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right] \cdot E(s) \Rightarrow \frac{M(s)}{E(s)} = k \cdot \left[1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right]$$

El control proporcional integral combina las ventajas de la acción proporcional y de la acción integral; la acción integral elimina el error estacionario, mientras que la acción proporcional reduce el riesgo de inestabilidad que conlleva la introducción de la propia acción integral.

En la figura 2.17 se observan las respuestas temporales de un sistema con control proporcional integral.

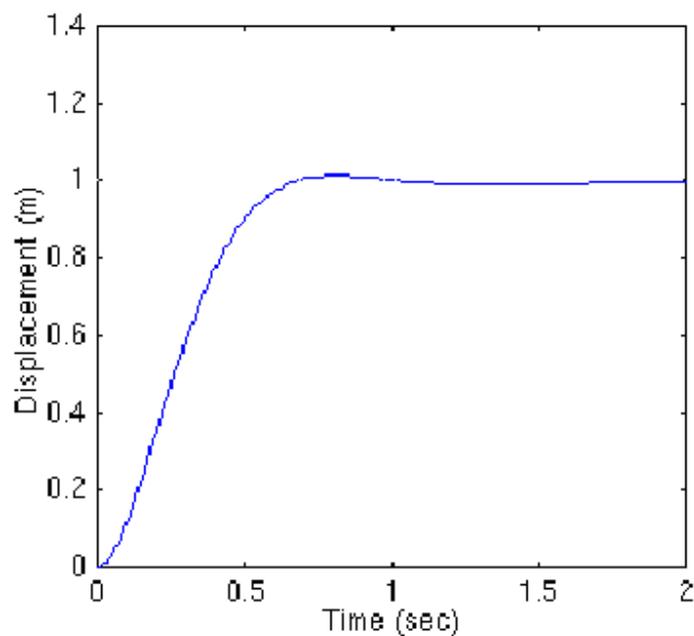


Figura 2.17.- Control PI (Proporcional – Integral)

La inclusión de un control proporcional integral implica introducir un cero real y un polo en el origen a la función de transferencia en lazo abierto del sistema. La inclusión de este polo produce un empeoramiento de la respuesta transitoria, para evitarlo se diseñará el proporcional integral, fijando el cero, de manera que se mantenga lo máximo posible el comportamiento del sistema inicial.

El modo de lograr este objetivo es situar el cero del proporcional integral lo más cercano posible al origen. De esta manera el polo en lazo cerrado originado por el aumento de orden del sistema se anulará con el cero del proporcional integral, que es un cero en lazo cerrado del sistema, efectuándose una cancelación polo-cero. Pudiéndose, entonces, aproximar el sistema controlado por el proporcional integral al sistema inicial con control proporcional.

Un buen criterio de diseño para fijar el cero del proporcional integral, es decir 'a', es tomarlo lo más pequeño posible respecto al polo dominante de la función de transferencia de lazo abierto. Por ejemplo $a=0.1$. Téngase en cuenta que el valor más pequeño de 'a' posible vendrá dado por las limitaciones físicas a la hora de la realización práctica del control.

2.2.4.4.- Control Proporcional derivativo

La acción de control proporcional derivativa (PD) genera una señal que es resultado de la combinación de la acción proporcional y la acción derivativa conjuntamente.

$$m(t) = k \cdot e(t) + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} = k \cdot \left[e(t) + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Donde T_d es el tiempo derivativo.

$$\frac{T_L}{CI} = 0: \quad M(s) = k \cdot (1 + T_d \cdot s) \cdot E(s) \Rightarrow \frac{M(s)}{E(s)} = k \cdot (1 + T_d \cdot s)$$

El control proporcional derivativo proporciona al sistema una mayor estabilidad relativa que se traduce en una respuesta transitoria con menor sobre impulso. Sin embargo, cuando la influencia del control es muy grande, el sistema de control tiende a ofrecer una respuesta excesivamente lenta.

Existen dos posibles métodos de diseño, según se priorice el cumplimiento de las condiciones de régimen estacionario o transitorio en las respuestas temporales. El primer método obtiene una determinada respuesta temporal transitoria, quedando el régimen estacionario de la respuesta temporal en función del diseño realizado. El segundo método fija una determinada respuesta en régimen permanente, quedando

las características del estado transitorio en función del diseño realizado. A continuación se expondrán dichos métodos mediante un ejemplo demostrativo.

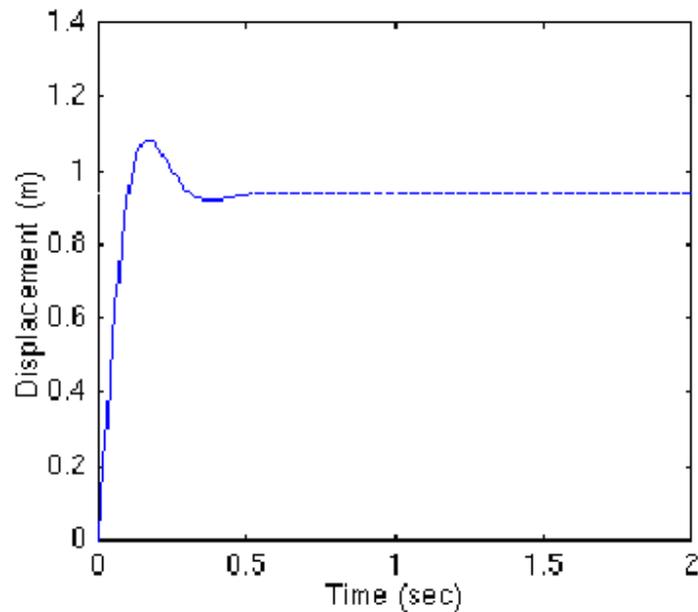


Figura 2.18.- Control PD (Proporcional – derivativo)

Para el valor de ganancia diseñado, la respuesta transitoria es la esperada. Ello es posible debido a que para esta ganancia se está acentuando el efecto de cancelación polo-cero en lazo cerrado.

2.2.4.5.- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo)

La acción de control proporcional integral derivativa (PID) genera una señal resultado de la combinación de la acción proporcional, la acción integral y la derivativa conjuntamente.

$$m(t) = k \cdot e(t) + kd \cdot \frac{de(t)}{dt} + ki \int_0^t e(t) \cdot dt = k \cdot \left[1 + Td \cdot \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{Ti} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \right]$$

$$\frac{TL}{CI} = 0: \quad M(s) = k \cdot \left[1 + T_d \cdot s + \frac{1}{T_i \cdot s} \right] \cdot E(s) \Rightarrow \frac{M(s)}{E(s)} = k \cdot \left[1 + T_d \cdot s + \frac{1}{T_i \cdot s} \right]$$

La acción de control proporcional integral derivativa permite eliminar el error en estado estacionario, logrando una buena estabilidad relativa del sistema de control. La mejora de estabilidad relativa implica una respuesta transitoria con tiempos de adquisición y un valor de máximo sobre impulso pequeño.

El diseño de un control PID se realiza diseñando primero el control proporcional derivativo para cumplir las condiciones de respuesta transitoria y, posteriormente, añadiendo el control proporcional integral obtenido tal como se ha visto anteriormente, de manera que su incorporación al sistema no afecte a la respuesta transitoria del sistema, pero sí elimine el error estacionario.

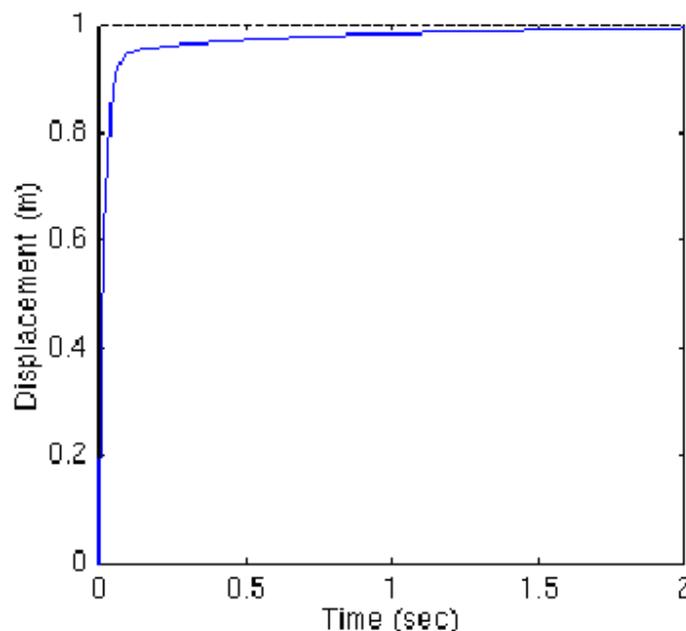


Figura 2.19.- Control PID (Proporcional – Integral – derivativo)

2.2.4.6.- Auto ajuste

El ajuste de todos los parámetros de control no es simple. La tecnología moderna ha permitido el desarrollo del auto ajuste. La mayoría de los fabricantes ofrecen controles de temperatura de simple lazo con la opción del ajuste de parámetros en forma automática, lo que elimina los inconvenientes del ajuste manual. La mayoría operan sobre un sistema analizando el ciclo de comienzo desde el inicio hasta que llega al setpoint. Luego, aprendiendo de la respuesta característica del primer ciclo, se ajusta a sí mismo en forma óptima de acuerdo a la información del primer ciclo. La función de auto ajuste continúa aprendiendo de los ciclos subsiguientes y reajusta los parámetros hasta que se consigue un control PID óptimo.

2.2.5.- Características de las entradas y salidas

■ INPUT

Input	Thermocouple : K, J, E, T, R, S, B, L, N, U, WRe 5-26, PL- II R.T.D : Pt 100 Ω , KPt 100 Ω Direct voltage: 1 ~ 5 V, -10 ~ 20 mV, 0 ~ 100 mV (Free scale type)
Sampling time	250 mS
Input resolution	Below decimal point of measurement range
Input impedance	T/C and mV input : 1 $M\Omega$ min., V DC : 1 $M\Omega$
Lead wire tolerable resistance	R.T.D : 10 Ω max. / wire
Input tolerable voltage	± 10 V (T/C, R.T.D, Voltage : mV DC), ± 20 V (Voltage : V DC)
Noise removal rate	NMRR(normal mode) : 40 dB min. CMRR(common mode) : 120 dB min. (50/60 Hz ± 1 %)
Standard	T/C, R.T.D: KS, IEC, DIN
Standard junction temp. compensation tolerance	± 1.5 $^{\circ}\text{C}$ (15 ~ 35 $^{\circ}\text{C}$), ± 2.0 $^{\circ}\text{C}$ (0 ~ 50 $^{\circ}\text{C}$)
Burn-out	T/C : OFF, Up/Down selectable R.T.D : Up scale (Detection current : 50 mA)
Accuracy	± 0.3 % (Full scale)
Input range	Refer to "Input signal and Measurement range" T/C and R.T.D are changeable within range of input signal and measurement range. Voltage: min. voltage and max. voltage are available within range of measurement. Scaling available.

■ OUTPUT

●CONTROL OUTPUT

Relay contact output	Contact capacity : 240 V AC 3 A, 30 V DC 3 A (resistive load), Contact : 1 C Output operation : P.I.D control, ON/OFF Proportional cycle : 1 ~ 1,000 sec. Output limit : 0.0 ~ 100.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT) ON/OFF hysteresis : 0 ~ 100 %(Full scale) Time resolution : 0.1 % or 10 mS
SSR drive voltage output	ON voltage : 24 V DC min.(resistive load 600 Ω min., 30 mA limit when short) OFF voltage : 0.1 V DC max. Proportional cycle : 1 ~ 1,000 sec. Output operation : P.I.D control Output limit : 0.0 ~ 100.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT) Time resolution : 0.1 % or 10 mS
Current output (4 ~ 20 mA DC)	Current output range : 4 ~ 20 mA DC, Resistive load : 600 Ω max. Accuracy : ± 0.5 % of full scale (4 ~ 20 mA range), Resolution : Approx. 3,000 Output ripple : 0.3 %(P-P) of max. scale (150 Hz) Sampling time : 250 mS Output operation : P.I.D control Output limit : -5.0 ~ 105.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT)

2.2.6.- Glosario de términos comunes

Señal de salida: es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.

Señal de referencia: es el valor que se desea que alcance la señal de salida.

Error: diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error.

Señal análoga: es una señal continua en el tiempo.

Señal digital: es una señal que sólo toma valores de 1 y 0. El PC sólo envía y/o recibe señales digitales.

Convertor análogo/digital: es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 y 0).

Convertor digital/análogo: es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).

Sistema: consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Perturbación: es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

Sensor: es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor.

Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

Sistema de control en lazo cerrado: es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado.

Sistema de control en lazo abierto: en estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

2.2.7.- Registro

En muchas aplicaciones es, a menudo, registrar la temperatura en forma permanente, ya sea por requerimientos gubernamentales, requisitos de fabricación, o simplemente como archivo para el análisis posterior de la marcha del proceso de fabricación.

La colección de datos en la industria, varía entre sistemas DCS (Distributed Control System) que ejerce tanto la función de registro y de control en forma simultánea en muchos puntos del proceso a sistemas manuales simples.

Otra forma común de grabar datos desde los sensores de temperatura es por medio de registradores gráficos. Estos se emplean desde hace mucho y aún tienen aplicación hoy en día. Los registradores gráficos de papel redondos toman la señal de una termocupla y de una termorresistencia directamente o señales de proceso analógicos desde los sensores usando transmisores.

La ventaja de los registradores redondos es que las cartas están graduadas en períodos de tiempo exactos para aquellos que requieren registros por día, semana u hora. Los registradores de cinta, por otra parte, tienen la posibilidad de atender muchas más entradas y leerlas en forma consecutiva y luego imprimirlas.

Muchos de los registradores de hoy en día son los llamados “híbridos”. Estos registradores ofrecen muchas más funciones y habilidades que el registrador normal no tiene.

Estos registradores híbridos tienen, entre otras, la posibilidad de grabar cada parámetro en distintos colores. Esto es importante ya que permite una fácil identificación de los puntos que el técnico está tratando de leer. También se proveen funciones adicionales tales como salidas para alarma, cambio del color de la impresión en condiciones de alarma, autodiagnóstico, etc.

Los equipos basados en computadoras son programables y pueden configurarse de modo de satisfacer cualquier necesidad.

2.3. – ELEMENTO DE CONTROL FINAL

Hasta ahora hemos discutido brevemente a los sensores de temperatura, a los transmisores de temperatura, controles y registradores y grabadores. Otra área que merece nuestra atención en la discusión de temperatura y en la aplicación de su instrumentación, es la de los dispositivos de control final.

Para completar el lazo en un sistema de control de temperatura de lazo cerrado, debe tener algún dispositivo que toma la salida del instrumento de control y lo convierte en producción de calor o frío.

Para el calentamiento eléctrico en la industria, normalmente por el dispositivo final debe circular una cantidad de corriente apreciable para calentar un proceso grande.

Estos procesos no pueden ser controlados directamente por la salida de un controlador ya que normalmente la aptitud de manejar corriente de estos controladores no pasa de 3A.

El dispositivo de control final puede ir desde un simple contactor, relevador de mercurio, relevador de estado sólido y controladores de SCR.

2.3.1. - Descripción General

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida.

Las diferentes partes que forman un SSR son:

1. Circuito de entrada
2. Aislamiento, está asegurado generalmente por un acoplamiento óptico con semiconductor (Fotoacoplador, fototriac,...)



Figura 2.20.- Aislamiento Fotoacoplador, fototriac, fotodiodo

3. Detector paso por cero (En algunos modelos):

Un relé de estado sólido con función de paso por cero opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.

Los relés de estado sólido con la función de detección de paso por cero son adecuados para cargas resistivas, capacitivas y cargas inductivas con un factor de potencia entre 0.7 y 1

4. Circuito de salida, Salida CA con tiristores o triacs, salida CC con transistor bipolar

5. Protección frente a transitorios, (En algunos modelos): Los más frecuentemente utilizados son redes RC, diodos, etc.

2.3.1.1. - El SSR a utilizarse

Este relé de estado sólido tiene un amplio rango de tensiones de carga: 75 a 264 Vc.a. Se utiliza PCB de aluminio compacto, dedicado y elementos de alimentación. Su varistor incorporado absorbe las sobretensiones externas de forma efectiva.

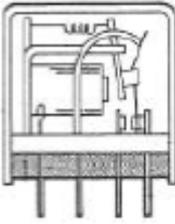
- Marca: OMRON
- Modelo: G3NE
- Corriente de salida de 5 A

- Tensiones de salida de 75 a 264 Vc.a.
- Varistor integrado
- Salida Monofásica
- Detector de paso por cero



Figura 2.21.- SSR OMRON G3NE a utilizarse

Cuadro 2.7.- Se muestra la comparación entre los relés de estado sólido y los relés electromagnéticos.

	Ventajas	Inconvenientes
Relés de estado sólido 	<ul style="list-style-type: none"> -Conexión con o sin función de paso por cero -Desconexión a I=0 -Gran resistencia a choques y vibraciones -No ocasionan arcos ni rebotes al no existir partes móviles. -Vida de trabajo óptima -Frecuencia de conmutación elevada -Facilidad de mantenimiento -Funcionamiento silencioso -Control a baja tensión, compatible TTL/CMOS 	<ul style="list-style-type: none"> -Circuito de entrada muy sensible a perturbaciones -Necesidad de elementos de protección externos <ul style="list-style-type: none"> -Disipadores de calor -Redes de protección -Muy sensibles a la temperatura y a las sobretensiones -Tecnológica y conceptualmente más complejos y abstractos
Relés electromagnéticos 	<ul style="list-style-type: none"> -Económicos en consumo -Reducción de dimensiones en aplicaciones de conmutación a baja potencia -Gran diversidad en encapsulados -Gran número de contactos -Control indistinto CA/CC -Tecnológica y conceptualmente muy evidentes -Defectos conocidos, así como sus soluciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Ruido -Dimensiones considerables en aplicaciones de control de potencia -Presencia de chispas, arco y rebotes -Más lento en la maniobra -Vida útil menor

2.3.2.- Descripción funcional

Es necesario tomar una serie de precauciones antes de utilizar un relé de estado sólido:

- No aplicar una tensión o corriente excesiva en los circuitos de entrada y salida del SSR.
- Asegurarse que los tornillos de conexión están correctamente apretados
- Permitir una correcta ventilación del SSR, en el caso de que el SSR esté montado en un panel de control donde la ventilación no sea suficiente se deberá instalar un sistema de ventilación.
- Cuando se instale el SSR directamente en un panel de control, de manera que el panel es usado de disipador, el panel debe ser de un material con una baja resistencia térmica como aluminio o acero

2.3.2.1.- Protección de SSR's

Los relés de estado sólido son bastante sensibles a las perturbaciones y transitorios eléctricos, así como a las sobrecargas en tensión y en corriente.

El origen de los fenómenos transitorios puede ser:

- Electromagnético radiado
- Eléctrico conducido por los hilos de la red de alimentación

Para prevenir estos fenómenos es primordial dimensionar correctamente el SSR con relación a su aplicación, para explotar así el conjunto de las características del SSR con un margen de seguridad suficiente.

2.3.2.2.- Factores para escoger un SSR's

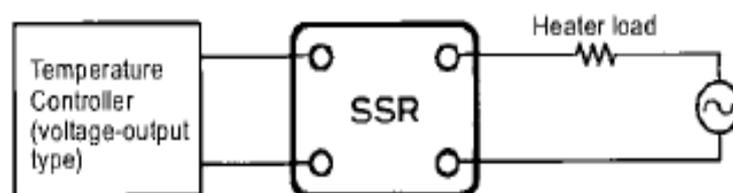
- Especificaciones de tensión y corriente de la entrada
- El tipo de carga a conectar
- La corriente y la tensión de la carga
- La temperatura ambiente de funcionamiento, vibraciones.
- Encapsulado
- Tipo de conexión eléctrica (Terminales de tornillo, patillas para el soldado directo de los hilos, etc)
- Homologaciones
- Otras especificaciones como la rigidez dieléctrica, fiabilidad (tiempo medio entre fallos), etc

2.3.3.- Características y aplicaciones

2.3.3.1.- Carga resistiva

La relación entre el pico de corriente en la conmutación y la corriente nominal es 1. En este caso la corriente y la tensión están en fase de manera que no hay problemas en el funcionamiento del SSR

Una típica carga resistiva es un calentador que se suele combinar con un controlador de temperatura con salida en tensión



2.3.3.2.- Carga con lámparas incandescentes

La relación entre el pico de corriente en la conmutación y la corriente nominal es de 10 a 15 veces. Se debe seleccionar un SSR cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el valor máximo del pico de corriente en el transitorio.

Utilizar un fusible en serie con la lámpara para proteger al relé en el encendido de la lámpara y en el caso de producirse un cortocircuito como consecuencia de la rotura del filamento

Al ser una carga inductiva aparece un desfase entre la tensión y la corriente y se utiliza un filtro RC (Se explica en la sección de protección en la salida) para mejorar el funcionamiento.

2.3.3.3.- Carga con un motor

Cuando un motor arranca la corriente es de 5 a 10 veces mayor que la corriente nominal. Se debe seleccionar un SSR cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el máximo valor de la corriente en el arranque.

Al ser una carga inductiva aparece un desfase entre la tensión y la corriente y se utiliza un filtro RC (Se explica en la sección de protección en la salida) para mejorar el funcionamiento.

2.3.3.4.- Carga con un transistor

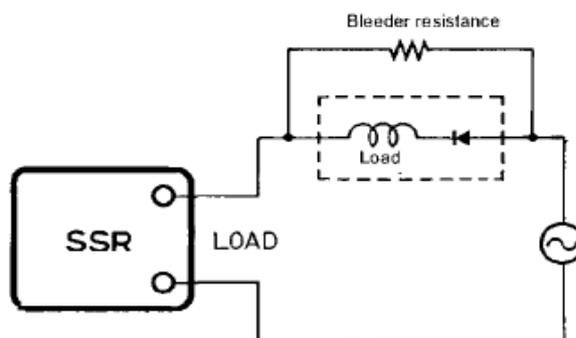
Cuando el SSR conmuta a ON la corriente que pasa por el SSR es de 10 a 20 veces la corriente nominal durante un tiempo de 10 a 500ms

Se debe seleccionar un SSR cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el máximo valor del pico de corriente.

2.3.3.5.- Carga con un rectificador de media onda

En este caso cuando se utiliza un SSR con función de paso por cero el relé no conmutará a ON, hay dos posibles soluciones:

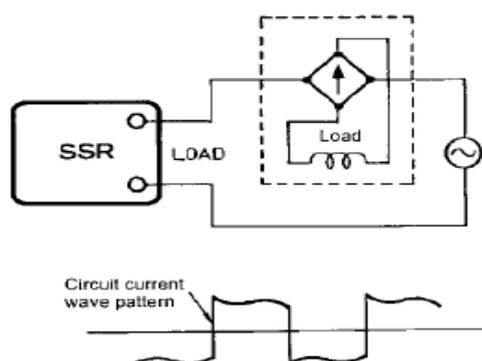
1.- Conectar una resistencia de absorción, que absorba un 20% de la corriente en la carga aproximadamente.



2.- Utilizar un SSR sin función de paso por cero

2.3.3.6.- Carga con un rectificador de onda completa

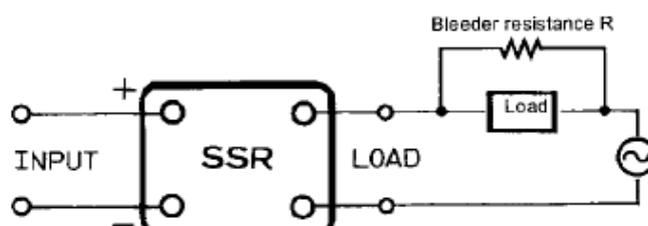
La corriente en la carga tendrá una forma rectangular como la que se muestra a continuación.



En este caso se deberá utilizar relés del modelo -V (G3F-203SL-V, G3H-203SL-V) o relés que tengan en su salida transistores MOS FET (G3DZ, G3RZ, G3FM)

2.3.3.7. - Microcargas

Si la corriente de fuga es muy grande se puede producir un funcionamiento incorrecto, para evitar esto utilizar una resistencia de absorción en paralelo con la carga



Los valores estándar de la resistencia de absorción son:

- Para una fuente de alimentación de 100VAC de 5 a 10k Ohmios, 3W
- Para una fuente de alimentación de 200VAC de 5 a 10k Ohmios, 15W

2.3.3.8.- Carga con un transformador

No utilizar una fuente de alimentación controlada por un transformador como fuente de alimentación de la carga debido a que un transformador es un caso extremo y particular de las cargas inductivas saturables con magnetización residual remanente y se pueden producir fallos en el funcionamiento, ya que la corriente puede llegar a ser de 10 a 100 veces la corriente nominal.

2.3.3.9. - Cargas capacitivas

Se consideran cargas capacitivas las líneas largas de transmisión, filtros y fuentes de alimentación. La intensidad en la carga inicialmente puede llegar a ser de 20 a 50 veces la intensidad nominal, ya que un condensador inicialmente se comporta como un cortocircuito y la intensidad es limitada por el valor de la resistencia (Añadir una resistencia en serie).

2.3.3.11.- Cargas de alta impedancia

Cuando se tenga una carga de alta impedancia la corriente de fuga del relé produce una tensión muy elevada entre los extremos de la carga en el estado de desconexión. Para solucionarlo se suelen instalar cargas de alta impedancia en paralelo con la carga (lámparas de baja potencia).

2.3.4.- Protección en la salida del SSR

Los factores de los que hay que proteger la salida de un SSR son:

- Sobretemperatura
- Sobreintensidad
- Cortocircuito
- Variaciones bruscas en la tensión

Para proteger se utilizan diversos elementos que se exponen a continuación

2.3.4.1. - Utilización de un disipador

Un relé de estado sólido tiene una resistencia de salida que depende del semiconductor utilizado, debido a esta resistencia se produce un calentamiento que hay que disipar y limitar de manera que el valor total de la temperatura (hay que tener en cuenta la temperatura ambiente) no debe sobrepasar la temperatura máxima de la unión del semiconductor, ya que esto podría causar su destrucción.

Se aconseja utilizar un disipador para $I > 5$ A

Se deberá aplicar silicona entre el relé y el disipador para mejorar la transmisión de calor

2.3.4.2. -Protección por fusible

Para protección contra sobrecargas y cortocircuitos eventuales conviene utilizar fusibles en serie con la carga.

En el caso de corrientes de cortocircuito se recomienda utilizar un fusible ultrarrápido de un valor I_{2t} inferior al relé, y en el caso de sobrecarga un fusible lento de $1,1 I_n$.

2.3.4.3. - Red RC – “Snubber”

Utilizando una red RC en paralelo con la salida del relé se limita las variaciones bruscas de tensión, ya sean generadas por la misma red o por la apertura en el cero de corriente sobre una carga inductiva.

Al colocar una red RC en la salida se limita el gradiente de V respecto a t y se limita la amplitud de este impulso parásito por filtración

El mayor inconveniente de este tipo de filtro, es el importante aumento de la corriente de fuga del relé (puede doblar el valor de la corriente de fuga).

En casi todos los casos los SSR disponen en general de filtros tipo RC

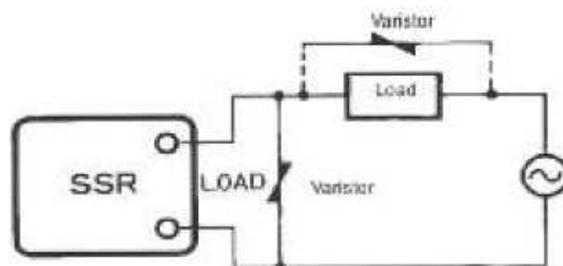
El valor típico de un filtro RC es:

Resistencia: $33 \text{ Ohmios} < R < 100 \text{ Ohmios}$

Capacidad: $0,1 \text{ microF} < C < 0,47 \text{ microF}$

2.3.4.4. - Protección por varistores

Conectando un varistor en paralelo con la salida se protege el circuito de salida del relé de estado sólido contra sobretensiones instantáneas importantes o que tiene una energía elevada.



En muchos casos el varistor viene integrado en el SSR

Frente impulsos parásitos de gran energía un filtro RC no es suficiente, para mejorar esta protección se utiliza un varistor

Un varistor varía su impedancia dependiendo la tensión que tenga entre sus bornes, de manera que cuando entre sus bornes hay una tensión inferior a su valor nominal la impedancia es muy elevada mientras que para una tensión superior a la nominal la impedancia se hace muy rápidamente inferior a 1 Ohmio.

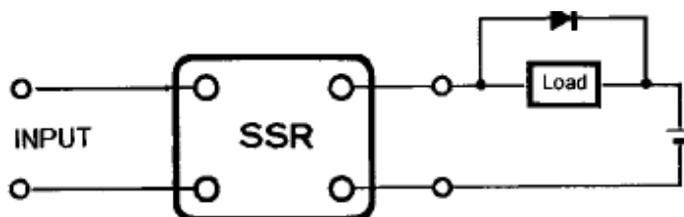
Un varistor se coloca normalmente en paralelo con el componente a proteger.

En la siguiente tabla se indica las características del varistor que hay que seleccionar en función de la tensión de salida

Tensión de operación	Tensión del varistor	Resistencia a picos
100 a 120 VAC	240 a 270V	1,000 A min.
200 a 240 VAC	440 a 470 V	
380 a 480 VAC	820 a 1,000V	

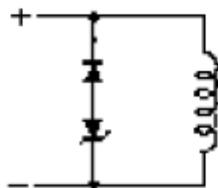
2.3.4.5. - Protección de los SSR de CC

Cuando la carga es una inductancia para eliminar las sobretensiones que pueden aparecer en el circuito continuo inductivo durante el corte se coloca un diodo en paralelo con la carga para absorber la fuerza contraelectromotriz.



Este método es barato, fiable y las pérdidas son casi nulas pero provoca un retardo en la desconexión

Para reducir este retardo se utiliza un diodo + un diodo zener en paralelo con la carga.



2.3.5.- Protección en la entrada

Para relés con tensión continua de entrada se utiliza un diodo en antiparalelo para prevenir una inversión accidental de la polaridad, y una resistencia en serie para limitar la corriente y mantener las condiciones óptimas de funcionamiento.

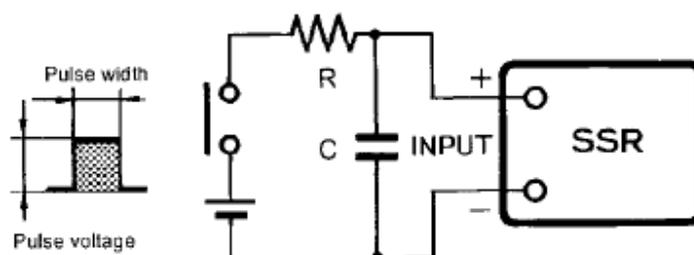
Estos dos elementos suelen estar integrados en los SSR con entrada en tensión continua.

La protección en la entrada contra sobretensiones eventuales, se realiza en los relés con entrada en CA añadiendo una red RC o varistor y para los relés con entrada en CC un diodo zener en paralelo con la entrada.

En muchos casos estos componentes están integrados directamente en el SSR, de manera que retardan algunos microsegundos la conmutación del relé. Los SSRs necesitan una pequeña señal para operar de manera que un ruido aplicado a su

entrada puede provocar un mal funcionamiento. El valor de los elementos de protección (RC) se determina en función del tipo de ruido que tengamos.

2.3.5.1.- Pulso de ruido



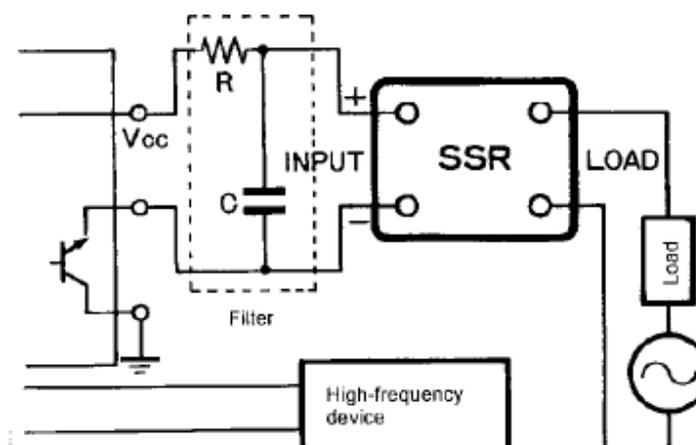
Se utiliza una red RC. La selección de los valores de R y C se determina en función de la duración y la amplitud del pulso de tensión

2.3.5.2.- Ruido inductivo

Para reducir el ruido generado por equipos de alta frecuencia se utiliza un filtro RC, cuyos valores típicos son:

R: de 20 a 100 Ohmios

C: de 0.01 a 1 microFaradios



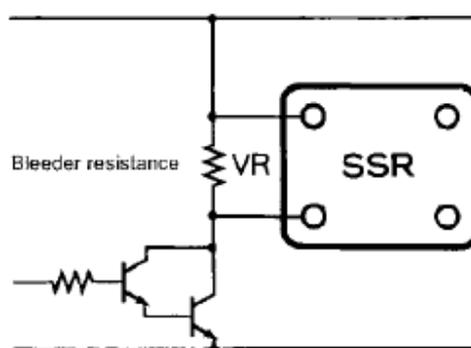
2.3.6.- Condiciones de entrada

- **Rizado de la tensión de entrada.**

Los valores máximo y mínimo de la tensión de entrada deben estar dentro del rango de la tensión de operación del relé.

- **Corriente de fuga.**

Cuando un SSR es gobernado por un dispositivo que tiene una alta corriente de fuga, esta corriente de fuga puede hacer conmutar al relé, de manera que es necesario colocar en paralelo con la entrada del relé una resistencia para reducir el nivel de tensión generado por esta corriente a un valor inferior al umbral de disparo.



- **Frecuencia ON/OFF**

Para cargas de alterna la frecuencia debe ser de 10 Hz como máximo, y para cargas de continua debe ser de 100 Hz como máximo.

- **Impedancia de entrada**

Los SSR tienen un rango muy amplio de tensión de entrada y hay que tener en cuenta que la impedancia de entrada varía en función de la tensión de entrada.

2.3.7.- Tratamiento de las anomalías de los SSR

Un SSR es tan fiable que una vez instalado y funcionando, si se estropea es muy probable que el origen de la avería sea una causa externa, de manera que si se efectúa una sustitución del relé sin analizar el origen de la avería y sin mejorar el circuito externo se corre el riesgo de que se vuelva a producir una avería.

Las averías más frecuentes son esencialmente de 2 tipos:

- Averías al cierre
- Averías a la apertura

Estas averías pueden producirse de manera aleatoria y no repetitiva, de manera que son muy difíciles de reparar. Respetando unas reglas mínimas durante el cableado de la instalación se pueden evitar estas averías fácilmente.

- Cablear por separado las entradas y las salidas para evitar las interferencias eventuales.
- Apretar correctamente los tornillos de conexión- Colocar filtros en los relés para evitar al máximo los fenómenos transitorios.
- Limitar las interferencias inducidas por la red colocando en el equipo completo los filtros adecuados (filtro de red)

2.3.7.1.- Defecto en el cierre

Cuando tenemos una señal de mando en la entrada del relé y el circuito de salida no dispara, es necesario verificar el cableado del circuito de salida

1.- Si no aplicamos señal en la entrada la tensión de salida, la tensión de salida debe ser igual a la tensión de carga.

- Cuando la tensión es nula, verificar que la carga no está en circuito abierto y que la alimentación está bien conectada

- Cuando la tensión sea igual a la tensión de alimentación, verificar que la carga no está en cortocircuito, esto podría haber provocado la rotura de la salida del SSR

2.- Cuando se aplica señal a la entrada, y la tensión de salida debe ser de 1,5V (dependiendo del SSR), si no es así habrá que verificar la entrada.

- Verificar la polaridad (en caso de tensión continua) y las conexiones de la señal de entrada.
- Medir la tensión y la intensidad para el estado ON y OFF. Si la corriente siempre es 0 el defecto está en el circuito de entrada. Si la tensión está fuera de los límites habrá que verificar el circuito externo. Y si los valores están entre los límites hay que sustituir el relé.

2.3.7.2.- Defecto en la apertura

En este caso desconectamos los hilos de la entrada del relé

1.- Si el SSR se abre, se debe confirmar los umbrales de conmutación en la entrada, que pueden ser adecuadamente bajos, en este caso el relé está averiado

- Si son correctas las tensiones de umbral hay que comprobar el circuito de mando externo

2.- Si el SSR no se abre, verificar que la tensión de alimentación en la salida no sobrepasa la tensión máxima en la salida.

- Verificar que las protecciones contra los fenómenos transitorios existen y son suficientes.
- Comprobar que la corriente en la carga no sobrepasa los límites, lo que provocaría un calentamiento excesivo. Verificar si la carga y la salida del relé están en cortocircuito, en este caso habría que sustituir el relé.

2.3.8.- Glosario de términos de los SSR`s

Términos		Significado
Funciones de circuito	Fotoacoplador Fototriac	Transfiere la señal de entrada y aísla entradas y salidas
	Circuito de paso por cero	Circuito que inicia la operación cuando la tensión en la carga alterna tiene un valor próximo a cero.
	Circuito de disparo	Circuito que controla la señal de disparo del triac, que cambia la corriente en la carga de ON a OFF
	Circuito Snubber	Circuito formado por una resistencia R y un condensador C, que previene los fallos que pueden ocurrir en el triac del SSR mediante la supresión de los picos de tensión aplicados al triac.
Entrada	Impedancia de entrada	Impedancia del circuito de entrada más la resistencia limitadora de corriente
	Tensión de operación	Rango de tensión de entrada en el que una tensión de entrada puede fluctuar.
	Tensión nominal	Tensión que sirve como valor estándar de una señal de entrada de tensión.
	Corriente de entrada	Valor de la corriente cuando se aplica la tensión nominal
Salida	Corriente de fuga	Valor efectivo de la corriente que puede fluir entre los terminales de salida cuando una tensión en la carga especificada es aplicada al SSR con la salida a OFF
	Tensión en la carga	Tensión de alimentación efectiva a que un SSR puede ser continuamente sometido con los terminales de salida conectados a una carga y a una fuente de alimentación en serie.
	Corriente en la carga máxima	Valor efectivo de la máxima corriente que puede continuamente fluir por los terminales de salida bajo las condiciones de refrigeración especificadas (tamaño, material, consistencia del disipador, temperatura ambiente, etc)
	Corriente en la carga mínima	Corriente en la carga mínima que permite un correcto funcionamiento del SSR
	Caída de tensión con salida en ON	Valor efectivo de la tensión alterna en los terminales de salida cuando circula la corriente en la carga máxima a través del SSR bajo las condiciones de refrigeración especificadas (tamaño, material, consistencia del disipador, temperatura ambiente, etc.)
Características	Rigidez dieléctrica	Tensión alterna efectiva que un SSR puede soportar cuando se aplica entre los terminales de entrada y los terminales de salida o entre los terminales de entrada/salida y la carcasa (disipador) durante más de 1 minuto.
	Resistencia de aislamiento	Resistencia entre los terminales de entrada y salida o los terminales de entrada/salida y la carcasa (disipador) cuando se aplica una tensión continua.
	Tiempo de operación	Tiempo de retardo entre el momento que el que se aplica tensión en los terminales de entrada y la salida conmuta a ON.
	Temperatura ambiente y humedad de operación	Rangos de temperatura y humedad en los que el SSR puede operar normalmente bajo las condiciones de refrigeración, tensiones de entrada/salida y condiciones de corriente.
Otros	Resistencia a picos de corriente	Corriente que puede ser aplicada durante periodos cortos de tiempo.
	Fuerza contra electromotriz	Pico de tensión extremadamente elevado que se produce cuando se conmuta la carga de ON a OFF.

2.4.- CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO

Este tablero de simulación esta construido en una caja de acrílico plomo, y se encuentra ubicado en el tablero principal de instrumentación industrial. Todos los equipos son instalados correctamente para su funcionamiento.

El tablero esta construido según la Figura 2.22 y consta de diversos elementos distribuidos debidamente en su interior.

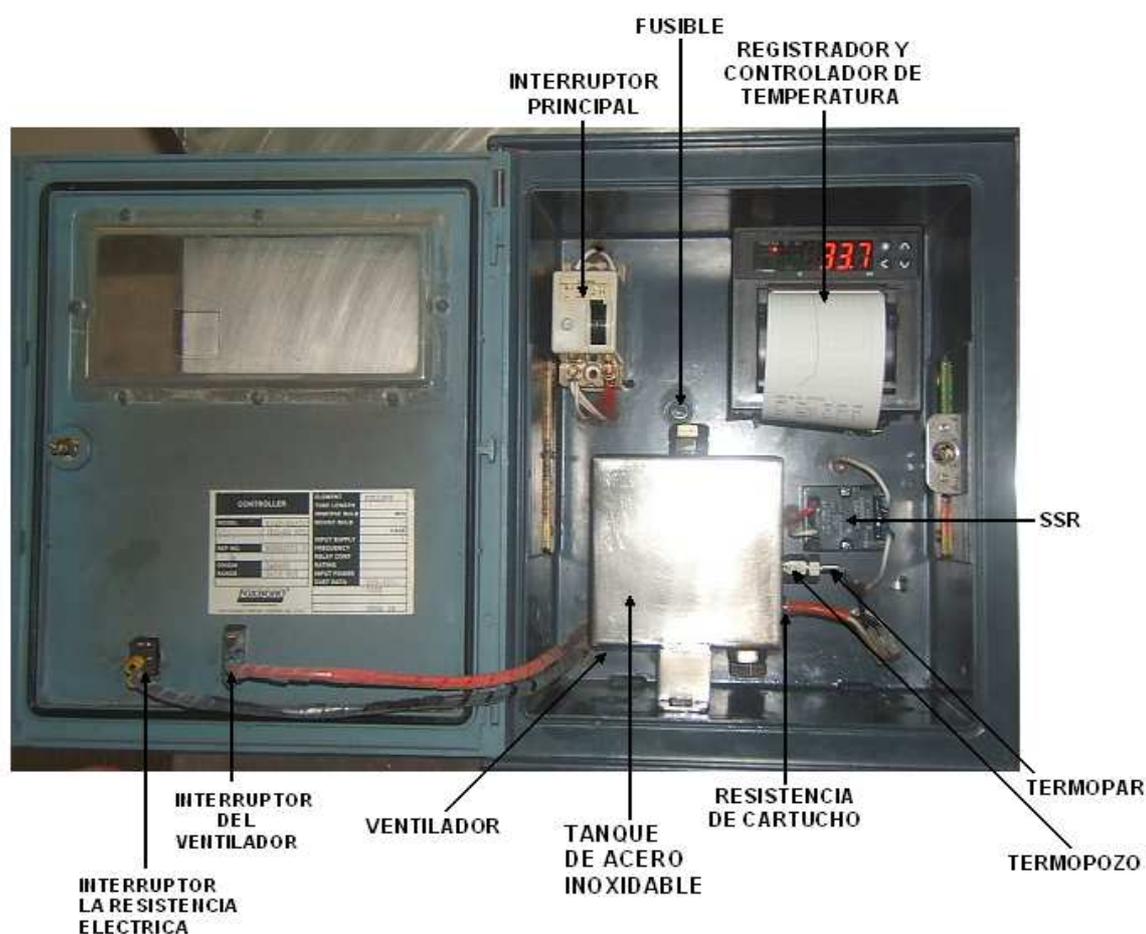


Figura 2.22.- Distribución de elementos del tablero de simulación

En el interior del modulo se encuentran los elementos y equipos necesarios para la simulación de los controles de temperatura. Estos se describen brevemente a continuación.

Interruptor principal.- Encargado de energizar todos los equipos y elementos componentes del modulo.

Marca: SIEMENS

Amperios: 16 A

Voltaje: 110 v

Interruptor de la resistencia eléctrica.- Este interruptor nos permite tener mayor rapidez al momento de bajar la temperatura del aceite cuando el controlador me da la orden de permitir el paso de corriente ala resistencia para el aumento de temperatura, el descenso de temperatura se utiliza cuando necesitamos realizar otro tipo de control.

Ventilador.- Para facilidad de realizar las simulaciones de los tipos de control principalmente el control ON-OFF, este ventilador fue retirado de un computador e instalado en el modulo.

Voltaje: 110 v

Interruptor del ventilador.- es encargado de energizar al ventilador cuando se lo desee.

Tanque.- Su función principal es contener el aceite que se le va a realizar la simulación de los tipos de control y esta construido de acero inoxidable sus dimensiones ya fueron indicadas anteriormente.

En su interior esta ubicado el sensor de temperatura que es un termopar tipo J y para su cuidado se le instalo en un termopozo; para la generación de calor se le ubico una resistencia tipo cartucho.

Las características de estos elementos ya fueron descritas anteriormente.

En la figura 2.23 se presenta un circuito eléctrico, de la manera que se encuentra conectado el tablero de simulación de control de temperatura

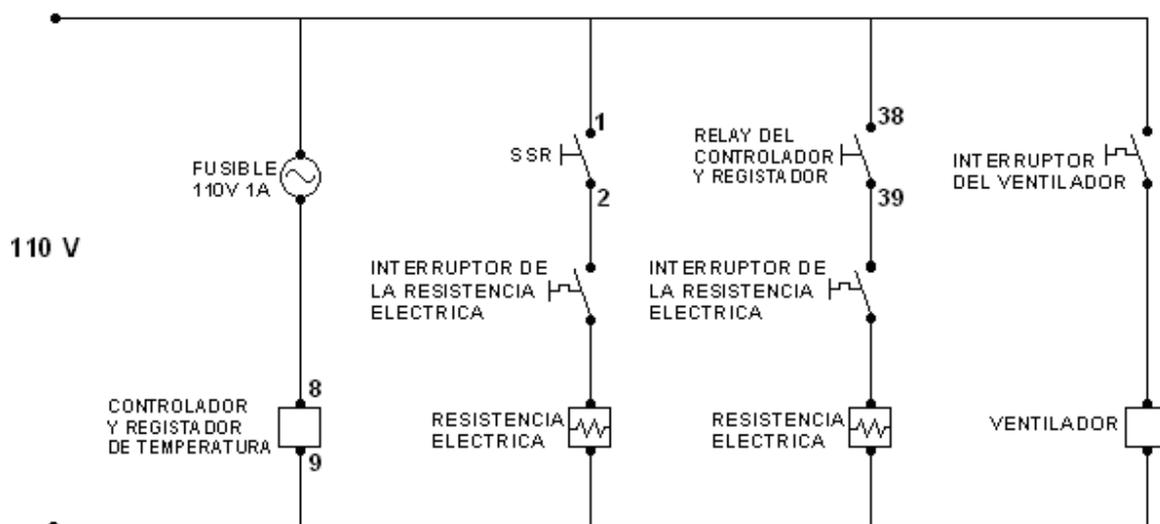


Figura 2.23.- Conexiones del tablero de simulación de control de temperatura

CAPITULO III PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1.- PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.2.- GRAFICAS DE LAS SEÑALES DE CONTROL

3.2.1.- Control tipo ON – OFF

3.2.2.- Control Proporcional

3.2.3.- Control PI (Proporcional-Integral)

3.2.4.- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo)

3.2.5.- Control PD (Proporcional-Derivativo)

3.3. - CONCLUSIONES

3.4. - RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

A. - Fotografías del equipo

B. - Manual de uso del tablero

C. - Manual del registrador y controlador

CAPITULO III PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1.- PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Antes de la construcción de este tablero de simulación se probaron satisfactoriamente todos los elementos y equipos que componen el tablero.

Con el tablero construido se realizaron diferentes pruebas de los componentes, principalmente, el sensor de temperatura, el elemento final de control (SSR), el actuador, etc.

Las pruebas esenciales que se realizaron al tablero de simulación eran para encontrar los valores mas adecuados para el control PID.

3.2.- GRAFICAS DE LAS SEÑALES DE CONTROL

Las siguientes graficas de control fueron realizadas con diferentes valores para obtener los más adecuados y tener un excelente control PID; También se grafico el control on-off para tener una diferencia clara de los controles.

3.2.1.- Control tipo ON – OFF

Este control es simple y no tiene parámetros que configurar, aparte de las acciones mínima y máxima que se ejecutan en el cálculo de la señal de control.

El control on-off muchas veces es apropiado para mantener la variable controlada del proceso cerca del valor de la referencia que fue especificada, pero típicamente resulta en un sistema donde las variables oscilan.

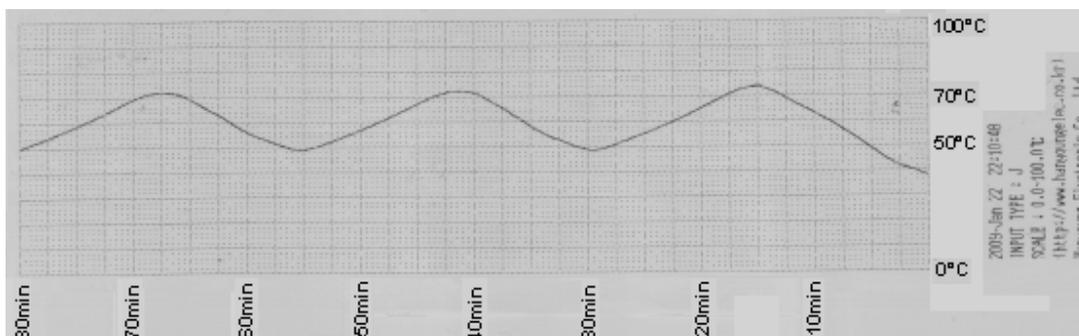


Fig. 3.1. - Control ON – OFF (50°C – 70°C)

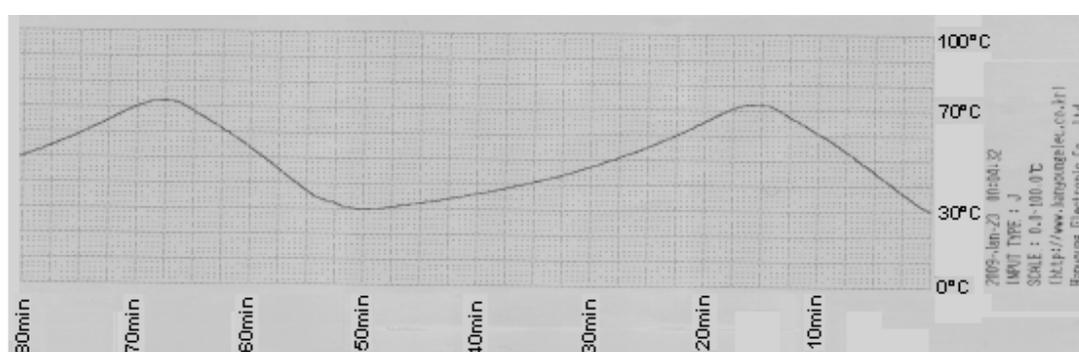


Fig. 3.2. - Control ON – OFF (30°C – 70°C)

3.2.2.- Control Proporcional

Existen varios métodos para el ajuste de estos tipos de controles. La mayoría requiere una considerable cantidad de paciencia por parte del técnico.

El primer paso es el ajuste de la banda proporcional. Si el controlador tiene ajustes para la parte integral y derivada, habrá que ponerlos en cero. El ajuste de la banda proporcional selecciona la velocidad de respuesta (a veces llamada ganancia) que necesita un control proporcional para conseguir la estabilidad del sistema.

La banda proporcional debe ser más ancha, en grados, que las oscilaciones normales del sistema, pero no demasiado ancha como para amortiguar la respuesta del sistema.

Se comienza con la banda proporcional lo más angosta posible. Si existen oscilaciones se debe aumentar la banda proporcional en pequeños incrementos, esperando cada vez varios minutos para que el sistema se estabilice, hasta el punto en el cual la caída comienza a aumentar. En este punto las variables del proceso deberán estar en un estado de equilibrio en algún punto por debajo del setpoint.

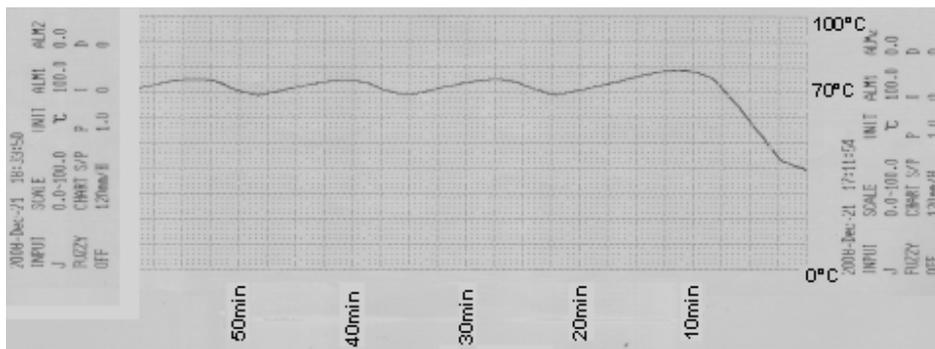


Fig. 3.3.- Proporcional (1)

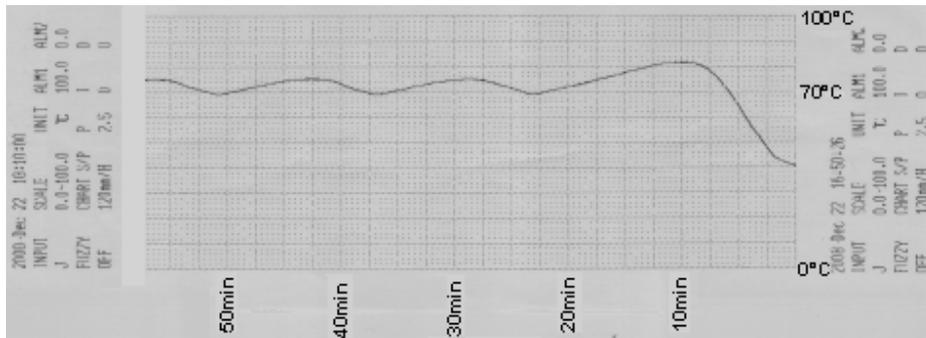


Fig. 3.4.- Proporcional (2.5)

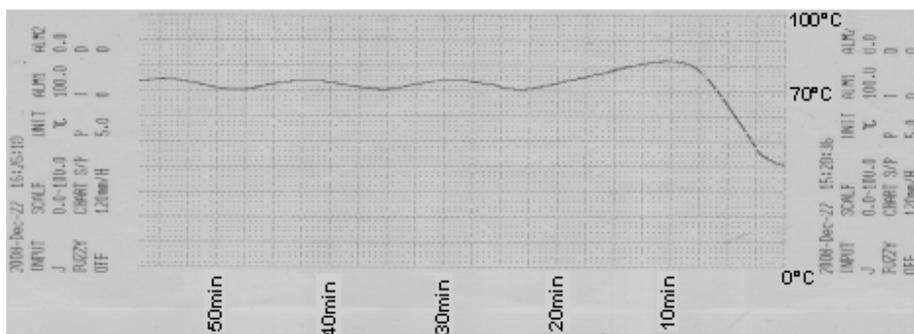


Fig. 3.5.- Proporcional (5)

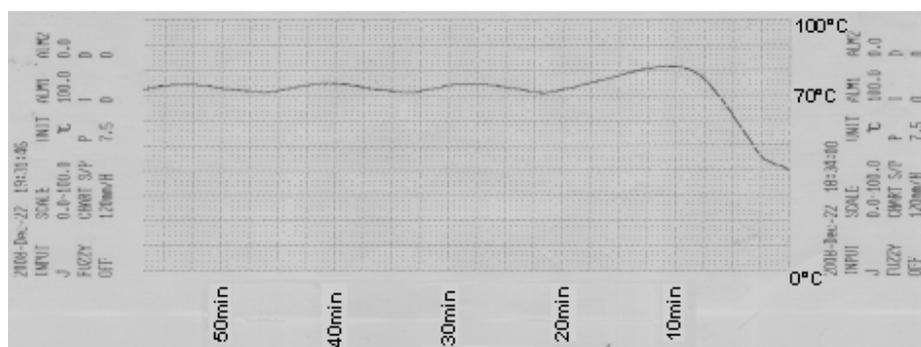


Fig. 3.6.- Proporcional (7.5)

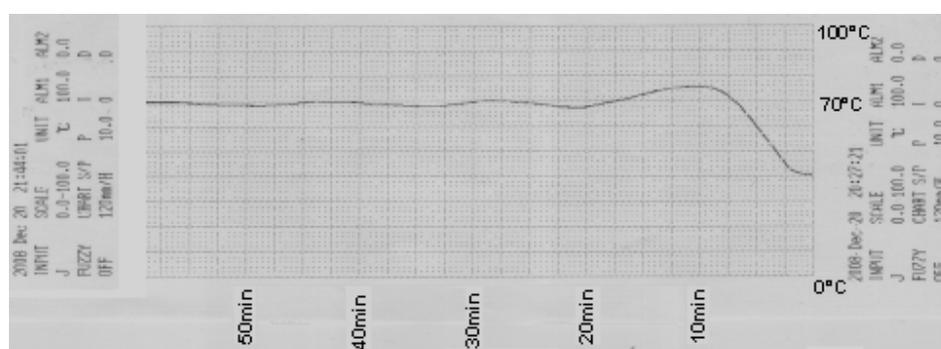


Fig. 3.7.- Proporcional (10)

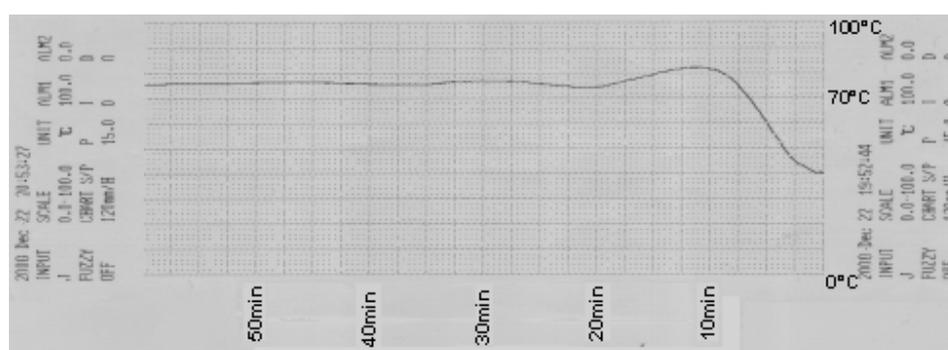


Fig. 3.8.- Proporcional (15)

Con las graficas obtenidas se llego a la conclusión que la banda mas angosta es la grafica de la figura 3.7 con la ganancia o Proporcional "10"

3.2.3.- Control PI (Proporcional-Integral)

El paso siguiente es el ajuste de la acción integral o de reset. Si el control tiene un ajuste manual, se lo ajusta hasta que la caída del proceso se ha eliminado. El problema con el ajuste manual es que cada vez que se cambia el setpoint de valor, posiblemente tengamos una caída otra vez y haya que ajustarlo nuevamente.

Si el control tiene reset automático, se ajusta el mismo a su inicio de modo que halla el mínimo número de repeticiones por minuto para permitir el equilibrio del sistema. En otras palabras se ajusta el auto reset en pequeños pasos, permitiendo que el sistema se equilibre después de cada paso, hasta que empiecen pequeñas oscilaciones. Luego se retrocede con el ajuste hasta que las oscilaciones se detengan y se restablezca el equilibrio. En este punto el sistema se ajustará automáticamente para los errores de caída.

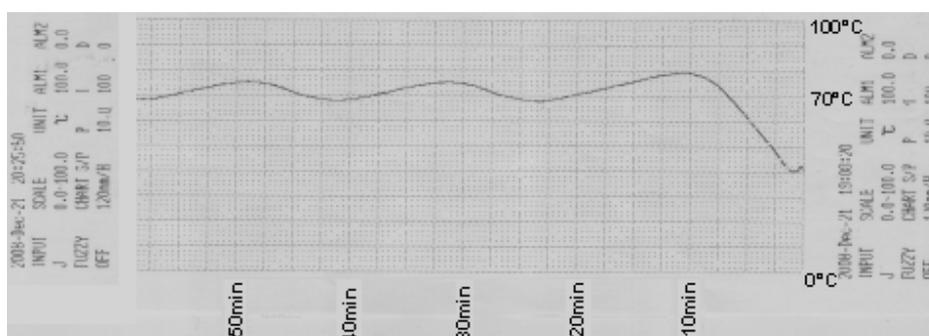


Fig. 3.9.- Proporcional (10); Integral (100)

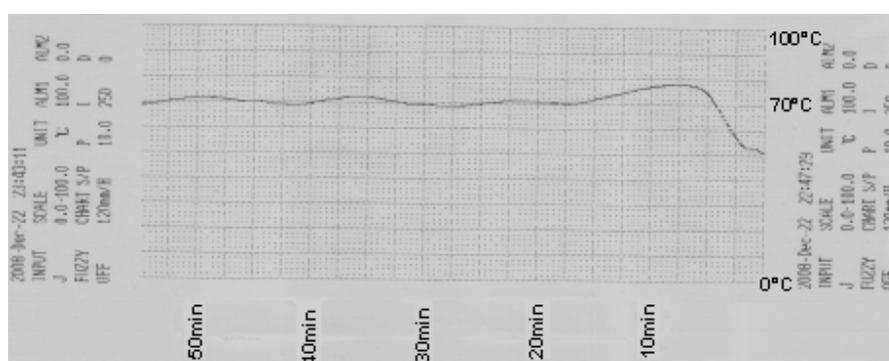


Fig. 3.10.- Proporcional (10); Integral (250)

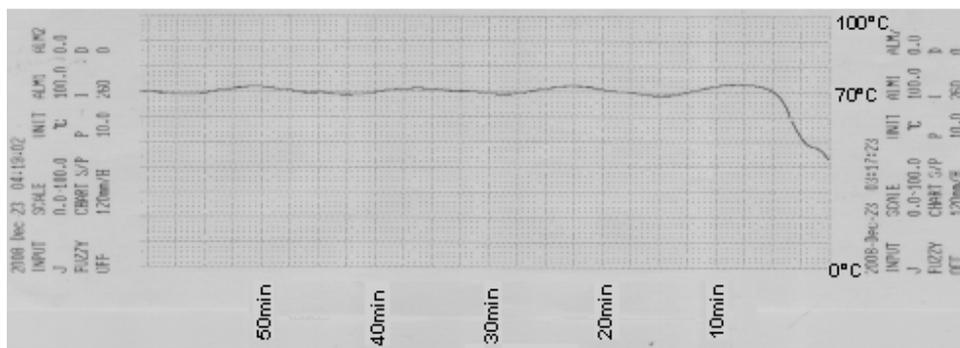


Fig. 3.11.- Proporcional (10); Integral (260)

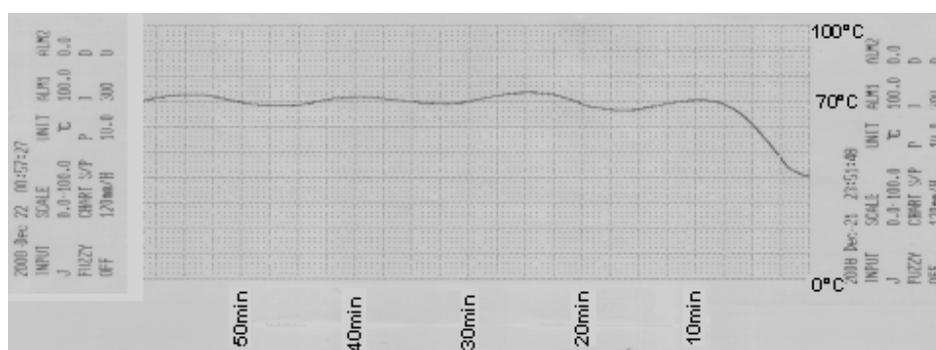


Fig. 3.12.- Proporcional (10); Integral (300)

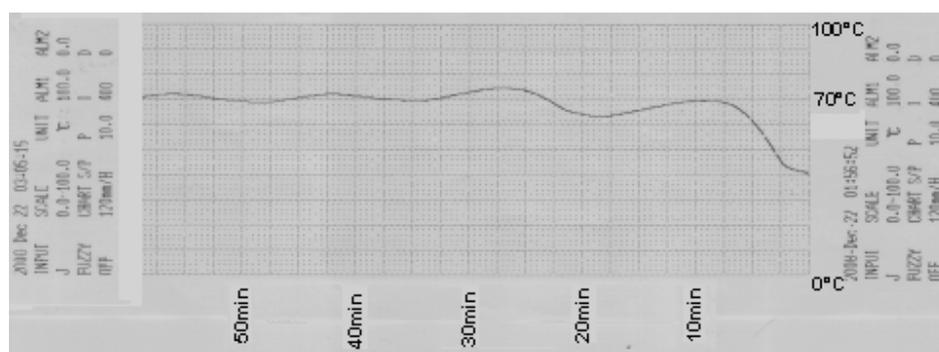


Fig. 3.13.- Proporcional (10); Integral (400)

Con las graficas obtenidas en este experimento se concluye que el valor óptimo para el reset o integral es de "250", ya que la curva de la figura 3.10 no tiene una caída del valor del setpoint.

3.2.4.- Control tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo)

El último parámetro de control para ajustar es la función derivada. Siempre se debe ajustar esta función a lo último. Si este ajuste se hace antes del reset o acción integral, éste se irá de límites, y habrá que comenzar todo el proceso nuevamente.

La función del ajuste derivado es reducir en todo lo posible cualquier sobrepaso de temperatura. El ajuste derivado es uno basado en el tiempo medido en minutos sintonizado para trabajar con el tiempo de respuesta del conjunto del sistema.

El ajuste inicial deberá ser la mínima cantidad de minutos posible. Se aumenta el ajuste en muy pequeños incrementos. Después de cada ajuste se debe esperar hasta que se equilibre.

Se debe vigilar la acción del control cuando se llega al setpoint. Si existe un sobrepaso, se aumenta la acción derivada en una pequeña cantidad y se repite el procedimiento hasta que el sobrepaso se elimina. Algunas veces el sistema se hace lento y nunca llega al setpoint. Si esto ocurre, disminuya el ajuste derivado hasta que el proceso llega al setpoint.

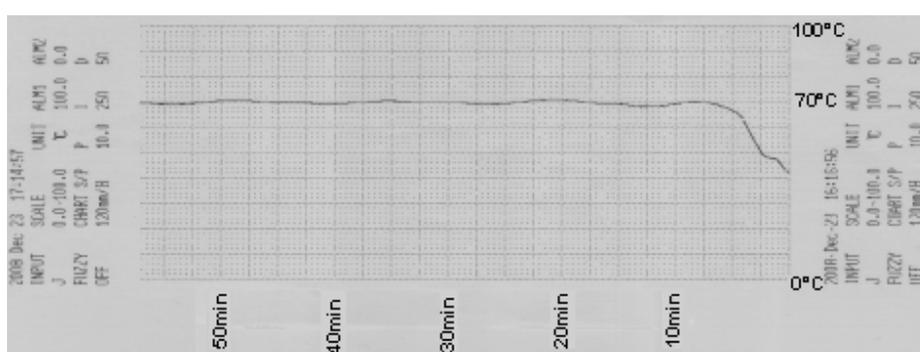


Fig. 3.14.- Proporcional (10); Integral (250); derivativo (50)

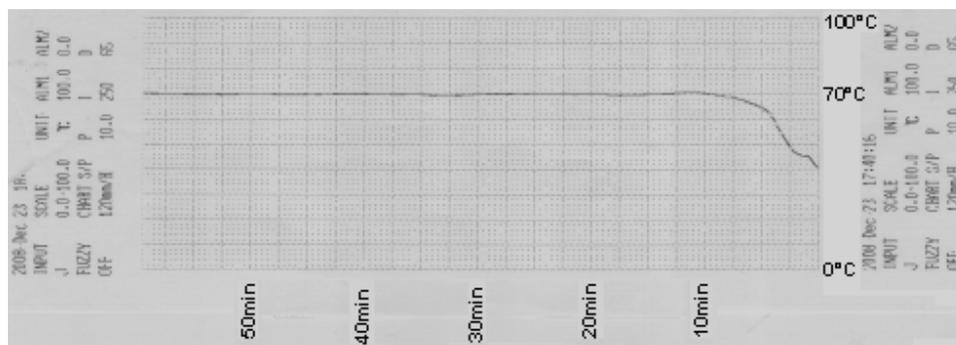


Fig. 3.15.- Proporcional (10); Integral (250); derivativo (65)

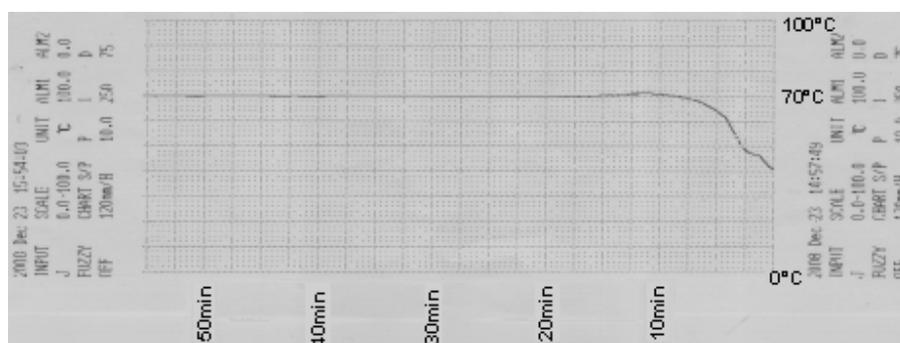


Fig. 3.16.- Proporcional (10); Integral (250); derivativo (75)

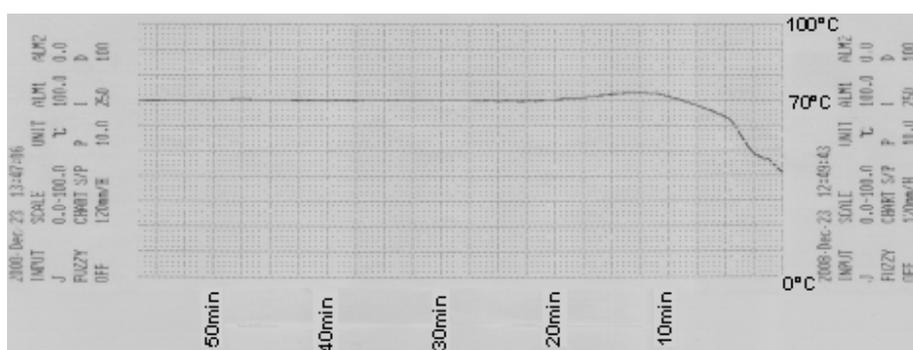


Fig. 3.17.- Proporcional (10); Integral (250); derivativo (100)

Con las curvas obtenidas se obtiene el valor recomendable para la acción derivativa y es de "65", ya que la grafica de la figura 3.15 al llegar al setpoint no tiene un sobrepaso.

3.2.5.- Control PD (Proporcional-Derivativo)

Es obligatorio que se debe ajustar la acción derivativa en el último paso, porque de otra manera este se irá de límites, y habrá que comenzar todo el proceso nuevamente como por ejemplo las curvas de las figuras 3.18 y 3.19

En algunas ocasiones el sistema se hace lento y nunca llega al setpoint. Si esto ocurre, disminuya el ajuste derivado hasta que el proceso llega al setpoint. Ya que esto ocurrió en las figuras 3.20 y 3.21

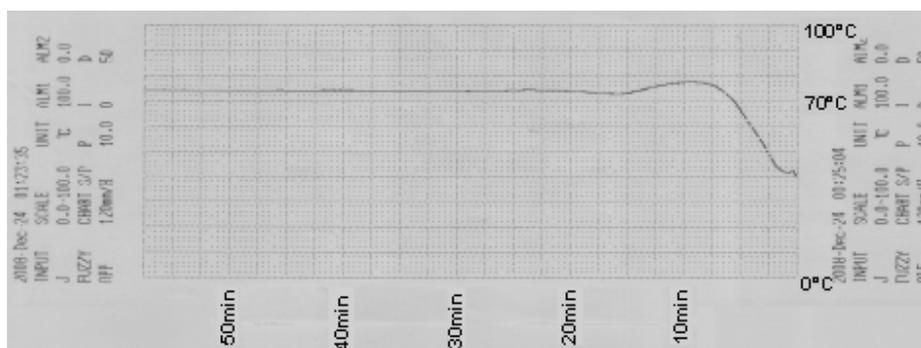


Fig. 3.18.- Proporcional (10); derivativo (50)

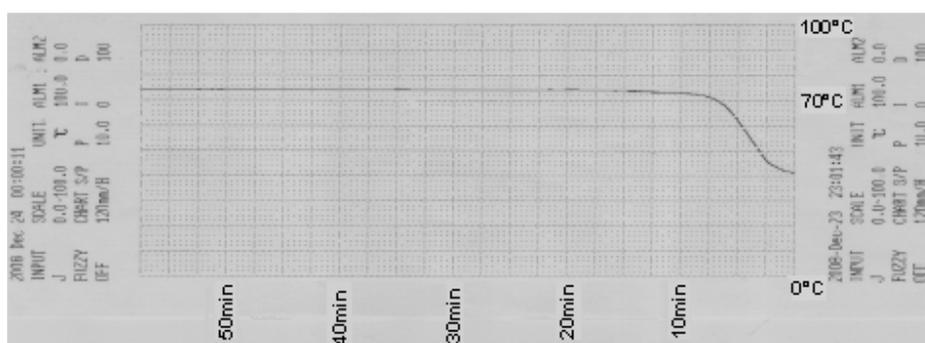


Fig. 3.19.- Proporcional (10); derivativo (100)

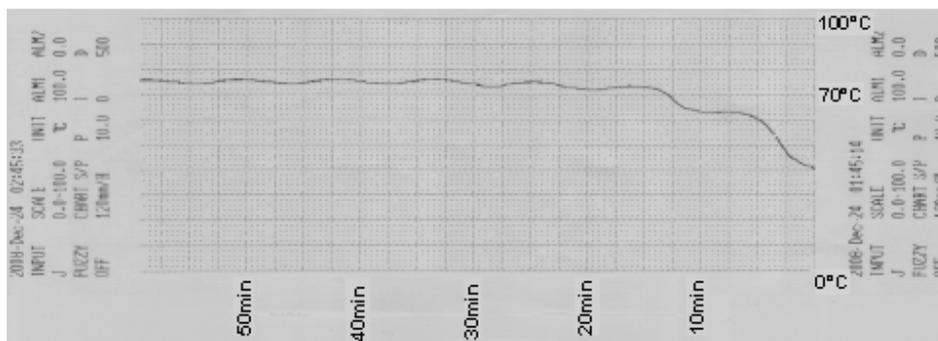


Fig. 3.20.- Proporcional (10); derivativo (500)

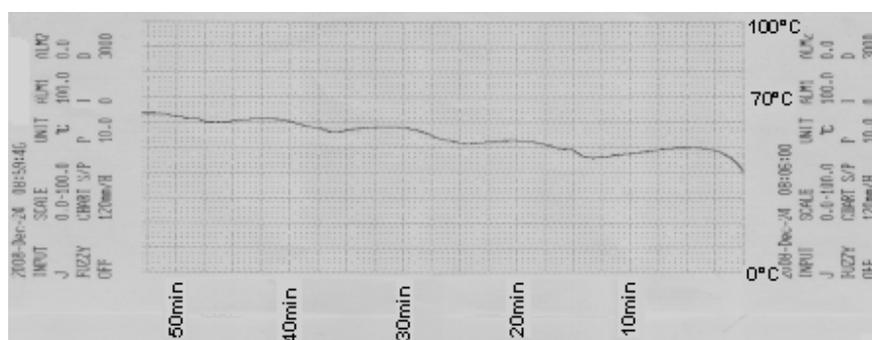


Fig. 3.21.- Proporcional (10); derivativo (3000)

3.2.5.- Control PDI AUTO-TUNING

Este equipo comienza a escanear el proceso partiendo de cualquier valor para colocar los valores de un excelente control PID, esta función adicional nos permite mayor facilidad y menor tiempo al encontrar los valores adecuados del PID.

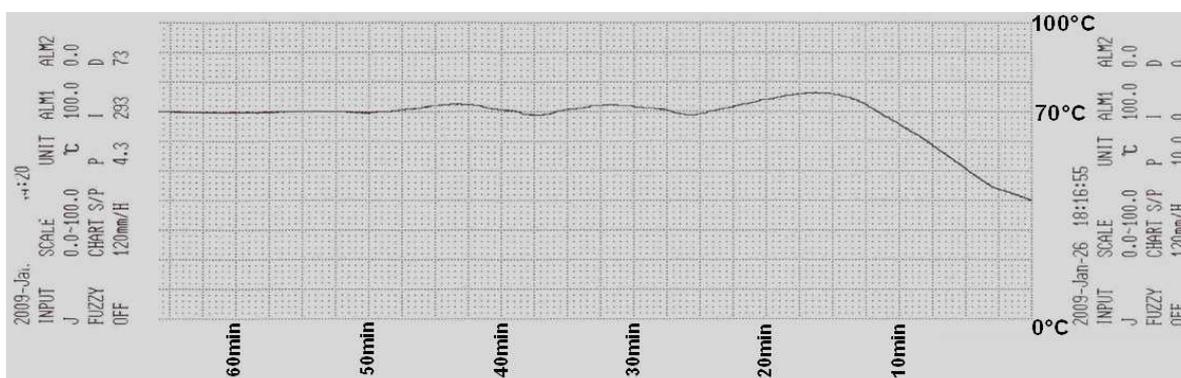


Fig. 3.22.- Control PID Auto-Tuning

3.3. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La acción proporcional actúa de acuerdo a la multiplicación de una ganancia (K_p) por el error ($\text{Error} = (\text{Set-Point} - \text{Variable de Proceso})$), tiene el problema de que mientras el error se va volviendo 0 (esto quiere decir que la variable se está acercando a el Set-Point) la corrección ó salida del controlador también tiende a 0, esto nos lleva a que cada vez corregimos menos, y por lo tanto en teoría el S.P. y la P.V. (variable de proceso) se pueden volver asintóticas a esto se le llama Error de Estado Estable. La acción proporcional (K_p) tendrá el efecto de reducir el tiempo de crecimiento y reducirá pero no elimina el error de estado estable.
- Un control integral (K_i) tendrá el efecto de eliminar el error de estado estable, pero sin embargo podría empeorar la respuesta transitoria. Actúa mientras exista una área entre las curvas del S.P. y la P.V, básicamente si existe área es igual a decir que existe error. Esta acción puede corregir el problema de la acción proporcional de error de estado estable, como en la vida no todo es belleza, la acción integral por su naturaleza de corregir todo el tiempo no puede crear un problema de generar pequeñas oscilaciones en el sistema
- La acción derivativa es anticipativa, es decir adelanta la acción de control frente a la aparición de una tendencia de error (derivada), esto tiende a estabilizar el sistema puesto que los retardos en controlar lo tienden a inestabilizar. Un control derivativo (K_d) tendrá el efecto de aumentar la estabilidad del sistema al disminuir el sobrepico, mejorando la respuesta transitoria. Actúa ante cambios en la P.V. y no le importa que tan lejos este esta del S.P. por lo tanto esta solo funciona en trabajo conjunto con las otras acciones y sirve para prevenir sobre pasos grandes (que la P.V tenga una oscilación muy fuerte ya sea por arriba o por abajo el S.P.) ayuda a eliminar oscilaciones dejadas por la acción derivativa.

- Los efectos de cada uno de los controladores K_p , K_d , y K_i en un sistema de lazo cerrado están resumidos en la tabla que se presenta debajo.

Controlador	T. Crecimiento	Sobrepico	T. Establecimiento	Error Estado Estable
K_p	Disminuye	Aumenta	Poco cambio	Disminuye
K_i	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Poco cambio	Disminuye	Disminuye	Poco cambio

Nótese que estas correlaciones podrían no ser exactamente precisas, ya que el efecto de cada controlador será dependiente de los otros. Por este motivo, la tabla mostrada solo debe ser utilizada como referencia para determinar los valores de K_i , K_p y K_d .

- Se ha demostrado la implantación de un económico sistema de control de temperatura de tipo didáctico. El controlador PID propuesto permite a los estudiantes observar de manera independiente la señal producida por cada una de las etapas del controlador, lo que complementa las explicaciones teóricas. La etapa de potencia se asemeja a las implementadas en controladores comerciales, lo cual es una aportación adicional del sistema. El sistema cumple el objetivo de acercar al estudiante a todas las etapas del desarrollo de un sistema de control: implementación, sintonización, y comprobación experimental.
- Es una buena práctica el hacer que el alumno aplique la teoría de control a un problema concreto y que no se quede ahí, en simple teoría de control, abstracta y sin practicidad. También esta práctica engloba muchos conceptos, representando para el alumno una dificultad puesto que tiene que ver en principio el problema de forma global y posteriormente ir desgranando y resolviendo los diferentes puntos a resolver que se presenten.

- De lo opuesto anteriormente y partiendo de la cantidad de pruebas realizadas se puede considerar que se satisface con el objetivo inicial de tener un sistema de control de temperatura que a mas de ser fácil de usar y muy didáctico cumpla satisfactoriamente con los diferentes tipos de control implementados.

BIBLIOGRAFIA

- Cabrera R, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE TEMPERATURA", Tesis de EPN 1996
- Ogata Katsuhiko, "INGENIERIA DE CONTROL MODERNO", 2da Edición, Prentice Hal, México 1993
- Spartacus Gomáriz, Domingo Biel, José Matas, Miguel Reyes, "TEORÍA DE CONTROL DISEÑO ELECTRÓNICO" 2da Edición 2000, Universidad Politécnica de Cataluña.
- M. Bañuelos, J. Castillo, G. Rayo, S. Quintana T, R. Damián Z, J. Pérez S, "CONTROLADOR PID DE TEMPERATURA DE TIPO DIDACTICO", Congreso nacional de instrumentación UNAM, México 2002
- OMRON ELECTRONICS S.A., "GUÍA RÁPIDA RELÉS DE ESTADO SÓLIDO SSRs" <http://www.industrial.omron.es/>
- www.wikiciencia.org
- www.wikipedia.com
- www.monografias.com

ANEXOS

A. - Fotografía del tablero de simulación



PARTE FRONTAL INTERIOR DEL TABLERO DE SIMULACION

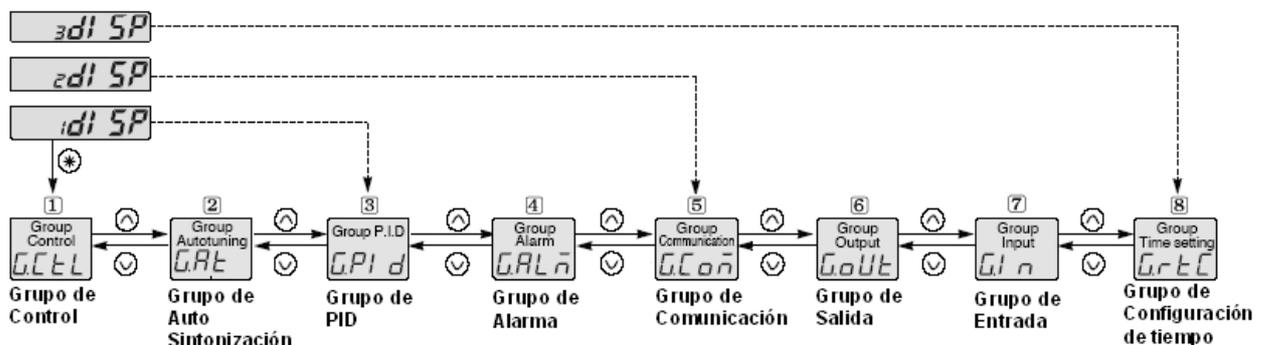


PARTE FRONTAL DEL TABLERO DE SIMULACION

B. - Manual de uso del tablero

A continuación se cita algunas instrucciones rápidas para el funcionamiento del tablero

- Para establecer el valor del set point se debe pulsar la tecla \odot y subir o bajar el valor con las teclas de arriba y de abajo \uparrow \downarrow ; luego se pulsa nuevamente la tecla \odot para aceptar el valor colocado.
- Para comenzar a configurar el controlador y registrador, se pulsa la tecla \odot por 3 segundos y nos muestra en la pantalla 3di SP , se puede cambiar los grupos de configuración a mostrarse variando el 3, 2, 1, si escogemos el 1 nos mostrara los grupos del 1 al 3; de igual manera si seleccionamos el 2 nos abriera del 1al 5; y si elegimos el 3 nos expondrá todos los grupos de configuración.



- Primeramente se debe poner el tiempo de la siguiente forma, se escoge con las teclas \uparrow \downarrow el grupo configuración del tiempo GrTC y pulsando \odot llegamos a la opción de selección del año YEAR y colocamos el año con la teclas \uparrow \downarrow , y pulsamos la tecla enter \odot para aceptar, luego de la misma manera se configura el mes mon , día DAY , hora Hour , minuto min , segundo SEC .

- Es necesario configurar el código del tipo de entrada a utilizarse basándonos en la tabla siguiente, se escoge con las teclas   el grupo de entrada *IN* y pulsando  llegamos a la opción de selección de entrada *INP* y colocamos el código de entrada

Input type (Input signal)	Input code
Thermo-couple (T.C)	K *2 1
	K *2 2
	J *2 3
	E *2 4
	T *2 5
	R *2 6
	B *1 7
	S 8
	L *2 9
	N 10
	U *2 11
	W 12
	Platinel II 13
R.T.D	KSPT 100 *3 20
	Pt 100 *3 21
Direct voltage (V DC / mV DC)	1 ~ 5 V DC 30
	0 ~ 10 V DC 31
	-10 ~ 20 mV DC 32
	0 ~ 100 mV DC 33
Direct Current	4 ~ 20 mA DC * 30

- Se debe tener en cuenta el código de salida del controlador para un buen funcionamiento, y se configura de la siguiente manera, se escoge con las teclas   el grupo de salida *OUT* y pulsando  llegamos a la opción de señal de salida *OUT* y colocamos el código de salida según la siguiente tabla.

Output code	Control Output
0	Relay (ON / OFF control)
1	SSR
2	SCR (4 ~ 20 mA DC)
3	Relay (P.I.D control)

- Para configurar la escala de temperatura de impresión, se elige con las teclas  el grupo de entrada *Gr - T*, luego pulsando  llegamos a la opción de limite alto *Fr - H* y utilizando las teclas  ponemos el valor deseado, cuando esto se haya realizado pulsamos  para aceptar. De igual manera colocamos el valor de bajo límite *Fr - L*. Para realizar esta practica se escogió el limite alto de 100°C y el limite bajo de 0°C.
- Para establecer la escala de tiempo de impresión, se elige con las teclas  el grupo de control *Gr - T L*, luego pulsando  llegamos a la opción rapidez de transmisión *SPd* y utilizando las teclas  ponemos el valor deseado esto se mide en función de la relación de minuto sobre hora (min/h), cuando esto se haya realizado pulsamos  para aceptar. Para tender una idea más clara, si colocamos un valor de 60 en la relación min/h cada línea en el eje "x" tendrá un valor de 1 minuto; de tal forma que si colocamos un valor de 120 en la relación min/h cada línea en el eje "x" tendrá un valor de medio minuto (30 seg).
- Para configurar los valores del control PID, se elige con las teclas  el grupo PID *Gr - P I d*, luego pulsando  llegamos a la opción de selección del grupo de control *Gr - P I d* y utilizando las teclas  escogemos el numero de grupo ya se el 1 al 3, y pulsamos  para aceptar; realizado esto se ponen los valores de las acciones proporcional, integral, derivativa.
- Para configurar los valores del control ON-OFF, se elige con las teclas  el grupo de salida *Gr - O U T*, luego pulsando  y llegamos a la opción de selección de señal de salida *Gr - O U T* y utilizando las teclas  escogemos el numero de señal para el control on- off se escoge el numero 0, y pulsamos  para aceptar; luego colocamos el valor de la banda diferencial variando la histéresis, esto se lo hace en el mismo grupo de salida *Gr - O U T*, escogiendo la opción de la histéresis *HYS* y

utilizando las teclas   escogemos el valor de la histéresis o de la banda diferencial. Se debe tomar en cuenta que como el principio de este valor es la histéresis, el valor que se coloca se mediará al valor del set point; ejemplo si se coloca un valor de la histéresis de 40°C y el valor del set point es de 70°C el valor máximo es de 90°C y el valor mínimo es de 50°C.

- Para poner a funcionar el auto-tuning, se elige con las teclas   el grupo auto tuning *Auto*, luego pulsando  llegamos a la opción empezar el auto tuning *Auto* y utilizando las teclas   escogemos la opción auto, cuando esto se haya realizado pulsamos  para aceptar. También se puede escoger un número para el auto tuning y cuando tenga los valores óptimos del PID, estos serán guardados con el número escogido.
- Para comenzar y detener la impresión, pulsar por 3 segundos al unísono las flechas arriba y de abajo  .
- Para requerir información cuando se está imprimiendo, Pulsar la flecha de abajo  por 3 segundos y para detener pulsar la misma flecha  por el mismo tiempo.
- Para imprimir texto pulsar la flecha de arriba  por 3 segundos y para volver a imprimir gráfico pulsar la flecha de arriba  por el mismo tiempo.
- Para tener papel libre de impresión presionar al mismo tiempo la flecha de abajo y la derecha  .

C. - Manual del registrador y controlador RT9 – 104

WARNING

Hay una posibilidad de muerte o la lesión pesada al manejar de la mala manera.

1.- Precaución en la instalación

- Use el circuito de protección externa, si una falta en el circuito del mando posiblemente podría llevar a un serio el problema.
- Este instrumento no tiene un interruptor para el poder y un fusible, por favor instálelos.

2.- Suministro de energía

- Use un voltaje tasado para prevenir daños o problemas.
- Evitar el susto eléctrico, no encienda la energía hasta que la instalación eléctrica sea completa.

3.- Prohibido el uso en la atmósfera de gas

- No lo use a un lugar expuesto a combustible o el gas explosivo.

4.- manejando de unidad

- Para evitar el funcionamiento defectuoso, susto eléctrico o disparo, esta unidad no debe desmontarse o debe repararse.
- No toque los terminales para evitar susto eléctrico o funcionamiento defectuoso.

5.- La instalación en el mantenimiento

- Apague la energía antes de montar o quitar el instrumento.
- Asegurar funcionamiento continuo y seguro del instrumento, el mantenimiento periódico es recomendado. Algunas partes están limitadas en la vida.
- El período de la garantía sólo es 1 año si usando de la manera correcta.

CAUTION

Hay una posibilidad de lesión o el daño físico al manejar de la manera mala.

1.- PRECAUCION EN EL MANEJO

No instale el instrumento bajo cualquiera de las condiciones siguiente.

- La temperatura ambiente excede 50°C
- La humedad ambiente excede 20 ~ 90% RH.
- Un lugar dónde la temperatura cambia de repente.
- Un lugar expuso a gas corrosivo o el gas combustible.
- Vibración o susto probablemente serán transmitidos al instrumento.
- Un lugar expuesto al agua, el aceite, los químicos, el vapor, la luz del sol.
- Un lugar expuesto a mucho polvo, sal o hierro.
- Un lugar con la perturbación muy inductiva, electricidad estática, el ruido de magnetismo.
- Un lugar dónde calienta como las estancias de calor radiantes.

2.- LA INSTALACION

- Ate los anaqueles (2 unidades) en los vestíbulos fijos y se aprieta con un destornillador.
- Arreglando el torque es aproximadamente 14.7N. El centímetro (1.5kg.cm.). (El cuidado debe tenerse para no apretar fuertemente.)
- El uso interior.
- La altitud uso 2000m.
- Las fluctuaciones de voltaje no exceder 10 del voltaje normal.
- Las Categorías de la instalación
- La polución grado 2

3.- LA PRECAUCION EN LAS CONEXIONES TERMINALES

- Use un cable compensando con la termocupla.
- Para el uso R.T.D entrada de un cable que es una resistencia de alambre de primacía pequeña a 3 alambres.
- Evitar el ruido inductivo para introducir los alambres separar del energía y alambres de salida.
- Guarde los alambres de la entrada fuera de los alambres de salida y use un escudó para los alambres a la tierra.
- Si la instalación eléctrica tiene ruido, use el paso siguiente: conecte un absorbente de la ola al rollo del conductor, y si los conductores se conectan al salida de carga, como salida del relay.
- Use un transformador aislante con un filtro del ruido cuando la alimentación de energía tiene mucho ruido.
- Es eficaz usar un cable torcido para el suministro de energía contra el ruido.

4.- PARA LA CONEXIÓN DE CIRCUITO DE CARGA

- Use una parada extra cuando la frecuencia de funcionamiento es bastante alta, en este caso, se recomiendan conectar ala salida un SCR.
- El interruptor electromagnético: El tiempo del ciclo proporcional mínimo 30 sec
- SCR: El tiempo del ciclo proporcional mínimo. 2 sec
- SCR manejan el voltaje del pulso, DC 4~20mA no se aísla con el circuito interior.

5.- PRECAUCION EN EL FUNCIONAMIENTO

- Si la función de la alarma no es correctamente fija, la salida de la alarma no puede operar correctamente.
- Esté seguro de verificar el funcionamiento de la alarma.
- Si el cable de la entrada está desconectado, el despliegue muestra " **boUt** ".
- Al reemplazar el sensor, por favor apague el suministro de energía.

6.- OTRO

No use los solventes orgánicos como el alcohol, bencina para la limpieza. (Use el detergente neutro)

INSTRUCCIONES

- Este instrumento tiene el Proceso-valor (PV) y Set-valor (SV) cada 4 dígitos con 7 segmentos.
- Este instrumento es dividido en registrador y registrador con controlador.

La función

P.I.D de grupo, entrada-universal (19 tipos), salida-universal (relay, SSR, SCR), Auto-tuning a 2 tipos (el tipo normal, PV tipo bajo), Comunicación (RS485), 20 tipos de alarma, Probando ciclo, 250ms, 0.3 de FS la exactitud alta. Y hay función del Zumbido, Gráfico o impresión del texto, función de impresión de lista, la función de escala libre. RT9 es el más pequeño registrador con controlador.

DESCRIPCIÓN

Model	Suffix code	Description
RT9 -	□ □ □	96 × 96 mm
	0	Recorder
	1	Recorder & Temperature Controller
	0	℃
	1	Others
	0	None
	1	Alarm 1
	2	Alarm 1, 2
	3	RS485
	4	RS485 / Alarm 1
	5	RS485 / Alarm 1, Alarm 2

※Control output

Recorder & Temperature Controller	Output code	Control Output
RT9 - 1 □ □	0	Relay (ON / OFF control)
	1	SSR
	2	SCR (4 ~ 20 mA DC)
	3	Relay (P.I.D control)

ESPECIFICACIONES

■ INPUT

Input	Thermocouple : K, J, E, T, R, S, B, L, N, U, WRe 5-26, PL- II R.T.D : Pt 100 Ω , KPt 100 Ω Direct voltage: 1 ~ 5 V, -10 ~ 20 mV, 0 ~ 100 mV (Free scale type)
Sampling time	250 mS
Input resolution	Below decimal point of measurement range
Input impedance	T/C and mV input : 1 $M\Omega$ min., V DC : 1 $M\Omega$
Lead wire tolerable resistance	R.T.D : 10 Ω max. / wire
Input tolerable voltage	± 10 V (T/C, R.T.D, Voltage : mV DC), ± 20 V (Voltage : V DC)
Noise removal rate	NMRR(normal mode) : 40 dB min. CMRR(common mode) : 120 dB min. (50/60 Hz ± 1 %)
Standard	T/C, R.T.D: KS, IEC, DIN
Standard junction temp. compensation tolerance	± 1.5 $^{\circ}\text{C}$ (15 ~ 35 $^{\circ}\text{C}$), ± 2.0 $^{\circ}\text{C}$ (0 ~ 50 $^{\circ}\text{C}$)
Burn-out	T/C : OFF, Up/Down selectable R.T.D : Up scale (Detection current : 50 mA)
Accuracy	± 0.3 % (Full scale)
Input range	Refer to "Input signal and Measurement range" T/C and R.T.D are changeable within range of input signal and measurement range. Voltage: min. voltage and max. voltage are available within range of measurement. Scaling available.

■ OUTPUT

●CONTROL OUTPUT

Relay contact output	Contact capacity : 240 V AC 3 A, 30 V DC 3 A (resistive load), Contact : 1 C Output operation : P.I.D control, ON/OFF Proportional cycle : 1 ~ 1,000 sec. Output limit : 0.0 ~ 100.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT) ON/OFF hysteresis : 0 ~ 100 %(Full scale) Time resolution : 0.1 % or 10 mS
SSR drive voltage output	ON voltage : 24 V DC min.(resistive load 600 Ω min., 30 mA limit when short) OFF voltage : 0.1 V DC max. Proportional cycle : 1 ~ 1,000 sec. Output operation : P.I.D control Output limit : 0.0 ~ 100.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT) Time resolution : 0.1 % or 10 mS
Current output (4 ~ 20 mA DC)	Current output range : 4 ~ 20 mA DC, Resistive load : 600 Ω max. Accuracy : ± 0.5 % of full scale (4 ~ 20 mA range), Resolution : Approx. 3,000 Output ripple : 0.3 %(P-P) of max. scale (150 Hz) Sampling time : 250 mS Output operation : P.I.D control Output limit : -5.0 ~ 105.0 % range, higher limit(OH) or lower limit(OL) selectable (valid when AT)

●ALARM

Relay contact output	Contact capacity : 240 V AC 1 A, 30 V DC 1 A(resistive load) Contact: 1 a Output points: 2 Points (AL1,AL2)
----------------------	---

■ OPERATING ENVIRONMENT

Installation environment	Continuous vibration (5~14Hz): Forward width 1.2 mm max. (4~150Hz): 4.9 $\eta\%$ (0.5 G) max. Vibration : 14.7 $\eta\%$, 15 sec. max. (each 3 direction) Shock : 147 $\eta\%$ (15 G), 11 msec max. (6 direction each 3 times) Panel cutout: Refer to page 11
Normal operation condition	Ambient temperature : 0 ~ 50 $^{\circ}\text{C}$ Ambient humidity : 35 ~ 85 % RH (no condensation) Influence of magnetic : 400 AT/m max. Warm-up time: 30 min. min.
Influence of ambient temperature	T/C, Voltage input : $\pm 1 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ or $\pm 0.01 \%/^{\circ}\text{C}$ of max. range R.T.D input : $\pm 0.05 \Omega/^{\circ}\text{C}$ max. Analog output : $\pm 0.05 \%/^{\circ}\text{C}$ max. (continuous output)

■ FUNCTION

Measurement input	Input correction (Bias): -100.0 ~ 100.0 % for instrument range Scaling : According to SH, SL of measurement range Filter : OFF, 1 ~ 120 sec.
Control	3 settings (SV1, SV2 and SV3) and P.I.D setting each Auto tuning : According to set value (Standard type, Low PV type) Proportional Band : 0.1 ~ 999.9 % (Max. range) Integral Time : OFF, 1 ~ 6000 sec. Derivative Time : OFF, 1 ~ 6000 sec. ON/OFF control : By selecting output code (OT) " 0 " P.I.D selection : Zone PID/Auto 1,2,3, selectable Manual Reset : -5.0 ~ 105.0 % of output (valid when I=OFF) Direct / Reverse action : Changeable by parameter Preset output limit : -5.0 ~ 105.0 % of output value ON/OFF hysteresis (HYS) : 0.0 ~ 100.0% of instrument range (valid when ON/OFF control) A.R.W(Anti Reset Wind-up) : AUTO, 50.0 ~ 200.0 % Fuzzy : selection ON or OFF by parameter Ramp function
Alarm output	Set point : 2 Points Multi-alarm : High/Low process alarm, High/Low deviation alarm, Hold function of alarm, Heater break alarm (H.B.A) Setting range : Process alarm 0 ~ 100 % of instrument range Deviation alarm -100 ~ 100 % of instrument range
Record	Measuring point : 1 Response time : According to chart speed Record type : Thermal line, 203 dpi(8.0 dots/mm) 384 dots / 1 line Record speed : 24 mm/h ~ 900 mm/h Paper : Width 57.5 mm, Length 16 m

■ STORAGE CONDITION

Storage temperature	-25 ~ 70 °C
Storage humidity	5 ~ 95 % RH (no condensation)
Shock	1 m max. in packing condition

■ POWER SUPPLY

Power supply	100 ~ 240 V AC (90 ~ 264 V AC)
Frequency	50/60 Hz
Power consumption	6.0 W max., 10 VA max.
Insulation resistance	Between primary terminal and secondary terminal : 500 V DC, 20 MΩ min. Between primary terminal and ground : 500 V DC, 20 MΩ min. Between ground and secondary terminal : 500 V DC, 20 MΩ min.
Dielectric strength	Between primary terminal and secondary terminal : 2,300V AC 50/60 Hz for 1 min. Between primary terminal and ground : 2,300 V AC 50/60 Hz for 1 min. Between F · G and secondary terminal : 1,500 V AC 50/60 Hz for 1 min.

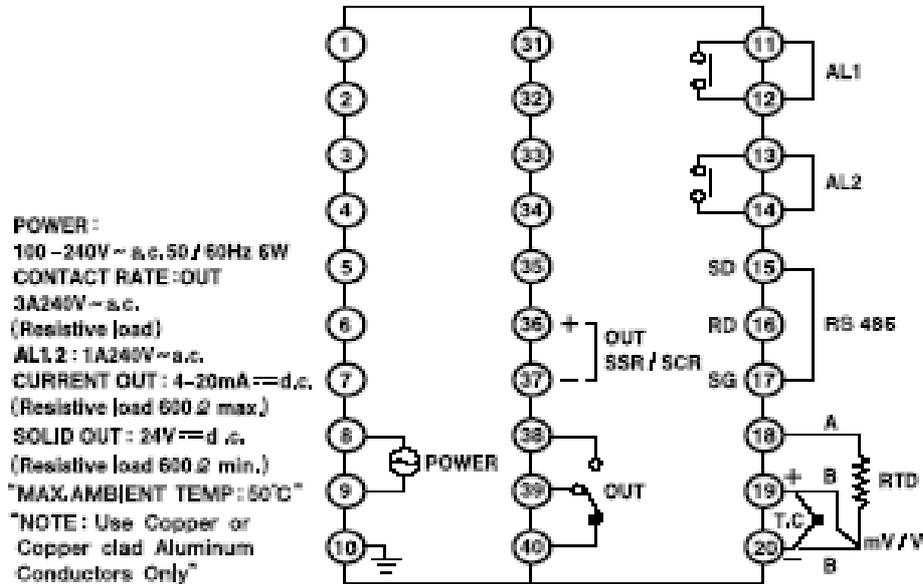
■ INTERFACE

Standard	EIA RS485
Communication address	Max. 31 (1 ~ 99 setting available)
Communication method	2 wire half duplex or 4 wire half duplex
Synchronization	Start-stop synchronous mode
Communication sequence	None
Communication distance	1.2 Km max.
Communication speed	600, 1200, 2400, 4800, 9600 BPS (Speed is changeable by parameter)
Start bit	1 BIT
Data bit	7 or 8 BIT
Parity bit	None, even numbers, odd numbers
Stop bit	1 or 2 BIT
Communication protocol	PC LINK WITHOUT SUM(0), PC LINK WITH SUM(1)
Response time	Reception treatment time + (Response time × 10 mS)

■ INPUT SIGNAL and MEASUREMENT RANGE

Input type (Input signal)		Input code	Range (°C)	Range(°F)	Accuracy	Remarks		
Thermo-couple (T.C)	K ※2	1	-200~1370	-300~2500	±0.3 % of F.S ±1 digit	<ul style="list-style-type: none"> • F.S is maximum value ~ minimum value of each RANGE. • Digit is minimum value of display 		
	K ※2	2	-199.9~999.9	0~2300				
	J ※2	3	-199.9~999.9	-300~2300				
	E ※2	4	-199.9~999.9	-300~1800				
	T ※2	5	-199.9~400.0	-300~750				
	R ※2	6	0~1700	32~3100				
	B ※1	7	0~1800	32~3300	±0.3 % of F.S ±1 digit			
	S	8	0~1700	32~3100	±0.3 % of F.S ±1 digit			
	L ※2	9	-199.9~900.0	-300~1300				
	N	10	-200~1300	-300~2400	±1.0 % of F.S ±1 digit		※1 0 ~ 400 °C : ±10 % of F.S ±1 digit	
	U ※2	11	-199.9~400.0	-300~750	±0.3 % of F.S ±1 digit			
	W	12	0~2300	32~4200				
	Platinel II	13	0~1390	32~2500				
R.T.D	KSPT 100 ※3	20	-199.9~500.0	-199.9~999.9	±0.3 % of F.S ±1 digit	※2 0 °C and below : ±1.0 % of F.S ±1 digit		
	Pt 100 ※3	21	-199.9~640.0	-300~1180				
Direct voltage (V DC / mV DC)	1 ~ 5 V DC	30	1 ~ 5 V				±0.3 % of F.S ±1 digit	※3 -150.0~150.0 °C range : ±1.0 % of F.S ±1 digit
	0 ~ 10 V DC	31	0 ~ 10 V DC					
	-10 ~ 20 mV DC	32	-10 ~ 20 mV					
	0 ~ 100 mV DC	33	0 ~ 100 mV					
Direct Current	4 ~ 20 mA DC	※ 30	※ When using current input, use the resistor 250 Ω 0.1 % on input terminal.				※ 20 → KPt 100 ※ 21 → DPt 100	

TERMINAL ARRANGEMENT

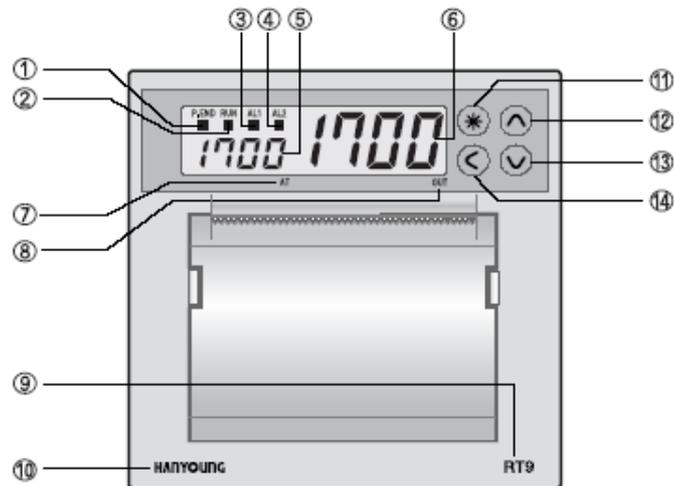


■ Terminal structure

Control Output	Relay(Terminal no. ⑬ ⑭ ⑮) SSR / SCR (Termina no. ⑯ ⑰)
POWER	100 - 240 V AC 50/60 Hz. (Termina no. ⑥ ⑨)
Input	Termocouple: ⑱ → +, ⑳ → - R.T.D: ⑱ A, ⑱ ⑳ → B Direct Voltage : ⑱ → +, ⑳ → -
AL1 / AL2	Alarm1 (Terminal no. ⑰ ⑱) Alarm2 (Terminal no. ⑲ ⑳)
Communication	Sending data (⑳) Receiving data (⑲) Earth for signal(⑩)

NAME & FUNCTION

■ Front



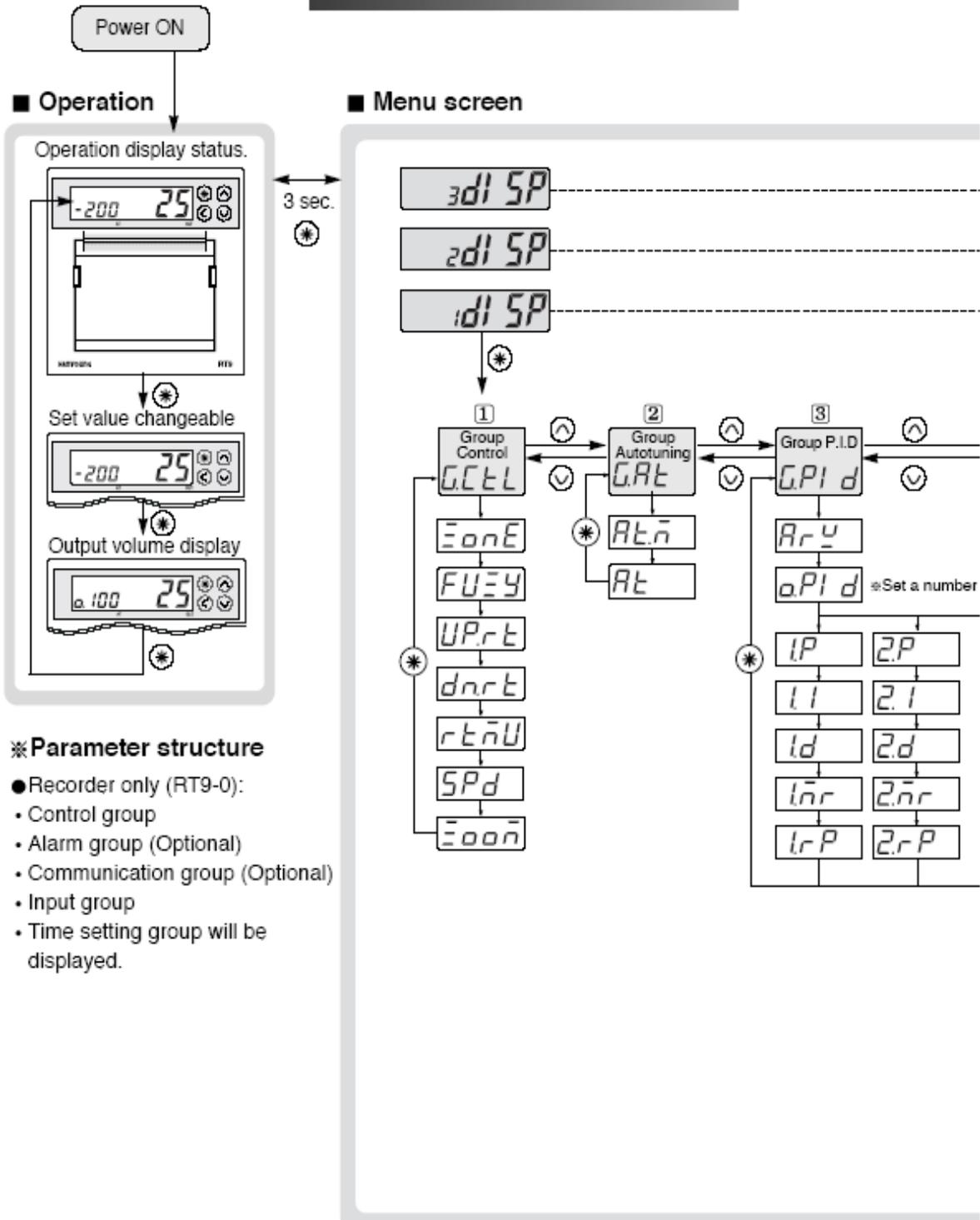
■ Displays

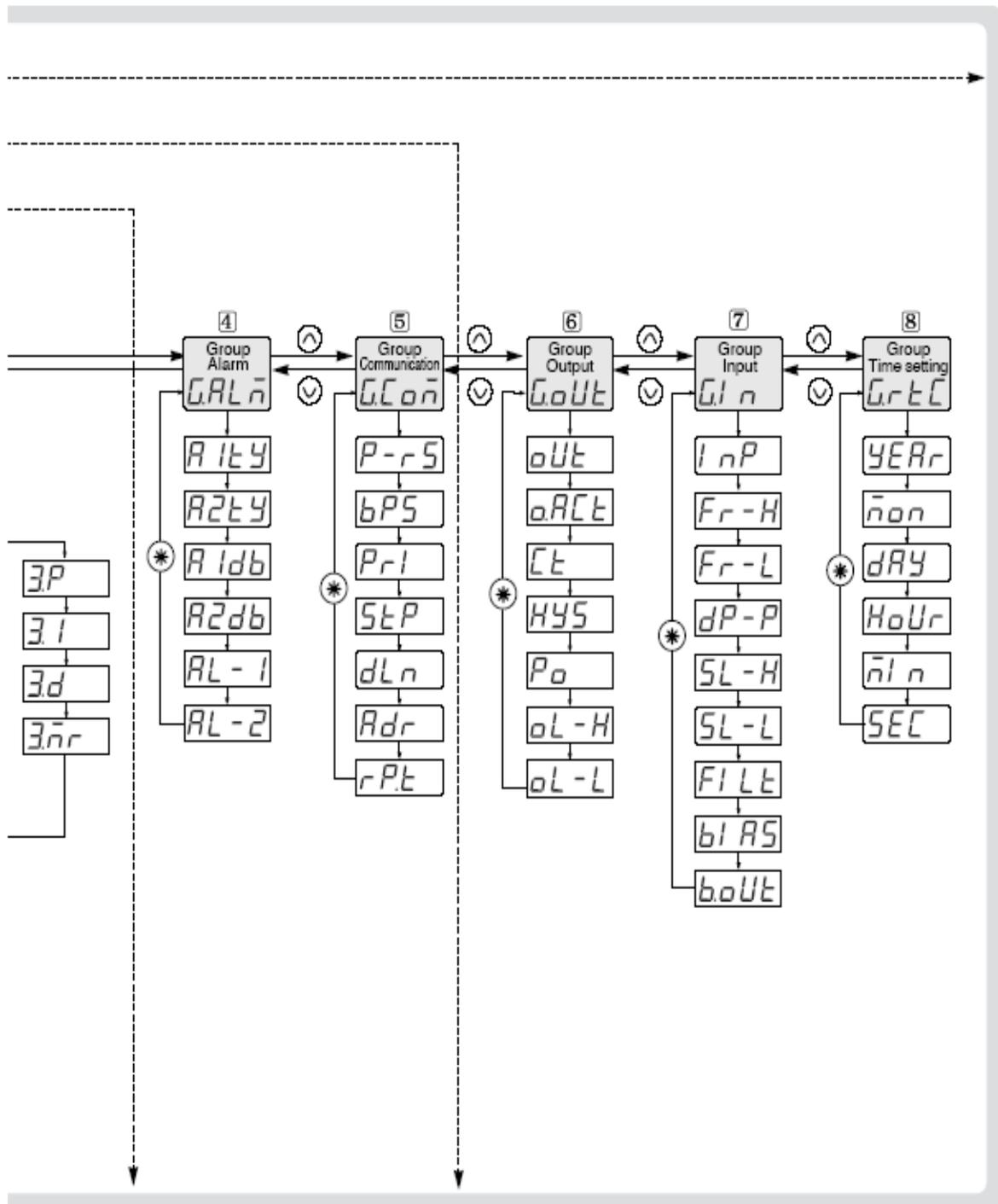
Name	Functions
① P.END	No paper
② RUN	Recording in progress
③ AL1	Alarm 1 ON
④ AL2	Alarm 2 ON
⑤ Set-value(SV)	Displays set value and various parameters.(RT9-0 : Displays input type)
⑥ Process-value(PV)	Displays the process value. When setting, displays various modes.
⑦ AT	Flickers when the auto tuning operates.
⑧ OUT	Lights when the control output is ON.
⑨ RT9	Model name
⑩ HANYOUNG	Manufacturer

■ Control keys

Key	Functions
⑪ *	Used to change mode.
⑫ ^	Used to increase set-value.
⑬ v	Used to decrease set-value.
⑭ <	Used to select digit for changing.

TABLE OF SETTING ITEMS





METODO DE CONFIGURACION

Después de terminar las conexiones, aplique energía ON.

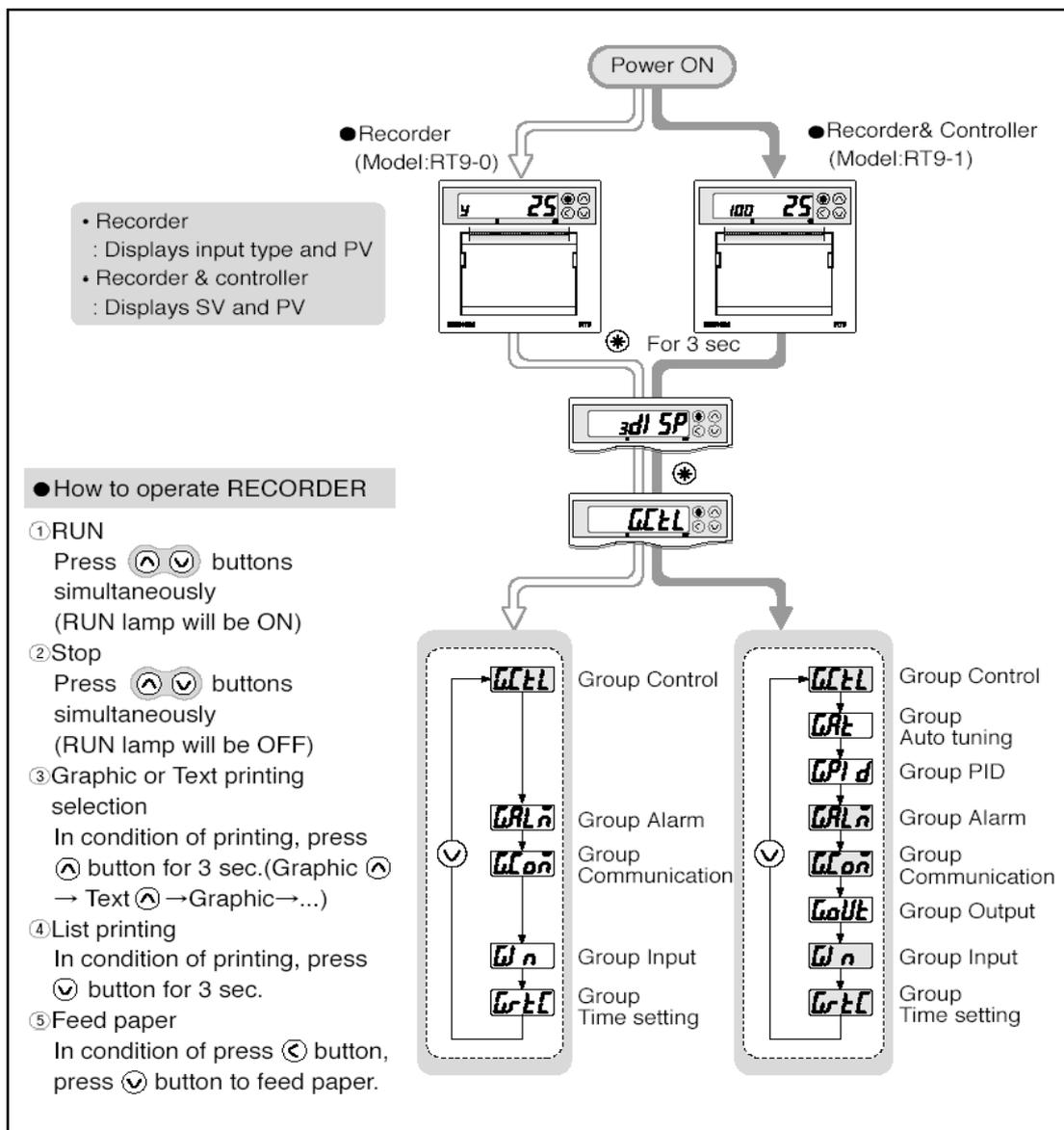
(1) La versión manejada indica debajo PV presente y SV podría indicarse

(El uso del registrador: indicara tipo de la entrada y PV)

(2) Por poner un nivel, presionar el botón * por 3 sec. Para entrar **SP** configurar el modo. (El valor Inicial: 3)

En la condición **SP**, presionar el botón * para entrar al control de grupo.

Parameter shift



CONFIGURACION DE GRUPO

※ Display level setting

Signal	Display Name	Description	Condition	Initial
	Display level setting	Divide display levels into 3 stages (1~3)	Always	3

Este director tiene 3 niveles diferentes de configuraciones, mientras restringiendo el acceso del operador.

1).- Configuración del grupo de control

■ Control group setting

Signal	Name	Description	Condition	Initial
	Control group display	Set a control mode	Always	—
	Zone selection 1	OFF / ON	Except ON/OFF	OFF
	Fuzzy function	OFF / ON	Always	OFF
	Initial increasing temperature	OFF / EUS (0~100 %)	Always	OFF
	Initial decreasing temperature	OFF / EUS (0~100 %)	Always	OFF
	Time unit	HOUR / MIN	Always	HOUR
	Set speed of transmission	24 ~ 900 mm/hour	Always	60
	Zoom	OFF / ON	Always	OFF

2). - Configuración de grupo Auto- tuning

■ Auto tuning group setting (Model: RT9-1)

Signal	Name	Description	Condition	Initial
	Auto tuning group	Indicates Auto-tuning	RT9-1	—
	Auto tuning type	Std / LoY	ABS	STD
	Auto tuning start	OFF / 1~3 / AUto	ABS	OFF

Auto-tuning

La función de afinación establece las medidas automáticamente, pone el valor de P.I.D óptimo.

El tipo Auto-tuning

Este controlador tiene dos tipos de afinación automática como STD (el tipo normal) y Bajo (El tipo de PV bajo: SV-10%)

Auto-tuning start stop

Auto tuning comienzo: 1 ~ 3 selección

(Después de la afinación de la automática, el valor de P.I.D se guardará a un número seleccionado)

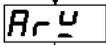
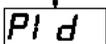
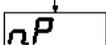
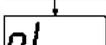
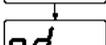
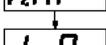
Auto La selección

Al poner un valor en 1.RP y 2.RP, se guarda automáticamente en grupo 1, 2,3

Auto tuning stop: Seleccione OFF

3).- Configuración de grupo P.I.D

■ P.I.D Group setting (Model: RT9-1)

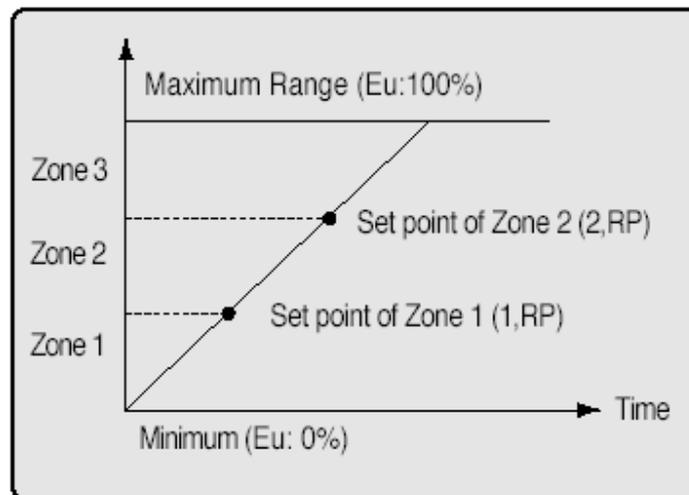
Signal	Name	Description	Condition	Initial
	P.I.D group	Set P.I.D mode	RT9-1	—
	Anti Reset Wind-up	Auto / 50.0 ~ 200.0 %	Except ON/OFF	Auto
	P.I.D group selection	0 / 1 ~ 3	Always	0
	n.Proportional band (P)	0.1 ~ 999.9 %	P.I.D group	5.0 %
	n.Integral time (I)	OFF / 1 ~ 6000 sec	P.I.D group	240 sec
	n.Derivative time (D)	OFF / 1 ~ 6000 sec	P.I.D group	60 sec
	n.Manual reset	-5.0 ~ 105.0 %	Integral time : OFF	50.0 %
	n.Zone position	EU(0) < 1.RP < 2.RP < EU(100.0 %)	ZONE : ON	EU (100.0 %)

Al verificar los valores P.I.D. o poniendo SV en el modo manual, esto puede hacerse en el grupo P.I.D.

Apretar  una más vez para poner modo de P.I.D indicado que esta seleccionado 3 tipos de grupo de P.I.D (0~3).

Ejemplo, “0” no es ningún P.I.D el modo y después del poniendo “1” usando  or , y presionando  está disponible cambiar el valor de P.I.D en la zona “1”. (“2” y “3” son mismos como “1”)

Cuando el tiempo íntegro está apagado, el manual restableció el modo se indica y entonces usted podría poner (el rango: -5% ~ 105.0% de banda proporcional). Usted podría poner 3 zonas seleccionando divida en zonas el modo ON.



4).- CONFIGURACION DE GRUPO DE ALARMA (OPTATIVO)

Hay 2 rendimientos de la alarma disponible por controlador. En el grupo de la Alarma, esta hecho para el modo, la venda muerta y valor de cada alarma. Refiérase a siguiente cuadro para los 20 tipos funciones diferentes de alarma.

Signal	Name	Description	Condition	Initial value
	Alarm group	Set alarm mode	Optional	—
	Type of Alarm 1	OFF / 1 ~ 22 Refer to "Alarm type and code"	Always	1
	Type of Alarm 2			2
	Dead band of Alarm 1	EUS (0.0 ~ 100.0 %)	Always	EUS(0.5%)
	Dead band of Alarm 2			
	Set value of Alarm 1	PV alarm, Deviation alarm: EU (-100.0 ~ 100.0 %)	Always	EU(100.0%) EU(0.0%)
	Set value of Alarm 2			

※ ALARM TYPE AND CODE

(Notice) : Display lamp will be ON when output OFF in inverted type.

Hysteresis  (△ : Set point , -▲ : Minus Alarm set point , ▲ : Alarm set point)

Code NO.	Alarm type	Function
1	High absolute value	
2	Low absolute value	
※ 3	High deviation value	
※ 4	Low deviation value	
※ 5	High deviation value (inverted)	
※ 6	Low deviation value (inverted)	
※ 7	High · Low deviation value	
※ 8	High · Low band	
9	High absolute (inverted)	
10	Low absolute (inverted)	
11	High absolute with hold function	
12	Low absolute with hold function	
※ 13	High deviation with hold function	
※ 14	Low deviation with hold function	
※ 15	High deviation with hold function (inverted)	
※ 16	Low deviation with hold function (inverted)	
※ 17	High · Low deviation with hold function	
※ 18	High · Low band with hold function	
19	High absolute value with hold function (inverted)	
20	Low absolute value with hold function (inverted)	

5).- CONFIGURACION DE GRUPO DE LAS COMUNICACIÓN (OPTATIVO)

La serie de RT9 está provista con 4 alambre 2 medio-dúplex del alambre el RS485 / la comunicación de RS422 las interfaces. Usando las interfaces, las comunicaciones están disponibles con el máximo 31 dispositivos.

Signal	Name	Description	Condition	Initial value
	Communication group	Set communication mode	Optional	—
	RS485/RS422 Protocol	PC.LINK(Set value:0) / PC.LINK SUM (Set value:1)	Optional	0
	Communication rate (B.P.S)	600(SV:0) / 1200(SV:1) / 2400(SV:2) / 4800(SV:3) / 9600(SV:4)		4
	Parity check	NONE(SV:0) / EVEN(SV:1) / ODD(SV:2)		1
	Stop bit	1bit (SV:1) / 2bit (SV:2)		1
	Data length	7bit (SV:7) / 8bit (SV:8) (Except PC LINK :8)		8
	Address	1 ~ 99, maximum 31 devices		1
	Response time	0 ~ 10. response time = (handling time + response time) X 10 ms		0

5).- CONFIGURACION DE GRUPO DE SALIDA

■ Output group setting (Model : RT9-1)

Signal	Name	Description	Condition	Initial value
	Output group	Output type and mode selection	Model:RT9-1	—
	Output signal	Refer to type of control output	Always	3
	Output operation	REV: Reverse DIR: Direct action	Always	REV
	Cycle time	1 ~ 1000 sec	Relay / SSR	30 sec
	Hysteresis	EUS(0.0 ~ 100.0 %)	ON/OFF Control	0
	Output volume when input disconnection Output (Out)	-5.0 ~ 105.0 %	Always	0.0 %
	Maximum value of output	OL-L + 1 Digit ~ 105.0 %	Except ON/OFF	100.0 %
	Minimum value of output	-0.5 % ~ OL-H-1 Digit	Except ON/OFF	0.0 %

⚠ CAUTION

Al poner, “selección número del tipo entrada” debe seleccionarse el tipo de la entrada y también “selección número del tipo salida” debe seleccionarse el tipo de la salida, antes de mover a otro modo.

Si no, se cambiarán datos de otro grupo al valor anterior.

La salida debe ser elegido entre el relay, SSR y Current (4 ~ 20 mA DC).

Para el Registrador & controlador la salida 0 ~ 3 están disponibles para su uso.

7).- CONFIGURACION DE GRUPO DE ENTRADAS

■ Input group setting

Signal	Name	Description	Condition	Initial value
Gr	Input group	Input type and mode selection	Always	—
InP	Input signal selection	Refer to input signal and range	Always	Selection NO.1
Fr-H	High limit	Refer to input signal and range (Notice : FR-H > FR-L)	Always	1370
Fr-L	Low limit		Always	-200
dP-P	Decimal point (on voltage input)	Thermocouple or R.T.D : Not available DC Voltage : 0~3	On voltage input (mV,V)	1
* SL-H	Maximum on scale (on voltage input)	-1999~9999 Notice : SL-H > SL-L	On voltage input (mV,V)	100.0
SL-L	Minimum on scale (on voltage input)	Deimal point : according to DP-P		0.0
Flt	PV filter	OFF/1~120sec	Always	OFF
bl AS	PV bias	EUS (-100.0~100.0%)	Always	EUS(0.0 %)
boUt	Burn-out	OFF / UP / DOWN	Always	UP

⚠ CAUTION

Al poner, “selección número del tipo entrada” debe seleccionarse el tipo de la entrada y también “selección número del tipo salida” debe seleccionarse el tipo de la salida, antes de mover a otro modo.

Si no, se cambiarán datos de otro grupo al valor anterior.

1).- La selección de tipo de entrada

Después de ENCENDIDO y cuando PV está indicando, presione  por 3 seg y se muestra **dl SP** a PV y 3 a SV. (Si no se indica 3, ponga de nuevo en el modo de la escena nivelado)

El grupo de control se indica cuando presiona  una vez más. En el momento, el grupo de entrada se indica; cuando aprieta la tecla  y entonces el tipo de entrada y la selección del rango se muestran a SV cuando aprieta .

En este momento la entrada y el rango se selecciona por  or . Presiona la tecla  para confirmar.

2).- El máximo y mínimo rango

Presionar  para poner el máximo y mínimo rango para ser usado .

 or  Presionar  una vez más para terminar.

3).- El punto decimal

El parámetro no se indica en la T.C y R.T.D, pero al seleccionar la entrada de voltaje "Punto decimal" el modo del punto se indica. (Poner 1: 0.0 - ponga 2: 0.00 - ponga 3: 0.000)

4).- El máximo y mínimo en la escala

Es la misma función como el Máximo y mínimo rango que ponen R.T.D o entrada de termocupla. Este modo se indica cuando el voltaje entró (30, 31, 32, 33)

5).- PV filter

Cuando el valor de PV se vuelve inestable debido a los efectos de ruido, las ayudas del filtro suprimen lo inestable. (El rango: OFF o 1 ~ 120 seg. el valor inicial: OFF)

6).- PV Bias

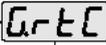
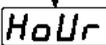
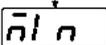
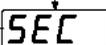
Use esta función para ajustar el valor PV en casos dónde es necesario para el valor PV para estar de acuerdo con otro registrador o indicador, o cuando el sensor no puede montarse en la situación correcta.

(El rango: -100.0 ~ 100.0% del espacio, el valor inicial: 0.0%)

Poniendo un valor a usarse \odot , \ominus or \oplus , o importante y llave de la prensa para terminar.

8).- CONFIGURACION DE GRUPO DE TIEMPO

■ Time group setting

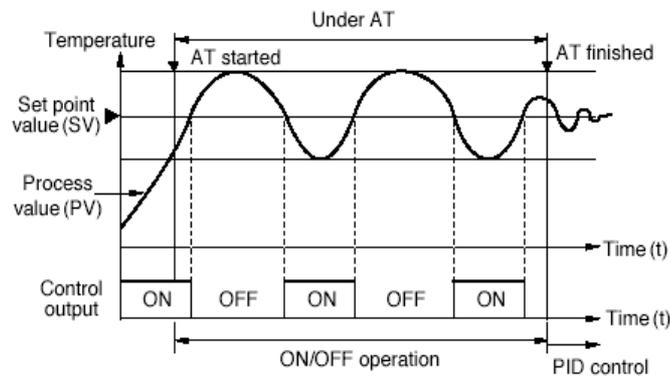
Signal	Name	Description	Condition	Initial value
	Time group	Set Y, M, D, T.	Always	—
	Set Year	2000 ~ 2099	Always	Present value
	Set Month	1 ~ 12	Always	Present value
	Set Day	1 ~ 31	Always	Present value
	Set Hour	0 ~ 23	Always	Present value
	Set Minute	0 ~ 59	Always	Present value
	Set Second	0 ~ 59	Always	Present value

FUNCIONES

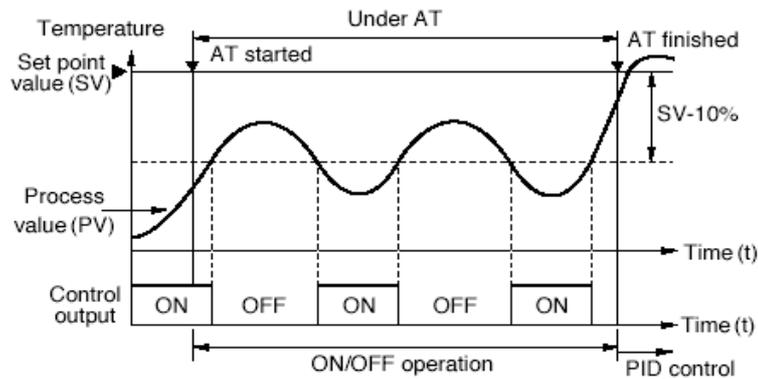
1).- AUTO TUNING

La función de afinación automáticamente de las medidas, pone el valor óptimo la banda proporcional (P), el tiempo integral (I), y el tiempo derivativo (D). Cuando auto-tuning realiza control ON/OFF determine P.I apropiado y D. (el tipo de ciclo de Límite). La serie de RT9-1 tiene dos tipos de auto-tuning

● STANDARD TYPE AUTO-TUNING

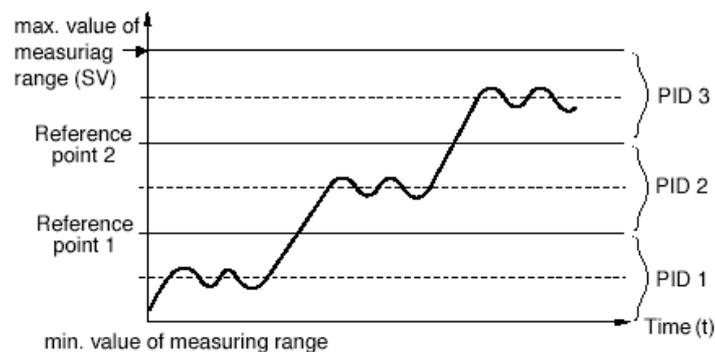


● LOW PV TYPE AUTO-TUNING



2). - Auto-tuning in Zone PID

Se divide en zonas PID automáticamente, PID se agrupan de acuerdo a un valor moderado. En la Zona PID, el auto-tuning pone los valores apropiados del PID por reconociendo un valor medio de punto de la referencia como ponga el valor del punto.

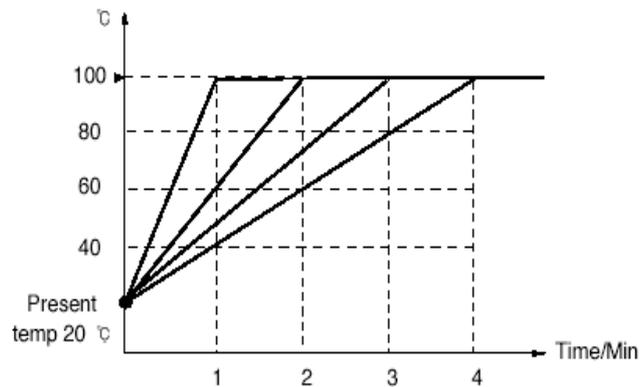


3).- RAMP FUNCTION

Es una proporción de valor temperatura y tiempo según lo fijado

Ejemplo.- La temperatura presente 20°C, valor fijado 100°C, 20°C por el minuto.

- 1).- El levantamiento inicial puesto (up, rt): 100°C
- 2).- Tiempo de la unidad: Minuto

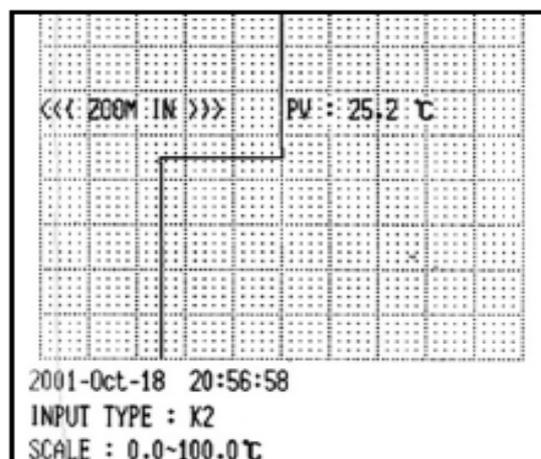


4).- ZOOM FUNCTION

Cuando usted escoge la función zoom function ON en el Grupo de control, usted puede ver una temperatura con haciendo subir verticalmente en cuanto usted seleccione ON. La temperatura estará en el centro de papel.

Ejemplo) Scale: 0.0 ~ 100.0 °C

Zoom ON: ZOOM IN PV: 25.5°C en el centro

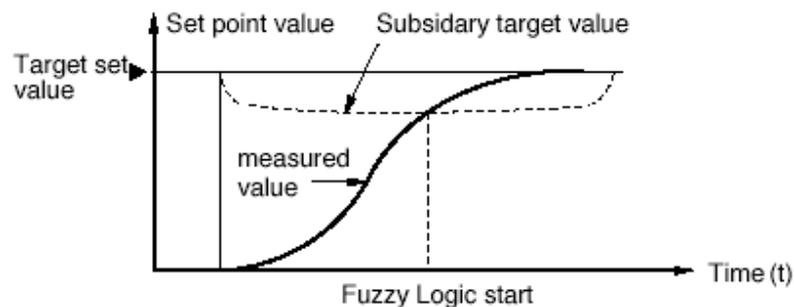


5).- FUZZY CONTROL

El mando rizado elimina el rebase usando rizado lógico

El mando Rizado empleando y Autotuning, el controlador eficaz controla por debajo.

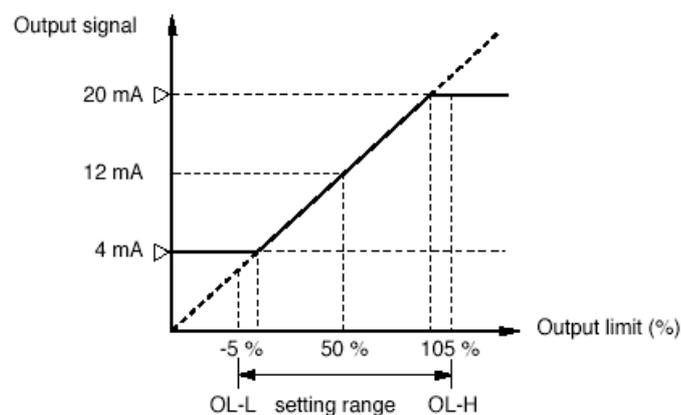
- 1).- Cuando el controlador empieza el mando a la posición que tiene una gran abertura entre SV y PV.
- 2).- Cuando reduce el tiempo de precalentamiento
- 3).- Cuando la carga está fluctuando extremadamente
- 4).- Cuando se cambia frecuentemente el valor del punto fijo



6).- OUTPUT LIMIT

La salida del mando es fijada en el límite alto y bajo con el rango que opera.

El límite de salida es -5 ~ 105% de salida.



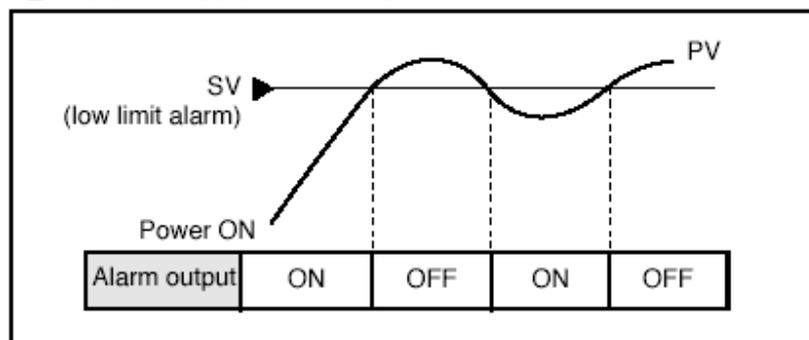
7).- SALIDA DE EMERGENCIA

Cuando error de A/D o de desconexión de la entrada ocurren en modo auto, la salida PID está cortado y que el Pre-juego la salida se opera. (La salida de PO)

8).- HOLD FUNCTION

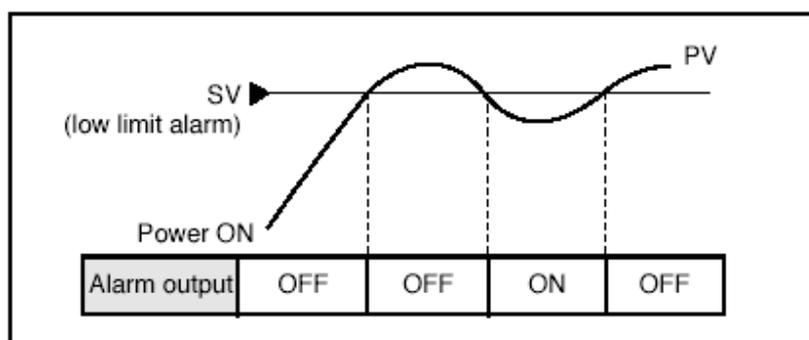
Sin la función del sostenimiento, la alarma del límite bajo estará ON cuando la temperatura comience a crecer. (Cuadro 1)

● Hold function : None



(Picture 1)

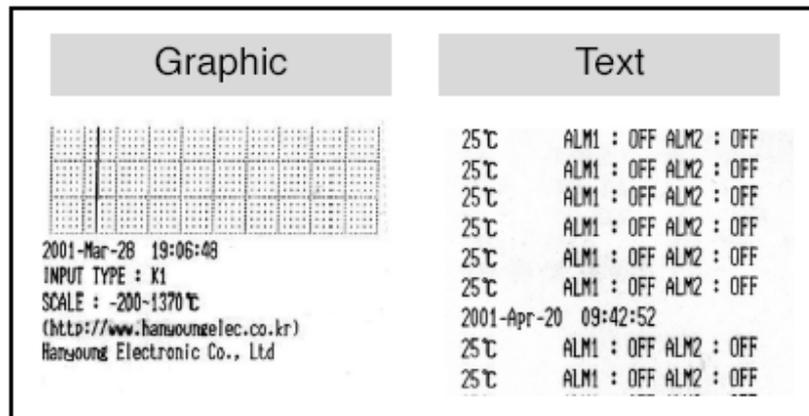
● Hold function



(Picture 2)

9).- RECORDER (REGISTRADOR)

1. **Run/Stop:** Usted puede grabar o puede detener cuando usted lo necesite
2. Graficar o seleccionar texto



3. **La impresión de la lista:** Usted puede verificar y puede guardar un los datos importantes

2001-Apr-20 09:47:26					
INPUT	SCALE	UNIT	ALM1	ALM2	
K1	-200-1370	℃	9999	0	
FUZZY	CHART S/P	P	I	D	
OFF	100nm/H	50	240	60	