

**AUTOMATIZACIÓN, REFORMA Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS
MEDIANTE PC DE DOS HORNOS DE SECADO ELÉCTRICOS, EN LA
EMPRESA SYTECSA S.A.**

LEÓN FELIPE AGUDELO ZULUAGA

**TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELECTROMECÁNICA
MEDELLÍN
2012**

**AUTOMATIZACIÓN, REFORMA Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS
MEDIANTE PC DE DOS HORNOS DE SECADO ELÉCTRICOS, EN LA
EMPRESA SYTECSA S.A.**

LEÓN FELIPE AGUDELO ZULUAGA

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO
ELECTROMECAÁNICO**

**ASESOR
ADOLFO LEÓN MONTOYA OSORIO
INGENIERO ELECTRICISTA**

**TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
2012**

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, Junio 04 / 2012

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1. PROCESOS TÉRMICOS EN LOS HORNOS ELÉCTRICOS	17
1.1.1 Recuperación de aislamiento eléctrico en motores DC.	17
1.1.2 Secado de vendajes	17
1.1.3 Preparación de piezas para soldadura.	17
1.1.4 Acople de piezas.	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
3.1. OBJETO GENERAL	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. REFERENTES TEÓRICOS	21
4.1 hornos eléctricos industriales	21
4.1.1 Tipos de hornos eléctricos industriales:	22
4.1.1.1 Hornos eléctricos de resistencia:	22
4.1.1.2 Hornos de inducción:	23
4.1.1.3 Hornos eléctricos de arco.	26
4.2. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DE CALENTAMIENTO	27
4.2.1. Resistencias metálicas:	29
4.2.1.1 Disposición de las resistencias metálicas:	33

4.2.1.2 Terminales y conexiones:	35
4.2.1.3 Cálculo de resistencias	36
4.2.2 Resistencias no metálicas:	38
4.2.2.1 Carburo de silicio:	38
4.2.2.2 Bisiliciuro de molibdeno:	40
4.2.2.3 Grafito:	41
4.2.2.4 Cromita de lantano:	42
4.2.3 Tubos radiantes:	42
4.3. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO	44
4.3.1 Uso adecuado:	46
4.3.2 Protección de SSRs:	47
4.3.2.1 Protección en la salida:	47
4.3.2.2 Protección en la entrada	50
4.3.3 Tipos de cargas:	52
4.3.4 Tratamiento de las anomalías:	56
4.3.4.1 Defecto en el cierre:	57
4.3.4.2 Defecto en la apertura:	58
4.4 SENSORES DE TEMPERATURA	58
4.4.1 Termocuplas:	58
4.4.1.1 Compensación de cero:	59
4.4.1.2 Cables compensados:	61
4.4.1.3 Tipos de termocuplas:	62
4.4.2 PT100:	64

4.4.2.1 Ventajas del PT100:	65
4.4.2.2. Conexión de la PT100:	65
4.4.2.3 Auto calentamiento y corriente de excitación:	67
4.4.2.4. Precauciones: Finalmente	68
4.5. CONVERTIDOR DE TEMPERATURA	69
4.5.1 Modelo Sitrans TH 100:	70
4.5.1.1 Funcionamiento:	70
4.5.1.2. Conexión eléctrica:	71
4.5.1.3. Funciones:	72
4.5.1.4 Configuración	73
4.6. PULSADOR ELÉCTRICO	75
4.7. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	75
4.8. S7- 200	78
4.8.1 CPU S7-200:	78
4.8.2 Módulos de ampliación analógicos:	83
4.8.2.1 EM 231 y EM 235:	84
4.8.3. Visualizador de textos.	86
4.8.3.1 Componentes:	88
4.8.3.2 Funciones:	89
4.8.4. Programación	90
5. METODOLOGÍA	98
5.1. TIPO DE PROYECTO	98
5.2. MÉTODO	98

5.3. FUENTES PRIMARIAS	99
5.4. FUENTES SECUNDARIAS	99
5.5. TÉCNICAS DE MEDICIÓN	99
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	100
6.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	107
7. CONCLUSIONES	110
8. RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	112
CIBERGRAFIA	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Calentamiento directo	22
Figura 2. Calentamiento indirecto	23
Figura 3. Horno de canal	25
Figura 4. Horno de crisol	26
Figura 5. Hornos de arco directo	27
Figura 6. Horno de arco indirecto	27
Figura 7. Tubo radiante con resistencia de alambre en espiral sobre soporte cerámico	28
Figura 8. Resistencias blindadas comerciales	28
Figura: 9 Alambre en espiral sobre tubos.	33
Figura: 10. Alambre en espiral sobre ranuras.	33
Figura: 11. Ondulado sobre ganchos.	34
Figura: 12 Pletina.	34
Figura 13. Soldadura de terminales y resistencias.	35
Figura 14. Terminal para resistencias	36
Figura 15. Resistencia no metálica.	38
Figura 16. Barras de SiC.	39
Figura 17. Resistencias en espiral.	40
Figura 18. Resistencia de MoSi ₂	40
Figura 19. Montaje de las resistencias de MoSi ₂	41

Figura 20. Hornos de tratamientos térmicos al vacío	42
Figura 21. Tubos radiantes en suela	43
Figura 22. Tubos radiantes verticales	44
Figura 23. SSR	44
Figura 24. Acoplamientos ópticos	45
Figura 25. Varistor en paralelo	49
Figura 26. Diodo en paralelo	50
Figura 27. Diodos en paralelo	50
Figura 28. Red RC	51
Figura 29. Filtro RC	51
Figura 30. Resistencia en paralelo con entrada de relé	52
Figura 31. Picos de corriente	53
Figura 32. Carga resistiva	53
Figura 33. Corriente de carga	54
Figura 34. Resistencia de absorción en paralelo	55
Figura 35. Corriente en la conexión de una lámpara fluorescente.	56
Figura 36. Corriente en la conexión de una lámpara de gas de mercurio	56
Figura 37. Linealización de termocuplas	59
Figura 38. Punto de empalme	60
Figura 39. Cables compensados	61
Figura 40. Sensibilidad	63
Figura 41. Linealización PT100	64
Figura 42. PT100 industrial	65

Figura 43. Conexión con dos hilos	66
Figura 44. Conexión con tres hilos	64
Figura 45. Puente de Wheastone	67
Figura 46. Conexión con cuatro hilos	67
Figura 47. Convertidores de temperatura	69
Figura 48. SITRANS TH100	70
Figura 49. Esquema funcional del SITRANS TH100	71
Figura 50. Esquema de conexiones	72
Figura 51. Parametrización SITRANS TH100	74
Figura 52. Pulsador ZBE101	75
Figura 53. PLC	76
Figura 54. Estructura de un PLC	76
Figura 55. Ciclo PLC	77
Figura 56. Micro-PLC S7-200	79
Figura 57. Extracción de bloque de terminales	82
Figura 58. Diagrama de cableado de la CPU 224	83
Figura 59. Definición de la precisión	84
Figura 60. Diagramas de cableado de los módulos de ampliación analógicos.	85
Figura 61. Visualizadores de texto	88
Figura 62. Frontal estándar TD 200C	89
Figura 63. Programa ejemplo	92
Figura 64. Programa de ejemplo AWL	94

Figura 65. Programa de ejemplo KOP	95
Figura 66. Programa de ejemplo FUP	95
Figura 67. Diagrama del tablero de control	106

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades de las aleaciones de base Ni-Cr	29
Tabla 2. Resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr.	30
Tabla 3. Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al	31
Tabla 4. Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al	32
Tabla 5. Comparación entre SSR y relés electromagnéticos	46
Tabla 6. Características del varistor a escoger	46
Tabla 7. Termocuplas metálicas	62
Tabla 8. Termocuplas de metales preciosos.	63
Tabla 9. Comparativa de las CPUs S7-200.	80
Tabla 10. Dimensiones de montaje.	81
Tabla 11. Datos técnicos de los módulos de ampliación analógicos.	83

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
IMAGEN 1. Interior del horno	100
IMAGEN 2. SSR	101
IMAGEN 3. Bornera	102
IMAGEN 4. Cableado	102
IMAGEN 5. PT100 aire	103
IMAGEN 6. PT100 pieza	103
IMAGEN 7. Módulos PLC	104
IMAGEN 8. Visualizador TD 200C	104
IMAGEN 9. Tablero de control	105
IMAGEN 10. Rotores de tracción en el horno	109

RESUMEN

Todo aquello que se mide y se controla en un proceso se puede mejorar y al mejorarse permitirá un mayor posicionamiento de la empresa en el campo de la aplicación comercial e industrial. Por lo tanto es indispensable el implementar sistemas de automatización y control para un perfeccionamiento constante de la producción de cualquier tipo de compañía, esto con el fin de ampliar los objetivos económicos y laborales.

La empresa SYTECSA, realiza para el Metro de Medellín el mantenimiento de su flota de trenes, le suministra sistemas y partes y desarrolla proyectos de innovación y actualización tecnológica.

Varios de estos sistemas requieren procesos térmicos para aumentar sus características de funcionamiento, para poder ser acoplados con otros equipos o para realizar procesos de reparación por soldadura. Para lograr lo anterior, se cuenta con dos hornos eléctricos industriales.

La finalidad del proyecto es la de automatizar los sistemas de control de los hornos eléctricos con el fin de aumentar su rendimiento y capacidad de uso, en los diferentes procesos de mantenimiento realizados en la empresa.

El método utilizado para este proyecto se baso en el análisis y deducción. Mediante la observación detallada, del modo de operación que se lleva a cabo en los hornos eléctricos. Con base en lo anterior se aplican las mejoras tecnológicas requeridas, que nos proveen la industria del control y automatización.

Cada horno eléctrico tiene su propio tablero de control, ambos fueron diseñados y montados de forma similar.

La utilización de sistemas compatibles de medición y visualización de información, permitió diseñar un sistema de control funcional y versátil, con el cual se pueden supervisar de manera ágil y segura los procesos térmicos realizados en los hornos eléctricos.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción industrial están en constante modificación, en pro de hacerlos más versátiles, eficientes y eficaces. Esto conlleva el tratar de controlar de la forma más precisa los procesos de manufactura y así poder generar tiempos de finalización más cortos y también para obtener mejoras en la calidad del producto o servicio.

Todo aquello que se mide y se controla en un proceso se puede mejorar y al mejorarse permitirá un mayor posicionamiento de la empresa en el campo de la aplicación comercial e incluso se lograra una cultura de calidad en todos los sectores que integran la cadena de producción, con lo cual se impondrán nuevos métodos y modelos para el crecimiento de la compañía.

Por lo tanto es indispensable el implementar sistemas de automatización y control para un perfeccionamiento constante de la producción de cualquier tipo de empresa, esto con el fin de ampliar los objetivos económicos, laborales y de producción como base en todo tipo de negocio industrial y como una tendencia hacia el mejoramiento continuo, tan necesario en estos tiempos de globalización y de inmediatez tecnológica.

Basado en lo anterior, se pretende optimizar un procedimiento de alta importancia en la actividad de la empresa, pretendiendo así incorporar un método que garantice y de plena seguridad de que se cumplirá con lo requerido en los estándares de calidad exigidos por el cliente. Con esto se obtendrá una mayor competitividad, un excelente soporte técnico y un adecuado avance tecnológico en la empresa y se potencializaran todos los servicios ofrecidos por esta.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa SYTECSA es una sociedad anónima fundada en el año 2000.

Tiene como misión ofrecer el suministro confiable y oportuno de bienes, sistemas y partes; desarrollar soluciones tecnológicas e implementar el montaje y mantenimiento de sistemas y equipos mecánicos, eléctricos, electrónicos, hidráulicos y neumáticos a los sectores del transporte y de la industria.

En el transporte se realiza el mantenimiento de metros, trenes pesados y livianos, trenes de carga; construye cables aéreos; ejecuta el montaje de buses eléctricos y diseña e implementa centros de gestión y control. En la industria realiza el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de los sistemas y equipos en lo mecánico, eléctrico, electrónico, neumático e hidráulico para garantizar un buen funcionamiento.

En la empresa hay en la actualidad 110 personas vinculadas. De estas el 80% pertenece a la parte técnica y el resto a la parte administrativa. Cuenta con dos sedes, un taller de mantenimiento en los patios del Metro, Bello y una sede administrativa en el sector del Poblado, Medellín.

Para el Metro de Medellín realiza el mantenimiento de su flota de trenes, le suministra sistemas y partes y desarrolla proyectos de innovación y actualización tecnológica.

La parte inicial del mantenimiento se realiza en los talleres del Metro, en donde se desmontan todas las partes a intervenir y se distribuyen los diferentes sistemas del tren para su revisión.

Algunos componentes de estos sistemas deben ser transportados a la bodega de la empresa SYTECSA para poder realizar un trabajo más efectivo en ellos. Son sistemas de potencia eléctrica, tarjetas electrónicas, sistemas de frenado, ventiladores de equipos, motores de tracción entre otros.

Varios de estos sistemas requieren procesos térmicos para aumentar sus características de funcionamiento, para poder ser acoplados con otros equipos o para realizar procesos de reparación por soldadura. Para lograr lo anterior, se

cuenta con dos hornos eléctricos industriales, ensamblados en la propia bodega de la empresa. Estos hornos funcionan por medio de varios grupos de resistencias eléctricas tubulares, también poseen sistemas de flujo de aire y tienen aislamiento térmico por medio de cintas de asbesto. En la parte de control de potencia no se tiene un método confiable que garantice la precisión en el tiempo y en la temperatura deseada, lo que deriva en una deficiente calidad final del servicio ofrecido así como altos consumos de energía.

1.1 PROCESOS TÉRMICOS EN LOS HORNOS ELÉCTRICOS

Existen varios procesos utilizados en la intervención de los diferentes equipos a los cuales se les realiza mantenimiento eléctrico-mecánico. Estos procesos varían en temperatura y duración y han sido implementados según normas de calidad internacionales requeridas por el cliente.

1.1.1 Recuperación de aislamiento eléctrico en motores DC: Consiste en eliminar la humedad interna de los equipos, luego de un procedimiento de soplado y limpieza. El tiempo y temperaturas requeridas se dan según el tipo y parte del motor.

- Motor de tracción Estator: temperatura de 130°C, durante 6 horas.
Rotor: se inicia con una temperatura de 50°C, aumentando 10°C cada hora, hasta llegar a los 110°C, en donde se mantendrá por un tiempo de 12 horas.
- Motor de compresor. Estator: temperatura de 130°C, durante 3 horas.
Rotor: temperatura de 130°C, durante 10 horas.

1.1.2 Secado de vendajes: Consiste en el secado y endurecimiento de un vendaje de fibra de vidrio hecho a los rotores de los motores DC, con el fin de proteger el bobinado interno y evitar que se expanda al momento de girar a diferentes velocidades.

1.1.3 Preparación de piezas para soldadura: Proceso utilizado para el calentamiento previo de ejes, antes de ser reparados mediante aporte de material por medio de soldadura eléctrica. Esto se hace con el fin de lograr que el nuevo material, se funda bien en la pieza. La temperatura promedio es de 150°C durante 5 horas.

1.1.4 Acople de piezas: Se utiliza al momento de montar una corona a un eje. Debido al tamaño y material de los equipos a intervenir, se debe hacer un calentamiento de 190°C durante 4 horas, para lograr un adecuado dilatamiento de la corona y así poder acoplarla al eje.

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran cantidad de potencia que necesita un horno eléctrico industrial para funcionar, se deben de tener en cuenta los métodos más prácticos y rentables para su utilización.

Estas prácticas estarán enfocadas en el lograr aprovechar al máximo las cualidades de estos hornos, consistentes en un buen aislamiento térmico, flujo de aire caliente con pérdidas mínimas, cálculo de resistencias eléctricas tubulares para una adecuada distribución y tal vez lo más importante, un sistema seguro y confiable con el cual se pueda controlar, verificar, programar y monitorear, en cualquier instante los procesos efectuados en los hornos.

Con el diseño e instalación de un tablero de control se lograra un alto rendimiento en el funcionamiento de los hornos, se podrán reducir los niveles de consumo de potencia mermando los costos de funcionamiento y se podrá garantizar un excelente servicio técnico a todos los clientes de la empresa.

Se tratara de implementar un sistema de fácil acceso y manejo, con el cual el operario pueda visualizar y configurar el tipo de proceso térmico necesario, también se podrá monitorear en cualquier momento el estado del horno y ejercer un control eficaz del procedimiento, reduciendo así las posibles fallas que se pueden presentar y que afectarían el producto final.

Todos los procesos realizados en los hornos eléctricos, podrán ser grabados en formato digital, con el fin de crear tablas de datos y con estos analizar e implementar mejoras, inventariar los equipos intervenidos y contabilizar el tiempo que dura cada procedimiento, todo con el objetivo de crear un historial técnico de los procedimientos llevados a cabo en la empresa.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Automatizar los sistemas de control de los hornos eléctricos con el fin de aumentar su rendimiento y capacidad de uso, en los diferentes procesos de mantenimiento realizados en la empresa SYTECSA S.A.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un sistema de PLC para lograr un control más efectivo de las cualidades de los hornos.
- Reemplazar el material aislante existente por uno con mayor desempeño y durabilidad.
- Calcular los grupos de resistencias eléctricas y su distribución en los hornos.
- Instalar pilotos para visualizar el correcto funcionamiento de los hornos.
- Modernizar los elementos electromecánicos de control de potencia por unos digitales que permitan mayor seguridad en la utilización de los dispositivos térmicos.
- Diseñar y redactar un protocolo para la correcta utilización de los nuevos sistemas, como método de control y correcta utilización del equipo instalado.

4. REFERENTES TEÓRICOS

4.1 HORNOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES

Entendemos por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado.

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente.

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de: Gases calientes producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de tubos radiantes o intercambiadores en general; y energía eléctrica en diversas formas:

- Arco voltaico de corriente alterna o continua.
- Inducción electromagnética.
- Alta frecuencia en forma de electricidad o microondas.
- Resistencia óhmica directa de las piezas.
- Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor. A los hornos industriales que se calientan por este medio se denominan *hornos de resistencias*.

Con los hornos eléctricos puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.

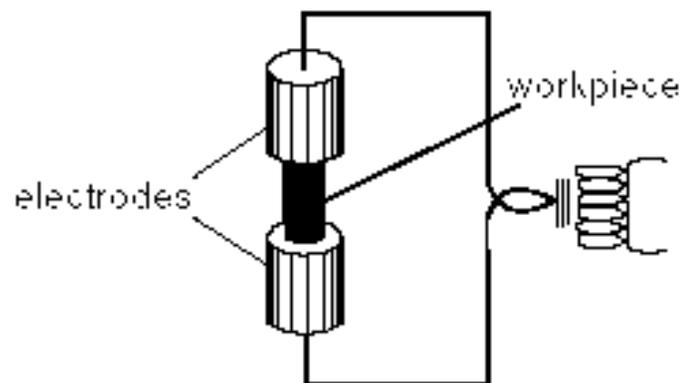
4.1.1 Tipos de hornos eléctricos industriales: Para la fabricación de aceros, el horno de arco es el más utilizado; le siguen los hornos de inducción. Los hornos de resistencia se utilizan para procesos que involucran temperaturas mas bajas,

como lo es el precalentamiento de piezas, el secado de vendajes de fibra de vidrio y la recuperación del aislamiento eléctrico de motores DC.

4.1.1.1 Hornos eléctricos de resistencia: Se definen como hornos de resistencia aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia óhmica, que puede estar constituida por la carga misma a ser calentada (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica.

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la corriente y calentándose. Estos hornos encuentran aplicación generalmente en el tratamiento térmico de metales.

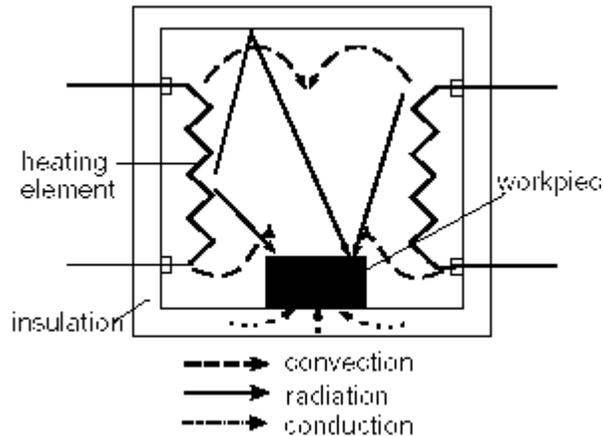
Figura 1. Calentamiento directo.



Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes. Entre las aplicaciones de estos hornos se encuentran la fusión y mantenimiento de temperatura de metales, generalmente de bajo punto de fusión (aluminio, plomo zinc, estaño, cobre, etc.) y el tratamiento térmico de metales.

Figura 2. Calentamiento indirecto.



Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

4.1.1.2 Hornos de inducción: La circulación de la corriente eléctrica en cualquier conductor genera un campo electromagnético a su alrededor. En el caso que este conductor tenga forma de bobina (solenoid), el campo electromagnético generado está concentrado y con sentido único en el interior de la bobina, mientras que en el lado externo tiene tendencia a dispersarse.

Si en el interior de esta bobina existe un núcleo de material metálico, éste será sede de corrientes parásitas (corrientes de Foucault), las cuales lo calientan. Para evitar que haya sobrecalentamiento de las estructuras metálicas externas a la bobina por la acción del campo electromagnético disperso, la bobina es circundada por núcleos constituidos de acero al silicio que conducen el campo externo evitando su dispersión y actuando como blindaje.

Colocando en el interior de la bobina, un crisol de material refractario con una carga metálica, se puede aumentar la potencia de la bobina al punto de que las corrientes inducidas fundan esa carga.

Se puede decir que la bobina actúa como el primario de un transformador y el sólido metálico en su interior representa el secundario. Las transformaciones de energía en este tipo de horno son:

- En el primario: de energía eléctrica en magnética.
- En el secundario: de energía magnética en eléctrica y finalmente de energía eléctrica en calor.

El calentamiento por inducción utiliza las propiedades del campo magnético para la transferencia de energía eléctrica en energía calorífica, sin recurrir al contacto directo. La bobina de los hornos de inducción es de cobre. Se consigue un mayor rendimiento en la fusión del material, producto del campo eléctrico, cuanto más delgada sea la pared refractaria. Debido a esto, la bobina debe ser refrigerada internamente con agua. La temperatura de la bobina no debe pasar los 45 °C, ya que a los 60 °C se favorece la formación de incrustaciones que tienden a cerrar los canales. La intensidad de las corrientes inducidas es función de la potencia de la bobina, que a su vez es proporcional al volumen de material a ser fundido.

La frecuencia de alimentación de la bobina es uno de los parámetros importantes de los hornos a inducción, cuya definición está íntimamente ligada a la aplicación del horno.

Los hornos de inducción se pueden clasificar por su frecuencia de trabajo, como:

- Hornos de baja frecuencia o frecuencia de línea si esta corresponde a la frecuencia de la corriente suministrada exteriormente: 50 ó 60 Hz.
- Hornos de media frecuencia: 200 a 10000 Hz.
- Hornos de alta frecuencia: sobre 10000 Hz.

Los hornos de inducción específicamente utilizados para la fusión de metales se subdividen en:

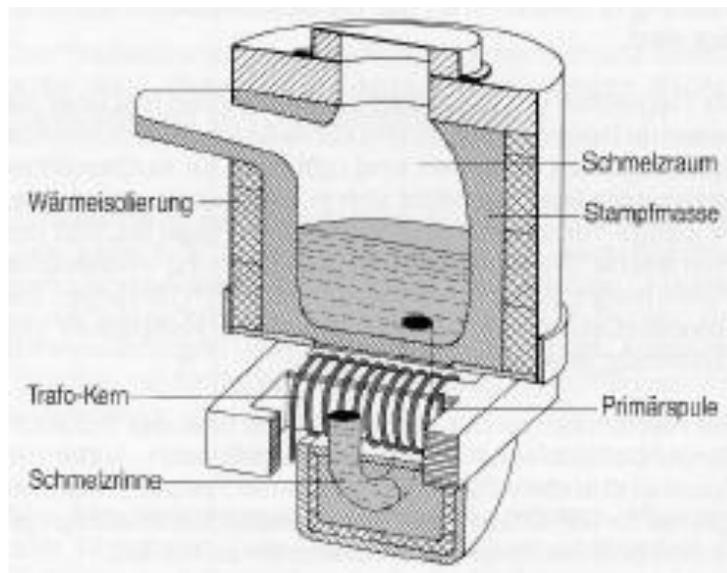
- Hornos de canal.
- Hornos de crisol.

Los primeros operan siempre a la frecuencia de la red (50-60 Hz), mientras que los segundos, en función del tamaño del equipo, de la aplicación y la potencia, pueden ser de baja frecuencia (50-60 Hz), de media frecuencia (150 a 10.000 Hz) y en casos muy especiales, de alta frecuencia (más de 10 kHz).

Los hornos de canal se utilizan preferentemente para mantenimiento de la temperatura de un baño de metal líquido. El principal elemento del horno es un canal cerrado de revestimiento cerámico, que es llenado con metal procedente del baño del horno.

El principio de funcionamiento es el mismo de los transformadores eléctricos: el paso por el primario de una corriente alterna de frecuencia normal produce un campo magnético, también alternativo, que se canaliza por el núcleo de chapa magnética y da lugar a una corriente inducida en la espira única de metal fundido. Dicha corriente eléctrica inducida se transforma en calor por efecto Joule, elevando consiguientemente su temperatura.

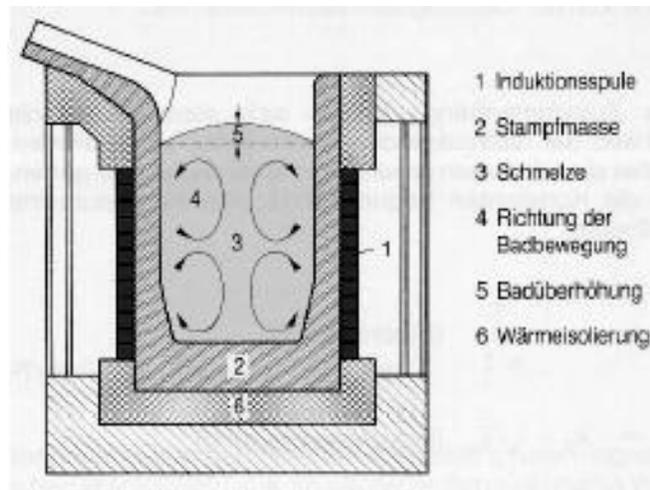
Figura 3. Horno de canal.



Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

Los hornos de crisol no requieren núcleo ni canal con metal fundido, siendo la bobina primaria tubular, refrigerada y enrollada alrededor del crisol.

Figura 4. Horno de crisol.



Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

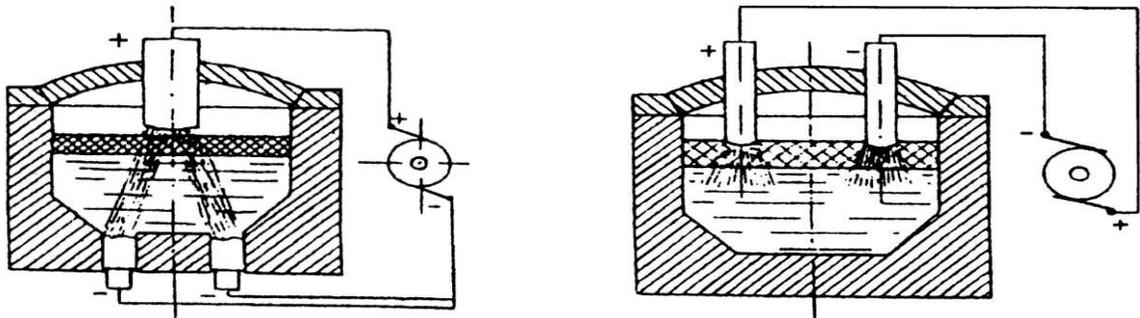
4.1.1.3 Hornos eléctricos de arco: Se clasifican en:

- Arco directo: de solera no conductora, de solera conductora.
- Arco indirecto.

En los hornos de arco indirecto, el arco se establece entre los electrodos, por encima de los materiales a fundir. La transmisión del calor se realiza por radiación y convección. El principal inconveniente de este sistema es que la temperatura del arco es muy elevada (superior a 3000°C) y como el aire posee bajo coeficiente de transmisión de calor, las paredes y en particular la bóveda son fuertemente dañadas.

En el horno de arco directo, el arco se establece entre el electrodo y el baño o sea que una corriente monofásica forma arcos entre cada electrodo y el baño; circula corriente a través del metal y al calentamiento producido por los arcos, se agrega el producido por la resistencia del propio metal.

Figura 5. Hornos de arco directo

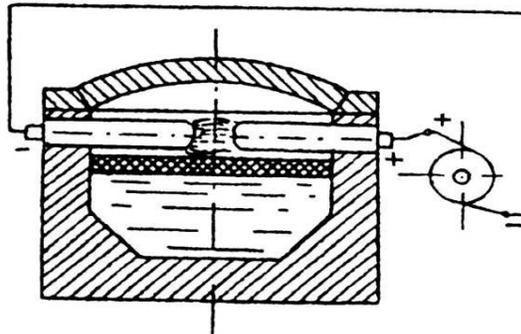


A. Solera conductora

B. Solera no conductora.

Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

Figura 6. Horno de arco indirecto.



Fuente: ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999.

4.2. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DE CALENTAMIENTO

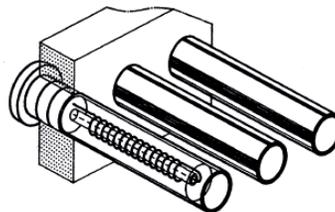
Son los elementos calefactores más utilizados para aplicaciones a nivel industrial, ofrecen gran resistencia mecánica y a la corrosión. Son muy versátiles debido a su fabricación permitiendo entregar altas temperaturas con muy variadas formas y diámetros.

Los materiales para las resistencias deben poseer, entre otras características, una elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas en juego. El tipo de resistencia a escoger para un horno determinado se vincula principalmente a la temperatura de trabajo de éste.

Las resistencias de calentamiento se clasifican del siguiente modo:

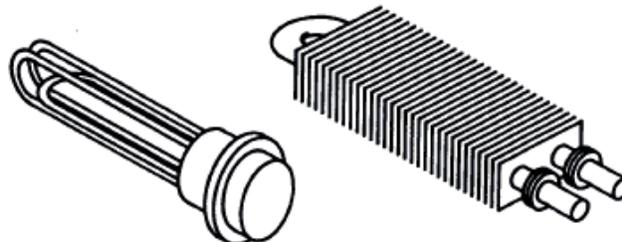
- Metálicas.
- No metálicas.
- Tubos radiantes, van colocados en la bóveda del horno.
- Resistencias blindadas típicas para calentamiento de líquidos en baños, tanques de temple, precalentadores de combustión, etc., que en el caso de calentamiento de gases van provistos, normalmente, de aletas para aumentar la superficie de intercambio.

Figura 7. Tubo radiante con resistencia de alambre en espiral sobre soporte cerámico.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Figura 8. Resistencias blindadas comerciales



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.2.1. Resistencias metálicas: Respecto a las basadas en aleaciones de base Ni-Cr. La más utilizada en resistencias de hornos eléctricos es la primera, 80 Ni-20 Cr; mientras que la 70 Ni-20 Cr se ha desarrollado para una mayor resistencia a las atmósferas reductoras.

Tabla 1. Propiedades de las aleaciones de base Ni-Cr.

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada:						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr %	20	30	15	18	20	25
Fe %	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m ³	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.050
Calor específico a 20 °C kJ/kg · K	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica W/mk a 20 °C	15	14	13	13	13	13
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm ²	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm ²	100	100	100	120	120	120
Resistencia al creep 800 °C N/mm ²	15	15	15	20	20	20
1.000 °C N/mm ²	4	4	4	4	4	4

Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Tabla 2. Resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr.

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20 °C	112	119	113	105	104	95
100 °C	113	120	114	108	107	99
200 °C	113	122	116	111	111	103
300 °C	114	123	118	114	114	107
400 °C	115	124	120	117	117	111
500 °C	116	125	122	120	120	115
600 °C	115	124	121	122	122	118
700 °C	114	124	121	124	124	120
800 °C	114	124	122	126	126	122
900 °C	114	124	123	128	128	124
1.000 °C	115	124	124	130	130	126
1.100 °C	116	125	125	132	132	126
1.200 °C	117	126	—	—	—	—
Coefficiente de resistividad						
20 °C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,009	1,009	1,009	1,028	1,029	1,042
200 °C	1,009	1,025	1,027	1,057	1,067	1,084
300 °C	1,018	1,034	1,044	1,086	1,096	1,126
400 °C	1,027	1,042	1,062	1,114	1,125	1,168
500 °C	1,036	1,050	1,080	1,143	1,154	1,210
600 °C	1,027	1,042	1,071	1,162	1,173	1,242
700 °C	1,018	1,042	1,071	1,181	1,192	1,263
800 °C	1,018	1,042	1,080	1,200	1,211	1,284
900 °C	1,018	1,042	1,089	1,219	1,231	1,305
1.000 °C	1,027	1,042	1,097	1,238	1,250	1,326
1.100 °C	1,036	1,050	1,115	1,257	1,269	—
1.200 °C	1,045	1,050	—	—	—	—

Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Para las aleaciones Fe-Cr-Al, con posible adición de elementos de las tierras raras, los grupos de resistencias más representativos serían:

- Grupo 1: 22/25 cr-6 al-70 fe.
- Grupo 2: 20/22 cr-5 al-72 fe.
- Grupo 3: 120/22 cr-4,5 a1-73 fe.
- Grupo 4: 114 cr-4 al-80 fe.

En el grupo 1 se ha introducido una variante obtenida por pulvimetalurgia que se denomina PM. Permite operar a temperaturas altas donde otras aleaciones presentaban problemas de deformación, fluencia y oxidación. Presenta una mayor resistencia a la fluencia y una excelente resistencia a la oxidación.

Tabla 3. Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al.

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Composición química aproximada					
Cr %	22	22	22	22	14
Al %	5,8	5,8	5,3	4,8	4
Fe %	70	70	72	73	80
Densidad kg/m ³	7.100	7.100	7.150	7.250	7.300
Temperatura de fusión °C	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Temperatura máxima utilización °C	1.400	1.400	1.400	1.300	1.100
Calor específico a 20 °C kJ/kg·K	0,46	0,46	0,46	0,46	0,48
Calor específico medio a 0-1.000 °C kJ/kg·K	0,54	0,54	0,54	0,54	0,56
Conductividad térmica a 20 °C W/mK	13	13	13	13	15
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C 10 ⁶ °C ⁻¹	15	15	15	15	15
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm ²	750	800	800	800	700
900 °C N/mm ²	40	34	37	34	35
Resistencia al creep 800 °C N/mm ²	14	6	8	6	4
1.000 °C N/mm ²	1,8	1	1,5	1	0,8

Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

En relación con las resistencias de las aleaciones Ni-Cr se tiene:

- La densidad es netamente inferior.
- La temperatura de fusión es más elevada.
- La temperatura máxima de utilización es más alta.
- El calor específico y la conductividad térmica son similares.
- La dilatación lineal es más baja.
- La resistencia a la rotura en caliente y la resistencia a la fluencia son más bajas, lo que exige el uso de aleaciones Ni-Cr cuando se requieren buenas propiedades mecánicas en caliente.

La resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al es notablemente más elevada que en las aleaciones Ni-Cr lo que resulta favorable en el cálculo de las resistencias en hornos eléctricos.

Tabla 4. Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al.

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$.					
Coefficiente de resistividad:					
20 °C	145	145	139	135	125
20 °C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100 °C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01
200 °C	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
300 °C	1,00	1,00	1,01	1,01	1,03
400 °C	1,00	1,00	1,02	1,02	1,04
500 °C	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05
600 °C	1,02	1,02	1,04	1,04	1,07
700 °C	1,02	1,02	1,04	1,05	1,09
800 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,11
900 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,13
1.000 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,14
1.100 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,15
1.200 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	—
1.300 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	—
1.400 °C	1,05	1,05	1,07	—	—

Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Otros materiales empleados, sobre todo, en hornos de vacío de alta temperatura, son el molibdeno, el tántalo y el tungsteno.

El molibdeno tiene un punto de fusión de 2600 °C, admite cargas específicas de 15-20 w/m², pero por empezar a oxidarse a 600 °C, debe operar en vacío o en atmósfera reductora. La resistividad varía fuertemente con la temperatura (5.7 veces superior a 1500 °C que a 20°C), lo que exige el empleo de transformadores con tomas para el arranque, el funcionamiento a la temperatura de trabajo e intermedias. Se utiliza frecuentemente en hornos de vacío para temperaturas inferiores a 1600-1700 °C.

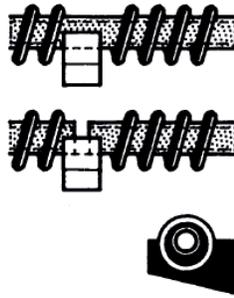
El tántalo tiene un punto de fusión de 3030 °C y se utiliza en hornos de vacío en forma de hilos arrollados hasta temperaturas de 2300-2400 °C. Su resistividad a 1500°C es seis veces superior que a 20°C.

Con el tungsteno se puede llegar a temperaturas de 2500-2700 °C en hornos de alto vacío. Su resistividad a 1500 °C es 6,7 veces superior que a 20 °C.

El conformado para este tipo de resistencias es difícil y las soldaduras prácticamente imposibles. Además, el continuo crecimiento del grano en funcionamiento a alta temperatura da lugar a una progresiva fragilidad de las resistencias.

4.2.1.1 Disposición de las resistencias metálicas: El arrollado en espiral sobre tubos cerámicos. Permite una radiación térmica bastante libre de las resistencias lo que, para la misma carga específica, supone un menor gradiente de temperatura entre resistencias y horno.

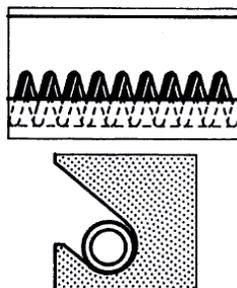
Figura 9. Alambre en espiral sobre tubos.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

El arrollado en espiral sobre ranuras cerámicas. Es una disposición muy antigua y económica, pero la resistencia no radia libremente, por lo que debe calcularse para una menor carga específica. Las ranuras en las piezas cerámicas deben ser amplias y suficientemente espaciadas para facilitar la radiación, pero cubriendo no menos del radio de la espiral.

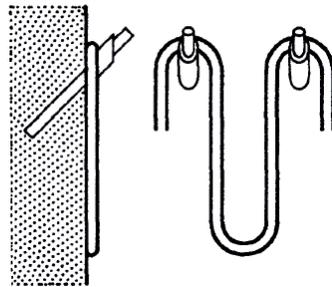
Figura 10. Alambre en espiral sobre ranuras.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

El ondulado con soportes de gancho, se utiliza con alambres o varillas, esto debido a que es muy conveniente para conseguir una elevada potencia específica en Kw/m². Se emplean varillas de 5 a 8 mm de diámetro, soportadas por ganchos metálicos de acero refractario o cerámico de silimanita. La temperatura máxima es de 1050°C para Ni-Cr y 1250°C para Fe-Cr-Al. Para temperaturas de trabajo de 1000°C la altura máxima de los lazos es de 350 mm y el paso mínimo de 40 mm.

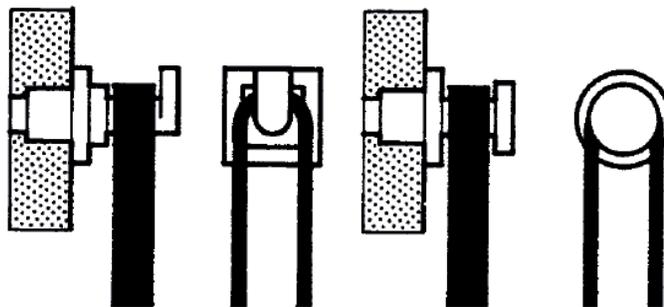
Figura 11. Ondulado sobre ganchos.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

En el tipo de desarrollo con pletina, se consiguen unas disposiciones de resistencias de gran robustez mecánica y gran potencia específica en kw/m², por lo que suelen adoptarse, frecuentemente, para hornos de más de 100-200 kw. La más frecuente es ondulada con soportes de gancho. Permite temperaturas máximas de 1150 °C para aleación Ni-Cr y 1300 °C para Fe-Cr-Al. La máxima altura de las resistencias es 350 mm y el paso mínimo depende de la anchura a de la pletina siendo aconsejable no bajar de 2a.

Figura 12. Pletina.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.2.1.2 Terminales y conexiones: Tienen por objeto realizar la unión eléctrica y mecánica entre las resistencias del interior del horno y los cables eléctricos de conexión en el exterior. Deben efectuar tres funciones básicas:

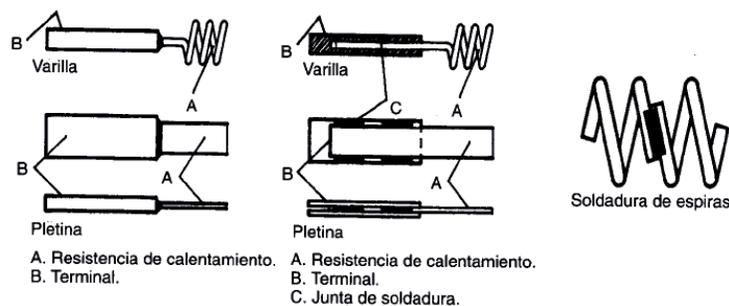
- Paso de la corriente eléctrica a través del aislamiento térmico del horno, consiguiendo el suficiente aislamiento eléctrico.
- Unión eléctrica y mecánica con las resistencias del horno y, por tanto, sometida a la temperatura de las resistencias.
- Unión eléctrica con los cables o barras de alimentación en el exterior del horno.

Los terminales para resistencias de alambre son siempre redondos, aunque para resistencias de pletina pueden ser redondos o rectangulares, sobre todo en hornos de atmósfera controlada, para conseguir una buena estanqueidad.

Por una parte, la sección del terminal debe ser grande para reducir las pérdidas por efecto joule, con las consiguientes caídas de tensión y calentamiento del terminal, pero, por otra, una sección grande conduce a unas mayores pérdidas de calor por efecto de puente térmico, lo que da lugar a una mayor temperatura del extremo exterior del terminal y por lo tanto, de las conexiones.

El material más adecuado para los terminales es el mismo que el de las resistencias. Sin embargo, es frecuente, para resistencias de 80 Ni-20 Cr, que los terminales sean de una calidad inferior (40 Ni-20 Cr o 20 Ni-25 Cr). La sección del terminal es, como mínimo, triple de la que tiene resistencia y la soldadura entre el terminal y la resistencia debe realizarse con gran cuidado.

Figura 13. Soldadura de terminales y resistencias.

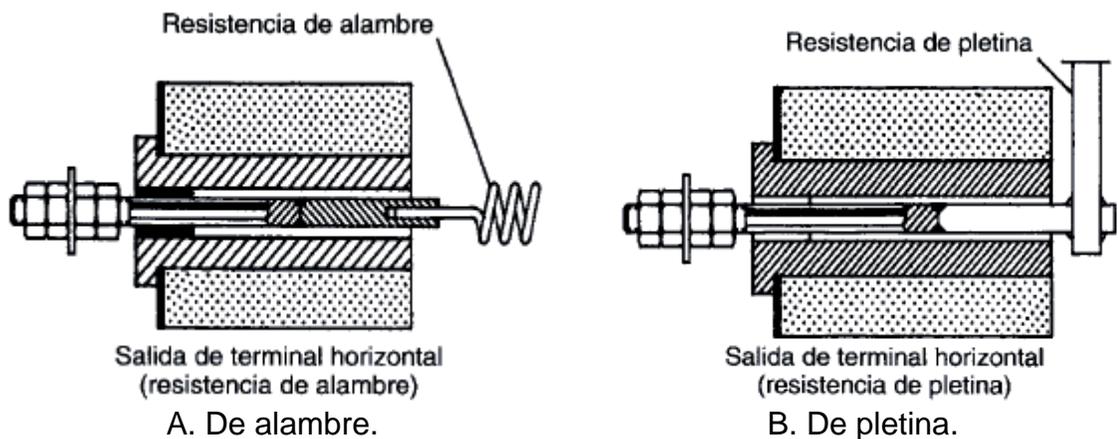


Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

En el paso del terminal a través del aislamiento del horno se presenta un problema de aislamiento eléctrico, que se resuelve mediante tubos cerámicos de silimanita o similar y un problema de estanqueidad.

El terminal de la resistencia se puede roscar en un extremo frío donde se atornilla el terminal del cable de alimentación. En la figura 4.14 se muestran dos soluciones típicas para resistencias de alambre en espiral y de pletina ondulada, ambas con terminales redondos. Sin embargo, no es la mejor solución, ya que al cabo de muchos meses de funcionamiento suele ser difícil soltar los terminales por estar las roscas y tuercas agarrotadas. Es preferible colocar mordazas sobre los terminales lisos que se atornillan, interponiendo láminas de cobre para asegurar un buen contacto.

Figura 14. Terminal para resistencias.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.2.1.3 Cálculo de resistencias: La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopte para las mismas.

Si se conoce la potencia del horno, se puede determinar la superficie mínima requerida para instalar las resistencias. Si es posible, se dispondrán únicamente en las paredes laterales del horno pero, si es necesario, se puede ampliar a otras superficies (bóveda, solera, puerta, etc.) Hasta conseguir la superficie requerida.

Las fórmulas generales que permiten calcular las resistencias son:

Resistencia eléctrica a 20 °C de longitud 1 cm:

- Alambre de diámetro d cm $R_{20} = \rho \frac{4L}{\pi d^2} \Omega$

- Pletina de sección a x b cm² $R_{20} = \rho \frac{L}{ab} \Omega$

donde ρ es la resistividad en $\Omega \cdot \text{cm}$.

Resistencia eléctrica a la temperatura T °C de las resistencias:

$$R_T = C_t R_{20} \Omega$$

Superficie radiante de las resistencias:

- Alambre de diámetro d cm. $A_c = \pi dL \text{ cm}^2$

- Pletina de sección a x b cm² $A_c = 2(a + b)L \text{ cm}^2$

Relación A_c / R_{20}

Aplicando la fórmula: $P = I^2 R_t$, se deduce:

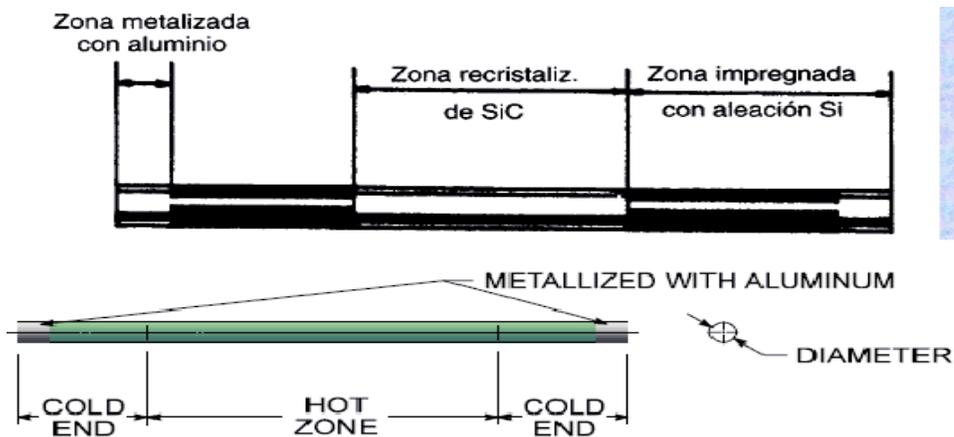
$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P}{R_{20} \rho} = \frac{I^2 R_t}{R_{20} \rho} = \frac{I^2 C_t}{\rho} = \frac{P^2 C_t}{V^2 \rho} \left(\frac{\text{cm}^2}{\Omega} \right)$$

4.2.2 Resistencias no metálicas: Los materiales no metálicos utilizados en la fabricación de resistencias son:

- Carburo de silicio en diversas formas.
- Bisiliciuro de molibdeno en forma de horquillas.
- Grafito en barras.
- Cromita de lantano en tubos.

4.2.2.1 Carburo de silicio: La forma más normal que adoptan es la de barras o barretas con una zona central que ofrece una gran estabilidad dimensional por su estructura recristalizada de SiC, obtenida por sinterizado a más de 2300 °C y que presenta una elevada resistencia eléctrica.

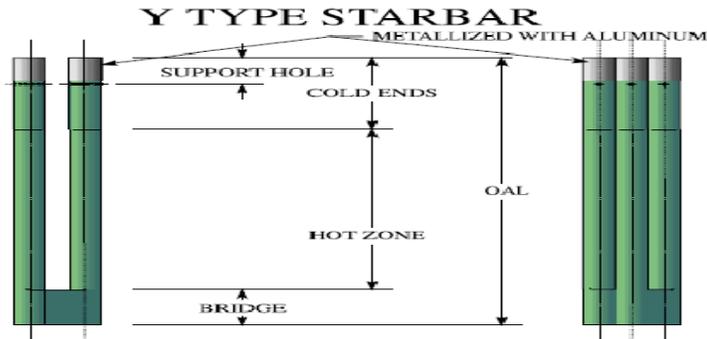
Figura 15. Resistencia no metálica.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Se presentan también las barras de SiC con dos y tres elementos, como se muestra en la figura, lo que facilita el conexionado de elementos, sobre todo en posición vertical.

Figura 16. Barras de SiC.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Sus características principales son:

- Coeficiente de dilatación lineal hasta 1.500°C: 5.6×10^{-6} .
- Resistencia a la flexión a 20 °C: 70-100 N/mm². (es relativamente frágil.)

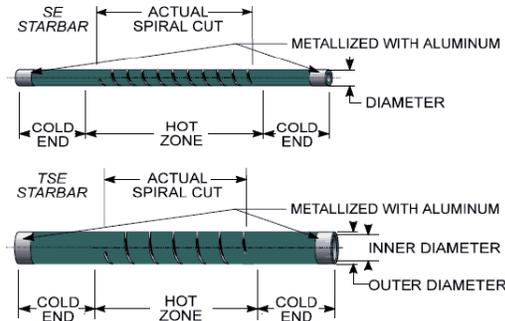
Su temperatura de trabajo:

- Al aire o atmosfera inerte (argón): de 1100 a 1600 °C.
- En nitrógeno: temperatura máxima 1350 °C (3.1 a 4.6 W/cm²).
- En gas exotérmico: temperatura máxima 1250-1440 °C.
- Al vacío: temperatura máxima 1000-1200 °C.

Aunque puede operar continua o intermitentemente, se recomienda el trabajo en continuo ya que la capa protectora de Si que se forma en condiciones oxidantes se puede romper al bajar de 900 °C, lo que da lugar a una nueva oxidación posterior del SiC. Algún fabricante suministra barras de SiC recubiertas de oxinitruro de Si que aumenta su duración.

Con objeto de aumentar la resistencia del elemento y por tanto, la tensión para una potencia dada, lo que facilita los requerimientos de las conexiones, se construyen resistencias de SiC en espiral en los dos tipos que se muestran en la figura.

Figura 17. Resistencias en espiral.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.2.2.2 Bisiliciuro de molibdeno: Las resistencias de MoSi_2 pueden alcanzar temperaturas de $1800\text{ }^\circ\text{C}$, es un material sinterizado a base de MoSi_2 con aditivos cerámicos en fase cristalina, que constituyen aproximadamente el 20% en volumen. Por encima de $1200\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve dúctil, mientras que por debajo es frágil, por lo que los elementos se conforman a alta temperatura y se suministran con los terminales soldados.

Su resistencia a la oxidación a altas temperaturas depende de la formación de una fina capa de silicato en la superficie.

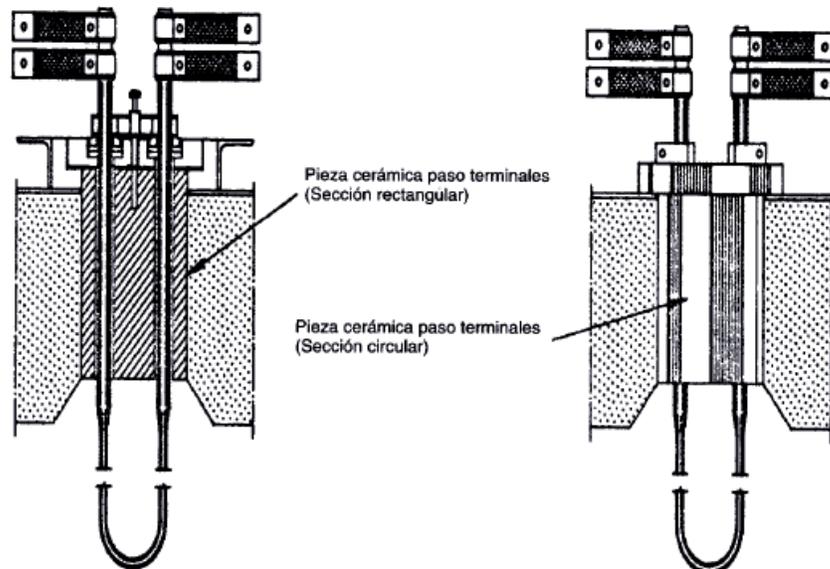
Figura 18. Resistencia de MoSi_2



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Las resistencias de MoSi_2 se suministran completas con la pieza cerámica para el paso de terminales, los elementos de sujeción y las bandas flexibles de conexión. La pieza cerámica de paso de terminales puede ser de sección rectangular, adecuada para hornos de sección paralelepípedica, o de sección circular, adecuada sobre todo para tubos radiantes.

Figura 19. Montaje de las resistencias de MoSi_2



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

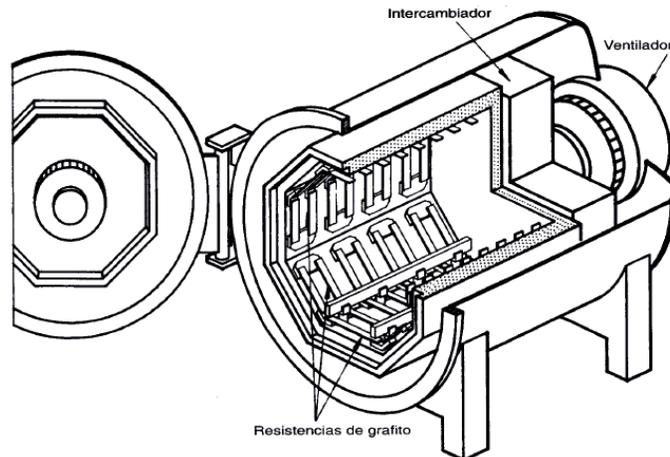
4.2.2.3 Grafito: Se emplean en hornos de vacío y hornos especiales. El grafito utilizado es un producto sintético que se mecaniza fácilmente lo que permite montajes de todo tipo.

La resistividad varía poco con la temperatura: de $1000 \mu\Omega\text{cm}$ a temperatura ambiente y a 1200°C , presentando un mínimo de $800 \mu\Omega\text{cm}$ a 500°C . Crece lentamente por encima de 1200°C para llegar a $1100 \mu\Omega\text{cm}$ a 2000°C .

La resistencia eléctrica no varía con el tiempo de funcionamiento. Se alcanzan 2300°C en hornos de vacío, aunque en hornos con atmósfera controlada de argón o helio puede llegar a $2500\text{-}2600^\circ\text{C}$.

La carga específica es del orden de $30\text{-}40 \text{ w/cm}^2$.

Figura 20. Hornos de tratamientos térmicos al vacío.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.2.2.4 Cromita de lantano: El material se compone esencialmente de Cr_2O_3 y La_2O_3 que forman un compuesto CrO_3La (cromita de lantano).

Se presenta en forma de tubos de 2-3 mm de espesor y 20 cm de diámetro. Sus características principales son:

- Resistividad eléctrica muy elevada (según los tipos varía de 0.2 a 0.8 $\mu\Omega\text{cm}$).
- No varía en caliente a partir de 500-600 °C.
- La resistividad en frío es 25 a 30 veces más alta que en caliente, lo que no presenta problemas en el arranque.
- No varía la resistencia con el tiempo de utilización.
- Permite llegar en resistencias a 1500 °C y en horno a 1350-1400 °C.
- La resistencia mecánica es aceptable, aunque presenta problemas de fluencia por encima de 1200 °C.

Apenas se utilizan actualmente en la industria, salvo en aplicaciones muy especiales.

4.2.3 Tubos radiantes: Cuando la atmósfera del interior del horno sea nociva para las resistencias, una solución posible es proteger la superficie exterior de las resistencias, por ejemplo, mediante su esmaltado, pero es más frecuente

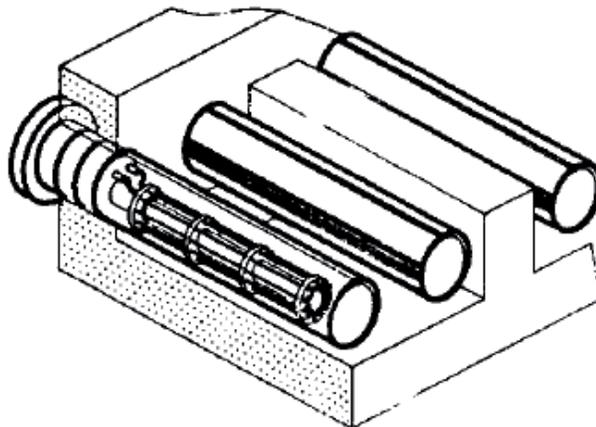
introducir la resistencia en el interior de un tubo metálico o cerámico que radia la energía de las resistencias sobre la carga, de donde viene la denominación de tubos radiantes eléctricos.

Dos tipos de atmósfera controlada determinan el empleo de tubos radiantes en lugar de resistencias desnudas:

- Atmósferas de alto contenido de H_2 (del orden de 40 por 100) que reducen los óxidos de protección de las resistencias y disminuyen fuertemente su tenacidad.
- Atmósferas que contienen CO y CH_4 (para cementación y carbonitruración gaseosas), que dan lugar a una cementación de las aleaciones metálicas refractarias a temperaturas inferiores a $800\text{ }^\circ\text{C}$ y a la aparición de carbonilla de acuerdo con la reacción: $2CO + CO_2 + C$. Precisamente en una zona del interior de los terminales provocando cortocircuitos.

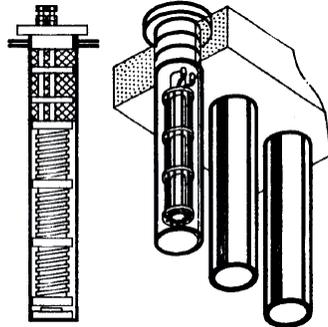
La protección de las resistencias con los tubos radiantes no impedirá que con el tiempo se difunda a través del tubo H_2 y CO . El problema se resuelve purgando continuamente el interior del tubo mediante un pequeño caudal de aire frío.

Figura 21. Tubos radiantes en suela.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

Figura 22. Tubos radiantes verticales.



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt

4.3. RELÉ DE ESTADO SOLIDO

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando, posee un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos. Estos relés permiten una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.

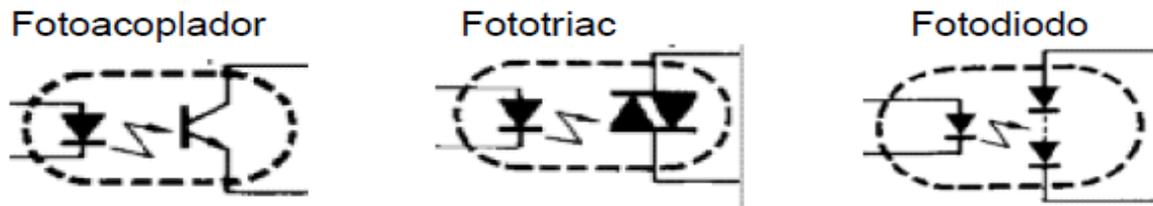
Figura 23. SSR.



Fuente: CRYDOM. Hoja de datos series HA/HD48.

El SSR está conformado por un circuito de entrada, también por un aislamiento que está asegurado generalmente por un acoplamiento óptico con semiconductor.

Figura 24. Acoplamientos ópticos.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

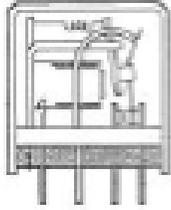
Algunos modelos de relé estado sólido, cuentan con función de paso por cero que opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar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

El circuito de salida consiste en una salida CA con tiristores antiparalelos o triacs, salida CC con transistor bipolar o MOS FET, salida CA-CC con transistor MOS FET (ya que tiene igual ganancia en directo que en inverso).

Como protección frente a transitorios se utilizan frecuentemente redes RC, diodos, etc.

En la evolución de los componentes convencionales el mayor cambio que se puede esperar es la sustitución gradual de los relés y los contactores electromagnéticos convencionales por los de estado sólido (el contactor de estado sólido es un desarrollo paralelo al del arrancador estático ya que su parte de potencia es semejante).

Tabla 5. Comparación entre SSR y relés electromagnéticos.

	Ventajas	Inconvenientes
<p>Relés de estado sólido</p> 	<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
<p>Relés electromagnéticos</p> 	<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

Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

4.3.1 Uso adecuado: 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.

4.3.2 Protección de SSRs: 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.

Para escoger un relé de estado sólido es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- 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).
- Homologaciones.
- Otras especificaciones como la rigidez dieléctrica, fiabilidad (tiempo medio entre fallos).

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

- Sobre temperatura.
- Sobre intensidad.
- Cortocircuito.
- Variaciones bruscas en la tensión

Para proteger se utilizan diversos elementos que se exponen a continuación:

- 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, teniendo 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.

- 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 $1,1 I_n$.
- Red RC: 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).

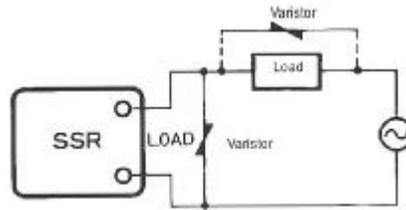
En casi todos los casos los SSR disponen en general de filtros tipo RC El valor típico de un filtro RC es:

Resistencia: $33 \Omega < R < 100 \Omega$.

Capacidad: $0,1 \mu f < C < 0,47 \mu f$.

- 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 tienen una energía elevada.

Figura 25. Varistor en paralelo.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

En muchos casos el varistor viene integrado en el SSR. Frente a 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 bornas, de manera que cuando entre sus bornas 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 1Ω .

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

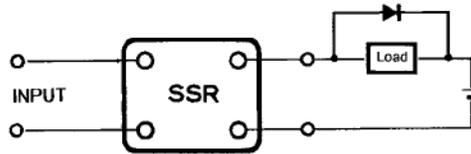
Tabla 6. Características del varistor a escoger.

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	

Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

- 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.

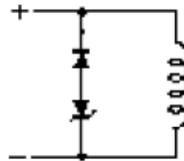
Figura 26. Diodo en paralelo.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

Este método es 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.

Figura 27. Diodos en paralelo.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

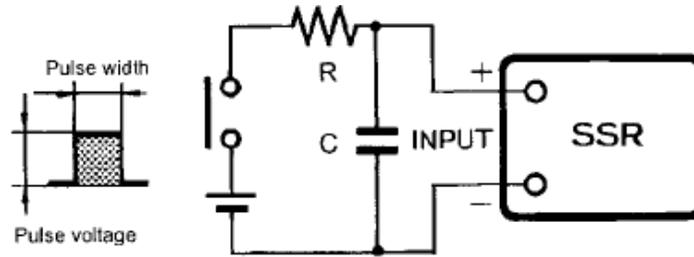
4.3.2.2 Protección en la entrada: Para relés con tensión continua de entrada se utiliza un diodo en antiparalelo para prevenir una inversión accidental de la polaridad, y una resistencia en serie para limitar la corriente y mantener las condiciones óptimas de funcionamiento. Estos dos elementos suelen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

- 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.

Figura 28. Red RC.



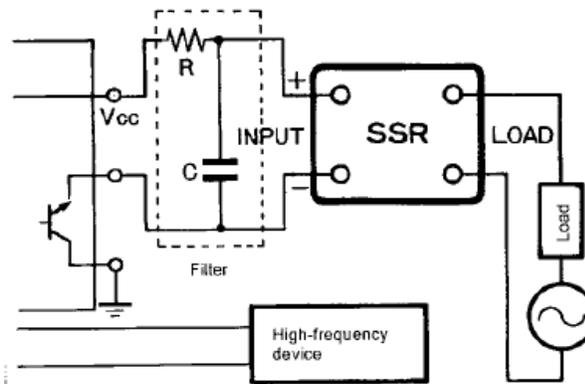
Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

- 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 Ω .

C: de 0.01 a 1 μf .

Figura 29. Filtro RC.

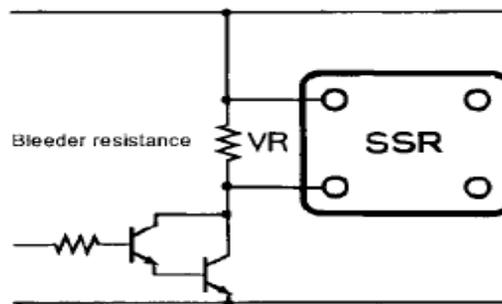


Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

- 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.

Figura 30. Resistencia en paralelo con entrada de relé.



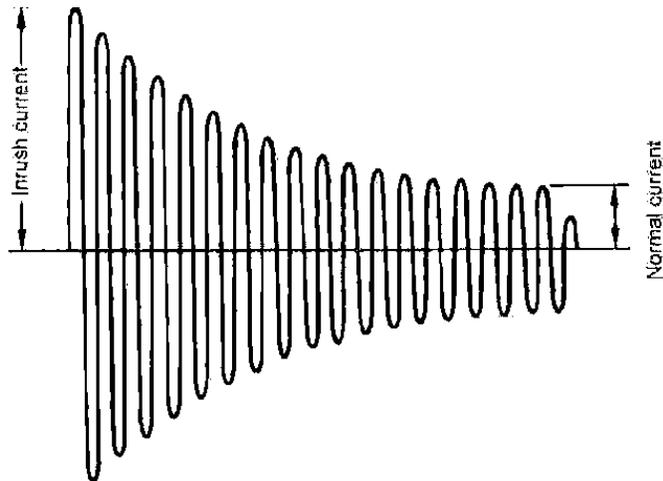
Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

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.

4.3.3 Tipos de cargas: Cuando se produce una conmutación de OFF a ON se producen picos en la corriente que pueden destruir los dispositivos semiconductores de potencia de los SSR.

Figura 31. Picos de corriente.

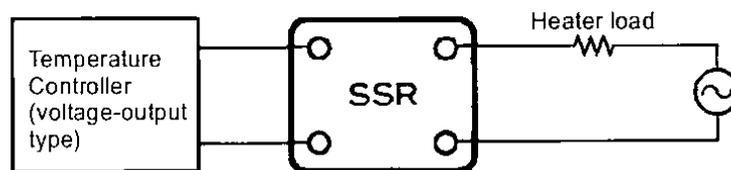


Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

El valor del pico de corriente en la conmutación depende del tipo de carga.

- 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.

Figura 32. Carga resistiva.



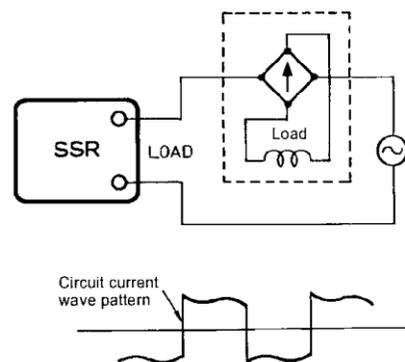
Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

- 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 para mejorar el funcionamiento.

- 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 para mejorar el funcionamiento.
- 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.
- 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:
 - Conectar una resistencia de absorción, que absorba un 20% de la corriente en la carga aproximadamente.
 - Utilizar un SSR sin función de paso por cero.
- Rectificador de onda completa: La corriente en la carga tendrá una forma rectangular como la que se muestra en la figura 4.33.

Figura 33. Corriente de carga.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

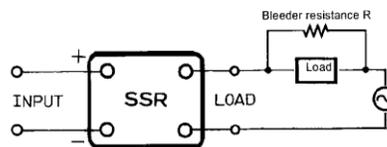
En este caso se deberá utilizar relés del modelo -V o relés que tengan en su salida transistores MOS FET.

- 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.

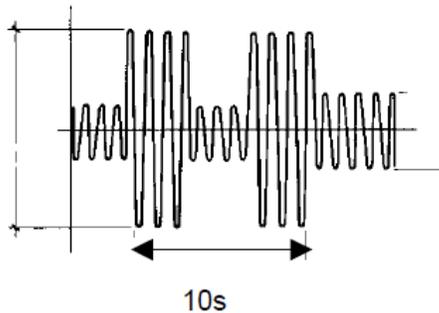
Figura 34. Resistencia de absorción en paralelo.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

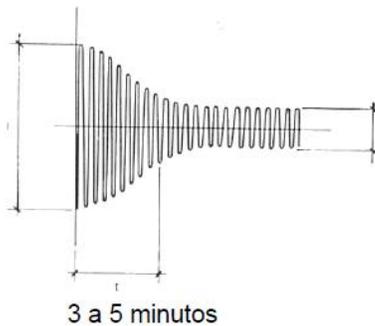
- Transformador: No utilizar una fuente de alimentación controlada por un transformador como fuente de alimentación de la carga debido a que un transformador es un caso extremo y particular de las cargas inductivas saturables con magnetización residual remanente y se pueden producir fallos en el funcionamiento, ya que la corriente puede llegar a ser de 10 a 100 veces la corriente nominal.
- 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). Cuando el estado del relé sea OFF tendrá aplicada a su salida la tensión de alimentación más la tensión de carga del condensador, de manera que se debe seleccionar un SSR con una tensión de salida que sea el doble de la alimentación. Se debe seleccionar un SSR con función de paso por cero, cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el máximo valor de la corriente inicial.
- Fluorescentes y lámparas de vapor de mercurio: Hay que tener en cuenta que en este tipo de carga la corriente en la conexión suele ser de 3 veces superior a la de funcionamiento normal, pero su presencia tiene una duración mayor, en el caso de los fluorescentes es de 10 segundos y hasta 5 minutos en el caso de las lámparas de vapor de mercurio.

Figura 35. Corriente en la conexión de una lámpara fluorescente.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

Figura 36. Corriente en la conexión de una lámpara de gas de mercurio.



Fuente: OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

A la hora de seleccionar el SSR que se va a utilizar se deberá tener en cuenta el pico de corriente y la duración de este pico.

- 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).

4.3.4 Tratamiento de las anomalías: 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).

4.3.4.1 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.

- 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.

- 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. Si los valores están entre los límites hay que sustituir el relé.

4.3.4.2 Defecto en la apertura: En este caso desconectamos los hilos de la entrada del relé.

- 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.

- 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.

4.4. SENSORES DE TEMPERATURA

Dispositivos especializados en la medición de la propiedad física, generada por variados factores tales como el volumen de un líquido, la resistencia eléctrica de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico, el voltaje de un diodo, etc., son ejemplos de propiedades termométricas.

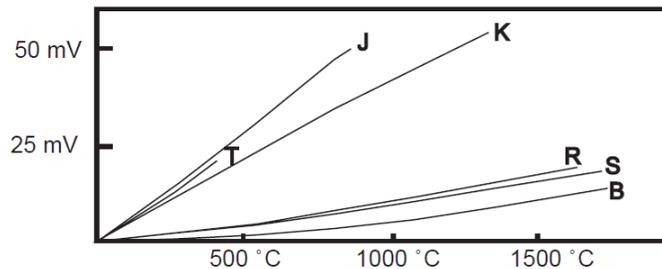
En el campo industrial se usan generalmente dos tipos de sensores de temperatura, las termocuplas y los PT100, esto debido a sus capacidades de medición, exactitud y tolerancia a las atmósferas corrosivas.

4.4.1 Termocuplas: Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, generalmente soldados. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, llamado efecto Seebeck, del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio llamada cabezal.

La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal, es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la linealización, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde este voltaje.

Figura 37. Linealización de termocuplas.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

4.4.1.1 Compensación de cero: El principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de "compensación de cero". Esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre.

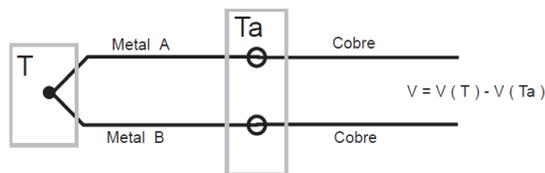
En ese punto se producirán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme.

Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ($T_a = 0$ y luego $V(T_a) = 0$).

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en ese punto, mediante un sensor de temperatura adicional y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real.

El punto de empalme llamado "unión" ó "juntura de referencia" es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable de la termocupla hasta el mismo instrumento.

Figura 38. Punto de empalme.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

La termocupla, hecha de metal A y metal B está sometida a una temperatura T. En los extremos de la termocupla se coloca un voltímetro con puntas de prueba de cobre a temperatura de ambiente Ta. Recorriendo el circuito se encuentra el voltaje V que marca el voltímetro:

$$V = V_{cu,a}(Ta) + V_{a,b}(T) + V_{b,cu}(Ta)$$

$$V = [V_{b,cu}(Ta) + V_{cu,a}(Ta)] + V_{a,b}(T)$$

$$V = V_{b,a}(Ta) + V_{a,b}(T)$$

$$V = V_{a,b}(T) - V_{a,b}(Ta)$$

El voltaje que nos interesa saber para conocer el valor de la temperatura T es $V_{a,b}(T)$, este se consigue despejándolo:

$$V_{a,b}(T) = V + V_{a,b}(Ta)$$

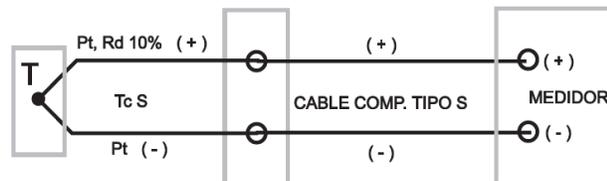
Luego conociendo Ta se busca en la tabla de la termocupla el valor de $V_{a,b}(Ta)$ y se suma a V medido en el voltímetro con lo que se obtiene $V_{a,b}(T)$. Ahora con este valor se busca en la tabla el valor de T.

Los instrumentos para termocuplas miden T_a en su conector y suman esta cantidad $V_{a,b}(T_a)$ automáticamente para hacer la compensación de cero.

4.4.1.2 Cables compensados: Cuando el instrumento está muy retirado del lugar de medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable de la termocupla al instrumento. Esto ocurre especialmente cuando se están usando termocuplas R, S ó B hechas con aleación de platino de muy alto precio.

La solución de este problema es usar los llamados "cables compensados" para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termocuplas parásitas en el empalme.

Figura 39. Cables compensados.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

Los cables compensados tienen una polaridad de conexión (+) y (-) que al conectarse con la termocupla se debe respetar. Un error típico, es conectar al revés el cable en la termocupla y en el instrumento, de esta forma se genera un error en la lectura del orden de la temperatura de ambiente en el empalme.

En el caso particular de las lanzas usadas en la fundición de aceros, la termocupla se conecta en la punta con un cable compensado forrado en asbesto, que va por dentro de la lanza hasta el lado del mango. Ahí se empalma con otro cable compensado con revestimiento de goma más flexible que llega hasta la entrada del instrumento.

Es importantísimo que estos dos cables compensados sean para el tipo de termocupla que se está usando y además estén conectados con la polaridad correcta (+) con (+) y (-) con (-). De otra forma será imposible obtener una medición sin error.

Siempre se debe consultar al proveedor ó fabricante del cable compensado por los colores que identifican los cables (+) y (-), pues las normas de estos colores varían con el tipo de termocupla y país de procedencia del cable.

4.4.1.3 Tipos de termocuplas: Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K.

Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).

Finalmente las tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los PT100.

Tabla 7. Termocuplas metálicas.

Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/ constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alumel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/ constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/ constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

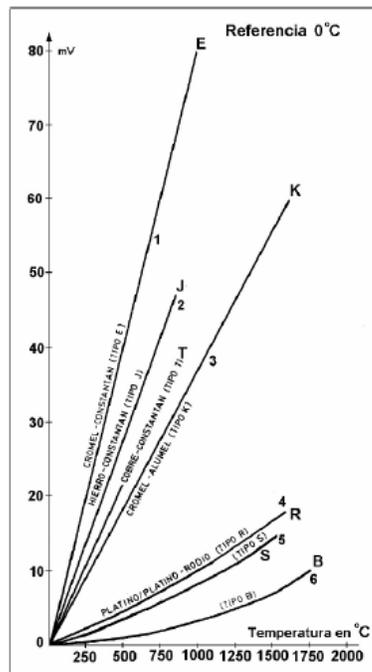
Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

Tabla 8. Termocuplas de metales preciosos.

Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
R	Platino-rodio/ platino	Ver gráfico	87Pt:13Rh Pt	Disponible hasta 1480°C
S	Platino-rodio/ platino	Ver gráfico	90Pt:10Rh Pt	Disponible hasta 1400°C
B	Platino-rodio/ Platino-rodio	Ver gráfico	70Pt:30Rh 94Pt:6Rh	Disponible hasta 1700°C

Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

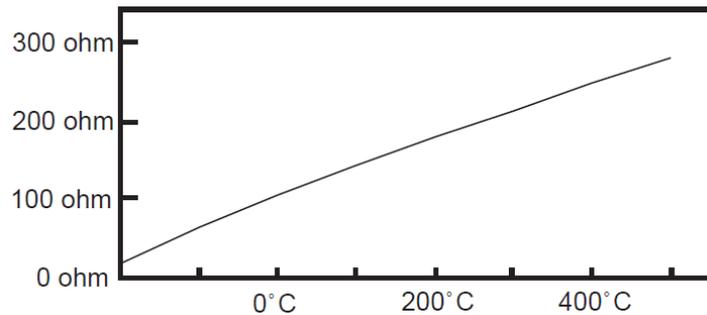
Figura 40. Sensibilidad.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

4.4.2 PT100: Los PT100 son un sensor del tipo RTD (Resistive Temperature Device). Consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100 Ω y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Figura 41. Linealización PT100.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

El material que forma el conductor, posee un coeficiente de temperatura de resistencia α , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0(1 + \alpha T)$$

Donde:

R_0 = resistencia en Ω a 0°C.

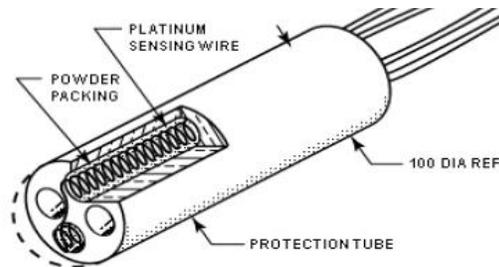
R_t = resistencia en Ω a T °C.

T= temperatura actual.

α = coeficiente de temperatura de la resistencia.

Normalmente las PT100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas. Además pueden entregar precisiones de una décima de grado y puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

Figura 42. PT100 industrial.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

4.4.2.1 Ventajas del PT100: Siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los PT100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la PT100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además la PT100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

4.4.2.2. Conexión de la PT100: Existen 3 modos de conexión para las PT100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto.

El objetivo es determinar exactamente, la resistencia eléctrica $R(t)$ del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables R_c .

El modo más sencillo de conexión, pero menos recomendado, es con solo dos cables. En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la PT100 al instrumento se suman, generando un error inevitable. El lector medirá el total $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$ en vez de $R(t)$. Lo único que se puede hacer es usar cable lo más

grueso posible, para disminuir la resistencia de Rc1 y Rc2 y así disminuir el error en la lectura.

Figura 43. Conexión con dos hilos.



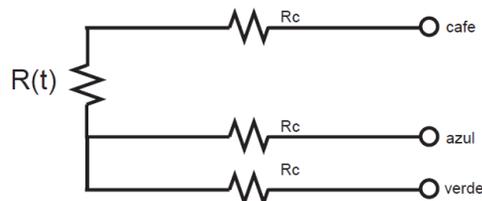
Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

Por ejemplo si la temperatura es 90°C, entonces $R(t) = 134.7 \Omega$, pero si el cable Rc1 tiene 1.3 Ω y el Rc2 tiene 1.2 Ω entonces la resistencia medida será $134.7 + 1.3 + 1.2 = 137.2 \Omega$ y la lectura del instrumento será 96 °C.

Un cable común razonablemente grueso sería uno de diámetro equivalente a 18 AWG. La resistencia de este cable es 0.0193 Ω por metro. Por ejemplo si se usa este cable para medir una resistencia a 15 metros de distancia, la resistencia total de los cables será $15 \times 2 \times 0.0193 = 0.579 \Omega$ lo que inducirá un error de 1.5°C en la lectura.

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables.

Figura 44. Conexión con tres hilos.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa, casi siempre, en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

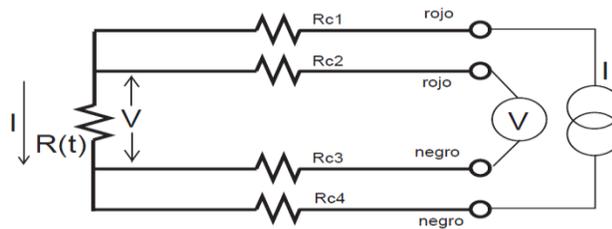
Figura 45. Puente de Wheastone.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos o sea distinta resistencia, pero el instrumento lector es más costoso.

Figura 46. Conexión con cuatro hilos.



Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$.

Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($dV=I \times R_c=0 \times R_c=0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$.

Finalmente el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido entre la corriente I conocida.

4.4.2.3 Autocalentamiento y corriente de excitación: Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo, de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada "corriente de

excitación" , la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo.

Un problema que puede ocurrir es que la "corriente de excitación" genere por efecto Joule ($P=I^2R$), un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Este problema es más pronunciado mientras más pequeña sea la PT100, pues tendrá menor capacidad de disipación del calor generado y a la vez, mientras se esté midiendo en un medio menos conductor de calor.

Por ejemplo es mayor cuando se mide temperatura en el aire, que cuando se la mide en el agua. Valores típicos del error producido en un PT100 son del orden de 0.5°C por miliwatt, generado cuando la PT100 está en aire sin circular y 0.05°C con la misma PT100 en agua.

La potencia de autocalentamiento, depende del cuadrado de la corriente de excitación, luego mientras menor sea esta corriente, mucho menor será el efecto.

4.4.2.4. Precauciones: Finalmente se deben tener ciertas precauciones, de limpieza y protección en la instalación de los PT100 para prevenir errores por fugas de corriente.

Es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos, a través de humedad condensada. Aunque mínima, esta corriente "fugada" hará aparecer en el lector una temperatura menor que la real.

Estas fugas también pueden ocurrir en óxido, humedad ó polvo que cubre los terminales.

Por la descripción hecha de los métodos de medición, queda claro que a diferencia de las termocuplas, no es posible conectar 2 unidades lectoras a un mismo PT100 pues cada una suministra su corriente de excitación.

En el momento de comprar un PT100, se debe tener presente que existen distintas calidades y precios para el elemento sensor que va en el extremo del

PT100. Los de mejor calidad están hechos con un verdadero alambre de platino, en tanto que existen algunos sensores económicos hechos en base a una pintura conductora sobre un substrato de alúmina (cerámica) Estos últimos son menos precisos.

En general no se debe montar un PT100 en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.

4.5. CONVERTIDOR DE TEMPERATURA

Dispositivos encargados de convertir la temperatura captada por sensores tipo PT100 y Termopar, en señales proporcionales y estandarizadas de tensión e intensidad.

Estos equipos pueden ir instalados en la propia cabeza de conexiones del elemento primario, en un armario (raíl DIN) o con una envolvente tipo transmisor.

Figura 47. Convertidores de temperatura.



Fuente: SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

4.5.1 Modelo Sitrans TH 100: Convertidor de temperatura marca SIEMENS, para efectuar mediciones de PT100. Es de bajo costo, ya que no posee aislamiento galvánico, ni conexión universal de sensores.

Debido a su forma compacta es adecuado para el equipamiento posterior de puntos de medida o para substituir convertidores de medida analógicos. También como modelo para la utilización en áreas con riesgo de explosión.

Figura 48. SITRANS TH100.



Fuente: SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

Algunas características de este modelo son:

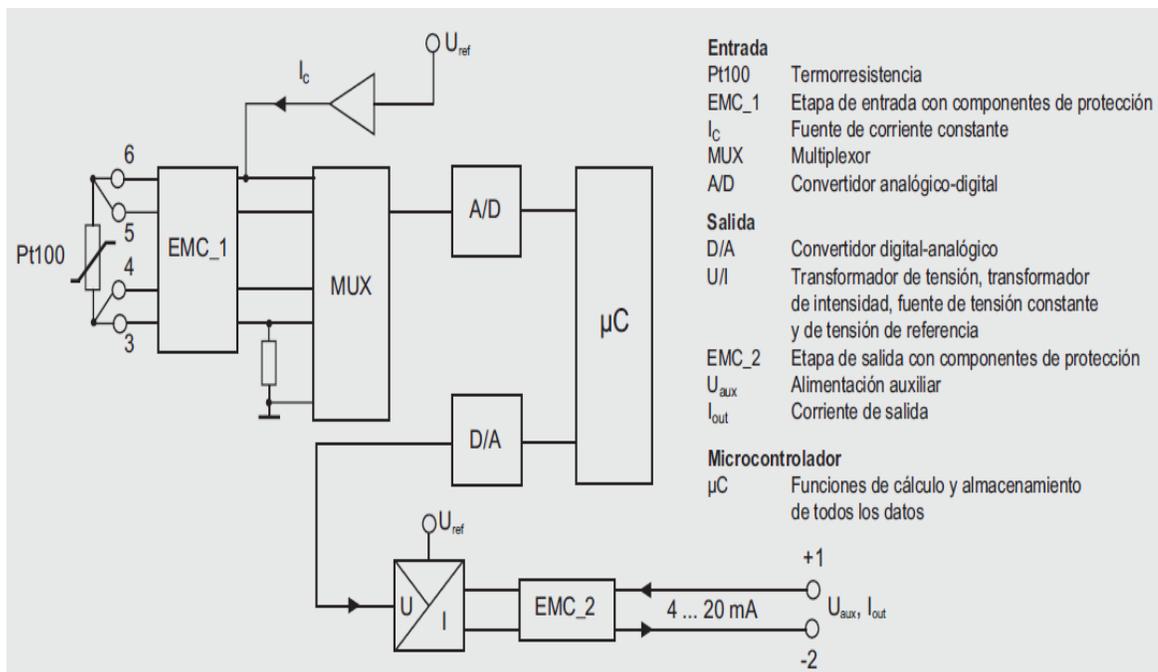
- Transmisor con técnica bifilar.
- Montaje en el cabezal de conexión del Tipo B o en otro de mayor tamaño, o montaje en un perfil DIN simétrico.
- Programable, lo cual permite programar la conexión del sensor, el rango de medición y otros muchos elementos.
- Modelo provisto de seguridad intrínseca para la utilización en áreas con riesgo de explosión.

4.5.1.1 Funcionamiento: La señal de medición emitida por una termo resistencia PT100 (conexión a dos, tres y cuatro hilos), es amplificada en la etapa de entrada. La tensión proporcional a la magnitud de entrada es luego convertida en señales digitales por medio de un multiplexor situado en un convertidor analógico-digital. En el micro controlador, estas señales son transformadas de acuerdo con la curva característica del sensor y otros datos (rango de medición, atenuación, etc.).

Una vez procesada de este modo, la señal es convertida por un convertidor analógico-digital en una corriente de salida de entre 4 y 20 mA.

Tanto el circuito de entrada como el de salida están protegidos contra interferencias electromagnéticas por un filtro de compatibilidad electromagnética (EMC).

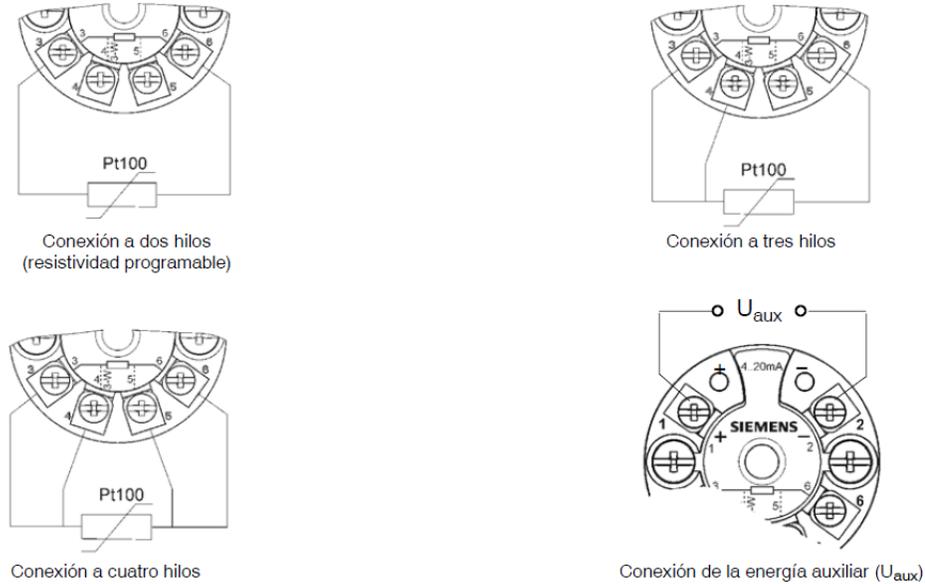
Figura 49. Esquema funcional del SITRANS TH100.



Fuente: SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

4.5.1.2. Conexión eléctrica: La conexión del sensor y de los hilos de la alimentación de energía auxiliar se realiza de acuerdo con la figura 4.49. Teniendo en cuenta la polaridad (este dispositivo está protegido contra inversión de polaridad).

Figura 50. Esquema de conexiones.



Fuente: SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

En el modelo con conexión a tres hilos, el borne número 5 carece de función y no debe ser conectado. Si se utilizan termorresistencias en el modelo con conexión a cuatro hilos, se debe seleccionar la conexión a tres hilos y aislar eléctricamente con cinta aislante el cuarto hilo del sensor que no se utiliza.

4.5.1.3. Funciones: En el SITRANS TH100 se pueden ejecutar las siguientes funciones a través del software de parametrización SIPROM T:

- Ajuste del margen de saturación superior/inferior de la corriente de salida.
- Respaldo de datos de identificación del punto de medición.
- Ajuste de la conexión del sensor (conexión a dos, tres y cuatro hilos) Ajuste del offset del sensor, el rango de medición, la unidad física y la atenuación.
- Ajuste de la corriente de salida en caso de fallo (p. ej. en caso de rotura del sensor)

Los cables del sensor y el sistema electrónico del transmisor se encuentran bajo vigilancia permanente. Si se produce algún fallo, la corriente de salida es

conmutada a corriente de fallo. La corriente de defecto se puede seleccionar libremente dentro de los límites del margen de modulación de corriente (de 3,6 mA a 23 mA).

Todos los conductores del sensor están permanentemente vigilados para detectar cualquier rotura. En caso de fallo, se activa la corriente de defecto (de 3,6 mA a 23 mA). La detección de rotura de los conductores no se puede desactivar.

El sensor conectado al transmisor está vigilado permanentemente para detectar cualquier cortocircuito que pueda producirse en él. Se produce un cortocircuito en el sensor cuando la resistencia medida en el PT100 conectado desciende por debajo de 10 ohmios. En caso de cortocircuito en el sensor, se activa la corriente de defecto (de 3,6 mA a 23 mA). La detección de cortocircuitos en el sensor no se puede desactivar. El límite de cortocircuito está fijado en 10 ohmios y tampoco se puede modificar.

Si la medida del PT100 se realiza en una conexión a dos hilos, es preciso efectuar un equilibrado del circuito. La calibración se realiza mediante una indicación numérica de la resistividad medida (suma del conductor de ida y el conductor de retorno).

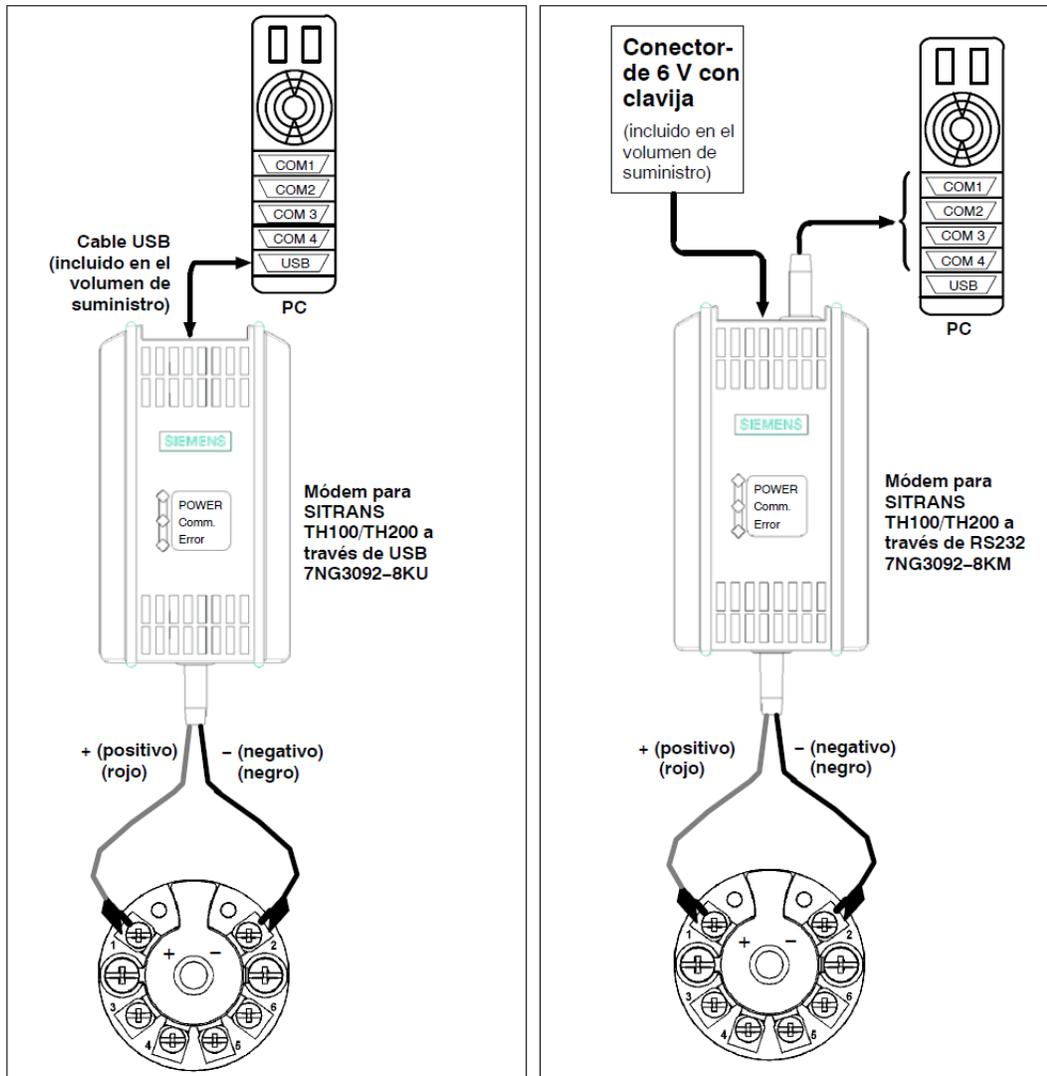
Para la característica en la salida analógica de 4 a 20 mA, se puede elegir entre una curva ascendente o una curva descendente. El tipo de característica se establece del siguiente modo al parametrizar el comienzo y el final del rango de medición:

- Curva característica ascendente: El final del rango de medición es mayor que el comienzo.
- Curva característica descendente: El final del rango de medición es menor que el comienzo.

4.5.1.4 Configuración: Con el software de parametrización SIPROM T y el módem para SITRANS TH100/TH200 se puede configurar el transmisor mediante un PC. Para ello, tan sólo hace falta conectar el transmisor al PC a través del módem. En ese caso, la energía necesaria para alimentar el transmisor está proporcionada por:

- La interfaz USB del PC (si el módem es USB).
- Una fuente de alimentación externa provista de conector (si el módem es RS232).

Figura 51. Parametrización SITRANS TH100.



Fuente: SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

4.6. PULSADOR ELÉCTRICO

Operador eléctrico que cuando se oprime, permite el paso de la corriente eléctrica y cuando se deja de oprimir, lo interrumpe.

Se emplea en los timbres, las maquinas expendedoras de refrescos, los teclados de los ordenadores, para seleccionar el piso en los ascensores y en otras muchas aplicaciones.

Por lo general, los contactos del pulsador están abiertos; es decir, no dejan pasar la corriente eléctrica.

También existen pulsadores que normalmente tienen los contactos cerrados; es decir, la corriente estará circulando hasta que lo usemos. Al pulsar el circuito se abre y deja de funcionar. Este tipo de pulsadores generalmente se utilizan, para la parada de emergencia de maquinas o mecanismos.

Figura 52. Pulsador ZBE101.



Fuente: Catalogo unidades de mando y señalización TELEMECANIQUE.

4.7. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Un PLC es un dispositivo usado para controlar. Este control se realiza sobre la base de una lógica, definida a través de un programa.

En su esencia, un PLC mira sensores digitales y analógicos, switches (entradas), lee su programa de control, hace cálculos matemáticos y como resultado controla

diferentes tipos de hardware (salidas) tales como válvulas, luces, relés, servomotores, etc. en un marco de tiempo de milisegundos

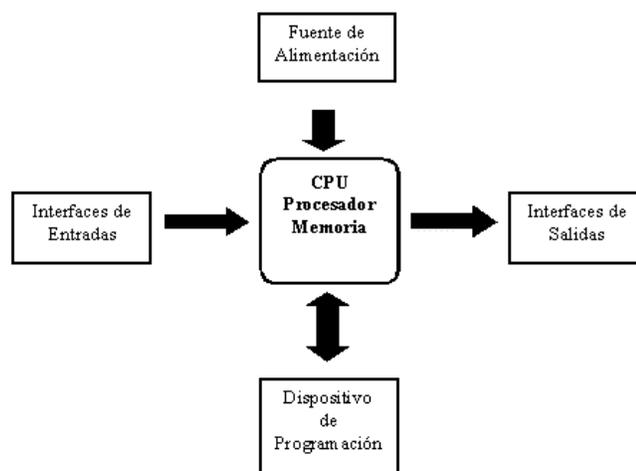
Figura 53. PLC.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Existen diversos fabricantes de PLC, cada uno tiene una gran variedad de referencias que se destinan para aplicaciones simples o complejas. Para cada tipo de PLC, existe un software de programación con el cual se pueden crear los diferentes métodos de control y regulación que requieren los procesos industrializados.

Figura 54. Estructura de un PLC.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Para explicar el funcionamiento del PLC, se pueden distinguir las siguientes partes:

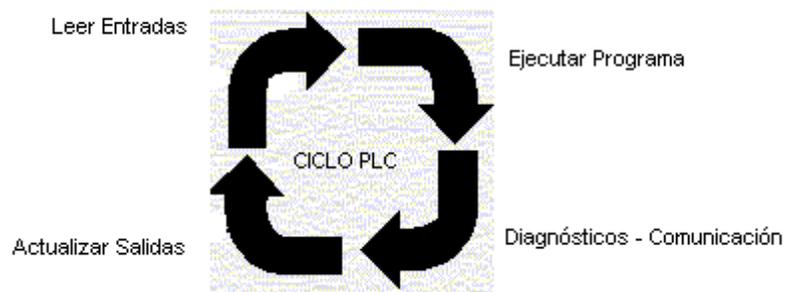
- Interfaces de entradas y salidas.
- CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria.
- Dispositivos de Programación.

El usuario ingresa el programa a través del dispositivo adecuado (un cargador de programa o PC) y éste es almacenado en la memoria de la CPU.

La CPU, que es el "cerebro" del PLC, procesa la información que recibe del exterior a través de la interfaz de entrada y de acuerdo con el programa, activa una salida a través de la correspondiente interfaz de salida.

Evidentemente, las interfaces de entrada y salida se encargan de adaptar las señales internas a niveles del la CPU. Por ejemplo, cuando la CPU ordena la activación de una salida, la interfaz adapta la señal y acciona un componente (transistor, relé, etc.).

Figura 55. Ciclo PLC.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Al comenzar el ciclo, la CPU lee el estado de las entradas. A continuación ejecuta la aplicación empleando el último estado leído. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se

actualizan las salidas. El tiempo de ciclo depende del tamaño del programa, del número de E/S y de la cantidad de comunicación requerida.

4.8. S7- 200

La gama S7--200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro--PLCs) que se pueden utilizar para numerosas tareas. Gracias a su diseño compacto, su bajo costo y su amplio juego de operaciones, los sistemas de automatización S7--200 son idóneos para controlar tareas sencillas.

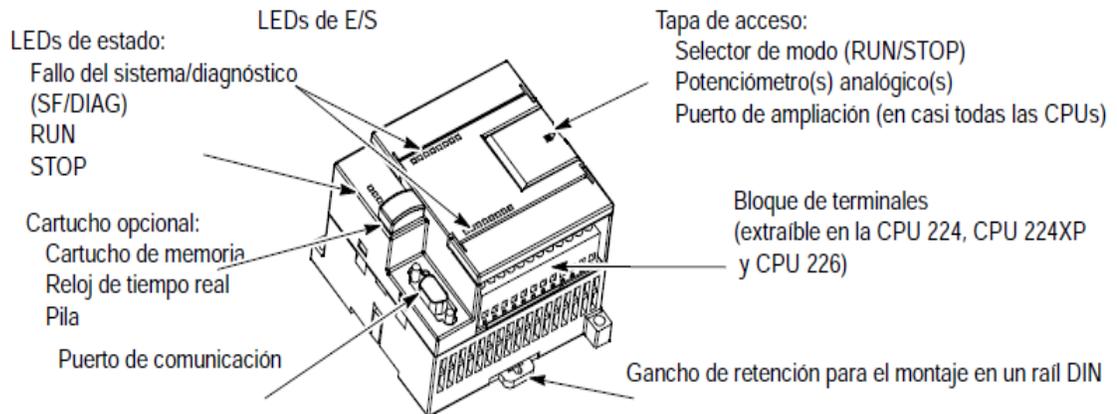
La gran variedad de modelos S7--200 y el software de programación basado en Windows ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización.

El S7--200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario que puede incluir operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes.

4.8.1. CPU S7-200: La CPU S7--200 incorpora en una carcasa compacta un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida que conforman un potente Micro--PLC.

Tras haber cargado el programa en el S7--200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación.

Figura 56. Micro-PLC S7-200.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Existen diferentes modelos de CPUs S7—200, que ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones.

En la siguiente tabla se comparan de forma resumida algunas de las funciones de la CPU.

Tabla 9. Comparativa de las CPUs S7-200.

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP, CPU 224XPsi	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120,5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa: con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (tip.)	50 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)
E/S integradas Digitales Análogicas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S 2 E/1 S	24 E/16 S
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹
Contadores rápidos Fase simple	4 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	4 a 20 kHz	2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (DC)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Aritmética en coma flotante	Sí				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0,22 microsegundos/operación				

Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

El S7--200 puede montarse en un panel o en un raíl normalizado (DIN), bien sea horizontal o verticalmente.

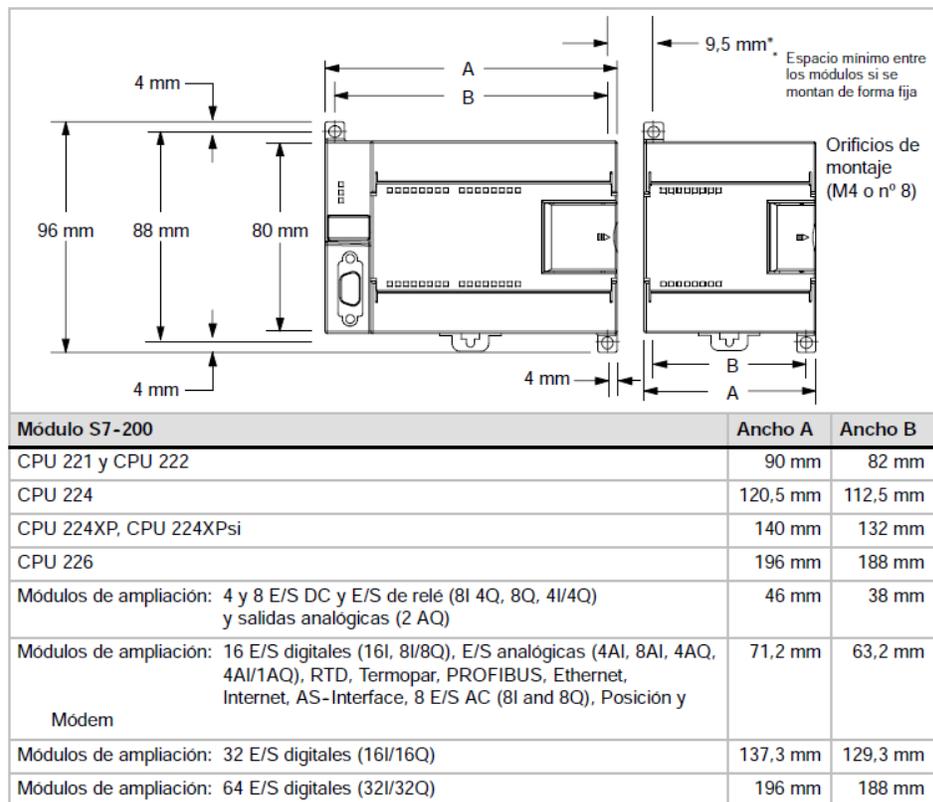
Los sistemas de automatización SIMATIC S7--200 son PLCs abiertos. Por este motivo, el S7--200 debe instalarse en un armario eléctrico o en una sala de control.

Las CPUs S7--200 tienen integrada una fuente de alimentación capaz de abastecer la CPU, los módulos de ampliación y otras cargas que precisen 24 VDC.

Todas las CPUs S7--200 aportan también una alimentación para sensores de 24 VDC que puede suministrar corriente de 24 VDC a las entradas y a las bobinas de relés de los módulos de ampliación, así como a otros equipos.

Si los requisitos de corriente exceden la capacidad de la alimentación para sensores, es preciso agregar una fuente de alimentación externa de 24 VDC al sistema.

Tabla 10. Dimensiones de montaje.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

El aislamiento de la alimentación AC del S7--200 y de las E/S a los circuitos AC se ha diseñado y aprobado para proveer una separación segura entre el conductor AC y los circuitos de baja tensión. Esto incluye un aislamiento doble o reforzado, o bien un aislamiento básico más suplementario, conforme a diversas normas. Los componentes que cruzan estos límites, tales como optoacopladores, condensadores, transformadores y relés se han aprobado, ya que proveen un aislamiento seguro.

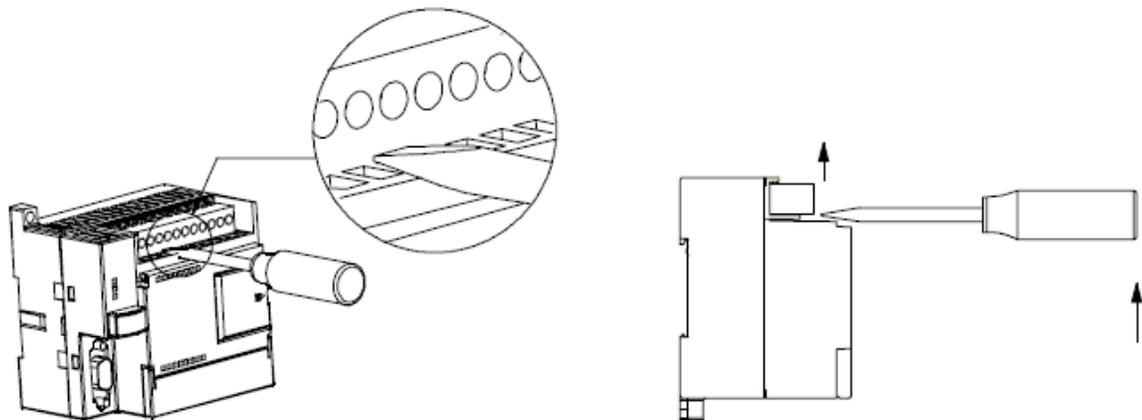
Al diseñar el cableado del S7--200, se debe incorporar un interruptor unipolar para cortar simultáneamente la alimentación de la CPU S7--200, de todos los circuitos de entrada y de todos los circuitos de salida. Lo mismo que dispositivos de protección contra sobreintensidad (p. ej. fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Para mayor protección es posible instalar un fusible u otro limitador de sobreintensidad en todos los circuitos de salida.

Se deben instalar dispositivos de supresión de sobretensiones apropiados en el cableado susceptible de recibir sobretensiones causadas por rayos.

La mayoría de los módulos S7--200 disponen de bloques de terminales extraíbles para el cableado de usuario. Para evitar conexiones flojas, se debe vigilar que el bloque de terminales esté encajado correctamente y que el cable esté insertado de forma segura en el conector.

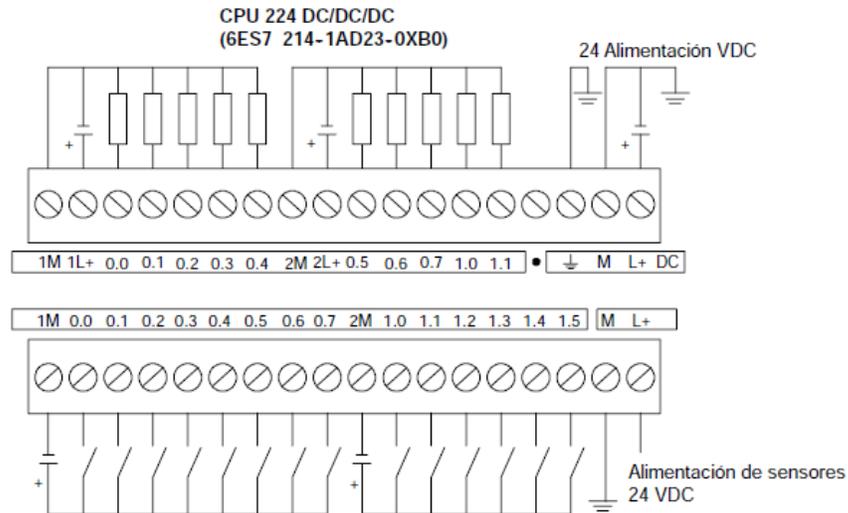
No apretar excesivamente los tornillos para evitar que se deteriore el bloque de terminales. El par máximo de apriete de los tornillos del bloque de terminales es de 0,56 N--m.

Figura 57. Extracción de bloque de terminales.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Figura 58. Diagrama de cableado de la CPU 224.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

4.8.2. Módulos de ampliación analógicos: La gama S7--200 incluye una gran variedad de módulos de ampliación. Estos módulos se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU S7--200. En la tabla 11. figura una lista de los módulos de ampliación disponibles en la actualidad.

Tabla 11. Datos técnicos de los módulos de ampliación analógicos.

Nº de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	Tensión DC disponible	
					+5 VDC	+24 VDC
6ES7 231-0HC22-0XA0	EM 231, 4 entradas analógicas	71,2 x 80 x 62	183 g	2 W	20 mA	60 mA
6ES7 231-0HF22-0XA0	EM 231, 8 entradas analógicas	71,2 x 80 x 62	190 g	2 W	20 mA	60 mA
6ES7 232-0HB22-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas, 2 salidas	46 x 80 x 62	148 g	2 W	20 mA	70 mA (ambas salidas a 20 mA)
6327 232-0HD22-0XA0	EM 232, 4 salidas analógicas	71,2 x 80 x 62	190 g	2 W	20 mA	100 mA (todas las salidas a 20 mA)
6ES7 235-0KD22-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/1 salida analógica	71,2 x 80 x 62	186 g	2 W	30 mA	60 mA (salida a 20 mA)

Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

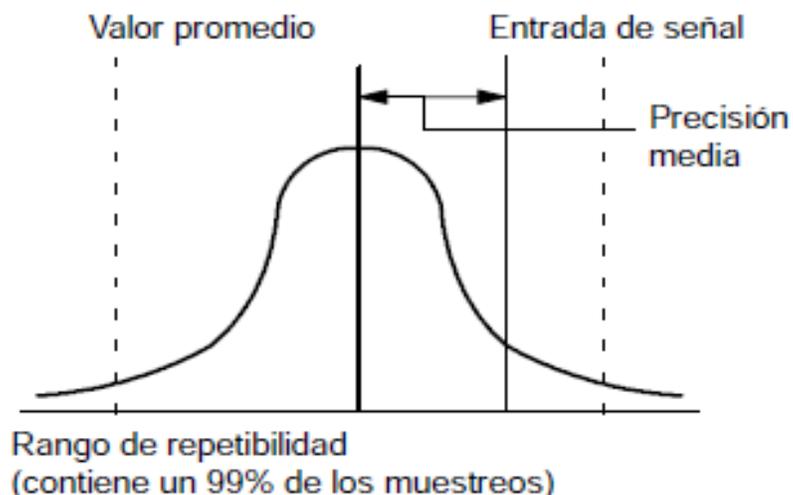
4.8.2.1 EM 231 y EM 235: Los módulos de ampliación EM 231 y EM 235 disponen de entradas analógicas de 12 bits, siendo rápidos y de bajo costo. Pueden convertir una señal de entrada analógica a su correspondiente valor digital en 149 μ s. La señal de entrada se convierte cada vez que el programa accede a la entrada analógica en cuestión. Los tiempos de conversión mencionados se deben agregar al tiempo de ejecución básico de la operación utilizada para acceder a la entrada analógica.

Los módulos EM 231 y EM 235 proporcionan un valor digital no procesado (sin linealización ni filtraje) que corresponde a la tensión o a la intensidad analógicas en los bornes de entrada del módulo. Puesto que se trata de módulos rápidos, la señal de entrada analógica puede cambiar rápidamente (incluyendo interferencias internas y externas).

Las diferencias de un muestreo a otro, causadas por interferencias de una señal de entrada analógica que cambie constante o lentamente, se pueden reducir creando un promedio de una serie de muestreos. Cuanto mayor sea la cantidad de muestreos utilizados para calcular el promedio, tanto más lento será el tiempo de respuesta a cambios en la señal de entrada.

La figura 59 muestra el rango de repetibilidad (que contiene un 99% de los muestreos), el valor promedio de los muestreos individuales y la precisión media.

Figura 59. Definición de la precisión.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

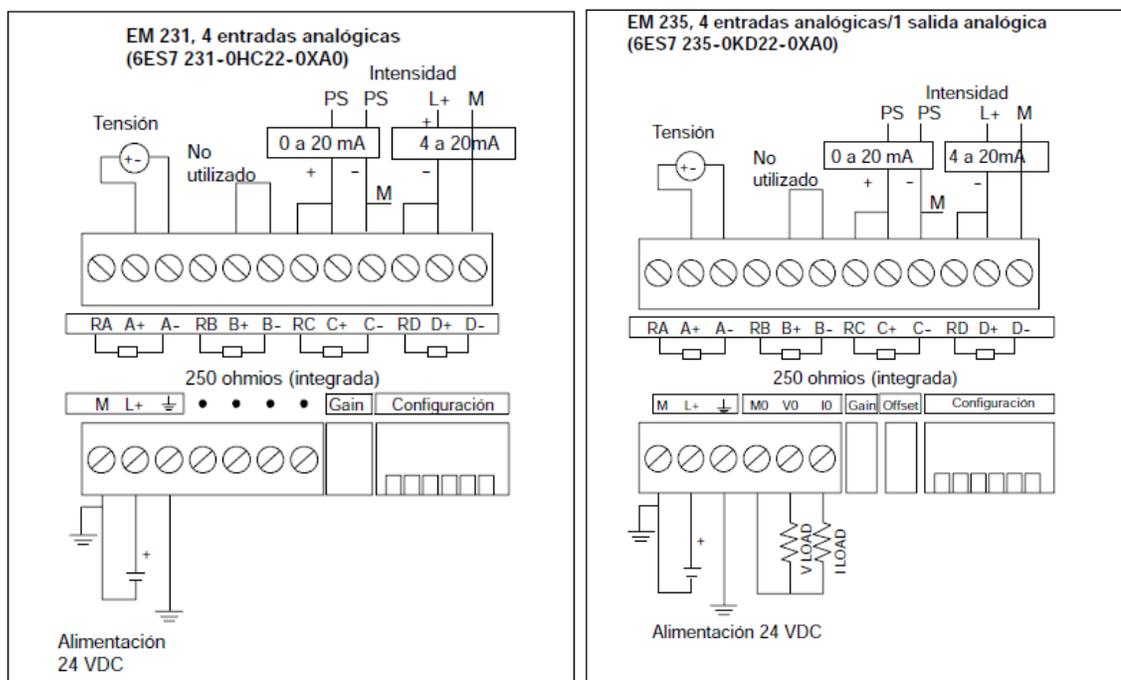
Los datos relativos a la repetibilidad describen las diferencias de un muestreo a otro en el caso de las señales de entrada que no cambien. Dichos datos definen el rango que contiene un 99% de todos los muestreos. La repetibilidad se describe en la curva representada en la figura.

La precisión media describe el valor promedio del error (la diferencia entre el valor promedio de los muestreos individuales y el valor exacto de la señal real de la entrada analógica).

Cada uno de los módulos de ampliación analógicos, posee su propia configuración interna, la cual se debe tener presente al momento de realizar los respectivos ajustes entre los módulos y la CPU. Esto permitirá el correcto funcionamiento de los dispositivos acoplados

En las figura 4.60 se detalla la disposición de los módulos de ampliación analógicos EM 231 Y EM 235.

Figura 60. Diagramas de cableado de los módulos de ampliación analógicos.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Se deben de tener en cuenta las siguientes reglas para asegurar la precisión y la repetibilidad:

- Asegúrese de que la alimentación de sensores 24 VDC sea estable y esté exenta de interferencias.
- Utilizar cables lo más cortos posible para la alimentación de sensores.
- Utilizar cables dobles trenzados apantallados para el cableado de la alimentación de sensores.
- Utilizar una pantalla trenzada para obtener el mayor nivel posible de inmunidad a interferencias.
- Conectar el apantallado sólo del lado de los sensores.
- Cortocircuitar las entradas de los canales no utilizados.
- Evitar doblar excesivamente los cables.
- Conducir los cables a través de canales.
- Evitar colocar los cables de señales en paralelo con cables de alta tensión. Si los cables se deben cruzar, hacerlo en ángulo recto.
- Verificar que las señales de entrada se encuentren dentro de los límites de tensión en modo común, aislando dichas señales o referenciándolas al hilo común externo de 24V del módulo analógico.

4.8.3. Visualizador de textos. Los visualizadores de textos S7-200 son interfaces hombre-máquina (HMI) de bajo coste que permiten al operador interactuar con la aplicación.

Para los visualizadores de textos (o TDs) pueden configurarse menús personalizados que facilitan todavía más dicha interacción. Asimismo, es posible ajustar que se visualicen alarmas o avisos activados por bits específicos de la memoria de la CPU S7-200.

Los visualizadores TD reciben la alimentación eléctrica de la CPU S7200 a través del cable TD/CPU. El TD 200, TD 200C y TD400C también pueden recibir tensión de una fuente de alimentación externa.

El TD S7-200 es un visualizador de textos de 2 o 4 líneas que puede conectarse a la CPU S7-200. El TD permite visualizar, supervisar y modificar las variables de proceso pertenecientes a la aplicación.

La gama de dispositivos S7-200 abarca cuatro visualizadores de textos, a saber:

- TD 100C. El TD 100C tiene un display de texto de 4 líneas que permite seleccionar 2 fuentes. Es posible visualizar 16 caracteres por línea (es decir, 64 caracteres en total), o bien utilizar la fuente en negrita con 12 caracteres por línea (es decir, 48 caracteres en total). El frontal del TD 100C ofrece toda la flexibilidad necesaria para diseñar el teclado y el propio frontal.

Es posible crear un teclado personalizado de hasta 14 botones (teclas) de tamaño variable y en distintas formas, colores o fuentes que pueden disponerse sobre un fondo cualquiera.

- TD 200C. El TD 200C tiene un display de texto de 2 líneas de 20 caracteres cada una (es decir, 40 caracteres en total). El frontal del TD 200C ofrece toda la flexibilidad necesaria para diseñar el teclado y el propio frontal.

Es posible crear un teclado personalizado de hasta 20 botones (teclas) de tamaño variable y en distintas formas, colores o fuentes que pueden disponerse sobre un fondo cualquiera.

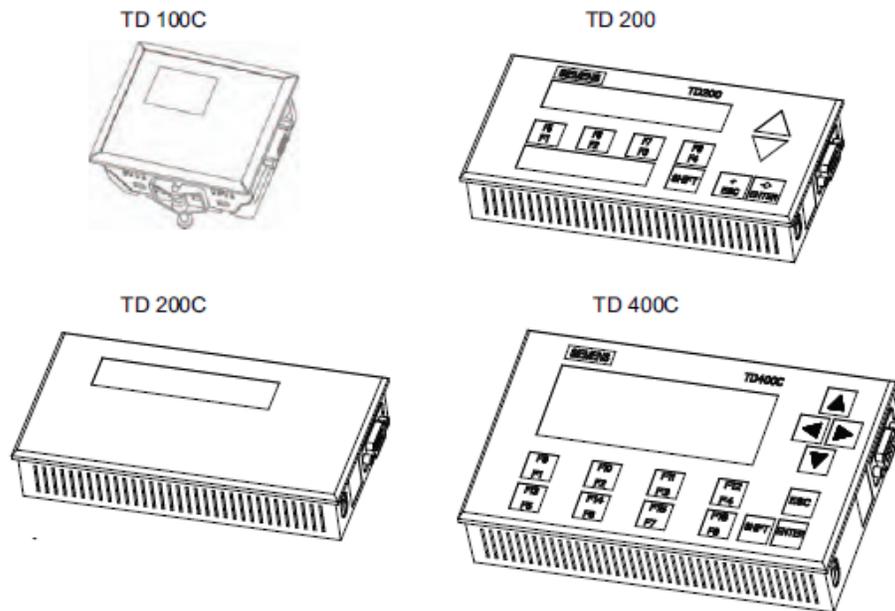
- TD 200. El frontal del TD 200 incorpora cuatro teclas con funciones predefinidas activadas por bits, permitiendo configurar hasta ocho funciones activadas por bits utilizando la tecla SHIFT.
- TD 400C. El TD400C puede tener un display de texto de 2 ó 4 líneas, en función del tipo y tamaño de fuente. Los botones (teclas) del TD400C son táctiles y tienen posiciones fijas.

En un display de 4 líneas pueden visualizarse 12 caracteres chinos pequeños por línea (es decir, 48 caracteres en total), o bien 24 caracteres ASCII pequeños (es decir, 96 caracteres en total).

En un display de 2 líneas pueden visualizarse 8 caracteres chinos grandes por línea (es decir, 16 caracteres en total), o bien 16 caracteres ASCII grandes (es decir, 32 caracteres en total).

Es posible crear un teclado personalizado de hasta 15 botones (teclas) en distintos colores o fuentes que pueden disponerse sobre un fondo cualquiera.

Figura 61. Visualizadores de texto.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

4.8.3.1 Componentes: Los visualizadores de textos contienen los siguientes elementos:

- Display de textos.
- Puerto de comunicación: conector hembra D subminiatura de 9 pines
- Conector de corriente.
- El TD 200C, TD 200 y TD 400C disponen de un conector para utilizar una fuente de alimentación externa opcional. (Por lo general, el TD recibe tensión de la CPU S7200 a través del cable TD/CPU).
- Para el TD 100C no es posible utilizar una fuente de alimentación externa.

STEP 7-Micro/WIN provee herramientas para configurar los visualizadores de textos. Las siguientes herramientas sirven para programar fácilmente el S7-200 con objeto de visualizar avisos de texto y otros datos:

- El asistente del visualizador de textos permite configurar avisos para los TDs.
- La aplicación Keypad Designer sirve para configurar el teclado personalizado del TD 100C, TD 200C y TD400C. Keypad Designer incluye ejemplos y plantillas.

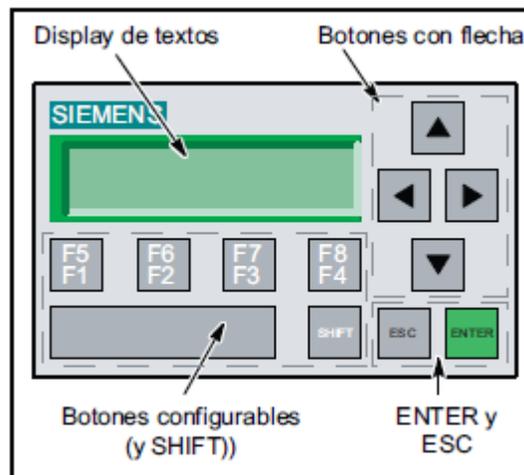
4.8.3.2 Funciones: El visualizador de textos sirve para realizar las siguientes tareas:

- Visualizar una jerarquía de menús personalizados y pantallas para que el operador pueda interactuar con la aplicación o el proceso.
- Visualizar alarmas (avisos activados por bits) creadas por la CPU S7-200.
- Modificar determinadas variables del programa.
- Forzar o desforzar entradas y salidas: es posible forzar o desforzar entradas y salidas individuales de la CPU S7-200 (sólo TD 200C, TD 200 y TD 400C).
- Ajustar la fecha y hora (si la CPU S7-200 soporta un reloj de tiempo real).
- Visualizar el estado de la CPU (incluida la información de la versión).

El TD 200C y TD 400C incorporan funciones adicionales para poder interactuar con la CPU S7-200:

- Cambiar el modo de operación (RUN o STOP) de la CPU S7-200.
- Cargar en un cartucho de memoria el programa de usuario contenido en la CPU S7-200.
- Acceder a los datos almacenados en la memoria de la CPU S7-200 y editarlos.

Figura 62. Frontal estándar TD 200C.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Botones con flecha:

- La flecha ARRIBA permite desplazarse hacia arriba por los elementos de menú o incrementa un valor editable.
- La flecha ABAJO permite desplazarse hacia abajo por los elementos de menú o decrementa un valor editable.
- Las flechas IZQUIERDA y DERECHA mueven el cursor hacia la izquierda o la derecha en un aviso (sólo en el TD 100C, TD 200C y TD400C). En el TD 200, utilice la combinación de teclas SHIFT+ABAJO y SHIFT+ARRIBA para desplazarse hacia la derecha e izquierda, respectivamente. ENTER también se puede utilizar para desplazarse hasta el siguiente aviso que contenga variables.

Para seleccionar un elemento de menú, utilice las flechas ARRIBA y ABAJO con objeto de desplazarse por la lista de elementos disponibles. El TD destaca el elemento de menú.

- Pulsando ENTER se selecciona el elemento destacado.
- Pulsando ESC se retorna al menú o a la pantalla anterior.

4.8.4. Programación: El S7--200 ejecuta continuamente el programa para controlar una tarea o un proceso. El programa se crea con STEP 7--Micro/WIN y se carga en el S7--200.

Existen diversos métodos para crear una solución de automatización con un Micro--PLC. Las reglas generales siguientes se pueden aplicar a numerosos proyectos. También se debe tener en cuenta las reglas de cada empresa y la experiencia propia.

Dividir el proceso o la máquina en secciones independientes. Estas secciones determinan los límites entre los diversos sistemas de automatización e influyen en las descripciones de las áreas de funciones y en la asignación de recursos.

Describir las funciones de cada sección del proceso o de la máquina. Considerar los siguientes aspectos: entradas y salidas, descripción de la operación, estados que deben alcanzarse antes de ejecutar funciones con cada uno de los actuadores

(electroválvulas, motores, accionamientos, etc.), descripción de la interfaz de operador y de las interfaces con otras secciones del proceso o de la máquina. Determinar qué aparatos requieren un cableado permanente por motivos de seguridad. Si fallan los sistemas de automatización, puede ocurrir un arranque inesperado o un cambio en el funcionamiento de las máquinas. En este caso, pueden producirse lesiones graves o daños materiales. Por tanto, es preciso utilizar dispositivos de protección contra sobrecargas electromecánicas que funcionen independientemente del S7--200, evitando así las condiciones inseguras. Para diseñar los circuitos de seguridad:

- Definir el funcionamiento erróneo o inesperado de los actuadores que pudieran causar peligros.
- Definir las condiciones que garanticen un funcionamiento seguro y determine cómo detectar esas condiciones, independientemente del S7--200.
- Definir cómo el S7--200 y los módulos de ampliación deben influir en el proceso cuando se conecte y desconecte la alimentación, así como al detectarse errores. Esta información se debe utilizar sólo para diseñar el funcionamiento normal y el funcionamiento anormal esperado, sin poderse aplicar para fines de seguridad.
- Prever dispositivos de parada de emergencia manual o de protección contra sobrecargas electromagnéticas que impidan un funcionamiento peligroso, independientemente del S7--200.
- Desde los circuitos independientes, proveer información de estado apropiada al S7—200 para que el programa y las interfaces de operador dispongan de los datos necesarios.
- Definir otros requisitos adicionales de seguridad para que el proceso se lleve a cabo de forma segura y fiable.

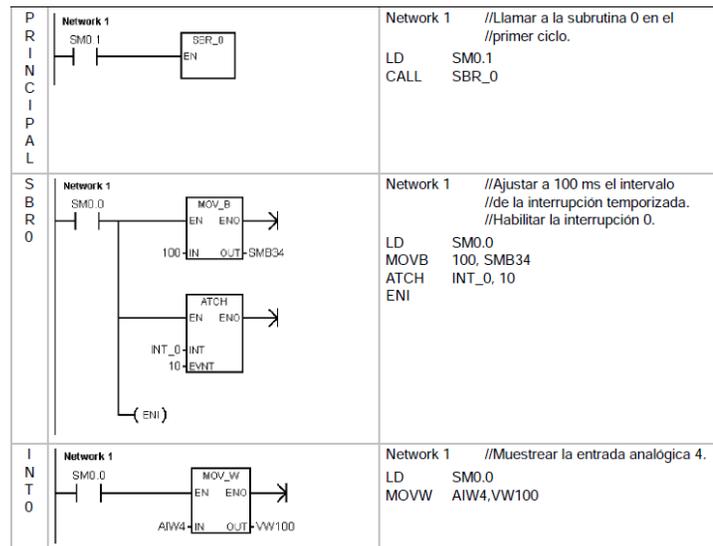
Conforme a las funciones exigidas, crear planos de las estaciones de operador considerando los aspectos siguientes:

- Panorámica de la ubicación de todas las estaciones de operador con respecto al proceso o máquina.
- Disposición mecánica de los componentes (pantalla, interruptores y lámparas) de la estación de operador.
- Esquemas eléctricos con las correspondientes E/S de la CPU S7--200 o del módulo de ampliación.

Si se desea utilizar nombres simbólicos para el direccionamiento, elaborar una lista de nombres simbólicos para las direcciones absolutas. Incluir no sólo las E/S físicas, sino también todos los demás elementos a utilizar en el programa.

Elementos básicos de un programa: Un bloque de programa se compone del código ejecutable y los comentarios. El código ejecutable comprende el programa principal, así como subrutinas y/o rutinas de interrupción (opcionales). El código se compila y se carga en el S7-200, a excepción de los comentarios del programa. Las unidades de organización (programa principal, subrutinas y rutinas de interrupción) sirven para estructurar el programa de control.

Figura 63. Programa ejemplo.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Programa principal: Esta parte del programa contiene las operaciones que controlan la aplicación. El S7-200 ejecuta estas operaciones en orden secuencial una vez por ciclo. El programa principal se denomina también OB1.

Subrutinas: Estos elementos opcionales del programa se ejecutan sólo cuando se llaman desde el programa principal, desde una rutina de interrupción, o bien desde otra subrutina. Las subrutinas son elementos opcionales del programa, adecuándose para funciones que se deban ejecutar repetidamente. Así, en vez de tener que escribir la lógica en cada posición del programa principal donde se deba ejecutar una función, basta con escribirla sólo una vez en una subrutina y llamar a la subrutina desde el programa principal cada vez que sea necesario. Las subrutinas tienen varias ventajas:

La utilización de subrutinas permite reducir el tamaño total del programa.

La utilización de subrutinas acorta el tiempo de ciclo, puesto que el código se ha extraído del programa principal. El S7--200 evalúa el código del programa principal en cada ciclo, sin importar si el código se ejecuta o no. Sin embargo, el S7--200 evalúa el código en la subrutina sólo si se llama a ésta. En cambio, no lo evalúa en los ciclos en los que no se llame a la subrutina.

La utilización de subrutinas crea códigos portátiles. Es posible aislar el código de una función en una subrutina y copiar ésta a otros programas sin necesidad de efectuar cambios o con sólo pocas modificaciones.

Rutinas de interrupción: Estos elementos opcionales del programa reaccionan a determinados eventos de interrupción. Las rutinas de interrupción se pueden programar para gestionar eventos de interrupción predefinidos. El S7--200 ejecuta una rutina de interrupción cuando ocurre el evento asociado.

El programa principal no llama a las rutinas de interrupción. Una rutina de interrupción se asocia a un evento de interrupción y el S7--200 ejecuta las operaciones contenidas en esa rutina sólo cada vez que ocurra el evento en cuestión.

STEP 7--Micro/WIN ofrece tres editores para crear programas: Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás.

Funciones del editor AWL: El editor AWL visualiza el programa textualmente. Permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. El editor AWL sirve para crear ciertos programas que, de otra forma, no se podrían programar con los editores KOP ni FUP. Ello se debe a que AWL es el lenguaje nativo del S7--200, a diferencia de los editores gráficos, sujetos a ciertas restricciones para poder dibujar los diagramas correctamente. Como muestra la figura 4.64, esta forma textual es muy similar a la programación en lenguaje ensamblador.

Figura 64. Programa de ejemplo AWL.

LD	I0.0	//Leer una entrada
A	I0.1	//AND con otra entrada
=	Q1.0	//Escribir el valor en la salida 1

Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

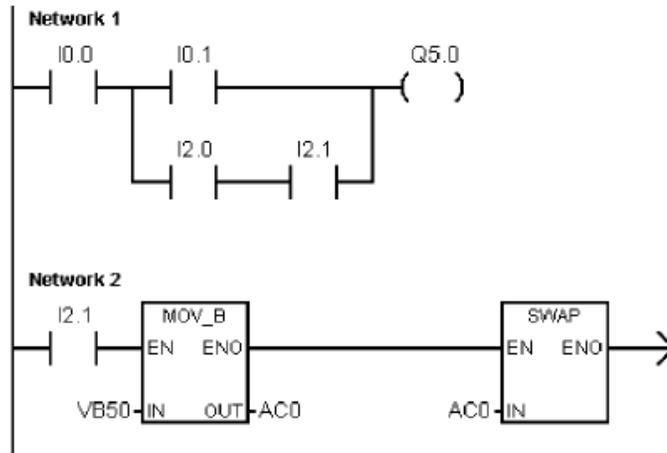
El S7--200 ejecuta cada operación en el orden determinado por el programa, de arriba a abajo, reiniciando después arriba.

AWL utiliza una pila lógica para resolver la lógica de control. El usuario inserta las operaciones AWL para procesar las operaciones de pila.

Funciones del editor KOP: El editor KOP visualiza el programa gráficamente, de forma similar a un esquema de circuitos. Los programas KOP hacen que el programa emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida. Los programas KOP incluyen una barra de alimentación izquierda que está energizada. Los contactos cerrados permiten que la corriente circule por ellos hasta el siguiente elemento, en tanto que los contactos abiertos bloquean el flujo de energía.

La lógica se divide en segmentos ("networks"). El programa se ejecuta un segmento tras otro, de izquierda a derecha y luego de arriba abajo. La figura 4.65 muestra un ejemplo de un programa KOP. Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas.

Figura 65. Programa de ejemplo KOP.



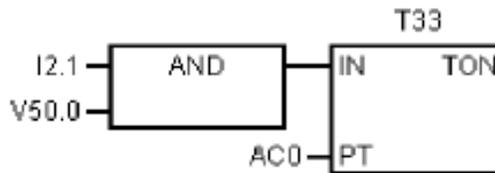
Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

Los contactos representan condiciones lógicas de entrada, tales como interruptores, botones o condiciones internas. Las bobinas representan condiciones lógicas de salida, tales como lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos o condiciones internas de salida.

Los cuadros representan operaciones adicionales, tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

Funciones del editor FUP: El editor FUP visualiza el programa gráficamente, de forma similar a los circuitos de puertas lógicas. En FUP no existen contactos ni bobinas como en el editor KOP, pero sí hay operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros.

Figura 66. Programa de ejemplo FUP.



Fuente: SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

El lenguaje de programación FUP no utiliza las barras de alimentación izquierda ni derecha. Sin embargo, el término “circulación de corriente” se utiliza para expresar el concepto análogo del flujo de señales por los bloques lógicos FUP.

La ruta “1” lógica por los elementos FUP se denomina circulación de corriente. El origen de una entrada de circulación de corriente y el destino de una salida de circulación de corriente se pueden asignar directamente a un operando.

La lógica del programa se deriva de las conexiones entre las operaciones de cuadro. Así pues, la salida de una operación (p. ej. un cuadro AND) se puede utilizar para habilitar otra operación (p. ej. un temporizador), con objeto de crear la lógica de control necesaria. Estas conexiones permiten solucionar numerosos problemas lógicos.

Auto sintonía PID: El algoritmo de auto sintonía utilizado en el S7-200 se basa en una técnica denominada “realimentación con relé”, propuesta por K. J. Åström y T. Hägglund en 1984. En los últimos 20 años, la realimentación con relé se ha utilizado en numerosos sectores de la industria.

La realimentación con relé consiste en provocar una oscilación pequeña pero mantenida en un proceso por lo demás estable. La frecuencia y la ganancia límites del proceso se determinan según el período de las oscilaciones y los cambios de amplitud observados en la variable de proceso. A continuación, utilizando dichos valores límite de la ganancia y de la frecuencia, el auto sintonizador PID propone los valores de sintonía de la ganancia, así como los de las acciones integral y derivativa.

Los valores propuestos dependen de la velocidad de respuesta del lazo seleccionada para el proceso. La respuesta puede ser rápida, media, lenta o muy lenta. Dependiendo del proceso, una respuesta rápida podría tener sobre impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía sobre amortiguada. Una respuesta media podría estar a punto de tener sobre impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía críticamente amortiguada. Una respuesta lenta podría no tener sobre impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía sobre amortiguada. Una respuesta muy lenta podría no tener sobre impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía altamente sobre amortiguada.

Además de proponer valores de sintonía, el auto sintonizador PID puede determinar automáticamente los valores de histéresis y de desviación de la variable de proceso. Estos parámetros se utilizan para reducir el efecto del ruido del proceso, limitando asimismo la amplitud de las oscilaciones mantenidas que ha ajustado el auto sintonizador PID.

El auto sintonizador PID puede determinar valores de sintonía propuestos para los lazos P, PI, PD y PID de actuación tanto directa como inversa.

El objetivo del auto sintonizador PID consiste en determinar un juego de parámetros de sintonía que ofrezcan una aproximación razonable a los valores óptimos del lazo. A partir de los valores de sintonía propuestos, el usuario puede efectuar la sintonización fina y optimizar realmente el proceso.

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE PROYECTO

La propuesta se basa en la adaptación, mejoramiento y aplicación de nuevas tecnologías, en pro de mejorar varios procesos de producción de la empresa. La finalidad del proyecto es poder controlar los consumos de energía y tiempo de la forma más eficaz y eficiente, mediante la implementación de un PLC, el cual controlara los sistemas de potencia y suministro de energía del horno, en los diferentes tratamientos térmicos que se realizan a los equipos en mantenimiento. Con esto se lograra una mejora en la calidad del producto final y una mayor satisfacción del cliente.

5.2 MÉTODO

El método utilizado para la realización de este proyecto está basado en el análisis y deducción. Lo anterior se realiza mediante la observación detallada, del modo de operación que se lleva a cabo en los hornos eléctricos, analizando las variables que intervienen en la labor y en el cómo poder medirlas, compararlas y controlarlas, para lograr con esto una mayor eficiencia en el proceso térmico, la utilización de energía eléctrica y el tiempo de duración de cada actividad. Con base en lo anterior se aplican las mejoras tecnológicas requeridas, que nos proveen la industria del control y automatización.

Después de identificar las condiciones a las cuales se les debía mejorar e identificar las variables a controlar, se procedió al análisis y planeación. En este punto se investigo toda la teoría acerca de dispositivos de control de potencia, resistencias térmicas, controladores lógicos de programación y demás dispositivos electromecánicos que se debían tener en cuenta, al momento del diseño y montaje del tablero de control.

Teniendo en cuenta lo hecho anteriormente, se procedió a calcular los tiempos de duración con los cuales se pondrían en funcionamiento, los diferentes procesos térmicos que se realizan en los hornos eléctricos, esto con el fin de asegurar el cumplimiento de las características pedidas en los protocolos de mantenimiento de cada equipo, al cual se le ha aplicado la intervención de mejora y corrección.

Se realizó un estudio acerca de cuáles marcas y tipos de PLC serían los mejores para implementar en el proyecto, teniendo en cuenta las funciones que se utilizarían, las capacidades de cada modelo y las posibles mejoras que se puedan llegar a aplicar en el futuro.

5.3 FUENTES PRIMARIAS

La principal fuente de información para este proyecto fueron los dos hornos eléctricos de la empresa Sytecsa S.A., los cuales nos permitieron realizar una detallada observación de los procesos en los cuales se utilizan, también se estudió y se consultó acerca del equipo a mejorar, esto con la colaboración de todo el personal encargado de operar continuamente los hornos eléctricos, lo anterior fue una valiosa ayuda a la hora del diseño y montaje final del proyecto.

5.4 FUENTES SECUNDARIAS

La complementación en información se obtuvo acudiendo a la bibliografía disponible relacionada con el tema tratado, también se consultaron revistas especializadas, catálogos de equipos, manuales de operación de cada una de las partes que integran el montaje, documentación en PLC, tesis y páginas de internet con material de gran calidad para el proyecto.

5.5 TÉCNICAS DE MEDICIÓN

En la ejecución del proyecto se utilizaron equipos de medición tales como: pinza amperimétrica, multímetro, flexómetro, calculadora, cronómetro y herramientas de montaje como destornilladores, pinzas, alicates, cautín, limas, taladro, cortafrío y demás implementos de montaje en general. Previamente se determinaron las dimensiones del tablero de control, las magnitudes de corriente y calibre del cableado a utilizar, la distribución de cada una de las partes en el interior del tablero, también se midieron los tiempos durante los cuales debían estar en activación los relés de estado sólido. Con todo lo anterior integrado se procedió a realizar varias simulaciones con la finalidad de poner el equipo en adecuadas condiciones de uso, teniendo en cuenta la experiencia de todo el personal a cargo de operar el sistema.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

Cada uno de los dos hornos eléctricos está conformado por una estructura de 150 cm de alto x 172 cm de ancho x 222 cm de largo. Cada pared de los hornos tiene un grosor de 7 cm. Ambos poseen dos puertas de acceso en la parte frontal, cada una de 86 cm de ancho.

Se cuenta con un sistema de circulación de aire caliente, consistente en un viaducto que va de la parte posterior del horno, a la parte superior. La circulación del aire se realiza mediante un ventilador de 220 VDC, que gira a 3450 RPM y que está ubicado en la parte superior del horno.

En el interior de los hornos están distribuidas 26 resistencias eléctricas tubulares, las cuales están divididas en tres grupos. Dos grupos están conformados cada uno, por 9 resistencias eléctricas conectadas en paralelo y el otro grupo lo forman 8 resistencias eléctricas, también conectadas en paralelo. Cada resistencia eléctrica tubular tiene una longitud de 100 cm.

Los grupos de resistencias eléctricas tubulares están ubicados en las paredes laterales y en la parte posterior de los hornos. Esto con el fin de proporcionar una mayor zona de influencia térmica en los procesos.

Imagen 1. Interior del horno.



Fuente: El autor

La parte delantera de los hornos está dividida en dos puertas de iguales dimensiones. Lo anterior facilita el ingreso de equipos pesados y robustos a los cuales se les aplicaran los tratamientos térmicos requeridos.

Cada horno eléctrico tiene su propio tablero de control, ambos fueron diseñados y montados de forma similar, por lo tanto se especificaran, como uno solo, cada uno de sus componentes.

El sistema de potencia está formado por un interruptor termomagnético trifásico, tres relés de estado sólido marca CRYDOM HD4875, cada uno de los cuales controla un grupo de resistencias eléctricas. Los relés están montados en una placa disipadora de calor.

Imagen 2. SSR.



Fuente: El autor

Las conexiones entre el interruptor trifásico y los relés de estado sólido se hacen en una bornera de riel DIN, en la cual están ubicados los puntos comunes de cada fase de potencia.

Imagen 3. Bornera.



Fuente: El autor

El cableado de potencia se realiza con cable siliconado SF2-10 AWG para 600 V. Este cable también va al interior del horno, para la conexión de cada grupo de resistencias eléctricas.

Imagen 4. Cableado.



Fuente: El autor

Por fuera del tablero de control, se encuentra ubicado un piloto que se activara al momento en el que falle alguna de las fases de potencia.

Respecto al sistema de medición y control, se cuenta con dos PT100 en el interior de cada horno. Una está ubicada en la salida del aire caliente y la otra en contacto directo con la pieza a la cual se le efectúa el trabajo.

Imagen 5. PT100 aire.



Fuente: El autor

Imagen 6. PT100 pieza.

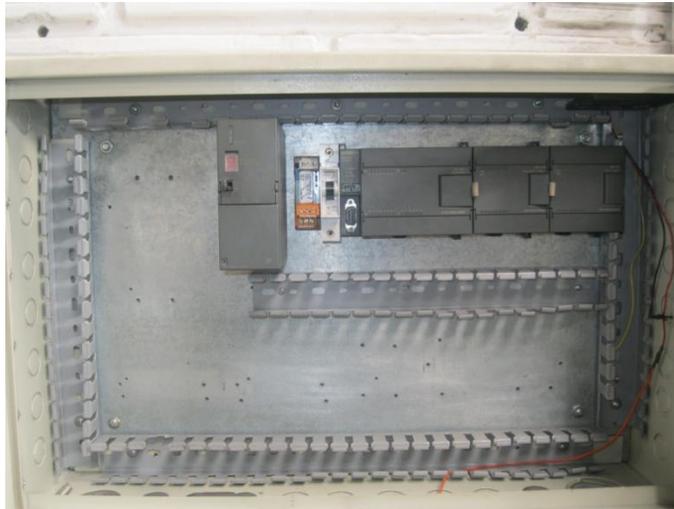


Fuente: El autor

En el tablero de control están ubicados dos convertidores de temperatura, SITRANS TH100, los cuales reciben las señales de las PT100 en el interior del horno eléctrico.

El sistema del PLC está conformado por cuatro módulos marca SIEMENS, serie S7-200; consisten en una fuente de voltaje PS 307, que proporciona una salida DC24V/2A; una CPU 224 con 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y un puerto COM; un módulo de ampliación analógico de 4 entradas EM 231 y por último un módulo EM 235 de 4 entradas analógicas y una salida analógica.

Imagen 7. Módulos PLC.



Fuente: El autor

Se cuenta con un visualizador de textos SIEMENS serie SIMATIC S7 TD 200C, el cual permite la interacción entre el usuario y el sistema. Para el inicio o paro de cada proceso están dos pulsadores TELEMECANIQUE serie ZBE-101.

Imagen 8. Visualizador TD 200C.



Fuente: El autor

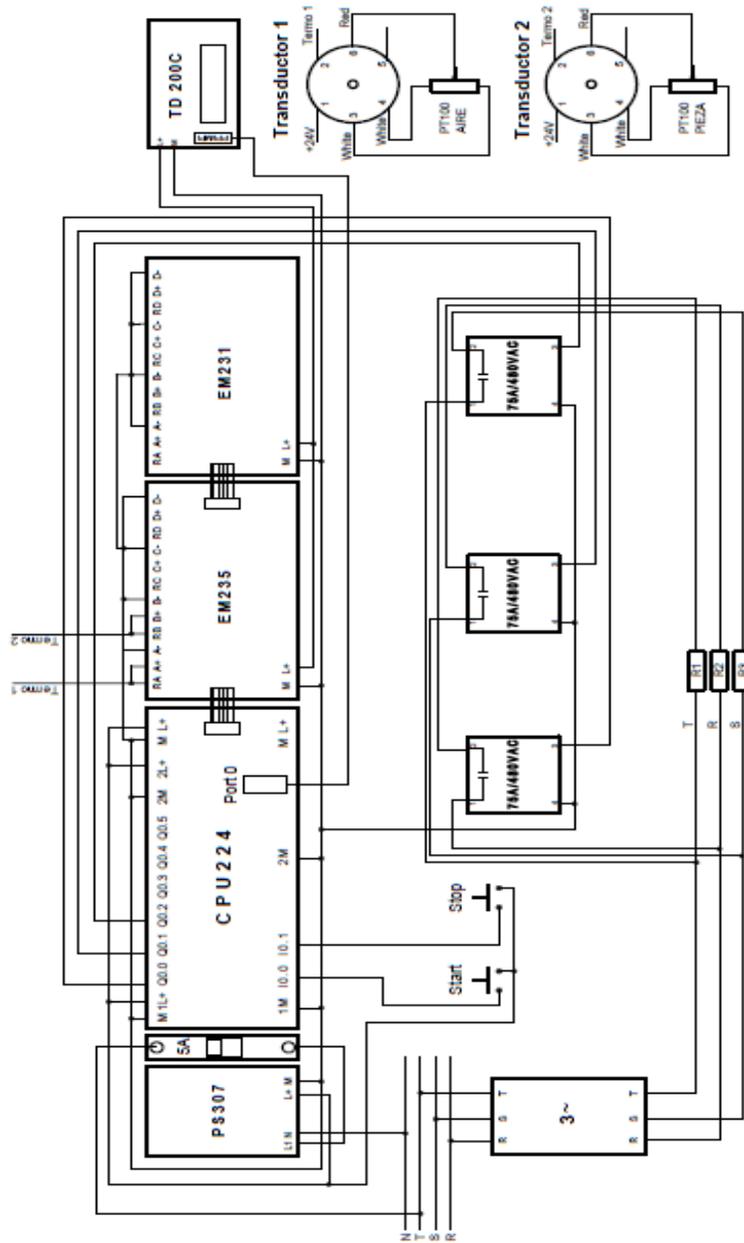
Para reducir la temperatura de los equipos en el del tablero de control, se han instalado dos ventiladores de 24 VDC, estos permiten la circulación del aire en su interior.

Imagen 9. Tablero de control.



Fuente: El autor

Figura 67. Diagrama del tablero de control.



Fuente: El autor.

TABLERO DE CONTROL

HORNO

6.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Con la implementación del sistema de control y medición, se hace necesario crear un protocolo de seguridad para la utilización de los hornos eléctricos, con el fin de permitir que las personas encargadas de la labor, puedan operar de forma ágil y segura las nuevas tecnologías.

Los pasos a seguir serian:

- Verificar que el horno este a temperatura ambiente.
- Verificar que no esté en ejecución ningún programa de control térmico.
- Introducir en el interior del horno las piezas a intervenir.
- Colocar la PT100, en contacto directo con la pieza.
- Cerrar correctamente el horno.
- Habilitar la potencia del tablero de control.
- Encender módulos de PLC.
- En el visualizador de textos, escoger la rutina a utilizar.
- Activar el pulsador de inicio.
- Luego de terminado el proceso, abatir el termo magnético trifásico.

En el visualizador de texto TD 200C, se puede leer la información necesaria para iniciar el proceso, esta sería la temperatura del aire dentro del horno, la temperatura de la pieza, el programa que se desea ejecutar y el tiempo en minutos que durara todo el proceso.

El proceso para los rotores consiste en empezar a una temperatura de 50°C, durante una hora, luego se sube 10°C y se deja de nuevo por una hora, así hasta llegar a los 110°C, donde se mantendrá la temperatura por 12 horas, al finalizar se dejara enfriar la pieza de forma natural.

Para los estatores se ejecuta un programa de 6 horas a 130°C. Con las coronas se programa un tiempo de 3 horas a 200°C. Los ejes se programaron a 200°C durante 6 horas.

Sin embargo hay ciertas actividades que requieren una programación manual, pues no son realizadas constantemente, por lo tanto se debe recurrir a una rutina

de procesos manuales, en la cual se pueden configurar la temperatura y el tiempo en el cual se requieren ejecutar las labores.

Escogida ya la rutina a utilizar, se acciona el pulsador de inicio, con lo cual se visualiza el tiempo del proceso y la temperatura del aire y la pieza. También está el pulsador de paro, esto por si se debe parar en cualquier momento alguno de los procesos.

La PT100 que está en contacto con la pieza, tiene un modo de conexión de 3 hilos, con lo cual se da una medición más precisa de la temperatura. Este sensor envía una señal a los convertidores de temperatura SITRANS TH 100, en las conexiones 3, 4 y 5.

Los convertidores reciben la variación de resistencia de la PT 100 y la convierten a señales que varían de 4 a 20 mA. Esto mismo sucede con la PT100 que sensa la temperatura dentro del horno.

Las señales generadas por los dos convertidores de temperatura, son enviadas al modulo EM 235, a las entradas RA, A+, para la medición de la pieza y RB, B+, para la medición del aire.

Los módulos de ampliación analógica EM 235 y EM 231, están comunicados con la CPU 224 y le proporcionan los datos necesarios para que esta ejecute el programa con el cual está cargada. Este programa está basado en un algoritmo PID (proporcional integral derivativo), con lo cual se administran los tres relés de estado sólido.

La CPU 224, envía señales de control por las salidas Q0.0, Q0.1 y Q0.2, hacia las borneras de entrada positiva, de cada uno de los relés.

Cada relé habilitara el paso del voltaje hacia los grupos de resistencias eléctricas, estas generaran el calor necesario, para poder alcanzar la temperatura deseada durante el tiempo estipulado. Todo esto bajo el control en todo momento del PLC S7-200.

Al finalizar cada proceso, se da un enfriamiento natural de las piezas tratadas y se extraen del horno cuando estén a una temperatura ambiente.

Imagen 10. Rotores de tracción en el horno.



Fuente: El autor

7. CONCLUSIONES

Al momento de afrontar un proceso de automatización, se debe elegir de manera inteligente, las nuevas tecnologías a implementar.

La experiencia técnica y teórica, obtenida en el transcurso del estudio de la tecnología, fue fundamental a la hora de poder identificar, analizar y aplicar todas las distintas etapas que se dieron en el desarrollo del proyecto.

Se logro comprender el inmenso campo de aplicación que hay para los diferentes tipos de PLC existentes. Teniendo en cuenta que para cada proceso de automatización y control se pueden llegar a utilizar diferentes series o marcas, las cuales logran el objetivo final utilizando variadas configuraciones.

Fue muy importante el haber tenido en cuenta, la experiencia y capacidad de las personas que están encargadas, de realizar las actividades que involucran a los hornos eléctricos. Sus aportes técnicos, permitieron enfatizar cada una de las variables que generaban problemas de control de potencia y aprovechamiento del tiempo, en los tratamientos térmicos efectuados en la empresa.

Al lograr compilar toda la información acerca de la automatización de los procesos industriales, se genero una cultura de investigación que permitió crear nuevas ideas y conceptos en otras áreas de producción de la empresa.

La utilización de sistemas compatibles de medición y visualización de información, permitió diseñar un sistema de control funcional y versátil, con el cual se pueden supervisar de manera ágil y segura, los procesos térmicos realizados en los hornos eléctricos.

La programación del PLC S7-200, usando un algoritmo PID, es un ejemplo de las posibilidades que existen de poder generar sistemas inteligentes, aplicados al sector de producción en nuestra región.

Se obtuvo una gran capacidad de implementar nuevos sistemas tecnológicos, adaptados a las necesidades específicas de cada sector, en el cual se realizan labores de mantenimiento a equipos que requieren una intervención de alta calidad técnica y logística.

8. RECOMENDACIONES

El nuevo sistema de control requiere de un apropiado cuidado e inspección, que garantice el buen funcionamiento de todos sus componentes en los momentos de ejecutar las labores.

El personal encargado de operar los equipos, deberá estar en capacidad de inspeccionar y diagnosticar, cada elemento que interviene en el conjunto principal del control de los hornos eléctricos. Esto con el fin de evitar acudir a personal externo a la empresa, para realizar un mantenimiento periódico.

Se deberá crear un protocolo de mantenimiento preventivo y correctivo, en el cual se especifiquen los puntos críticos a los cuales, se les deberá prestar mayor atención al momento de realizar una revisión rutinaria. Con esto se pretenden reducir los tiempos de parada del sistema y también reducir al mínimo los retrasos en la producción de la empresa.

Es aconsejable infundir un sentido de pertenencia en los operarios, con el objetivo de que estos manipulen todos los componentes del tablero de control, de una forma responsable y cuidadosa, pues con esto se lograría una alta calidad en la entrega final del producto a los clientes.

En caso de presentarse alguna falla en el nuevo sistema de control, será pertinente generar un reporte en el cual se especificaran las causas del error. El objetivo de esto, será el de lograr aplicar la respectiva corrección y el poder ir mejorando día a día la capacidad de producción de la reforma tecnológica.

BIBLIOGRAFIA

ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.

ARIAN Control & Instrumentación. Que son y cómo funcionan las termocuplas?

ASTIGARRAGA, José Luís. Hornos Industriales de resistencia eléctrica. 6 ed. España: Mc Graw Hill, 1999. 208p.

Catalogo OPTEC.

Catalogo unidades de mando y señalización TELEMECANIQUE.

CRYDOM. Hoja de datos series HA/HD48.

OMRON ELECTRONICS. Guía rápida de relés de estado sólido.

SIEMENS. S7-200 SIMATIC. Manual del usuario de visualizador de textos.

SIEMENS. SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200.

SIEMENS. SITRANS TH100. Instrucciones de servicio del transmisor de temperatura para montaje en cabezal.

CIBERGRAFIA

<http://www.siemens.com/automation/service&support>

<http://www.siemens.com/S7--200>

<http://archivo.abc.com.py/2006-05-16/articulos/252337/tecnologia-de-los-pulsadores-e-interruptores>

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.HornosRESISTENCIAS.1B.ppt>

<http://www.dpfsensors.es>