

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SENSORES Y
ACCIONADORES EN EL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES.
APLICACIÓN PRÁCTICA”.**

**PRESENTADO POR:
LUCAS GILBERTO ALAS RAMOS**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2005

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL:

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :

Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

Ing. Juan Antonio Flores Díaz

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
Ingeniero Mecánico**

Título :

**“ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SENSORES Y
ACCIONADORES EN EL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES.
APLICACIÓN PRÁCTICA”.**

Presentado por :

Lucas Gilberto Alas Ramos

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director:

Ing. Francisco Alfredo De León Torres

San Salvador, Febrero de 2005

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

Ing. Francisco Alfredo De León Torres

DEDICATORIA.

Con la aprobación de este Trabajo de Graduación, finaliza una etapa más de mi vida, y son mis más sinceros deseos dedicar este trabajo a **DIOS**, por proporcionarme la sabiduría necesaria para finalizar la carrera, iluminar mi camino y convertirme en un profesional. Y a **MI FAMILIA**, por apoyarme y darme ánimos de continuar hasta lograr el objetivo propuesto.

Lucas Gilberto Alas Ramos.

AGRADECIMIENTOS.

La realización de este Trabajo de Graduación fué posible gracias a las siguientes personas, a quienes expreso mis más sinceros agradecimientos.

D. Rafael Jiménez Castañeda, Coordinador del Programa de Intercambio y Movilidad Académica, PIMA, Universidad de Cádiz, UCA, España, e Ing. Ricardo Siliezar, Coordinador del Programa de Intercambio y Movilidad Académica, PIMA, Universidad de El Salvador, UES, El Salvador. Gracias por aceptarme en el programa, y darme la oportunidad de realizar el Trabajo de Graduación en la Universidad de Cádiz.

D. Eduardo A. Romero Bruzón, Gracias por su valioso tiempo y su valiosa y desinteresada ayuda que me proporcionó para realizar el presente Trabajo de Graduación.

Ing. Joaquín Orlando Machuca, Ing. Mario Roberto Nieto Lovo, Ing. Francisco Alarcón, Ing. Juan Antonio Flores Díaz, Ing. Rigoberto Velásquez Paz, Ing. Francisco De León. Gracias por permitirme participar en el Programa de Intercambio y Movilidad Académica, PIMA.

Agradecimientos especiales a Ing. Luis Humberto Guidos, Ing. Leyla Marina Jiménez, Anna Fiore, D. Francisco Moreno, Ing. José Francisco Zuleta, compañeros y amigos de la SEIM, docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, EIM y Sra. Teresa Lourdes Luna. Gracias por su valiosa ayuda, por apoyarme y confiar en mí.

Lucas Gilberto Alas Ramos.

ÍNDICE GENERAL

	Página.
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xi
Objetivos	xiii
Alcances	xiv
Introducción	xv
CAPÍTULO 1.	
GENERALIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.	1
1.1 Objetivos de la automatización	1
1.2 Clasificación de la automatización	1
1.3 Grado de automatización	4
1.4 Principios de los sistemas automatizados	5
1.5 Partes principales de un sistema automatizado	5
1.6 Conceptos generales de los sensores	7
1.6.1 Estructura de un sensor o transductor	7
1.6.2 Clasificación de los sensores	8
1.6.2.1 Clasificaciones según el tipo de señal de salida	8
1.6.2.2 Clasificación según la magnitud física a detectar	9
1.6.3 Características generales de los sensores	10
1.6.3.1 Características estáticas	11
1.6.3.2 Características dinámicas	13
1.7 Accionadores	14
1.7.1 Comparación de los tres tipos de accionadores	16

CAPÍTULO 2.

SENSORES DE POSICIÓN.	17
2.1 Detectores de proximidad	17
2.1.1 Clasificación de los sensores de proximidad	18
2.1.1.1 Clasificación según el tipo de salida	18
2.1.1.2 Clasificación según el tipo de conexión	19
2.1.1.3 Clasificación según el tipo de captador	19
2.1.2 Interruptores de final de carrera electromecánicos	20
2.1.2.1 Funcionamiento y configuración	20
2.1.2.2 Aplicaciones	22
2.1.3 Detectores inductivos	24
2.1.3.1 Frecuencia de conmutación	26
2.1.4 Detectores capacitivos	26
2.1.5 Detectores ópticos (fotoeléctricos)	28
2.1.5.1 Conceptos y componentes básicos	29
2.1.5.2 Margen	31
2.1.5.3 Modulación del led	32
2.1.5.4 Detección síncrona	33
2.1.5.5 Modos de detección fotoeléctrica	33
2.1.5.5.1 Haz transmitido	36
2.1.5.5.2 Retroreflectivo	37
2.1.5.5.3 Difusa	40
2.1.5.6 Fibra óptica	44
2.1.5.6.1 Cables ópticos de fibra de vidrio	44
2.1.5.6.2 Cables ópticos de fibra de plástico	45
2.1.5.7 Detección de objetos transparentes	47
2.1.5.8 Especificaciones de los sensores fotoeléctricos	48
2.1.5.8.1 Operación de la salida por luz / oscuridad	48
2.1.5.8.2 Distancia máxima de detección	49
2.1.5.8.3 Distancia mínima de detección	49
2.1.5.8.4 Curva de respuesta típica	49

2.1.5.8.5 Tiempo de respuesta	50
2.1.5.8.6 Campo de visión	50
2.1.5.8.7 Contorno del haz	51
2.1.5.8.8 Histéresis	53
2.1.5.9 Alineamiento de un sensor fotoeléctrico	53
2.1.5.9.1 Retrorreflectivos o retrorreflectivos polarizados	53
2.1.5.9.2 Difuso	54
2.1.5.9.3 Haz transmitido	54
2.1.5.10 Dispositivos de salida	54
2.1.5.11 Temporización	57
2.1.5.11.1 Temporizador a la conexión y temporizador a la desconexión	58
2.1.5.12 Aplicaciones de los sensores fotoeléctricos	58
2.1.6 Detectores ultrasónicos	59
2.1.6.1 Ventajas de la detección por ultrasonido	60
2.1.6.2 Funcionamiento	60
2.2 Sensores medidores de posición ó distancia	62
2.2.1 Potenciómetros	63
2.2.2 Encoders	66
2.2.2.1 Encoders incrementales o relativos	67
2.2.2.2 Encoders absolutos	69
2.2.2.3 Aplicaciones	71
2.2.3 Síncros y resolvers	72
2.2.4 Inductosyn	76
2.2.5 Sensores láser	77
2.2.6 Sensores ultrasónicos	79
2.3 Sensores medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones	80
2.3.1 Transformadores diferenciales	80
2.3.2 Galgas extensiométricas	82

CAPÍTULO 3.

SENSORES DE TEMPERATURA.	86
3.1 Termostatos	86
3.2 Termorresistencias	87
3.2.1 Detectores de temperatura resistivos, RTD	87
3.2.2 Termistores	89
3.3 Termopares	91
3.3.1 Tipos de termopares disponibles en el mercado	91
3.3.2 Diseño de los termopares	95
3.3.3 Vainas y tubos de protección	96
3.3.4 Respuesta térmica	96
3.3.5 Tubos de protección cerámicos	98
3.4 Pirómetros	98
3.4.1 Pirómetros de radiación	99
3.4.1.1 Estructura de los pirómetros de radiación	99
3.4.2 Pirómetros ópticos	102
3.4.2.1 Estructura de los pirómetros ópticos	102
3.5 Ventajas y desventajas de los sensores de medición de temperatura	104
3.6 Aplicaciones de los sensores de temperatura	105

CAPÍTULO 4.

ACCIONADORES.	106
4.1 Accionadores eléctricos	106
4.1.1 Motores de corriente alterna	106
4.1.1.1 Motores sincrónicos	106
4.1.1.1.1 Principios básicos de operación	107
4.1.1.1.2 Construcción de motores sincrónicos	107
4.1.1.2 Motores de Inducción	108
4.1.1.2.1 Clases de diseño de motores de inducción	110
4.1.1.3 Motores monofásicos	112

4.1.1.3.1 Motor universal	113
4.1.1.3.2 Motores de inducción monofásicos	113
4.1.1.3.2.1 Clasificación de los motores de inducción monofásicos	114
4.1.2 Motores de corriente directa	119
4.1.2.1 Tipos de motores de DC	120
4.2 Elementos motores de accionamiento hidráulico	126
4.2.1 Cilindros hidráulicos	126
4.2.1.1 Cilindros de simple efecto	126
4.2.1.2 Cilindros de doble efecto	127
4.2.2 Motores hidráulicos	129
4.3 Elementos motores de accionamiento neumático	130
4.3.1 Motores neumáticos	130
4.3.1.1 Motor de aletas rotativas	131
4.3.1.2 Motor de pistones	132
4.3.2 Cilindros neumáticos	133
4.4 Electroválvulas	134
4.4.1 Tipos de electroválvulas y modo de funcionamiento	135
4.4.1.1 Electroválvula de 3/2 vías controlada directamente	136
4.4.1.2 Electroválvula distribuidora pilotada	137
4.4.1.3 Electroválvula 4/2 vías	139
4.4.1.4 Electroválvula neumática pilotada de 5/2 vías de doble bobina	140
4.4.2 Tipos de electroválvulas y datos característicos	141
CAPÍTULO 5.	
ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE LOS SENSORES	147
5.1 Interfaces de entradas / salidas	147
5.2 Entradas / salidas digitales	148
5.2.1 Entradas digitales	149
5.2.2 Salidas digitales	150
5.3 Entradas / salidas analógicas	151
5.3.1 Convertidor D/A	152

5.3.2 Conversión A/D	152
5.3.3 Interfaces para entradas analógicas	153
5.3.4 Interfaces para salidas analógicas	157
CAPÍTULO 6.	
SELECCIÓN DE SENSORES Y ACCIONADORES	159
6.1 Selección de sensores	159
6.1.1 Selección de sensores de proximidad	160
6.1.1.1 Interruptores de final de carrera electromecánicos	162
6.1.1.2 Detectores inductivos	162
6.1.1.3 Detectores capacitivos	163
6.1.1.4 Detectores ópticos (fotoeléctricos)	164
6.1.1.5 Detectores ultrasónicos	165
6.1.1.6 Proveedores	165
6.1.2 Selección de sensores medidores de posición ó distancia	169
6.1.2.1 Potenciómetros	171
6.1.2.2 Encoders	172
6.1.2.3 Sincros y resolvers	172
6.1.2.4 Sensores láser	173
6.1.2.5 Proveedores	174
6.1.3 Selección de sensores medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones	180
6.1.3.1 Transformadores diferenciales (LVDT ó RVDT)	180
6.1.3.1.1 Proveedores	181
6.1.3.2 Galgas extensiométricas	183
6.1.4 Selección de sensores de temperatura	183
6.1.4.1 Proveedores	185
6.2 Selección de Accionadores	188
6.2.1 Selección de accionadores eléctricos	190
6.2.2 Selección de elementos motores de accionamiento hidráulico y neumático	191

6.2.2.1 Selección de cilindros hidráulicos y neumáticos	191
6.2.2.2 Selección de motores hidráulicos y neumáticos	192
6.2.3 Proveedores	192
CAPÍTULO 7.	
APLICACIÓN DE LOS SENSORES Y ACCIONADORES: “CONTROL DE TEMPERATURA”	197
7.1 Elementos a usar	198
7.1.1 Características del ordenador	199
7.1.2 Introducción a Lab View	200
7.1.3 Tarjeta de adquisición de datos, TAD	202
7.1.3.1 Consideraciones generales sobre las TAD	202
7.1.3.2 Diagrama de bloques general de una TAD	205
7.1.3.3 Especificaciones técnicas de la TAD utilizada en la aplicación	206
7.1.4 Termorresistencia de platino, Pt 100	207
7.1.5 Controlador de temperatura, controlador PID	210
7.1.5.1 Funcionamiento de un controlador PID	210
7.1.5.2 Características del controlador a utilizar	211
7.1.6 Fuente de alimentación y elemento resistivo	212
7.2 Desarrollo de la aplicación en Lab View	212
7.3 Presupuesto	217
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	218
ANEXOS	222
ANEXO I: Especificaciones del ordenador	223
ANEXO II: Especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos	224
ANEXO III: Especificaciones del linealizador de sensores de temperatura	239
ANEXO IV: Especificaciones del controlador de temperatura	242
ANEXO V: Especificaciones de la fuente de alimentación	245

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Fig. 1. Relación de la automatización fija, automatización programable y automatización flexible como una función del volumen de producción y de la diversidad del producto	3
Fig. 2. Estructura genérica de un transductor	7
Fig. 3. Formas de conexión de sensores de proximidad	19
Fig. 4. Tipos de palanca de operación. Tipo rodillo (izq.) y tipo vástago (derecha)	23
Fig. 5. Estructura del sensor inductivo	24
Fig. 6. Diagrama de bloques y detalle del núcleo captador de los sensores de proximidad inductivos	25
Fig. 7. Estructura del sensor capacitivo	26
Fig. 8. LED diodo emisor de luz	29
Fig. 9. Respuesta espectral	30
Fig. 10. Lentes	31
Fig. 11. Modulación	32
Fig. 12. Detección de haz transmitido	36
Fig. 13. Haz efectivo	36
Fig. 14. Haz efectivo con aberturas	36
Fig. 15. Detección retrorreflectiva	37
Fig. 16. Materiales retrorreflectivos	37
Fig. 17. Detección retrorreflectiva polarizada	39
Fig. 18. Detección difusa	40
Fig. 19. Detección de objetos cerca de fondo reflectivo	42
Fig. 20. Difusa gran angular	43
Fig. 21. Cables de fibra óptica	46
Fig. 22. Área ciega	49
Fig. 23. Margen	50
Fig. 24. Campo de visión respecto a distancia	51
Fig. 25. Histéresis	53

Fig 26. Sensores ópticos con salida analógica	57
Fig. 27. Partes de una onda sonora	60
Fig 28. Funcionamiento del sensor ultrasónico	61
Fig. 29. Haz sónico directo	62
Fig. 30. Potenciómetro	63
Fig. 31. Respuesta de un potenciómetro lineal	64
Fig. 32. Potenciómetro lineal	65
Fig. 33. Encoder incremental	67
Fig. 34. Discriminador de posición y sentido de giro	68
Fig. 35. Encoder absoluto	69
Fig. 36. Estructura interna de un encoder absoluto	70
Fig. 37. Principio de funcionamiento de un sincro	73
Fig. 38. Par de sincros transmisor y receptor (eje eléctrico)	74
Fig. 39. Esquema de un resolver	75
Fig. 40. Principio de funcionamiento de un inductosyn	76
Fig. 41. Interferómetro láser	78
Fig. 42. Sensor láser basado en el principio de triangulación óptica	78
Fig. 43. Diagrama de bloques de un sistema ultrasónico	80
Fig. 44. Transformador diferencial lineal	81
Fig. 45. Transformador diferencial rotativo	82
Fig. 46. Galga extensiométrica de hilo	83
Fig. 47. Pirómetro de radiación	100
Fig. 48. Estructura de un pirómetro óptico	102
Fig. 49. Rotor de jaula de ardilla	109
Fig. 50. Rotor devanado típico, para motor de inducción	109
Fig. 51. Curvas características típicas para diferentes diseños de rotores	110
Fig. 52. Motor de fase dividida	114
Fig. 53. Curva característica par – velocidad resultante	115
Fig. 54. Motor con capacitor de arranque	116
Fig. 55. Curva característica de un motor de inducción con arranque por capacitor	116
Fig. 56. Motor con capacitor de división permanente	117

Fig. 57. Curva característica de un motor de división permanente	118
Fig. 58. Motor de polo sombreado	118
Fig. 59. Curva Característica par – velocidad resultante	119
Fig. 60. Curva de respuesta de un motor de DC bobinado en derivación	120
Fig. 61. Curva de rendimiento de un motor DC bobinado en serie	121
Fig. 62. Curva de rendimiento de un motor de DC con bobinado compuesto	122
Fig. 63. Curva de rendimiento de un motor DC de imán permanente	122
Fig. 64. Motor paso a paso de reluctancia variable	124
Fig. 65. Motor paso a paso de imanes permanentes	125
Fig. 66. Cilindro de simple efecto	126
Fig. 67. Cilindro de doble efecto	127
Fig. 68. Despiece de motor neumático de aletas rotativas	131
Fig. 69. Sección de un motor neumático de pistón axial	133
Fig. 70. Sección de un pistón neumático de pistón radial	133
Fig. 71. Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual (normalmente cerrada)	137
Fig. 72. Electroválvula pilotada de 3/2 vías (normalmente cerrada con acc. manual)	138
Fig. 73. Electroválvula de 5/2vías pilotada neumáticamente, y retorno por resorte	139
Fig. 74. Electroválvula de 4/2 vías pilotada	139
Fig. 75. Electroválvula hidráulica 4/3 vías, de doble solenoide	140
Fig. 76. Electroválvula neumática pilotada de 5/2 vías de doble bobina	141
Fig. 77. Interfaz de entradas analógicas	153
Fig. 78. Sistema de control de temperatura	198
Fig. 79. Panel frontal	200
Fig. 80 Diagrama de bloques	201
Fig. 81. Étape de entrada general de una TAD	205
Fig. 82. Proceso bajo control PID	210
Fig. 83. Panel frontal	213
Fig. 84. Diagrama de bloques	213
Fig. 85a. Diagrama de conexión del linealizador	215
Fig. 85b. Diagrama de conexión del sensor de temperatura al bloque conector	215
Fig. 85c. Diagrama de conexiones en el controlador PID	216

ÍNDICE DE TABLAS.

	Página.
Tabla 1. Transductores de diversas magnitudes físicas	9
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los accionadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos	15
Tabla 3. Características típicas de los accionadores	16
Tabla 4. Configuración de interruptores de final de carrera electromecánicos	21
Tabla 5. Ventajas y aplicaciones de los modos de detección fotoeléctrica	34
Tabla 6. Valores de reflectividad para diferentes objetos	41
Tabla 7. Comparación de cables de fibra óptica	47
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de salida digital	55
Tabla 9. Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintos termopares	92
Tabla 10. Características de los sensores de temperatura	104
Tabla 11. Aplicaciones de los sensores de temperatura	105
Tabla 12. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas	142
Tabla 13. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas hidráulicas	144
Tabla 14. Datos característicos de electroválvulas neumáticas 5/2 vías	145
Tabla 15. Datos característicos de una electroválvula hidráulica 4/3 vías	146
Tabla 16. Características de algunas interfaces de entradas analógicas Siemens	155
Tabla 17. Características de algunas interfaces de salidas analógicas OMRON	158
Tabla 18. Aplicaciones típicas de los sensores	160
Tabla 19. Comparación entre los diferentes proveedores de elementos sensores	167
Tabla 20. Lista de proveedores	174
Tabla 21. Comparación entre los diferentes proveedores	176
Tabla 22. Datos comparativos de proveedores de sensores LVDT	182
Tabla 23. Rango de temperatura de operación de los sensores de temperatura	184
Tabla 24. Proveedores de sensores de temperatura	186
Tabla 25. Aplicaciones más comunes de los accionadores	188
Tabla 26. Proveedores de los diferentes accionadores	193

Tabla 27. Consideraciones generales sobre las TAD	204
Tabla 28. Listado de precios de los componentes involucrados para el desarrollo de la aplicación práctica	217

OBJETIVOS.

El desarrollo del presente Trabajo de Graduación tiene como objetivo lo siguiente:

Objetivo General:

Desarrollar una investigación sobre aspectos físicos y operativos de sensores y actuadores para mejorar la formación académica en El Salvador del estudiante de Ingeniería Mecánica.

Objetivos específicos:

- 1. Identificar* categorías de sensores y accionadores.
- 2. Analizar* las principales categorías de sensores y accionadores.
- 3. Listar* algunos de los proveedores de las principales categorías de sensores y accionadores, con lo que se facilita la selección de este tipo de elementos.
- 4. Elaborar* una guía de selección en forma breve y clara, con el fin que sirva de ayuda a aquellos que estén involucrados en el área de la automatización industrial.

Los sensores y accionadores juegan un papel muy importante en la automatización de procesos industriales. La selección, verificación y utilización eficaz de este tipo de elementos depende del conocimiento que se posea acerca de su funcionamiento, clasificación, características constructivas, etc; el cual se proporciona en el desarrollo del presente Trabajo de Graduación.

ALCANCES

Los beneficios a obtener con la elaboración de este Trabajo de Graduación son:

Actualización del proceso de formación académica de los futuros ingenieros mecánicos en el área de la automatización industrial.

Una guía para la selección de sensores y accionadores.

Posibilitar la asistencia de la Escuela de Ingeniería Mecánica al sector productivo salvadoreño en problemas típicos relacionados con la automatización de procesos de fabricación.

Posibilitar la articulación de un vínculo entre la empresa privada salvadoreña y la Universidad de El Salvador.

INTRODUCCIÓN.

Los procesos de fabricación industrial automatizados emplean una inmensa variedad de sensores y accionadores que son controlados por un autómata programable, por un ordenador o un microcontrolador.

Muchos de estos sensores y accionadores se describen en este trabajo.

Para facilitar el manejo de la información el contenido está dividido en varios apartados. Así, los primeros temas están dedicados a las generalidades de la automatización industrial. Se da a conocer conceptos generales de lo que es la automatización industrial, de los sensores y también de los accionadores.

Luego, en temas siguientes, se aborda lo que son los sensores de posición. Se describen tanto los sensores de proximidad, medidores de posición ó distancia así como también los medidores de pequeños desplazamientos o deformaciones.

Se proporciona información respecto a funcionamiento, características constructivas y demás aspectos de interés de los diferentes tipos de elementos sensores, tales como: sensores capacitivos, inductivos, ultrasónicos, sensores láser, sensores fotoeléctricos, interruptores de final de carrera, potenciómetros, encoders, etc.

Los sensores de temperatura se describen en el apartado 6 de la memoria. En este apartado se da a conocer las diferentes clases de sensores de temperatura de uso industrial que son utilizados en sistemas automatizados, indicando sus características más importantes para cada tipo de sensor de temperatura.

En el capítulo destinado a los accionadores se describe en forma breve y clara las principales características de los tres tipos de accionamientos más utilizados en la industria, como son los accionamientos eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

Es importante hacer notar que en la mayoría de los sensores, la señal producida debe ser adecuada ó adaptada a los niveles de tensión que se manejan en el ordenador, autómata

programable o en el microcontrolador, para obtener el tipo de señal deseado. Para esto es necesario el empleo de una interfaz específica que se encargue de realizar dicha tarea. En el apartado “Adaptación de la señal de los sensores” se describe los diferentes tipos de interfaces que son utilizados para tal fin.

Los últimos temas están dedicados a establecer una metodología para la selección de sensores y accionadores. Se incluyen diagramas de flujo y los pasos necesarios a seguir para una correcta y eficaz selección de los diferentes sensores y accionadores discutidos en el contenido de este proyecto.

También se incluyen tablas comparativas de diferentes proveedores, junto con su respectiva dirección electrónica.

El proyecto finaliza con una aplicación práctica, que consiste en el control de la temperatura de un horno, a través de un controlador PID, una tarjeta de adquisición de datos, un sensor de temperatura, y utilizando un lenguaje de programación gráfica para mostrar los datos de temperatura obtenidos por medio de la tarjeta.

CAPÍTULO 1.

GENERALIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.

En un contexto industrial se puede definir la automatización industrial como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras en la operación y control de la producción. Ejemplos de esta tecnología son: líneas de transferencia, máquinas de montaje mecanizado, sistemas de control de retroalimentación (aplicados a los procesos industriales), máquinas-herramienta con control numérico y robots.

1.1 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

Los objetivos a cumplir cuando un proceso industrial es automatizado son los siguientes:

- ✓ Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- ✓ Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- ✓ Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- ✓ Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades con la calidad necesaria en el momento preciso.
- ✓ Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- ✓ Integrar la gestión y producción.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN:

Hay tres clases amplias de automatización industrial:

- ✓ Automatización fija,
- ✓ Automatización programable y
- ✓ Automatización flexible.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar el producto (o un componente de un producto) con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción.

Un buen ejemplo de la automatización fija puede encontrarse en la industria del automóvil, en donde líneas de transferencia muy integradas constituida por varias decenas de estaciones de trabajo se utilizan para operaciones de mecanizado en componentes de motores y transmisiones. La economía de la automatización fija es tal que el coste de los equipos especiales puede dividirse entre un gran número de unidades y los costes unitarios resultantes son bajos en relación con los métodos de producción alternativos.

El riesgo encontrado con la automatización fija es que al ser el coste de inversión inicial elevado, si el volumen de producción resulta ser más bajo que el previsto, los costes unitarios se harán también más grandes que los considerados en las previsiones. Otro problema considerado con la automatización fija es que el equipo está espacialmente diseñado para obtener el producto, y una vez que se haya acabado el ciclo de vida del producto es probable que el equipo quede obsoleto. Para productos con cortos ciclos de vida el empleo de la automatización fija representa un gran riesgo.

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo el control de un “programa“ de instrucciones que se preparó especialmente para el producto dado. El programa se introduce por lectura en el equipo de producción y este último realiza la secuencia particular de operaciones de procesamiento (o montaje) para obtener el producto. En términos de economía, el coste del equipo programable puede repartirse entre un gran número de productos, aún cuando sean diferentes.

Gracias a la característica de programación y a la adaptabilidad resultante del equipo, muchos productos diferentes y únicos en su género pueden obtenerse económicamente en pequeños lotes.

La relación de los dos primeros tipos de automatización, como una función de la variedad del producto y del volumen de producción, se ilustra en la Fig. 1.

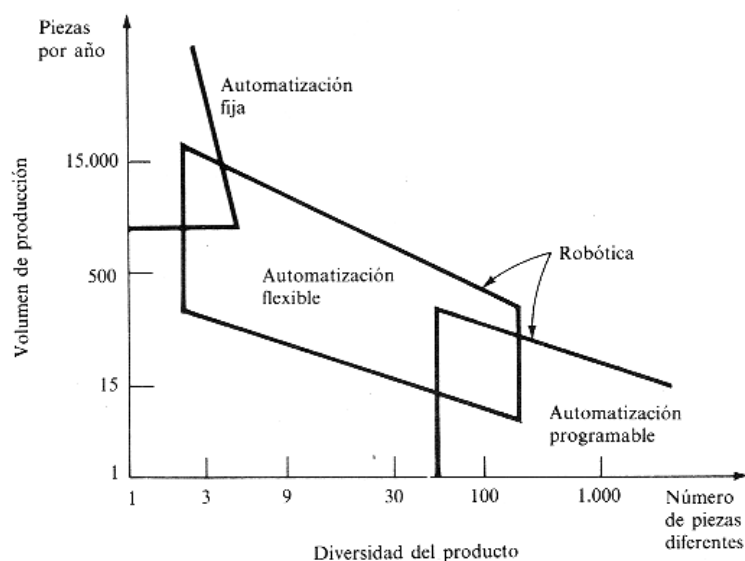


Fig. 1. Relación de la automatización fija, automatización programable y automatización flexible como una función del volumen de producción y de la diversidad del producto.

Existe una tercera categoría entre automatización fija y automatización programable que se denomina **“automatización flexible”**.

Otros términos utilizados para la automatización flexible incluyen los “sistemas de fabricación flexibles” y los “sistemas de fabricación integrados por computadora”. El concepto de automatización flexible sólo se desarrolló en la práctica en los últimos quince o veinte años.

La experiencia adquirida hasta ahora con este tipo de automatización indica que es más adecuado para el rango de producción de volumen medio, como es ilustrado en la Fig. 1. Tal como se indica por su posición relativa con los otros dos tipos, los sistemas flexibles tienen algunas de las características de la automatización fija y de la automatización programable.

Debe programarse para diferentes configuraciones de productos, pero la diversidad de las configuraciones suele estar más limitada que para la automatización programable, lo que permite que se produzca un cierto grado de integración en el sistema.

Los sistemas automatizados flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. Una computadora central se utiliza para controlar las diversas actividades que se producen en el sistema, encaminando las diversas piezas a las estaciones adecuadas y controlando las operaciones programadas en las diferentes estaciones.

Una de las características que distingue a la automatización programable de la automatización flexible es que con la automatización programable los productos se obtienen en lotes. Cuando se completa un lote, el equipo se reprograma para procesar el siguiente lote.

Con la automatización flexible, diferentes productos pueden obtenerse al mismo tiempo en el mismo sistema de fabricación. Esta característica permite un nivel de versatilidad que no está disponible en la automatización programable pura, como se definió anteriormente. Esto significa que pueden obtenerse productos en un sistema flexible en lotes si ello fuera deseable, o varios estilos de productos diferentes pueden mezclarse en el sistema. La potencia de cálculo de la computadora de control es lo que posibilita esta versatilidad.

1.3 GRADO DE AUTOMATIZACIÓN

Según la importancia de la automatización, se distinguen los siguientes grados:

- ✓ Aplicaciones en pequeña escala, como mejorar el funcionamiento de una máquina.
- ✓ Posibilidad de que un hombre trabaje con más de una máquina.
- ✓ Controlar una serie de operaciones y una serie de magnitudes simultáneamente.
- ✓ Realizar procesos totalmente continuos por medio de secuencias programadas.
- ✓ Procesos automáticos en cadena cerrada con posibilidad de autocontrol y autocorrección de desviaciones.

1.4 PRINCIPIOS DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS.

Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas: *medición, evaluación y control*.

Medición. Para que un sistema automatizado reaccione ante los cambios en su alrededor debe estar apto para medir cambios físicos.

Por ejemplo, si la intensidad de la corriente eléctrica en alguna parte de una maquina cambia, una medición debe ser llevada a cabo para determinar cuál ha sido este cambio. Estas medidas realizadas suministran al sistema de ingreso de corriente eléctrica de la máquina la información necesaria para poder realizar un control. Este mecanismo es denominado Retroalimentación (FEEDBACK), ya que la información obtenida de las medidas es retroalimentada al sistema de ingresos del sistema de la máquina para después realizar el respectivo control.

Evaluación. La información obtenida gracias a la medición es evaluada para así poder determinar si una acción debe ser llevada a cabo o no.

Control. El último paso de la automatización es la acción resultante de las operaciones de medición y evaluación.

En muchos sistemas de automatización, estas operaciones pueden ser muy difíciles de identificar.

Un sistema puede involucrar la interacción de más de una vuelta de control (CONTROL LOOP), que es la manera en la que se le llama al proceso de obtener la información desde el sistema de salida de una máquina y llevarla al sistema de ingreso de la misma. Pero como conclusión, todos los sistemas automatizados incluyen estos tres pasos u operaciones.

1.5 PARTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- a) Parte de Mando
- b) Parte Operativa

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

Tecnologías cableadas. Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos.

Esta fue la primera solución que se utilizó para crear autómatas industriales, pero presenta varios inconvenientes.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo son:

- ✓ Relés electromagnéticos.
- ✓ Módulos lógicos neumáticos.
- ✓ Tarjetas electrónicas.

Tecnologías programadas. Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas. En la realización de automatismos.

Los equipos realizados para este fin son: los ordenadores y los autómatas programables.

El ordenador, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero, al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

Un autómata programable industrial es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador.

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los sensores como finales de carrera, ultrasónicos, sensores de temperatura, etc.

1.6 CONCEPTOS GENERALES DE LOS SENSORES.

Los términos “sensor” y “transductor” se suelen aceptar como sinónimos. Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, caudal, etc.) en otro.

Una transformación común es la que se produce a la tensión eléctrica, y la razón por la que se realiza esta conversión es porque es más fácil trabajar con la señal convertida.

Algunas definiciones par el término sensor o transductor son las siguientes:

“Un transductor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital”.

“Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés”.

“ Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (como pueden ser luz, calor, presión, movimiento, etc) a valores medibles de dicha magnitud”.

1.6.1 ESTRUCTURA DE UN SENSOR O TRANSDUCTOR.

La estructura general que suelen tener este tipo de dispositivos es como la que se muestra en la Fig. 2, en la cual se puede distinguir las siguientes partes:

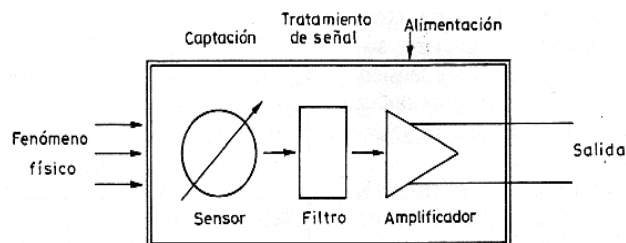


Fig. 2. Estructura genérica de un transductor.

Elemento sensor o captador. Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética, que se denomina habitualmente *señal*.

Bloque de tratamiento de señal. Si existe, suele filtrar, amplificar, linealizar, y, en general, modificar la señal obtenida en el captador, por regla general utilizando circuitos electrónicos.

Etapa de salida. Esta etapa comprende los amplificadores, interruptores, conversores de código, transmisores y, en general, todas aquellas partes que adaptan la señal a las necesidades de la carga exterior.

1.6.2 CLASIFICACION DE LOS SENSORES.

Se puede dar varias clasificaciones de los transductores, atendiendo a diversos puntos de vista que se exponen a continuación.

1.6.2.1 CLASIFICACIONES SEGÚN EL TIPO DE SEÑAL DE SALIDA.

Atendiendo a la forma de codificar la magnitud medida se puede establecer una clasificación en:

Analógicos. Aquellos que dan como salida un valor de tensión o corriente variable en forma continua dentro del campo de medida. Es frecuente para este tipo de transductores que incluyan una etapa de salida para suministrar señales normalizadas de 0-10V ó 4-20mA.

Digitales. Son aquellos que dan como salida una señal codificada en forma de pulsos o en forma de una palabra digital codificada en binario, BCD u otro sistema cualquiera.

Todo-nada. Indican únicamente cuando la variable detectada rebasa un cierto umbral o límite.

Pueden considerarse como un estado como un caso límite de los sensores digitales en el que se codifican sólo dos estados.

Otro criterio de clasificación, relacionado con la señal de salida, es el hecho de que el captador propiamente dicho requiera o no una alimentación externa para su funcionamiento. En el primer caso se denominan **sensores pasivos** y en el segundo caso, **activos ó directos**.

Los **sensores pasivos** se basan por lo general, en la modificación de la impedancia eléctrica o magnética de un material bajo determinadas condiciones físicas o químicas (resistencia, capacidad, inductancia, reluctancia, etc.).

Este tipo de sensores debidamente alimentados, provoca cambios de tensión o de corriente en un circuito, los cuales son recogidos por el circuito de interfaz.

Los **sensores activos** son, en realidad, generadores eléctricos, generalmente de pequeña señal. Por ello no necesitan alimentación exterior para funcionar, aunque sí suelen necesitarla para amplificar la débil señal del captador.

1.6.2.2 CLASIFICACION SEGÚN LA MAGNITUD FISICA A DETECTAR.

En cuanto a la naturaleza de la magnitud física a detectar, existe una gran variedad de sensores en la industria. En la tabla 1 se presenta un resumen de los más utilizados en los automatismos industriales.

Tabla 1. Transductores de diversas magnitudes físicas.

<i>Magnitud detectada</i>	<i>Sensor</i>	<i>Características</i>
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógico
	Encoders	Digital
	Sincro y resolver	Analógicos
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformador diferencial	Analógico
	Galga Extensiométrica	Analógico
Velocidad lineal o angular	Dinámo tacométrica	Analógico
	Encoders	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digitales
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Sensor de velocidad + calculador	Digital
Fuerza y par	Medición indirecta (galgas o trafos diferenciales)	Analógicos

Tabla 1. Transductores de diversas magnitudes físicas.

<i>Magnitud detectada</i>	<i>Sensor</i>	<i>Características</i>
Presión	Membrana + detector de desplazamiento	Analógicos
	Piezoeléctricos	Analógicos
Caudal	De turbina	Analógicos
	Magnético	Analógicos
Temperatura	Termopar	Analógicos
	Termorresistencias	Analógicos
	Pirómetros	Analógicos
	Bimetálicos	Todo-nada
Sensores de presencia o proximidad	Inductivos	Todo-nada ó analógicos
	Capacitivos	Todo-nada
	Ópticos	Todo-nada ó analógicos
	Ultrasónicos	Analógicos
Sensores táctiles.	Matriz de contactos	Todo-nada
	Matriz capacitiva piezoeléctrica u óptica	Todo-nada
	Piel artificial	Analógico
Sistemas de visión artificial	Cámaras de video y tratamiento imagen	Procesamiento digital por puntos o pixels
	Cámaras CCD	

En general, los principios en los que suelen estar basados los elementos sensores son los siguientes:

- ✓ Cambios de resistividad.
- ✓ Electromagnetismo (inducción electromagnética)
- ✓ Piezoelectricidad
- ✓ Efecto fotovoltaico
- ✓ Termoelectricidad.

1.6.3 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SENSORES

Un sensor ideal sería aquel en que la relación entre la magnitud de salida y la variable de entrada fuese puramente proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo.

Sin embargo, la respuesta real de los transductores nunca es del todo lineal, tiene un campo limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones del entorno exterior y tiene un cierto retardo a la respuesta.

Todo ello hace que la relación salida / entrada deba expresarse por una curva, o mejor por una familia de curvas, para transductores de un mismo tipo y modelo.

Para definir el comportamiento real de los transductores se suelen comparar éstos con un modelo ideal de comportamiento o con un transductor “patrón” y se definen una serie de características que ponen de manifiesto las desviaciones respecto a dicho modelo. Dichas características pueden agruparse en dos grandes bloques:

Características estáticas, que describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.

Características dinámicas, que describen la actuación del sensor en régimen transitorio, a base de dar su respuesta temporal ante determinados estímulos estándar o a base de identificar el comportamiento del transductor con sistemas estándar e indicar constantes de tiempo relevantes.

A continuación se dan las definiciones de las características estáticas y dinámicas más relevantes que suelen aparecer en la mayoría de especificaciones técnicas de los sensores.

Debe tenerse en cuenta que todas las características suelen variar con las condiciones ambientales. Por ello uno de los parámetros esenciales a comprobar al elegir un transductor es el campo de validez de los parámetros que se indican como nominales del mismo y las máximas desviaciones provocadas por dichas condiciones ambientales.

1.6.3.1 CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS.

Campo de medida. El campo de medida, es el rango de valores de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable

Resolución. Indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Se mide por la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir. Se puede indicar en términos de valor absoluto de la variable física medida o en porcentaje respecto al fondo de escala de la salida.

Precisión. La precisión define la máxima desviación entre la salida real obtenida de un sensor en determinadas condiciones de entorno y el valor teórico de dicha salida que correspondería, en idénticas condiciones, según el modelo ideal especificado como patrón. Se suele indicar en valor absoluto de la variable de entrada o en porcentaje sobre el fondo de escala de la salida. La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible.

Repetibilidad. Característica que indica la máxima desviación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces un mismo valor de entrada, con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.

Se suele expresar en porcentaje referido al fondo de escala y da una indicación del error aleatorio del sensor.

Algunas veces se suministran datos de repetibilidad variando ciertas condiciones ambientales, lo cual permite obtener las derivas ante dichos cambios.

Linealidad. Se dice que un transductor es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida.

La no linealidad se mide por la máxima desviación entre la respuesta real y la característica puramente lineal, referida al fondo de escala.

Sensibilidad. Característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada. Un sensor es tanto más sensible cuanto mayor sea una determinada variación de entrada.

La sensibilidad se mide, pues, por la relación:

$$\text{sensibilidad} = \frac{\Delta \text{magnitud de salida}}{\Delta \text{magnitud de entrada}} \quad (1)$$

Obsérvese que para transductores lineales esta relación es constante en todo el campo de medida, mientras que en un transductor de respuesta no lineal depende del punto en que se mida.

Ruido. Se entiende por ruido cualquier perturbación aleatoria del propio transductor o del sistema de medida, que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.

Histéresis.

Se dice que un transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o en sentido decreciente. Se suele medir en términos de valor absoluto de la variable física o en porcentaje sobre el fondo de escala. Obsérvese que la histéresis puede no ser constante en todo el campo de medida.

En el caso de sensores todo-nada se denomina histéresis a la diferencia ente el valor de entrada que provoca el basculamiento de $0 \rightarrow 1$ y aquel que provoca el basculamiento inverso de $1 \rightarrow 0$

1.6.3.2 CARACTERÍSTICAS DINAMICAS.

Las características dinámicas más importantes se resumen a continuación:

Velocidad de respuesta. El sensor o transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

La velocidad de respuesta mide la capacidad de un transductor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.

Los parámetros más relevantes empleados en la definición de la velocidad de respuesta son los siguientes:

Tiempo de retardo. Es el tiempo transcurrido desde la aplicación del escalón de entrada hasta que la salida alcanza el 10% de su valor permanente.

Tiempo de subida. Es el tiempo transcurrido desde que la salida alcanza el 10% de su valor permanente hasta que llega por primera vez al 90% de dicho valor.

Tiempo de establecimiento al 99%

Es el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza el régimen permanente, con una tolerancia de $\pm 1\%$.

Constante de tiempo.

Para un transductor con respuesta de primer orden (una sola constante de tiempo dominante) se puede determinar la constante de tiempo a base de medir el tiempo empleado para que la salida alcance el 63% de su valor de régimen permanente, cuando a la entrada se le aplica un cambio en escalón.

Respuesta frecuencial. Es la relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la entrada es una excitación senoidal. La respuesta frecuencial está muy relacionada con la velocidad de respuesta.

Estabilidad y derivas. Características que indican la desviación del sensor al variar ciertos parámetros exteriores distintos del que se pretende medir, tales como condiciones ambientales, alimentación, u otras perturbaciones.

1.7 ACCIONADORES.

En general los accionadores son los encargados de transformar una señal de control o la salida de un microprocesador, microcontrolador ó autómatas programables en acciones controladas de una máquina o dispositivo.

Los accionadores se pueden clasificar en función del tipo de energía que emplean para producir el movimiento: *eléctrica, neumática o hidráulica.*

El empleo de un tipo de accionador u otro viene fundamentalmente impuesto por las características propias de ellos. Por ejemplo, en un entorno de trabajo con gases explosivos no resultarían adecuados accionadores de tipo eléctrico. Por otro lado, si requiere un entorno de trabajo limpio, los de tipo neumático resultarían más adecuados que los de tipo hidráulico. Sin embargo, los eléctricos proporcionan mayor precisión que los hidráulicos y éstos a su vez que

los neumáticos; pero por el contrario, estos últimos son capaces de ofrecer más potencia que los primeros.

En la tabla 2 se muestra un resumen de las principales ventajas y desventajas de los accionadores de tipo eléctrico, neumático e hidráulico.

Se deduce por tanto, que el uso de un tipo de accionador u otro dependerá de las condiciones de trabajo deseadas, aunque como regla general, los más empleados son los de tipo eléctrico.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los accionadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos .

Tipo de accionador	Ventajas	Desventajas
Eléctrico	Rápidos y precisos Posibilidad de aplicar variadas técnicas de control del movimiento. Más económicos. Tamaño reducido y tiempos de respuesta rápidos.	Altas velocidades implican bajo par, necesidad de engranajes o transmisiones. El juego de los engranajes limita la precisión. No resultan adecuados en atmósferas inflamables. Sobrecalentamiento en condiciones de trabajo en parada. Necesidad de frenos para bloquear el sistema. Coste alto en motores grandes.
Neumáticos	Más económicos. Alta velocidad. No contaminan el área de trabajo con otros fluidos. No necesita línea de retorno la instalación. Fuente de energía usual en entornos industriales.	Compresibilidad del aire limita el control y la presión Mala precisión al actuar con cargas. Necesidad de instalación adicional.
Hidráulicos	Relación potencia – peso muy buena. Muy buen servocontrol. Auto lubricación y autorrefrigerado. Trabajo en paradas sin problemas. Respuesta rápida. Operación suave a bajas velocidades. Adecuado en atmósferas inflamables.	Instalación hidráulica costosa. Necesidad de mantenimiento y fugas de aceite. Necesidad de retorno en la instalación. Problemas de miniaturización.

1.7.1 COMPARACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE ACCIONADORES.

Para una mejor comprensión del tema de los actuadores en la tabla 3 se presentan las características típicas de cada uno de ellos.

Tabla 3. Características típicas de los accionadores.

<i>Parámetro</i>	<i>Electricidad</i>	<i>Hidráulica</i>	<i>Neumática</i>
<i>Fugas</i>		Contaminación	Aparte de la pérdida de energía, no tiene desventajas.
<i>Influencias del entorno</i>	Peligro de explosión de determinados entornos; relativamente sensible a la temperatura.	Sensible a las oscilaciones de la temperatura; peligro de incendio en caso de fugas.	No produce explosiones. Insensible a las temperaturas.
<i>Acumulación de energía</i>	Difícil y solo en cantidades reducidas mediante baterías	Dentro de ciertos límites, recurriendo a gases.	Fácil.
<i>Transporte de energía</i>	Sin límites, aunque con pérdidas de energía.	Hasta 100m con velocidad del caudal de 2 a 6 m/s, velocidad de señal hasta 1000m/s.	Hasta 1000m con velocidad del caudal de 20 a 40 m/s, velocidad de señal de 20 a 40m/s.
<i>Velocidad de trabajo</i>		$v = 0.5$ m/s	$v = 1.5$ m/s.
<i>Movimiento lineal</i>	Difícil y costoso Fuerzas pequeñas Complicada regulación de las velocidades.	Sencillo con cilindros Fácil regulación de la velocidad Fuerzas muy grandes	Sencillo con cilindros Fuerzas limitadas Velocidades muy dependientes de las cargas.
<i>Movimiento rotativo</i>	Sencillo y de gran rendimiento	Sencillo Par de giro elevado Revoluciones bajas.	Sencillo Bajo rendimiento Revoluciones elevadas.
<i>Exactitud de posicionamiento</i>	Exactitudes hasta de $\pm 1\mu\text{m}$ fáciles de alcanzar.	Dependiendo del sistema pueden alcanzarse precisiones de hasta $\pm 1\mu\text{m}$.	Sin cambios de cargas, exactitud factible hasta 1/10mm.
<i>Estabilidad</i>	Muy buena si se utilizan conexiones mecánicas	Buena, puesto que el aceite prácticamente no se comprime.	Baja, debido a que el aire es compresible.
<i>Fuerzas</i>	No resiste sobrecargas. Bajo rendimiento por los componentes mecánicos. Pueden obtenerse fuerzas considerables.	Resistente a sobrecargas Si el sistema tiene presiones elevadas hasta 600bar, es factible generar fuerzas muy grandes de hasta 3000KN.	Resistente a sobrecargas. Limitación de las fuerzas por la presión del aire y el diámetro de los cilindros, $F < 30\text{kN}$ a 600KPa.

CAPÍTULO 2.

SENSORES DE POSICIÓN.

Los sensores ó transductores de posición permiten medir la distancia de un objeto respecto a un punto ó eje de referencia ó simplemente detectar la presencia de un objeto a una cierta distancia. Precisamente, su capacidad de medida ó sólo indicación de presencia y la capacidad de medir distancias más ó menos grandes permite establecer una división en los grupos que se citan a continuación:

Detectores de presencia ó proximidad. Se trata de sensores de posición todo ó nada que entregan una señal binaria que informa de la existencia o no de un objeto ante el detector. El más elemental de estos sensores es quizás el conocido interruptor final de carrera por contacto mecánico.

Medidores de distancia ó posición. Entregan una señal analógica o digital que permite determinar la posición lineal ó angular respecto a un punto ó eje de referencia.

Transductores de pequeñas deformaciones. Se trata de sensores de posición especialmente diseñados para detectar pequeñas deformaciones o movimientos. Muchas veces se emplean adosados a piezas elásticas o con palpadores como transductores indirectos de fuerza o de par.

2.1 DETECTORES DE PROXIMIDAD.

Los sensores de proximidad son dispositivos que indican cuando un objeto está próximo a otro. Cuán próximo debe estar el objeto para poder activar el sensor dependerá del dispositivo particular.

Por lo general se trata de sensores todo o nada, con una cierta histéresis en la distancia de detección y con salida a base de interruptor estático (transistor, tiristor, o triac), pudiendo actuar como interruptor de DC (corriente continua) o de AC (corriente alterna).

Pero, algunos de ellos pueden llegar a dar una salida analógica proporcional a la distancia; en tal caso se estudian como verdaderos medidores de posición.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD.

Atendiendo al tipo de alimentación (DC ó CA), al tipo de salida y a la forma de conexión y al tipo de captador empleado, se puede clasificar los detectores de proximidad en diferentes grupos.

2.1.1.1 CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO DE SALIDA.

Atendiendo al tipo de salida que presente el sensor, estos se pueden clasificar en:

Detectores todo-nada de AC. Se trata de detectores cuya salida es un interruptor estático de AC a base de tiristores ó triacs. Por lo general, no pueden utilizarse más que para AC, ya que para DC una vez cebados no desenganchan.

Detectores todo-nada de DC. Se trata de detectores cuya salida suele ser un transistor PNP o NPN. Precisamente el tipo de transistor determina la forma de conexión de la carga.

Detectores Namur. Son detectores de tipo inductivo, previstos para funcionamiento en atmósferas explosivas. Son detectores de dos hilos que absorben una intensidad alta o baja, dependiendo de la presencia o no del objeto detectado. La actuación puede considerarse todo o nada con una histéresis, igual que los tipos mencionados anteriormente.

En general se usan como captador en atmósferas explosivas y la señal que generan se conecta a un amplificador externo con relé de salida.

Detectores con salida analógica. Los detectores con salida analógica dan una corriente proporcional a la distancia entre el cabezal detector y el objeto a detectar. La conexión suele ser a dos hilos y permite detectar un rango de distancias limitado.

Los de tipo inductivo y capacitivo tienen una linealidad y una resolución bastante pobres, que hace que no puedan emplearse como verdaderos medidores de distancia. Únicamente los de tipo óptico y ultrasónico pueden detectar distancias considerables con una resolución aceptable.

2.1.1.2 CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO DE CONEXIÓN.

Atendiendo al tipo de conexión, (Fig. 3), los sensores de proximidad se pueden clasificar en:

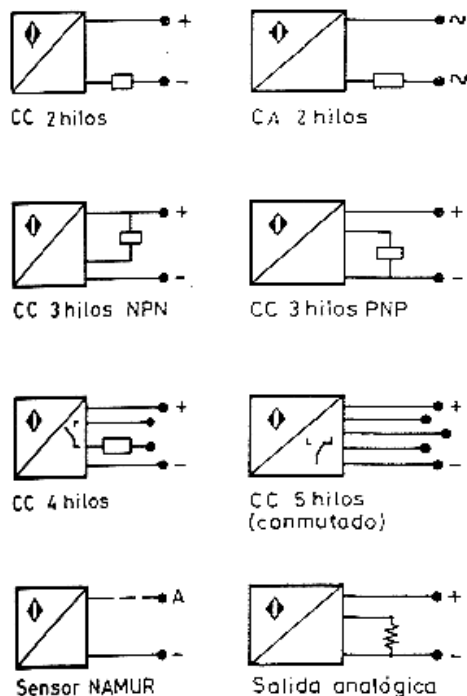


Fig. 3. Formas de conexión de sensores de proximidad

Conexión a dos hilos. El sensor se conecta en serie con la carga, como si se tratara de un interruptor electromecánico. Esta conexión es habitual para los detectores de CA. Los sensores NAMUR siguen también una conexión de dos hilos.

Conexión a tres hilos. Esta es la más frecuente para los detectores de DC con salida por transistor. Se tiene un hilo común para alimentación y carga y los otros dos son diferenciados uno para la alimentación y otro para la carga. El hilo común debe conectarse al terminal negativo de la alimentación para transistores PNP y al terminal positivo para los de tipo NPN.

Conexión a cuatro ó cinco hilos. Se suelen emplear para detectores de DC. Emplean dos hilos para la alimentación, y otros dos (o tres, en montaje conmutado) corresponden al contacto de salida para control de la carga.

2.1.1.3 CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO DE CAPTADOR.

Los detectores de proximidad pueden estar basados en distintos tipos de captadores, siendo los más frecuentes los siguientes:

- ✓ Interruptores de final de carrera electromecánicos.
- ✓ Sensores inductivos.
- ✓ Sensores capacitivos.
- ✓ Sensores ópticos.
- ✓ Sensores ultrasónicos.

2.1.2 INTERRUPTORES DE FINAL DE CARRERA ELECTROMECA'NICOS.

La línea de interruptores de final de carrera incluye muchos tipos de interruptores para uso en una amplia variedad de aplicaciones. Hay muchas configuraciones diferentes de contactos disponibles.

Hay mecanismos de operación de contactos de acción lenta e instantánea disponibles. Los interruptores de final de carrera de acción instantánea están diseñados para proporcionar acción instantánea a través de fuerza una vez que el mecanismo ha recorrido la distancia requerida.

2.1.2.1 FUNCIONAMIENTO Y CONFIGURACIÓN.

El funcionamiento de este dispositivo es muy sencillo; funciona en forma de ataque, es decir que es accionado mecánicamente por otro dispositivo que se mueve a determinada velocidad y en determinado momento choca contra la palanca del interruptor. Esto hace que internamente cambie su conexión y dé una señal de salida (cambio de estado activado / desactivado).

La configuración de algunos de estos dispositivos de uso general y que se encuentran en la mayoría de procesos industriales se presenta en la tabla 4:

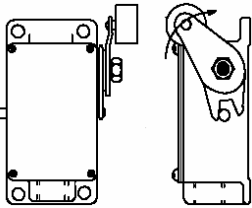
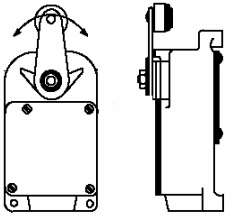
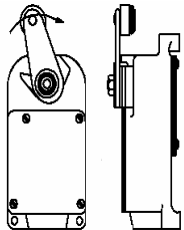
Una de las aplicaciones de mayor frecuencia es en las instalaciones neumáticas, donde este dispositivo se utiliza para controlar la posición final del vástago de un determinado cilindro.

FESTO ha desarrollado interruptores de fin de carrera eléctricos, que son capaces de proporcionar señal solamente durante un periodo de tiempo muy corto con lo cual se logra evitar interferencia de señales, cuando se trabaja con más de un cilindro.

Estos interruptores son del tipo escamoteable y con retroceso en vacío,

Básicamente dos son los tipos de interruptores que existen en el mercado, a saber: *interruptores de tipo palanca y de tipo pulsador.*

Tabla 4. Configuración de interruptores de final de carrera electromecánicos.

<i>Configuración</i>	<i>Operación</i>
	<p>Operación hacia la derecha solamente. Palanca al lado derecho según ilustración. La palanca se puede ajustar hasta 360°.</p>
	<p>Los contactos pueden operar en ambas direcciones de la palanca de rodillo. Una variante de este dispositivo es que se puede construir con la palanca de rodillo más larga para usar donde se necesita más espacio entre el interruptor de final de carrera y su dispositivo de operación.</p>
	<p>La operación de los contactos se obtiene sólo en la dirección mostrada. La palanca se puede mover en la dirección opuesta, pero los contactos no son accionados. La operación también se puede realizar a la izquierda.</p>

Interruptores de tipo palanca. Estos interruptores se operan por medio de una palanca anclada a un eje que se extiende desde la cabeza de operación. Estos dispositivos pueden convertirse fácilmente en el campo en giro a derechas, a izquierdas o a ambas direcciones de operación sin necesidad de desmontar los componentes.

Los interruptores tipo palanca pueden equiparse con una gran variedad de palancas de operación: palanca con rodillo, palanca con rodillo ajustable, palanca giratoria, palanca giratoria unidireccional o palanca con rodillo, etc. (Ver Fig. 4).

Interruptores tipo pulsador. Estos interruptores se operan por medio de un rodillo o vástago localizado en la parte superior o lateral de la unidad de operación. La presión del vástago hacia la cabeza provoca la operación de los contactos. Los interruptores de tipo pulsador se suministran en construcción de retorno por muelle.

2.1.2.2 APLICACIONES.

Dentro de las aplicaciones más comunes se pueden mencionar:

- ✓ Manipulación de materiales.
- ✓ Ascensores y escaleras mecánicas
- ✓ Elevadores de tijera o plataforma
- ✓ Industria alimenticia
- ✓ Industria Manufactura
- ✓ Máquinas para industrias ligeras
- ✓ Instalaciones y máquinas agrícolas
- ✓ Robótica.
- ✓ Instalaciones de tratamiento o de transformación de materiales
- ✓ Líneas de transporte
- ✓ Máquinas herramientas, mecanizado, troqueladoras, máquinas transfer.













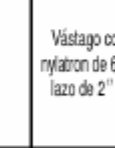


Tipo	Rodillo			Tipo	Material	Diám.
	Material	Diám.	Ancho			
 Palanca de función de radio no ajustable de 0.75"	Metal	0.75"	0.27"		Vástago de acero inoxidable 5" de largo	0.13"
	Nylon	0.75"	0.28"		Vástago de acero inoxidable 8.5" de largo	0.13"
 Palanca de función de radio no ajustable de 1.5" Rodillo frontal	Nylon	0.75"	1"		Vástago de acero inoxidable 12" de largo	0.13"
	Doble Nylon	0.75"	1" cada uno		Vástago de acero inoxidable 11.5" de largo	0.08"
	Acero	0.75"	0.25"		Vástago de acero inoxidable 14" de largo	0.13"
	Acero	0.75"	0.75"			
	Cojinete de bola	0.75"	0.23"			
	Cobre berilo (No causa chispas)	0.75"	0.28"			
	Nylon	0.75"	0.75"			
Nylon	0.75"	0.28"				
 Palanca de función de radio no ajustable de 1.5" Rodillo trasero	Nylon	0.75"	1"		Vástago de nylon 12" de largo	0.25"
	Nylon	1.5"	0.28"			
	Acero	0.75"	0.25"			
	Acero	0.75"	0.75"			
 Palanca de acero de radio no ajustable de 2.0" Rodillo frontal	Nylon	0.75"	0.75"		Vástago de acero inoxidable 5" de largo	0.06"
	Nylon	0.75"	1"			
	Acero	0.75"	0.25"			
	Acero	0.75"	0.75"			
	Cojinete de bola	0.75"	0.23"			
 Palanca de acero de radio no ajustable de 2.0" Rodillo trasero	Acero	0.75"	0.75"		Vástago de acero inoxidable 5" de largo, unidireccional	0.06"
	Nylon	0.75"	0.28"			
	Nylon	0.75"	1"			
	Acero	0.75"	0.25"			
 Palanca de acero de radio no ajustable de 2.0" Rodillo frontal	Acero	0.75"	0.75"		Vástago con lazo de nylon de 6" de largo, lazo de 2" de ancho	0.18"
	Cojinete de bola	0.75"	0.23"			
	Cobre berilo	0.75"	0.28"			
	Nylon	0.75"	0.28"			
	Nylon	0.75"	1"			
 Palanca de acero de radio no ajustable de 2.5" Rodillo trasero	Acero	0.75"	0.25"		Vástago de acero 9" de largo	0.25"
	Acero	0.75"	0.75"		Vástago de Nylon 9" de largo	0.25"
	Cojinete de bola	0.75"	0.23"			
	Acero	0.75"	0.25"			
	Cobre berilo	0.75"	0.28"			

Fig. 4. Tipos de palanca de operación. Tipo rodillo (izq.) y tipo vástago (derecha).

2.1.3 DETECTORES INDUCTIVOS.

Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

Los sensores específicos de materiales férricos no detectaran hojalata (zinc + cobre), aluminio o cobre, mientras que los sensores específicos de materiales no férricos no detectarán acero ni aleaciones férricas inoxidable.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor del nivel de disparo de la señal y un circuito de salida (Fig. 5). Al introducir un objeto metálico en el campo, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido a la posición “ON” (Encendido) y “OFF” (Apagado).

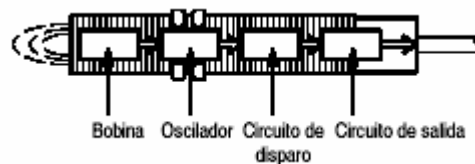


Fig. 5. Estructura del sensor inductivo.

A nivel de bloques están formados por un circuito oscilador L-C con alta frecuencia de resonancia. La bobina esta construida sobre un núcleo de ferrita abierto en forma de “pot-core” (ver detalle en Fig. 6) de forma que el flujo se cierra en la parte frontal a través de la zona sensible. La presencia de metal dentro de la zona sensible altera la reluctancia del circuito magnético, atenúa el circuito oscilante y hace variar la amplitud de oscilación. La detección de dicha amplitud permite obtener una señal de *salida todo-nada*.

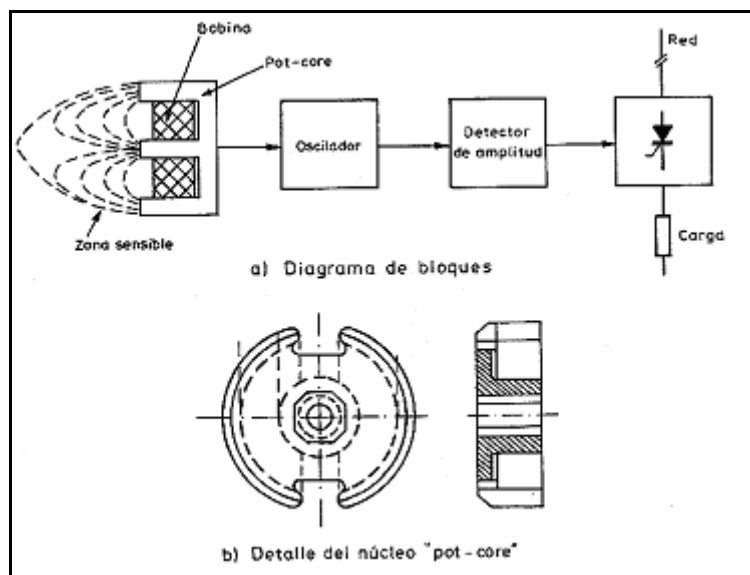


Fig. 6. Diagrama de bloques y detalle del núcleo captador de los sensores de proximidad inductivos.

La variación de amplitud de la oscilación, provocada por la presencia de metal frente al cabezal detector, puede utilizarse para obtener una señal analógica de posición. El detector de proximidad da entonces una señal que es proporcional a la distancia. Sin embargo, la medida es muy imprecisa, depende mucho del tipo de metal y de las condiciones ambientales.

El campo de aplicación de los detectores inductivos se encuentra en líneas de transporte de objetos metálicos, en máquinas rectificadoras, plantas de tratamiento térmico (recubrimientos), etc. Su principal aplicación es como interruptores final de carrera con algunas ventajas a los electromecánicos, tales como: ausencia de contacto con el objeto a detectar, robustez mecánica, resistencia a ambientes agresivos y altas temperaturas y bajo precio.

Los sensores inductivos se pueden conectar tanto en serie como en paralelo, todo depende de la aplicación en la que se use; es decir de la carga a la que se sometan.

Existen en el mercado dos tipos de sensores, y éstos son:

Forma cilíndrica roscada con diámetros normalizados de M8, M12, M18 y M30. Existen, además, otros tipos sin rosca con tamaños de diámetro de 4 y 5 mm.

A su vez, todos ellos pueden ser de tipo enrasable o no enrasable, dependiendo de si se puede o no enrasar el cabezal detector en metal.

Forma rectangular. Generalmente son utilizados para distancias grandes.

2.1.3.1 FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN

La frecuencia de conmutación es la velocidad máxima a la que el sensor es capaz de entregar pulsos discretos individuales según el objeto entra y sale del campo de detección. Este valor depende siempre del tamaño del objeto, de la distancia de éste a la cara de detección, de su velocidad y del tipo de interruptor. Este valor indica el máximo número de operaciones de conmutación por segundo.

2.1.4 DETECTORES CAPACITIVOS.

Los sensores de proximidad capacitivos trabajan generando un campo electrostático y detectando cambios en dicho campo a causa de un objeto que se aproxima a la superficie de detección. Los elementos de trabajo del sensor son, a saber, una sonda capacitiva de detección, un oscilador, un rectificador de señal, un circuito de filtraje y el correspondiente circuito de salida, Fig. 7.



Fig. 7. Estructura del sensor capacitivo.

En ausencia de objetos, el oscilador se encuentra inactivo. Cuando se aproxima un objeto, éste aumenta la capacitancia de la sonda de detección.

Al superar la capacitancia un umbral predeterminado activa el oscilador, el cual dispara el circuito de salida para que cambie entre “on” (encendido) y “off” (apagado).

La capacitancia de la sonda de detección viene condicionada por el tamaño del objeto a detectar, por la constante dieléctrica y por la distancia de éste al sensor. A mayor tamaño y mayor constante dieléctrica de un objeto, mayor incremento de capacitancia. A menor distancia entre objeto y sensor, mayor incremento de capacitancia de la sonda por parte del objeto.

El principio de funcionamiento y las características son análogas a las descritas para los detectores inductivos, pero en este caso el elemento sensible es el condensador del circuito oscilante, formado por dos aros metálicos concéntricos situados en la cara sensible, y cuyo dieléctrico es el material de la zona sensible.

Este tipo de sensores permiten detectar materiales metálicos o no, pero su sensibilidad se ve muy afectada por el tipo de material y por el grado de humedad ambiental y del cuerpo a detectar. Por ello se utilizan exclusivamente como detectores *todo-nada*, con una repetibilidad bastante dependiente de las condiciones ambientales.

Para atenuar el problema de dependencia de la sensibilidad con el tipo de material, se suelen construir con un ajuste de sensibilidad que permite utilizarlos para la detección de algunos materiales entre otros (por ejemplo, aluminio entre cobre o latón). *Las aplicaciones típicas* son, sin embargo, la detección de materiales no metálicos como vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, cartón, papel, detección de nivel de líquidos y materiales a granel, etc.

En cuanto a las formas de ejecución mecánica, tipos de alimentación y formas de conexión son idénticas a las de los detectores inductivos.

2.1.5 DETECTORES ÓPTICOS (FOTOELÉCTRICOS).

Los sensores fotoeléctricos se utilizan en muchas industrias y aplicaciones para lograr una exacta detección de objetos sin necesidad de contacto físico, además de esto en general son insensibles a las atmósferas agresivas y no existe desgaste mecánico.

En su forma más básica un sensor fotoeléctrico puede considerarse como un “sensor de fin de carrera”, donde el actuador mecánico ó palanca de operación, ha sido reemplazada por un haz de luz.

Los sensores fotoeléctricos trabajan detectando el cambio en la cantidad de luz que, o bien es reflejada, o bien interrumpida por el objeto a detectar. El cambio en el haz de luz puede ser el resultado de la presencia o ausencia del objeto a detectar, o el resultado de un cambio en el tamaño, perfil, receptividad o color de dicha objeto.

Se puede utilizar un sensor fotoeléctrico para aplicaciones que detecten objetos a distancias inferiores a 5 mm (0.2 pulgadas) hasta 250 m (820 pies).

Para la detección eficaz utilizando un sensor fotoeléctrico es necesario que el objeto a detectar provoque un cambio suficiente en el nivel de luz percibido por el sensor y que el usuario posea un conocimiento claro de los requisitos de detección. Han de tenerse claros los siguientes puntos: Los requisitos de detección, entorno de detección, y las capacidades y limitaciones del sensor fotoeléctrico.

Las características particulares de los detectores de proximidad ópticos, respecto a otros detectores de proximidad son:

- Elevada inmunidad a perturbaciones electromagnéticas externas.
- Distancias de detección grandes respecto a los inductivos o capacitivos.
- Alta velocidad de respuesta y frecuencia de conmutación.
- Permiten la identificación de colores.
- Capaces de detectar objetos del tamaño de décimas de milímetro.

Existe un gran número de sensores fotoeléctricos para elegir. Cada uno de ellos ofrece una combinación única de características de detección, salida y opciones de montaje.

2.1.5.1 CONCEPTOS Y COMPONENTES BÁSICOS.

Un sensor fotoeléctrico tiene cuatro componentes básicos:

- ✓ Fuente de luz
- ✓ Sensor de luz
- ✓ Lentes
- ✓ Dispositivo de conmutación de salida

Fuente de luz. Un diodo emisor de luz (LED) es un semiconductor de estado sólido que emite luz cuando se aplica corriente. La Fig. 8 muestra la estructura de un indicador LED. Los LEDs se construyen para emitir longitudes de onda específicas o colores de la luz. Como fuente de luz se utilizan LEDs que emiten radiación infrarroja, roja visible, verde y azul en la mayoría de sensores fotoeléctricos.

El diferente color de los LEDs ofrece distintas características deseables. Los LEDs infrarrojos son los más eficaces, pues son los que más porcentaje de luz emiten y los que menos calor disipan comparados con los de los tipos visibles. Los LEDs infrarrojos se utilizan donde hace falta la máxima emisión de luz en un margen de sensibilidad extendido.

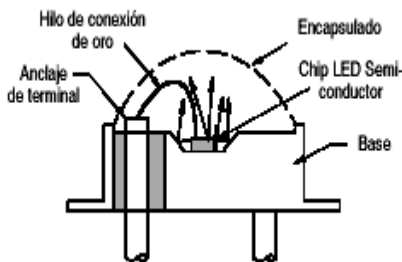
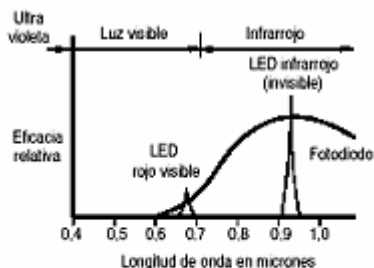


Fig. 8. LED diodo emisor de luz

En muchas aplicaciones es deseable un haz de luz visible como ayuda en el ajuste o como confirmación de la operación del sensor. El tipo rojo visible es el más eficaz en el cumplimiento de estos requisitos.

Los LEDs de espectro visible rojo, azul y amarillo también se utilizan en aplicaciones especiales donde han de detectarse colores específicos o contrastes de color determinados.

Los indicadores LED son componentes resistentes y confiables, lo cual los hace ideales para uso en sensores fotoeléctricos. Son capaces de trabajar en un amplio margen de temperatura y son muy resistentes a los impactos y vibraciones.



El LED invisible (infrarrojo) está acoplado espectralmente con este fototransistor de silicio y posee una eficiencia mucho mayor que el LED visible (rojo).

Fig. 9. Respuesta espectral.

Detección de luz. Un fotosensor es el componente usado para detectar la fuente de luz. El fotodiodo o fototransistor es un componente robusto de estado sólido que proporciona un cambio en la corriente conducida dependiendo de la cantidad de luz detectada.

Los fotosensores son más sensibles a la emisión lumínica de ciertas longitudes de onda. La respuesta espectral de un fotosensor determina su sensibilidad a las diferentes longitudes de onda del espectro lumínico. Para mejorar la eficacia en la detección, es frecuente que el LED y el fotosensor hayan de acoplarse espectralmente. En la Fig. 9 se muestra un ejemplo.

El receptor es el fotosensor y el circuito asociado.

Lentes. Los LEDs emiten luz y los fotosensores son sensibles a la luz en un amplio campo de visión. Para restringir este campo se utilizan lentes acopladas a los LEDs y a los fotosensores. Al reducir el ángulo de visión se incrementa el rango del LED o del fotosensor.

Como resultado, las lentes también aumentan la distancia de detección de los sensores fotoeléctricos (Fig. 10).

El haz de luz que emerge de una combinación de LED y lente es de una conicidad característica. El área del cono se incrementa con la distancia. Algunos sensores fotoeléctricos se optimizan para lograr una distancia de detección extra. El haz de luz (o campo de visión) emitido por estos sensores es sensiblemente estrecho. En cualquier caso la operación de alineamiento puede llegar a ser dificultosa si el campo de visión es demasiado estrecho.

Otros sensores fotoeléctricos se han diseñado para la detección de objetos en un área amplia. Estos sensores poseen un campo de visión más amplio pero un rango global más reducido.

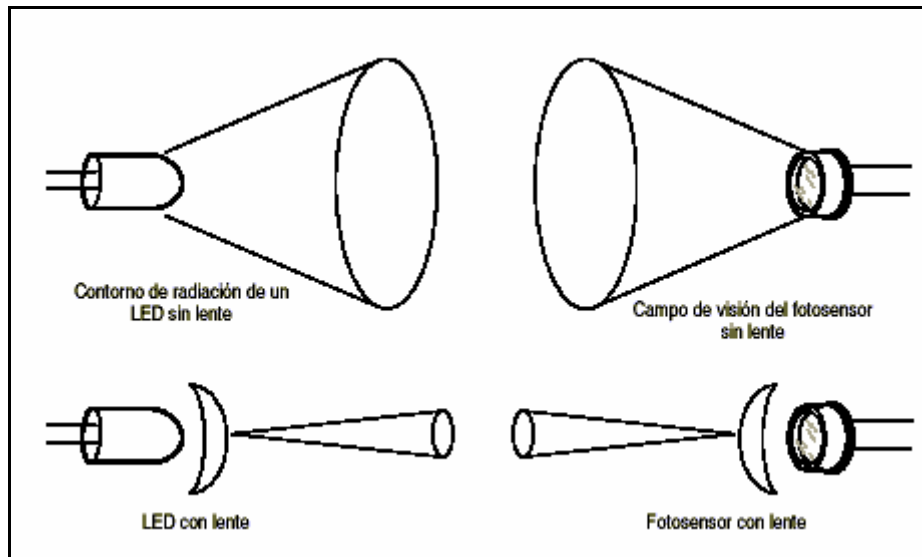


Fig. 10. Lentes.

Dispositivo de salida. Una vez detectado el cambio de luz suficiente, el sensor fotoeléctrico selecciona un dispositivo de salida relacionado a la lógica de la maquinaria.

Se dispone de varios tipos de salidas discretas y variables (analógicas) cada una de ellas con sus potencias y limitaciones características.

2.1.5.2 MARGEN.

El margen (margen de operación, exceso de ganancia) es un concepto importante que se debe entender para usar sensores fotoeléctricos. El tiempo de mantenimiento necesario para una aplicación a base de sensores fotoeléctricos puede minimizarse consiguiendo los mejores niveles posibles de margen para dicha aplicación.

El margen es una medida de la cantidad de luz de la fuente de luz detectada por el receptor.

El concepto de margen se define como la relación entre la cantidad de luz detectada y la cantidad mínima necesaria para cambiar de estado el dispositivo de salida. Y generalmente se expresa como una relación o como un número entero seguido por "X". Un margen de 6 puede expresarse como 6:1 ó como 6X.

El concepto de margen se puede explicar mejor por medio de un ejemplo:

- ✓ Un margen de cero ocurre cuando el sensor de luz no puede detectar nada de la luz emitida por la fuente de luz.
- ✓ El margen de uno se obtiene cuando se detecta la cantidad de luz suficiente para cambiar de estado el dispositivo de salida (del estado CONECTADO al de DESCONECTADO, o viceversa).
- ✓ Se dice que existe un margen de 20 cuando se detecta una cantidad de luz 20 veces mayor que la mínima requerida para cambiar de estado el dispositivo de salida.

2.1.5.3 MODULACIÓN DEL LED.

La cantidad de luz generada por el indicador LED en la fuente de luz es determinada por la cantidad de corriente que éste conduce. Para incrementar el rango de un sensor fotoeléctrico, la cantidad de corriente ha de aumentarse. Sin embargo, los indicadores LED también generan calor -existe un límite máximo de calor que se puede generar, que si se excede, causará daño o destruirá el indicador LED.

Los sensores fotoeléctricos cambian rápidamente de estado o modulan la corriente que atraviesa al LED. Un ciclo de servicio ligero (generalmente menos del 5 %) permite que la cantidad de corriente, y por lo tanto la cantidad de luz emitida, exceda en gran medida lo permitido bajo una operación continua, vea la Fig. 11.



Fig. 11. Modulación.

La relación de modulación o frecuencia es, a menudo, superior a 5 KHz, mucho más rápida que la detectable por el ojo.

2.1.5.4 DETECCIÓN SÍNCRONA

El receptor está diseñado para detectar una fuente de luz pulsante de una fuente de luz modulada. Para optimizar más aun la confiabilidad de detección, el receptor y la fuente de luz están sincronizados. El receptor está a la mira de los pulsos de luz que son idénticos a los pulsos generados por la fuente de luz.

La detección síncrona ayuda al sensor fotoeléctrico a ignorar los pulsos de luz de otros sensores fotoeléctricos ubicados en las proximidades, o de otras fuentes de luz pulsante tal como luces fluorescentes.

La detección síncrona sólo es posible cuando la fuente de luz y el receptor están en el mismo envolvente, lo cual es cierto para todos los modos de detección, excepto el haz transmitido.

2.1.5.5 MODOS DE DETECCIÓN FOTOELÉCTRICA

Los diferentes métodos de detección reciben el nombre de modos de detección. Hay tres tipos básicos:

- 1.** Haz transmitido (algunas veces llamado a través del haz)
- 2.** Retrorreflectivo (algunas veces llamado reflejo)
- 3.** Difuso (llamado también de proximidad)

Mientras que muchas aplicaciones se pueden resolver por cualquiera de estos métodos de detección, cada una de ellas tienen sus pro y sus contra a considerar. Estos pro y contra se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Ventajas y aplicaciones de los modos de detección fotoeléctrica.

Modo de detección	Aplicaciones	Ventajas	Consideraciones
<i>Haz transmitido</i>	Detección de uso general	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto margen para ambientes contaminados. ✓ Detección a gran distancia. ✓ No es afectado por reflejos de segunda superficie. ✓ Probablemente más confiable cuando se tiene objetos altamente reflectivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Más costoso porque se requiere fuente de luz y receptor separados, cableado más costoso. ✓ El alineamiento es importante. ✓ Evite detectar objetos de material transparente.
<i>Retroreflectivo</i>	Detección de uso general.	<ul style="list-style-type: none"> • Detección a distancias moderadas. • Menos costoso que el haz transmitido porque el cableado es más simple. • Facilidad de alineamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección a menor distancia que el haz transmitido. • Menor margen que el haz transmitido. • Puede detectar reflejos de objetos brillantes (en este caso se usa despolarizado).
<i>Polarizado retroreflectivo.</i>	Detección de uso general de objetos brillantes.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ignora los reflejos de la primera superficie. ✓ Usa haz rojo visible para facilitar el alineamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor distancia de detección que el retroreflectivo normal. ✓ Puede ver reflejos de segunda superficie.
<i>Difuso normal.</i>	Aplicaciones en donde no se puede acceder a ambos lados del objeto.	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere acceso a ambos lados del objeto • No se requiere reflector. • Facilidad de alineamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser difícil de aplicar si el fondo detrás del objeto es suficientemente reflectivo y está cerca al objeto.
<i>Difusa de corte abrupto.</i>	Detección de corto rango de objetos con la necesidad de ignorar los fondos que están cerca del objeto.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No se requiere acceso a ambos lados del objeto. ✓ Proporciona cierta protección contra la detección de fondos cercanos. ✓ Detecta objetos independientemente del color dentro de la distancia especificada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Útil solo para detección de distancia muy corta. ✓ No se usa con fondos cercanos al objeto.

Tabla 5. Ventajas y aplicaciones de los modos de detección fotoeléctrica.

Modo de detección	Aplicaciones	Ventajas	Consideraciones
<i>Supresión del fondo difuso.</i>	Detección de uso general. Áreas donde se necesita ignorar los fondos que están cerca del objeto.	<ul style="list-style-type: none"> • No es necesario el acceso a ambos lados del objeto. • Ignora los fondos por encima de la distancia nominal de detección independientemente de su reflectividad. • Detecta objetos independientemente del color a una distancia especificada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más costoso que otros tipos de sensores difusos. • Distancia de detección máxima limitada.
<i>Difusa de foco fijo</i>	Detección de pequeños objetos. Detecta objetos a una distancia específica del sensor. Detección de marcas de color.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Detección precisa de objetos pequeños en una ubicación específica. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Detección a distancia muy corta. ✓ Inadecuado para detección de uso general. ✓ El objeto debe estar en una posición precisa.
<i>Difusa gran angular.</i>	Detección de objetos que no están en una posición precisa. Detección de fibras muy finas en un área extensa.	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivo para ignorar reflejos del fondo. • Detección de objetos que no están en una posición precisa. • No se requiere reflector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección a distancia corta.
<i>Fibras ópticas.</i>	Permite la detección fotoeléctrica en áreas donde no se puede instalar un sensor debido a consideraciones de tamaño ó ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cables disponibles para aplicaciones de temperatura ambiental elevada. ✓ Resistente al choque y a la vibración. ✓ Se pueden usar cables de fibra óptica en áreas donde se requiere movimiento continuo. ✓ Inserción en espacio limitado. ✓ Inmunidad al ruido. ✓ Es factible en áreas corrosivas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Más costoso que los sensores con lente. ✓ Detección a distancia corta.

2.1.5.5.1 HAZ TRANSMITIDO

En este modo (Fig. 12) la fuente de luz y el receptor están contenidos en envolventes diferentes. Estas dos unidades están ubicadas en posición opuesta una a la otra de manera que la luz de la fuente de luz brilla directamente sobre el receptor. El objeto debe romper (bloquear) el haz entre la fuente de luz y el receptor.

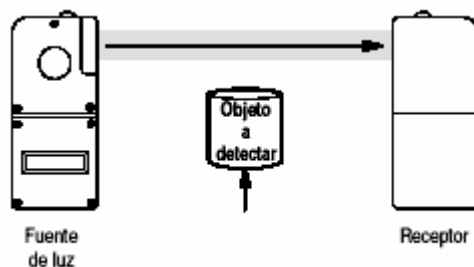


Fig. 12. Detección de haz transmitido.

Los sensores de haz transmitido proporcionan las distancias más largas de detección y el nivel más alto de margen operativo.

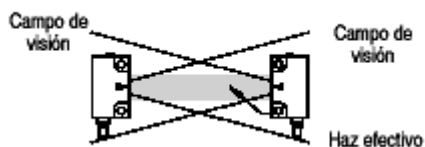


Fig. 13. Haz efectivo.

El “haz efectivo” de un sensor de haz transmitido es equivalente al diámetro de la lente de la fuente de luz y el receptor (Fig. 13). La detección confiable tiene lugar cuando el objeto es opaco e interrumpe al menos el 50 % del haz eficaz.

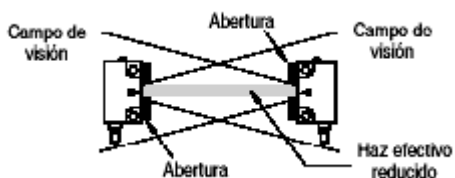


Fig. 14. Haz efectivo con aberturas.

Se puede obtener una mejor detección de objetos de menor tamaño que el haz efectivo reduciendo el diámetro del haz mediante aberturas ubicadas frente a la fuente de luz y el receptor (Fig. 14).

Las aplicaciones más confiables de haz transmitido tienen un margen muy alto cuando el objeto está ausente y un margen de cero (o casi cero) cuando el objeto está presente. La detección de haz transmitido puede no ser adecuada para detectar objetos translúcidos o transparentes.

Los niveles de alto margen permiten al sensor “ver a través” de estos objetos.

Aunque generalmente se puede reducir la sensibilidad del receptor, la detección retrorreflexiva o difusa puede proporcionar una mejor solución.

2.1.5.2 RETRORREFLECTIVO

El modo retrorreflexivo (reflejo) es el modo de detección más común. Un sensor retrorreflexivo contiene la fuente de luz y el receptor en un envoltente. El haz de luz emitido

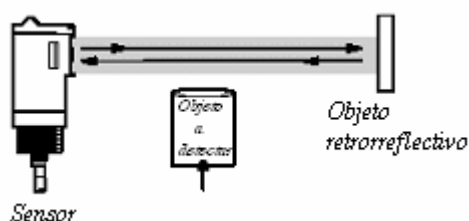


Fig. 15. Detección retrorreflexiva

por la fuente de luz es reflejado por un objeto reflectivo especial y detectado por el receptor. El objeto se detecta cuando rompe este haz de luz (Fig. 15).

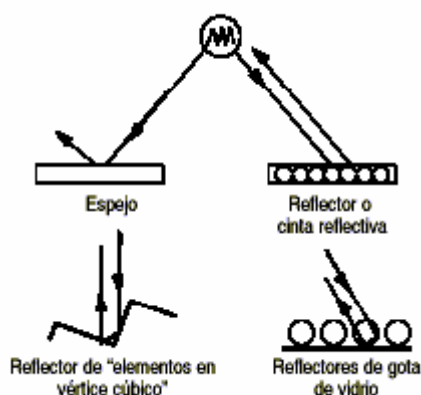


Fig. 16. Materiales retrorreflexivos.

Para la detección retrorreflexiva se utilizan reflectores especiales o cintas reflectivas. A diferencia de los espejos y otras superficies reflectivas planas, estos objetos reflectivos no necesitan ser perfectamente perpendiculares al sensor. El mal alineamiento de un reflector o cinta reflectiva por arriba de 15° generalmente no significará una reducción del margen del sistema de sensores (Fig. 16).

Se dispone de una amplia selección de reflectores y cintas reflectivas.

La distancia máxima de detección del conjunto sensor y reflector disponible dependerá en parte de la eficacia del reflector o cinta reflectiva. Estos materiales reflectivos están clasificados según un índice de reflexión.

Los sensores retrorreflectivos son más sencillos de instalar que los de haz transmitido. Es necesario únicamente instalar y cablear una carcasa sensora. En cualquier caso, los márgenes en ausencia de objeto son del orden de 10 a 1000 veces menores que los correspondientes a la detección por haz transmitido, lo que hace menos deseable la detección retrorreflectiva en ambientes altamente contaminados.

Cuando se apliquen sensores retrorreflectivos normales hay que tener un cuidado especial si los objetos a detectar son altamente brillantes o reflejantes.

Los reflejos procedentes del mismo objeto podrían ser detectados.

Quizás se pueda orientar el sensor y el reflector o la cinta reflectiva de manera que el objeto brillante refleje la luz en dirección contraria al receptor. Sin embargo, en la mayoría de aplicaciones con objetos brillantes, la detección *polarizada retrorreflectiva* ofrece una mejor solución.

Los sensores polarizados retrorreflectivos contienen filtros polarizantes al frente de la fuente de luz y del receptor. Estos filtros están en posición perpendicular o 90° fuera de fase uno con respecto a otro (Fig. 17).

El sensor no puede ver luz reflejada de casi ningún objeto. La luz polarizada reflejada no puede pasar a través del filtro polarizador ubicado frente al receptor.

Los receptores despolarizan la luz reflejada. Parte de la luz reflejada despolarizada puede pasar a través del filtro polarizador frente al receptor y puede ser detectada por el sensor. En resumen, *el sensor puede “ver” la reflexión de un reflector y no puede “ver” la reflexión de la mayor parte de los objetos brillantes.*

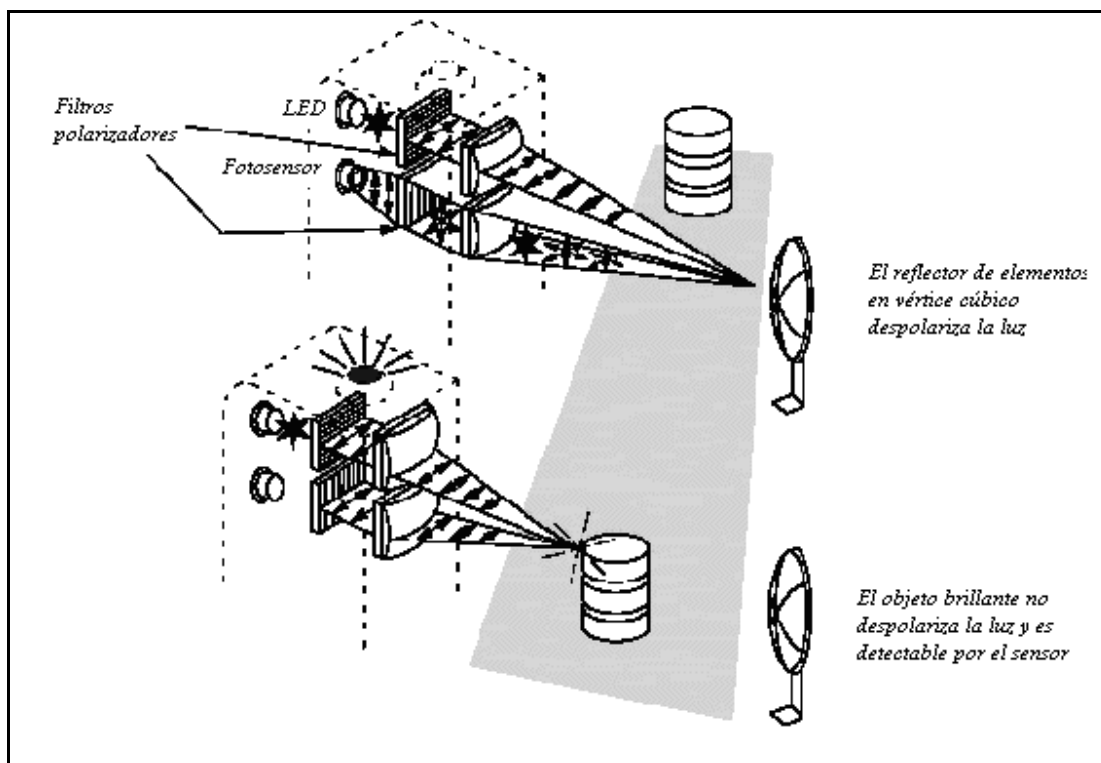


Fig. 17. Detección retroreflectiva polarizada.

Los sensores polarizados retroreflectivos ofrecen un rango 30-40 % más corto (y menos margen) que los sensores normales retroreflectivos. En lugar de indicadores LED infrarrojos, los sensores polarizados retroreflectivos deben usar una fuente de luz visible menos eficiente (generalmente un indicador LED rojo visible). Existen pérdidas adicionales de luz a causa de los filtros polarizadores.

Los sensores polarizados sólo ignoran los reflejos de “primera superficie” procedentes de una superficie reflejante expuesta. La luz polarizada deja de serlo al atravesar la mayoría de las películas de plástico, o los materiales de envoltorio fabricados por estiramiento. Por lo tanto, un objeto brillante puede crear reflejos que son detectados por el receptor cuando éste está envuelto en una película plástica transparente. En este último caso el objeto brillante constituye la “segunda superficie” tras el envoltorio de plástico.

Para estas aplicaciones han de considerarse otros modos de sensores polarizados retroreflectivos.

Todos los reflectores estándares despolarizan la luz y son adecuados para detección polarizada retrorreflectiva. Sin embargo, la mayoría de cintas reflectivas no despolarizan la luz y son adecuadas sólo para uso con sensores normales retrorreflectivos.

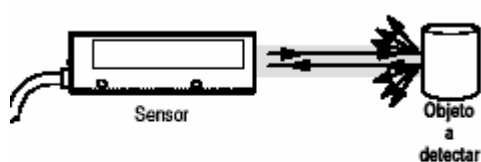
Hay disponibles cintas reflectivas hechas especialmente para detección polarizada retrorreflectiva.

2.1.5.5.3 DIFUSA

La detección de haz transmitido y la detección normal o polarizada retrorreflectiva crea un haz de luz entre la fuente de luz y el receptor o entre el sensor y el reflector. En ambos casos es necesario el acceso a ambos lados del objeto a detectar. Hay situaciones en las que es difícil, por no decir imposible, acceder a ambos lados del objeto. En estas aplicaciones, es necesario apuntar la fuente de luz directamente al objeto. La luz es dispersada por la superficie en todos los ángulos y una pequeña porción es reflejada nuevamente para ser detectada por el receptor contenido en la misma carcasa. Este modo de detección se llama *difusa o de proximidad*, (Fig. 18).

Existen varios modos diferentes de detección difusa, la más simple es la detección *difusa normal*. A continuación se explican los diferentes modos de detección difusa.

Difusa normal. La meta de la detección difusa normal es obtener un margen relativamente alto al detectar el objeto. En ausencia de éste, los reflejos procedentes de cualquier fondo que



Un modo de detección en el que la luz incide sobre la superficie de un objeto, es difundida por ésta en todos los ángulos y detectada por el sensor.

se halla detrás del objeto han de proporcionar un margen tan cercano a cero como sea posible. La reflectividad del objeto a detectar puede variar ampliamente. Las superficies relativamente brillantes pueden reflejar la mayor parte de la luz *en dirección opuesta* al receptor, lo cual dificulta mucho la detección.

Fig. 18. Detección difusa.

Los objetos muy oscuros o mate absorben la mayor parte de la luz incidente y reflejan muy poca para ser detectados. Estos objetos pueden ser muy difíciles de detectar, a no ser que el sensor se sitúe muy cercano a los objetos que se desea detectar.

La máxima distancia de detección especificada relativa a un sensor fotoeléctrico se determina utilizando un objeto difuso calibrado. Allen Bradley utiliza una hoja de papel blanco de 216 mm (8.5 pulgadas) x 292 mm (11 pulgadas) especialmente formulada para poseer un 90 % de reflectancia, lo que significa que el 90 % de la energía lumínica procedente de la fuente de luz será reflejada por el papel.

Los objetos en el “mundo real” generalmente son significativamente menos reflectivos, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de reflectividad para diferentes objetos.

<i>Objeto</i>	<i>Reflectividad relativa típica</i>
Aluminio pulido	500
Papel banco (referencia)	100
Papel blanco de escritura	90
Cartón	40
Madera cortada	20
Papel negro	10
Neopreno	5
Goma de neumático	4
Filtro negro	2

La detección de objetos situados cerca de fondos reflectivos puede ser una operación de resolución particularmente difícil. Puede ser imposible ajustar el sensor para obtener un margen suficiente desde el objeto sin detectar, o casi detectar el fondo (Fig. 19). En este caso, pueden ser más apropiados otros tipos de detección difusa.

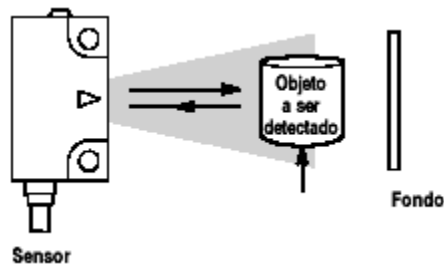


Fig. 19. Detección de objetos cerca de fondo reflectivo.

Difusa de corte abrupto. Los sensores difusos de corte abrupto se han diseñado de manera que el haz de luz proveniente de la fuente de luz y el área de detección del receptor estén orientados uno hacia el otro. Ello hace que estos sensores sean más sensibles con márgenes cortos y menos sensibles con márgenes largos. Esto proporciona una sensibilidad más confiable cuando los objetos están cercanos a fondos reflectivos.

Tómese nota que este modo de detección proporciona cierto grado de mejora en comparación con la detección difusa normal cuando un fondo reflectivo está presente. En todo caso, si el fondo es altamente reflectivo puede ser detectado aún así. Los sensores de supresión del fondo difuso proporcionan una solución aún mejor.

Supresión del fondo difuso. En lugar de intentar ignorar el fondo detrás de un objeto, los sensores de supresión del fondo difuso usan componentes electrónicos sofisticados para detectar activamente la presencia del objeto y del fondo. Las dos señales se comparan y la salida cambia de estado en caso de detección del objeto, o en caso de detección activa del fondo. En otras palabras, la detección de supresión del fondo puede permitir que el sensor ignore la presencia de un fondo muy reflectivo que está directamente detrás de un objeto oscuro y menos reflectivo. Es el modo ideal de detección difusa para un gran número de aplicaciones. Sin embargo, los sensores de supresión del fondo son más complejos y por lo tanto más costosos que otros sensores difusos.

Difusa de foco fijo. En un sensor de foco fijo (haz convergente), el haz de luz proveniente de la fuente de luz y el área de detección del receptor están enfocados hacia un punto muy angosto (punto focal) a una distancia fija al frente del sensor. El sensor es muy sensible en dicho punto y poco o nada sensible fuera de dicho punto focal.

Los sensores de foco fijo se usan principalmente en tres aplicaciones:

- * Detección confiable de objetos pequeños. Debido a que el sensor es muy sensible en el punto focal, los objetos pequeños pueden detectarse sin dificultad.
- * Detección de objetos a pequeña distancia. Como un sensor de foco fijo es más sensible en el punto focal, se puede usar en algunas aplicaciones para detectar un objeto en el punto focal e ignorarlo cuando está adelante o detrás del punto focal.
- * Detección de marcas de impresión a color (detección de marcas de registro a color). Generalmente son sensores RGB (red, green, blue).
También se pueden utilizar para identificar diferentes tonalidades de contraste.

En algunas aplicaciones es importante detectar la presencia de una marca impresa en una banda continua de material de envolver. Se puede seleccionar un sensor de foco fijo con un color específico de fuente de luz visible (generalmente rojo, verde o azul) para proporcionar la más alta sensibilidad a la marca.

Difuso gran angular. Los sensores difusos gran angular proyectan la fuente de luz y el área de detección del receptor en una amplia área (Fig. 20).

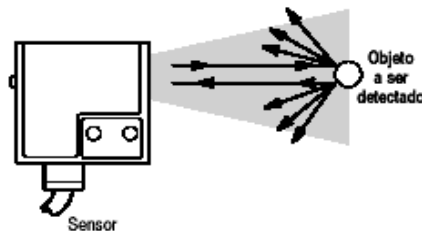


Fig 20. Difusa gran angular

Estos sensores son ideales para detectar la presencia de hilos de rosca extremadamente delgados y otros materiales ubicados cerca del sensor. La presencia o ausencia (rosca rota) de la rosca puede ser detectada de manera confiable, incluso aunque éste se mueva de lado a lado en la parte frontal del sensor.

2.1.5.6 FIBRA ÓPTICA

Los sensores de fibra óptica permiten el acoplamiento de “tubos de luz” denominados cables de fibra óptica. La luz emitida por la fuente de luz es transmitida a través de fibras transparentes en los cables y sale por el extremo de la fibra. Luego el haz transmitido o reflejado es llevado al receptor a través de fibras diferentes.

Los cables de fibra óptica pueden montarse en lugares que de otra forma serían inaccesibles a los sensores fotoeléctricos. Se pueden utilizar donde la temperatura ambiente es elevada, así como también en aplicaciones donde hay golpes o vibraciones extremas, o donde es necesario el movimiento continuo del punto de detección

Para hacer cables de fibra óptica se utilizan tanto fibras de vidrio como de plástico, ambos de material transparente.

2.1.5.6.1 CABLES ÓPTICOS DE FIBRA DE VIDRIO

Los cables ópticos de fibra de vidrio contienen múltiples fibras muy finas de dicho material empaquetadas juntas bajo una cubierta flexible.

Los cables ópticos de fibra de vidrio son en general más duraderos que los cables ópticos de fibra de plástico. Los cables de vidrio soportan temperaturas mucho más altas. La mayor parte de los cables de fibra de vidrio poseen dos tipos de cubiertas, de PVC y de acero inoxidable flexible.

Los recubiertos de PVC son generalmente más baratos. La cubierta de acero inoxidable hace que los cables sean aún más durables, permite que funcionen a temperaturas superiores y debe seleccionarse para aplicaciones donde la abrasión regular del cable de fibra óptica es un aspecto a considerar.

La cubierta de acero inoxidable no se recomienda para aplicaciones de lavado. Las rendijas existentes en el material de cobertura pueden permitir la penetración de agua o de otros fluidos en el interior del cable, degradando posiblemente su buen funcionamiento. Los cables con forro de PVC son apropiados para la mayoría de aplicaciones, a diferencia de los cables con forro de acero inoxidable. Éstos se recomiendan para utilizar en áreas de lavado.

Los cables de fibra óptica de vidrio se pueden usar con sensores que tienen fuentes de luz infrarroja, roja visible, verde visible o azul visible.

Hay dos tipos básicos de detección por medio de fibra óptica: reflectivo y de haz transmitido.

La detección reflectiva se puede realizar en modo difuso o modo retrorreflectivo. Un cable de fibra óptica se divide en dos cables (bifurcado) en el extremo del control y se une nuevamente en un solo cable en el extremo de detección. La mitad del mazo de vidrio se usa para transmitir luz del sensor fotoeléctrico al objeto que se desea detectar.

La otra mitad transmite la luz reflejada desde el objeto ó el reflector, de vuelta hacia el fotosensor del sensor fotoeléctrico.

La detección por haz transmitido necesita dos cables de fibra óptica (también denominados cables “individuales”). Los objetos se detectan cuando bloquean la trayectoria de luz desde el cable de fuente de luz (emisor) al cable receptor.

2.1.5.6.2 CABLES DE FIBRA ÓPTICA DE PLÁSTICO

Los cables de fibra óptica de plástico generalmente están hechos de un monofilamento de acrílico. No llevan cubierta protectora, lo que los hace menos duraderos, pero también más baratos, en general, que los de fibra de vidrio.

Los cables de plástico pueden utilizarse en aplicaciones donde se requiere la flexión continua de éstos. Para estas aplicaciones existen modelos de cables de plástico en espiral.

Los cables de fibra óptica están disponibles en configuraciones *individuales* o *bifurcadas* (Fig. 21).

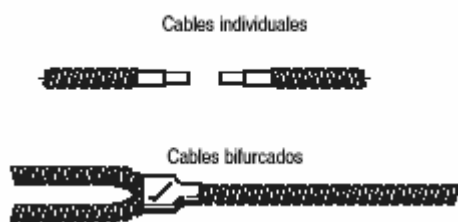


Fig. 21. Cables de fibra óptica.

Los cables de fibra óptica de plástico se construyen con un sólo filamento acrílico.

No tienen cubierta protectora, lo cual hace que los cables de fibra óptica de plástico sean menos durables, pero generalmente menos costosos que los cables de fibra óptica de vidrio.

Los cables de fibra óptica de plástico deben utilizarse con fuentes de luz visible. La luz se transmite insatisfactoriamente a través de fibras de plástico con una fuente de luz infrarroja.

Hay dos tipos básicos de detección por medio de fibra óptica: reflectivo y de haz transmitido.

Los cables dobles proporcionan detección difusa o retrorreflectiva. Dos cables de fibra óptica de plástico individuales son formados como un cable eléctrico. Uno de los cables se usa para transmitir luz desde el sensor fotoeléctrico al objeto que se desea detectar.

La otra mitad transmite la luz reflejada por el objeto de vuelta hacia el fotosensor del sensor fotoeléctrico.

La detección por haz transmitido necesita dos cables simples de fibra óptica (también denominados cables “individuales” o “simplex”). Los objetos se detectan cuando bloquean la trayectoria de luz desde el cable de fuente de luz (emisor) al cable receptor.

Los cables de fibra óptica de plástico se pueden usar satisfactoriamente en la mayoría de ambientes industriales. Sin embargo, cuando la abrasión o los impactos ocasionales son un aspecto a considerar, los cables de fibra óptica de vidrio con cubierta de acero inoxidable pueden proporcionar mayor durabilidad.

Los cables bifurcados se utilizan para los modos de detección difuso o retrorreflectivo. La detección normal difusa con cables de fibra óptica es similar a la detección con sensores fotoeléctricos con lente.

La detección retrorreflectiva polarizada no puede llevarse a cabo con tales aditamentos. En algunas aplicaciones, para evitar la detección difusa del objeto a detectar, será necesario reducir la sensibilidad del sensor.

La fibra de vidrio puede utilizarse con LEDs infrarrojos o visibles. Las fibras de plástico absorben la luz infrarroja y por lo tanto son más eficientes cuando se usan con indicadores LED de color rojo visible.

En la tabla 7 se presenta una comparación entre cables de fibra óptica de vidrio y plástico.

Tabla 7. Comparación de cables de fibra óptica.

	Vidrio	Plástico
Construcción	Fibras finas de vidrio con cubierta de acero inoxidable o de PVC	Monofilamento acrílico simple
Margen de temperatura	-40 °C (-40 °F) a 260 °C (500 °F) con cubierta de acero inoxidable. Pedido especial para un máximo de 480 °C (900 °F).	-30 °C (-20 °F) a 70 °C (158 °F)
Durabilidad	Muy duradero	Adecuado para muchas aplicaciones
Flexión continua	Romperá rápidamente las fibras de vidrio	Funcionará muy bien, versiones espirales disponibles
Fuente de luz	Visible o infrarrojo aceptable	Debe usar luz visible
Margen	Puede ser de margen más largo debido al mayor diámetro	Adecuado para muchas aplicaciones

Hay una amplia selección de cables de fibra óptica disponibles y se pueden obtener muchas configuraciones especiales.

2.1.5.7 DETECCIÓN DE OBJETOS TRANSPARENTES

Los materiales transparentes son una aplicación desafiante para los sensores fotoeléctricos. La mayoría de objetos y películas transparentes proporcionan un contraste insuficiente para una detección confiable con sensores retrorreflectivos o polarizados retrorreflectivos de uso general. Diversas formas de detección difusa no ofrecen una solución ideal porque no se puede detectar la ubicación exacta del objeto transparente.

Sin embargo, es de hacer notar que existen en el mercado diferentes tipos de sensores, que están diseñados específicamente para aplicaciones de detección de objetos y películas transparentes. Estos sensores, contienen ensamblajes ópticos especiales diseñados para optimizar la cantidad de contraste generada por objetos y películas transparentes. La confiabilidad de detección se mejora posteriormente con la ayuda de circuitos electrónicos especiales y con características de software.

2.1.5.8 ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES FOTOELÉCTRICOS

A continuación se explica el significado que tienen las especificaciones de los sensores fotoeléctricos, proporcionados por el proveedor.

2.1.5.8.1 OPERACIÓN DE LA SALIDA POR LUZ / OSCURIDAD.

Los términos “operación por luz” y “operación por oscuridad” se usan para describir la acción de un sensor cuando un objeto está presente o ausente.

Una salida de operación por luz se activa (energizada, nivel de lógica uno) cuando el receptor puede “ver” suficiente luz proveniente de la fuente de luz.

En el caso de detección retrorreflectiva y haz transmitido, una salida de operación por luz se activa cuando el objeto está ausente y la luz proveniente de la fuente de luz puede llegar al receptor.

En el caso de detección difusa (todos los tipos), la salida se activa cuando el objeto está presente y reflejando luz de la fuente de luz al receptor.

Una salida de operación por oscuridad está activada (energizada, nivel de lógica uno) cuando el receptor no puede “ver” la luz proveniente de la fuente de luz.

En el caso de detección retrorreflectiva y haz transmitido, una salida de “operación por oscuridad” se activa cuando el objeto está presente y la luz proveniente de la fuente de luz está bloqueada y no puede llegar al receptor. En el caso de detección difusa (todos los tipos), una salida de operación por oscuridad se activa cuando el objeto está ausente.

2.1.5.8.2 DISTANCIA MÁXIMA DE DETECCIÓN.

Esta especificación se refiere a la distancia de detección desde:

- ✓ Sensor a reflector en sensores retrorreflectivos y polarizados retrorreflectivos,
- ✓ Sensor a objeto especificado en todos los tipos de sensores difusos, y
- ✓ Fuente de luz a receptor en sensores de haz transmitido.

Esta distancia de detección está garantizada por el fabricante.

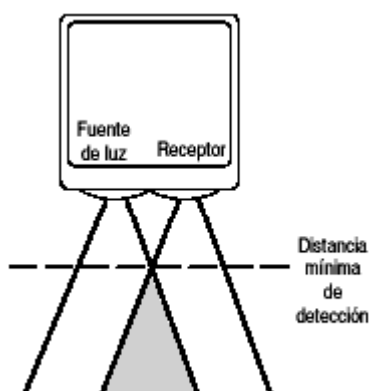


Fig. 22. Área ciega.

La mayoría de los entornos industriales produce contaminación que se deposita en las lentes del sensor y en los reflectores o en los objetos. En tal caso los sensores han de aplicarse a distancias más cortas para incrementar el margen, llevándolo a un valor aceptable y mejorando así la confiabilidad de la aplicación.

2.1.5.8.3 DISTANCIA MÍNIMA DE DETECCIÓN

Muchos sensores retrorreflectivos, polarizados retrorreflectivos y difusos (la mayoría de los tipos) tienen una pequeña área “ciega” cerca del sensor (Fig. 22). Para obtener una operación confiable, los reflectores, las cintas reflectivas o los objetos difusos se deben colocar más lejos del sensor que esta distancia mínima de detección.

2.1.5.8.4 CURVA DE RESPUESTA TÍPICA

Las páginas del catálogo referentes a la mayoría de sensores fotoeléctricos muestran una curva que indica el margen típico dependiendo de la distancia de detección. Por lo general se recomienda un margen de 2X como mínimo para los entornos industriales.

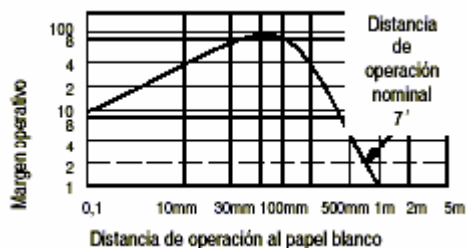


Fig 23. Margen

La Fig. 23 muestra un ejemplo de curva para un sensor difuso. El máximo rango de detección (margen =1X) de este sensor es de 1 m (39.4 pulgadas) con respecto a una hoja de papel blanco. Se puede obtener un margen de 4X a la mitad de dicha distancia aproximadamente, es decir, 500 mm (19.7 pulgadas).

2.1.5.8.5 TIEMPO DE RESPUESTA

El tiempo de respuesta de un sensor es el tiempo que transcurre entre la detección de un objeto y el cambio de estado del dispositivo de salida de activado a desactivado y de desactivado a activado.

También es el tiempo necesario para que el dispositivo de salida cambie de estado, una vez que el objeto ha dejado de ser detectada por el sensor.

Para la mayoría de los sensores el tiempo de respuesta es una única especificación para ambos tiempos de ACTIVACIÓN y DESACTIVACIÓN. Hay otros sensores en los que se pueden proporcionar dos valores diferentes.

Los tiempos de respuesta dependen del diseño del sensor y del tipo de dispositivo de salida. Los sensores más lentos normalmente ofrecen rangos más largos de detección. Los más rápidos normalmente poseen distancias de detección más cortas.

2.1.5.8.6 CAMPO DE VISIÓN

En la mayoría de sensores fotoeléctricos, el haz de luz proveniente de la fuente de luz y el área de detección al frente del receptor se proyecta en dirección opuesta al sensor en una forma cónica. El campo de visión es una medida (en grados) de esta área cónica.

El campo de visión es una especificación útil para determinar el área de detección disponible a una distancia fija que se aleja del sensor fotoeléctrico.

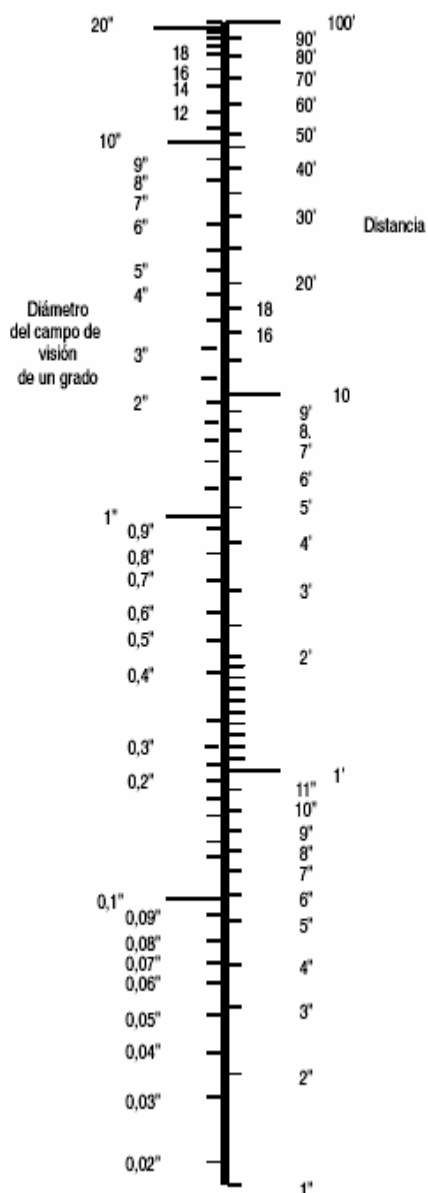


Fig 24. Campo de visión respecto a distancia.

El margen máximo de operación se localiza en el eje óptico y decrece al desplazarnos hacia el límite exterior del contorno del haz. Todos los contornos de haz se generan bajo condiciones de detección limpias con un alineamiento óptico del sensor.

El contorno del haz representa el área más grande de detección típica y no se debe considerar como precisa. El polvo, la contaminación, las nebulizaciones, etc. disminuirán el área de detección y el rango de operación del sensor.

Como ejemplo considérese un sensor retrorreflectivo, que tiene un campo de visión de 3°. La Fig. 24 muestra que a una distancia de detección de 3.0 m (10 pies) el área de detección será un círculo de 168 mm (6.6 pulg.) de diámetro (56 mm ó 2.2 pulg. por grado).

Los sensores que poseen amplios campos de visión poseen así mismo unas distancias de detección más cortas. Por otra parte el campo de visión más amplio puede hacer más fácil la operación de alineamiento.

2.1.5.8.7 CONTORNO DEL HAZ

Para ayudar a predecir el funcionamiento de los sensores en una gran variedad de aplicaciones, se incluyen representaciones gráficas del contorno del haz en las especificaciones de diversas líneas de sensores fotoeléctricos. El contorno del haz se define como el área de detección adecuada a un sensor fotoeléctrico dado. Éste es el contorno generado al comparar la respuesta del receptor con la señal emitida a través de la distancia de operación del sensor.

Todos los contornos del haz aparecen dibujados en dos dimensiones y se asume que han de ser simétricos en todos los planos que pasan por el eje óptico del sensor.

Contornos de haz transmitido. El contorno del haz, en el caso de un sensor de haz transmitido, representa el límite donde el receptor recibe eficazmente la señal del emisor, suponiendo que no existe un mal alineamiento de ángulo. Un mal alineamiento angular entre el emisor y el receptor disminuirá el tamaño del área de detección. Los contornos del haz en los sensores de haz transmitido son útiles para determinar el espacio mínimo necesario entre los pares de sensores adyacentes de haz transmitido para prevenir interferencias ópticas de cruce entre una pareja de sensores y la siguiente.

Contornos de haz retrorreflectivo. Los contornos de haz de sensores retrorreflectivos y retrorreflectivos polarizados representan el límite dentro del cual el sensor responderá eficazmente a la señal reflejada por el objeto retrorreflectivo.

El objeto retrorreflectivo, (receptor) se mantiene perpendicular al eje óptico del sensor mientras que se va representando el diámetro del haz. El objeto a detectar ha de ser de igual o mayor tamaño que el diámetro del haz indicado en el contorno de haz para que la operación resulte confiable.

Para la detección precisa de objetos de menor tamaño debe utilizarse un objeto retrorreflectivo más pequeño.

Contornos de haz difuso, de corte abrupto y de supresión de fondo. El contorno de haz de un sensor difuso representa el límite dentro del cual el borde de un objeto reflectivo blanco será detectado según pase por delante del sensor.

Los contornos de haz difuso se generan utilizando una hoja del 90 % de reflectancia de 216 mm x 279 mm (8 1/2 pulg. x 11 pulg.) de papel blanco mantenida perpendicularmente al eje óptico del sensor. El área de detección será más pequeña para materiales que son *menos reflectivos* y mayor para los que tienen una *reflectancia mayor*. Los objetos menores disminuyen el tamaño del contorno de haz de algunos sensores difusos a mayores valores del rango. Los objetos difusos con superficies que no están perpendiculares al eje óptico del sensor también disminuirán significativamente la respuesta del sensor.

2.1.5.8.8 HISTÉRESIS

La histéresis de un sensor fotoeléctrico es la diferencia entre la distancia en la que se puede detectar un objeto a medida que se mueve hacia el sensor y la distancia que se tiene que mover en dirección opuesta al sensor para que deje de ser detectado. En la Fig. 25 se muestra un ejemplo.

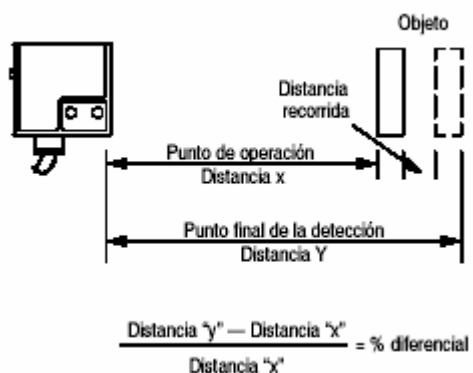


Fig. 25. Histéresis.

Cuando el objeto se acerca al sensor, éste lo detectará a una distancia X.

Cuando el objeto se aleja del sensor, seguirá siendo detectado hasta llegar a una distancia Y.

La alta histéresis en la mayoría de sensores fotoeléctricos es útil para detectar objetos grandes y opacos en aplicaciones de haz transmitido, retrorreflectivo y retrorreflectivo polarizado.

En aplicaciones difusas, la gran diferencia en la luz reflejada desde el objeto y el fondo también permite el uso de sensores de alta histéresis. La baja histéresis requiere pequeños cambios en el nivel de luz.

2.1.5.9 ALINEAMIENTO DE UN SENSOR FOTOELÉCTRICO

El alineamiento adecuado del sensor dará lugar a una solución de detección más potente y que requiere menos mantenimiento.

2.1.5.9.1 RETRORREFLECTIVOS O RETRORREFLECTIVOS POLARIZADOS.

1. Apunte el sensor hacia el reflector (o cinta reflectiva).
2. Separe lentamente éste hacia la izquierda hasta dejar de detectar el reflector.
3. Marque esta posición, ahora mueva el sensor despacio hacia la derecha y fíjese en el momento en que deja de detectar al reflector.
4. Centre el sensor entre estos dos puntos, repita la operación hacia arriba y abajo para centrarlo en el plano vertical.

2.1.5.9.2 DIFUSO (TODOS LOS TIPOS).

1. Apunte el sensor hacia el objeto.
2. Desplace el sensor hacia arriba y abajo, hacia la izquierda y derecha para centrar el haz en el objeto.
3. Reduzca la sensibilidad exactamente hasta el punto en que deje de detectarse el objeto y marque la posición de ajuste de sensibilidad.
4. Quite el objeto e incremente la sensibilidad hasta detectar el fondo.
5. Ajuste la sensibilidad en el punto medio entre la detección del objeto y la detección del fondo.

2.1.5.9.3 HAZ TRANSMITIDO.

1. Apunte el reflector hacia la fuente de luz.
2. Mueva lentamente el receptor hacia la izquierda hasta que la fuente de luz deje de ser detectada.
3. Tome nota de esta posición, luego lentamente mueva el receptor hacia la derecha y tome nota cuando el reflector deje de ser detectado.
4. Centre el receptor entre estas dos posiciones, luego muévelo hacia arriba y hacia abajo para centrarlo en el plano vertical.

2.1.5.10 DISPOSITIVOS DE SALIDA.

Una vez que el sensor ha detectado el objeto, un dispositivo de salida conmuta la alimentación eléctrica en el circuito de control del usuario. La salida se activa o se desactiva, lo cual hace que el sensor sea un dispositivo digital.

Hay muchos tipos de salidas disponibles, cada uno con sus ventajas y desventajas, los cuales se describen a continuación y se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de salida digital.

Tipo de salida	Ventajas	Desventajas.
<i>Relé electromecánico Selección de AC ó DC.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La salida está eléctricamente aislada de la fuente de alimentación eléctrica. ✓ Fácil conexión en serie y/o en paralelo de salidas de sensor. ✓ Alta corriente de conmutación. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No es posible proporcionar protección contra cortocircuito. ✓ Vida útil limitada del relé.
<i>FET Selección de AC ó D C.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de fuga muy baja. • Alta velocidad de conmutación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja corriente de salida.
<i>MOSFET de potencia Selección de AC ó DC.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alta corriente de salida. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corriente de salida moderadamente alta.
<i>TRIAC Selección de AC solamente.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de fuga muy baja. • Alta velocidad de conmutación, 	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de fuga relativamente alta. • Baja conmutación de salida.
<i>Transistor NPN ó PNP. Selección de DC solamente.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corriente de fuga muy baja. ✓ Alta velocidad de conmutación. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin selección de AC.

Relé electromecánico. Un relé electromecánico ofrece una manera positiva y confiable de conmutación de energía eléctrica. Sus ventajas principales son alta corriente de conmutación y aislamiento eléctrico de la fuente de alimentación del sensor.

Debido al aislamiento eléctrico de la fuente de alimentación del sensor, así como también a la ausencia de corriente de fuga se pueden conectar en serie y/o en paralelo los relés de múltiples sensores.

Las clasificaciones de los contactos varían entre 1A y 5A a 120/240 V AC 50/60 Hz resistivas, dependiendo del sensor seleccionado.

Existe un determinado número de posibilidades en los contactos disponibles:

- ✓ SPST-→ Simple polo, simple tiro.
- ✓ SPDT-→ Simple polo, doble tiro.
- ✓ DPDT-→ Doble polo, doble tiro.

Los relés poseen un período limitado de vida, que normalmente se mide en millones de operaciones. Las cargas inductivas pueden acortar este período de vida de forma considerable.

Las salidas de estado sólido se deben considerar para aplicaciones que requieren una conmutación frecuente por el sensor.

Los tiempos de respuesta típicos de los relés varían entre 15-25 ms, mucho más lentos que los correspondientes a las salidas de estado sólido.

FET. El FET (transistor de efecto de campo) es un dispositivo de estado sólido que proporciona una rápida conmutación de la alimentación de AC o DC y muy baja corriente de fuga. La corriente que puede conmutar es limitada.

Las salidas FET se pueden conectar en paralelo igual que los contactos electromecánicos de los relés.

MOSFET de potencia. Un MOSFET (transistor de efecto de campo de semiconductor de óxido metálico) de potencia proporciona las ventajas de fuga muy baja y rápido tiempo de respuesta de un FET con capacidad de alta corriente de conmutación.

TRIAC. Un TRIAC es un dispositivo de salida de estado sólido diseñado para conmutación de AC solamente. Los TRIACS ofrecen una elevada corriente de conmutación, lo que los hace adecuados para ser conectados a grandes contactores y solenoides.

Los TRIACS presentan una corriente de fuga mucho más elevada que los FET y los MOSFET de potencia. La corriente de fuga de los TRIAC puede exceder 1 mA, lo cual los hace inadecuados como dispositivos de entrada para controladores programables y otras entradas de estado sólido. Para activar un TRIAC se necesita un dispositivo sensor del cruce por cero en cada ciclo de tensión de CA 50/60 Hz, lo que significa que su tiempo de respuesta mínimo es de 8.3 ms. Los MOSFET de potencia proporcionan mejores características de salida en la mayoría de las aplicaciones.

Transistores NPN / PNP. Los transistores son el dispositivo de salida de estado sólido típico para sensores de DC de bajo voltaje. Un sensor equipado con salida de transistor NPN posee una salida tipo sumidero. La carga se debe conectar entre la salida del sensor y la conexión de alimentación (+).

Un sensor equipado con salida de transistor PNP posee una salida tipo fuente. La carga se debe conectar entre la salida del sensor y la conexión de alimentación (-). Los transistores tienen una corriente de fuga muy baja (medida en μA) y una corriente de conmutación relativamente alta (generalmente 100 mA) para una fácil interface con la mayoría de cargas de DC. Los tiempos de respuesta de los sensores con salidas de transistor pueden variar de 2 ms hasta 30 μs .

Salida analógica

Los sensores analógicos proporcionan una salida proporcional, o inversamente proporcional, a la cantidad de luz que ve el receptor; aunque suelen tener problemas de falta de repetibilidad frente a cambios de iluminación ambiental, ambientes polvorientos y otras condiciones del entorno. La Fig. 26 muestra la respuesta típica de uno de dichos detectores con salida analógica.

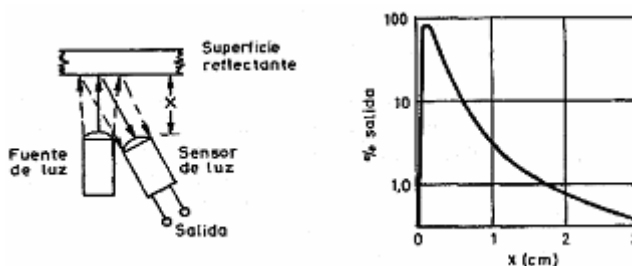


Fig 26. Sensores ópticos con salida analógica

2.1.5.11 TEMPORIZACIÓN

Los sensores fotoeléctricos son de algún modo únicos entre los sensores de presencia porque muchos de ellos ofrecen funciones lógicas o de temporización. Estas funciones pueden estar disponibles en versiones especiales de los sensores o en módulos enchufables.

2.1.5.11.1 TEMPORIZADOR A LA CONEXIÓN Y TEMPORIZADOR A LA DESCONEXIÓN

El temporizador a la conexión y el temporizador a la desconexión son los modos de temporización más comunes. El temporizador a la conexión retrasa la operación de una salida una vez detectado el objeto. El temporizador a la desconexión retrasa la operación de una salida, una vez que el objeto ha abandonado la zona de detección del sensor.

El intervalo de temporización es ajustable en la mayoría de los sensores desde menos de un segundo hasta valores de 10 segundos o más.

Ciertos sensores de alta velocidad (con un tiempo de respuesta inferior a 1 ms) poseen un temporizador a la desconexión seleccionable de 50 ms. Esta “ampliación del pulso” es útil cuando hace falta lentificar el intervalo de desconexión para permitir a un Autómata Programable o a otro tipo de lógica de la maquinaria la respuesta al movimiento de los materiales en aplicaciones de alta velocidad.

2.1.5.12 APLICACIONES DE LOS SENSORES FOTOELÉCTRICOS.

Dentro de las aplicaciones de este tipo de sensores de proximidad, se puede mencionar las siguientes:

- ✓ Envasado de alimentos y bebidas y otras aplicaciones de manejo de materiales.
- ✓ Industria de máquinas herramienta
- ✓ Sistemas de transporte e instalaciones de almacenaje
- ✓ En caso de condiciones ambientales adversas
- ✓ Inspección de paso
- ✓ Vehículos transportadores sobre el suelo (sin protección de personas)
- ✓ Industria maderera
- ✓ Industria de cerámica
- ✓ Detección de objetos empaquetados
- ✓ Detección de unión en latas
- ✓ Reconocimiento de color y/o contraste,
- ✓ Industria química y farmacéutica: detección y clasificación de sustancias por color.

- ✓ Industria Electrónica: selección de componentes, detección de cables por color, identificación de marcas incorrectas.
- ✓ Papeleras: detección e identificación de papel por tipo y color.
- ✓ Tabaco: detección de materiales y verificación de sellos.
- ✓ Empaquetadoras: identificación y posicionamiento de etiquetas.
- ✓ Aplicaciones en robótica.

2.1.6 DETECTORES ULTRASÓNICOS.

Estos detectores están basados en la emisión-recepción de ondas ultrasónicas. Cuando un objeto interrumpe el haz, el nivel de recepción varía y el receptor lo detecta.

Como ventaja frente a los sensores fotoeléctricos, los detectores ultrasónicos pueden detectar con facilidad objetos transparentes, como cristal o plásticos, materiales que ofrecen dificultades para la detección óptica. Es muy común encontrarlos en líneas de transporte de materiales, bien para la detección de objetos de plástico o vidrio ó para contar materiales que son ópticamente difíciles de detectar.

Sin embargo, y dado que estos detectores utilizan ondas ultrasónicas que se mueven por el aire, no podrán ser utilizados en lugares donde éste circule con violencia (bocas de aire acondicionado, cercanías de puertas, etc.), o en medios de elevada contaminación acústica (prensas, choques entre metales, etc.).

Por lo demás, y en cuanto a características de funcionamiento, estos detectores son semejantes a las células fotoeléctricas.

La velocidad con que las ondas ultrasónicas atraviesan a los materiales depende de su elasticidad y de su densidad. Si el medio de propagación es un gas, como el aire, influye, también la temperatura.

2.1.6.1 VENTAJAS DE LA DETECCIÓN POR ULTRASONIDO

- ✓ Sin contacto físico con el objeto, por lo tanto, sin desgaste y posibilidad de detectar objetos frágiles, con pintura fresca.
- ✓ Detección de cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección.
- ✓ Muy buena resistencia a los entornos industriales (productos resistentes completamente encapsulados en una resina).
- ✓ Aparatos estáticos: sin piezas en movimiento dentro del detector, por lo tanto, duración de vida independiente del número de ciclos de maniobras.

2.1.6.2 FUNCIONAMIENTO.

Antes de entrar en detalle en el funcionamiento de este tipo de elemento es importante, conocer algunos conceptos, véase la Fig. 27.

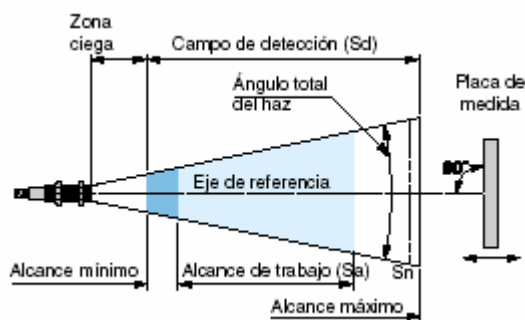


Fig. 27. Partes de una onda sonora.

Alcance nominal (S_n). Valor convencional para designar el alcance. No tiene en cuenta las tolerancias de fabricación ni las variaciones debidas a las condiciones externas, como la tensión y la temperatura.

Campo de detección (S_d). Campo en el que el detector es sensible a los objetos.

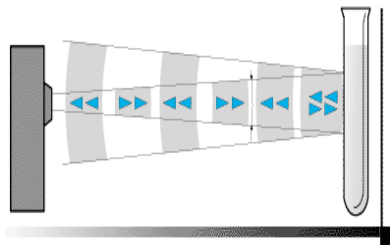
Alcance mínimo. Límite inferior del campo de detección especificado.

Alcance máximo. Límite superior del campo de detección especificado.

Alcance de trabajo (S_a). Corresponde al campo de funcionamiento del detector (activación de las salidas) y está incluido en el campo de detección.

Zona ciega. Zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable.

Evitar el paso de objetos en esta zona durante el funcionamiento del detector, ya que podría provocar un estado inestable de las salidas.



Los sensores ultrasónicos de proximidad, permiten alternar entre transmisión y recepción de las ondas de sonido. El transductor emite un número de ondas sónicas, las cuales son reflejadas por un objeto, y enviadas nuevamente al transductor, como se muestra en la Fig. 28.

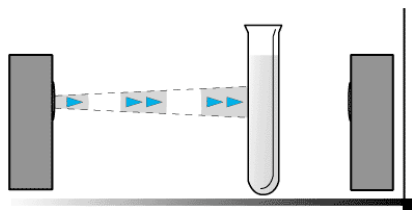
Fig 28. Funcionamiento del sensor ultrasónico.

Luego de la emisión de la onda de sonido, el sensor ultrasónico cambia al modo de recepción. El tiempo que pasa entre la emisión y recepción es proporcional a la distancia del objeto desde el sensor.

Existe un segundo modo de detección y es el “modo retro-reflectivo”, que consiste en un conjunto sensor-reflector.

La distancia desde el reflector al sensor ó a un objeto que se encuentre dentro del espacio de sentido es determinado midiendo el tiempo de propagación de la onda sonora. El tiempo de propagación de la señal ultrasónica más grande que se pueda obtener corresponde a la distancia que hay entre el sensor y el reflector; en este momento el dispositivo se encuentra en estado no activo. Cuando un objeto se encuentra entre sensor y el reflector el tiempo de propagación de la señal ultrasónica cambia y esto provoca que el sensor cambie al estado activo.

Otra variante de este tipo de sensores es utilizando un haz sónico directo, como el que se describe a continuación:



El emisor y el receptor están en dos compartimientos diferentes. El emisor envía una señal continua, que es recogida por el receptor, Fig. 29. Cuando un objeto interrumpe el haz de sonido, el receptor reacciona y proporciona una señal de salida.

Fig. 29. Haz sónico directo.

Este tipo de sensor es ideal para aplicaciones que requieren un corto tiempo de respuesta o donde la distancia entre objetos sucesivos es muy pequeña.

Conviene poner de manifiesto que las características de la superficie que refleja la onda y el ángulo de incidencia tienen una notable influencia en la eficiencia de estos sensores. En efecto, si el ángulo de incidencia excede un cierto valor crítico, la energía reflejada no entrará en la zona de detección. Pueden recibirse también reflexiones desperdigadas de otros objetos generando señales falsas.

2.2 SENSORES MEDIDORES DE POSICIÓN Ó DISTANCIA

Dentro de los transductores de posición podemos distinguir dos grandes grupos:

Los indicadores de posición lineal o angular para grandes distancias, conocidos también como sistemas de medición de coordenadas.

Los detectores de pequeñas deformaciones o detectores de presencia de objetos a una cierta distancia que dan una señal analógica o digital proporcional a dicha distancia.

Los *medidores de coordenadas* se utilizan, por lo general, para determinar la posición relativa de partes móviles de una máquina. Se trata de transductores de desplazamiento relativo previstos para medición indirecta de distancias, y decimos medición indirecta por cuanto en realidad no permiten determinar la distancia entre objetos estáticos, sino únicamente la posición relativa de objetos a partir de un origen de desplazamiento.

Su característica esencial es que permiten medir grandes distancias con una excelente resolución y se usan, sobre todo, en el campo de la robótica y la máquina-herramienta.

Podemos distinguir dos tipos: *absolutos e incrementales*.

Los primeros dan en todo momento una indicación de la posición respecto a un origen, incluso en caso de pérdida de alimentación. Los incrementales, en cambio, detectan desplazamientos y obtienen la posición final a base de acumular dichos desplazamientos respecto a un origen. En consecuencia, cuando éstos últimos pierden la alimentación pueden perder la referencia al origen.

El segundo grupo de detector que hemos mencionado, es decir, *los detectores de pequeñas distancia*, permiten determinar la distancia entre un objeto estático o en movimiento respecto al cabezal del sensor.

2.2.1 POTENCIOMETROS

El potenciómetro es un sensor de posición angular, de tipo absoluto y con salida de tipo analógico. Consiste en una resistencia de hilo bobinado o en una pista de material conductor, distribuida a lo largo de un soporte en forma de arco y un cursor solidario a un eje de salida, que puede deslizar sobre dicho conductor (Fig. 30). El movimiento del eje arrastra el cursor provocando cambios de resistencia entre éste y cualquiera de los extremos. Así pues, cuando se alimenta entre los extremos de la resistencia con una tensión constante, aparece entre la toma media y uno de los extremos una tensión proporcional al ángulo girado a partir del origen.

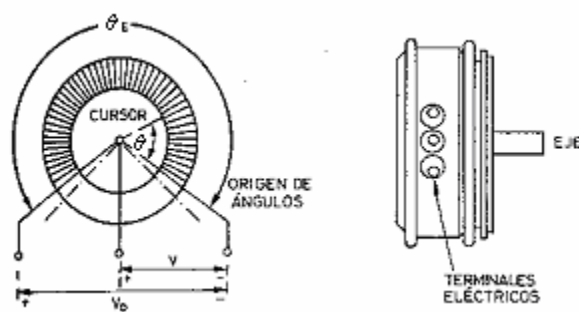


Fig. 30. Potenciómetro

Existen también potenciómetros con carrera lineal, pero lo más frecuente, cuando se usan como detectores de posición, es emplear los rotativos con o sin topes y de una ó más vueltas. En el caso de potenciómetros con topes, el ángulo de la resistencia se denomina ángulo de giro eléctrico (θ_E) y suele ser algo menor que el ángulo de giro mecánico entre topes.

Para los potenciómetros utilizados como sensores de posición interesa que la ley de variación de la resistencia en función del ángulo de giro sea lineal, como se muestra en la Fig. 31, aunque existen potenciómetros con ley de variación logarítmica y exponencial, que se utilizan para otras aplicaciones. La tensión de salida depende del ángulo girado respecto al origen y de la tensión de alimentación entre extremos. Esto puede dar lugar a errores de medida en caso de que dicha tensión no fuese estrictamente constante, por lo que se prefiere muchas veces medir la relación V/V_0 , en lugar de medir la tensión V .

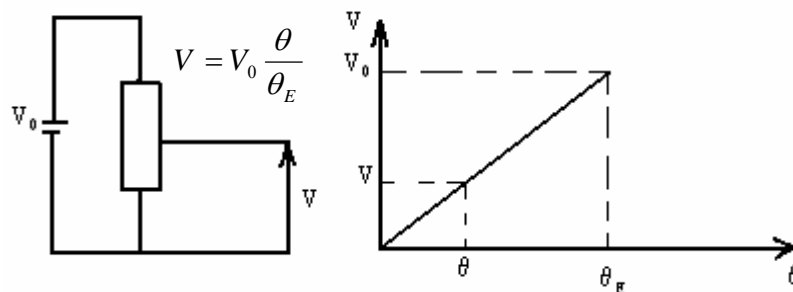


Fig. 31. Respuesta de un potenciómetro lineal.

Este método de medida, denominado *ratimétrico*, tiene la ventaja de entregar una salida independiente del valor de la tensión de alimentación y dependiente únicamente del ángulo girado por el cursor.

En el caso de los potenciómetros con carrera lineal, si se aplica una tensión V_e en la pista resistiva, se obtiene V_s en el contacto como función de la posición, (véase la Fig. 32).

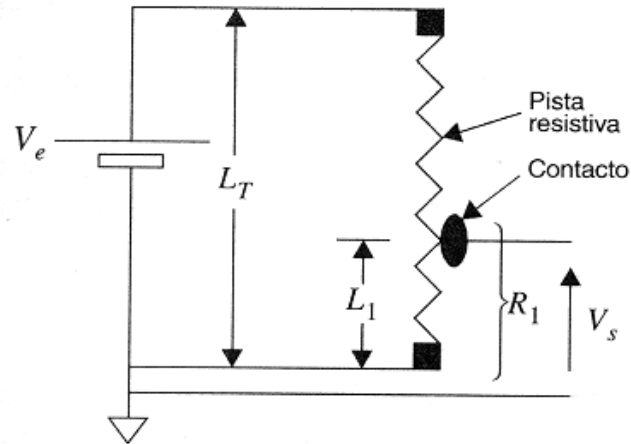


Fig. 32. Potenciómetro lineal

El desplazamiento se obtiene como:

$$L_l = \frac{R_l L_T}{R_T} = \frac{V_s L_T}{V_e} \quad (2)$$

Siendo: L_l el desplazamiento a calcular, R_T la resistencia total entre extremos de la pista resistiva, R_l la resistencia entre el contacto deslizante y el extremo y L_T la longitud total.

Para potenciómetros rotatorios, el ángulo se obtiene como:

$$\theta_l = \frac{R_l \theta_T}{R_T} = \frac{V_s \theta_T}{V_e} \quad (3)$$

Donde:

θ_l , es el desplazamiento angular a calcular,

V_s , el voltaje de salida,

V_e , la tensión de entrada y

θ_T , es el ángulo total que puede girar el potenciómetro.

Para realizar físicamente las pistas resistivas se emplean películas de material resistivo: carbón, metal, cerámica conductora, plástico conductor, hilos de alta resistencia sobre aluminio anodizado, etc.

Un aspecto de carácter práctico es la dificultad para medir giros de más de 300° en una vuelta debido a la necesidad de espacio para los contactos.

Los potenciómetros son sensores de relativamente bajo coste. Sin embargo la precisión es limitada. En potenciómetros de calidad pueden conseguirse errores lineales de 0.1%.

En general presentan problemas de fiabilidad debido a desgaste, fricciones, polvo, etc.

En cuanto a la respuesta dinámica, el potenciómetro es prácticamente un elemento proporcional sin retardo. Únicamente es de considerar el retardo debido a la inductancia del bobinado si los movimientos fuesen muy rápidos, pero la frecuencia de funcionamiento suele quedar limitada por razones mecánicas a unos 5 Hz.

2.2.2 ENCODERS.

Los encoders son dispositivos formados por un rotor con uno o varios grupos de bandas opacas y translúcidas alternadas y por una serie de captadores ópticos alojados en el estator, que detectan la presencia o no de banda opaca frente a ellos.

Es posible también distinguir entre encoders rotacionales y lineales. Los que son utilizados para la detección angular son llamados comúnmente encoders rotativos o de flecha, puesto que usualmente detectan la rotación de un eje.

Como emisor puede emplearse una fuente incandescente o un diodo. El detector es típicamente un fotodiodo.

Existen dos tipos de encoders: *los incrementales* y *los absolutos*.

Los primeros dan un determinado número de impulsos por vuelta y requieren de un contador para determinar la posición a partir de un origen de referencia. Los absolutos, en cambio, disponen de varias bandas en el rotor ordenadas según un código binario. Los captadores ópticos detectan, pues, un código digital completo, que es único para cada posición del rotor.

Los encoders pueden presentar problemas mecánicos debido a la precisión que se tiene en su fabricación. La contaminación ambiental puede ser una fuente de interferencias en la transmisión óptica. Son dispositivos particularmente sensibles a golpes y vibraciones, estando su margen de temperatura de trabajo limitado por la presencia de componentes electrónicos.

2.2.2.1 ENCODERS INCREMENTALES O RELATIVOS.

Los encoders incrementales suelen tener una sola banda de marcas transparentes y opacas repartidas a lo largo del disco rotórico y separadas por un paso (p), tal como lo muestra la Fig. 33.

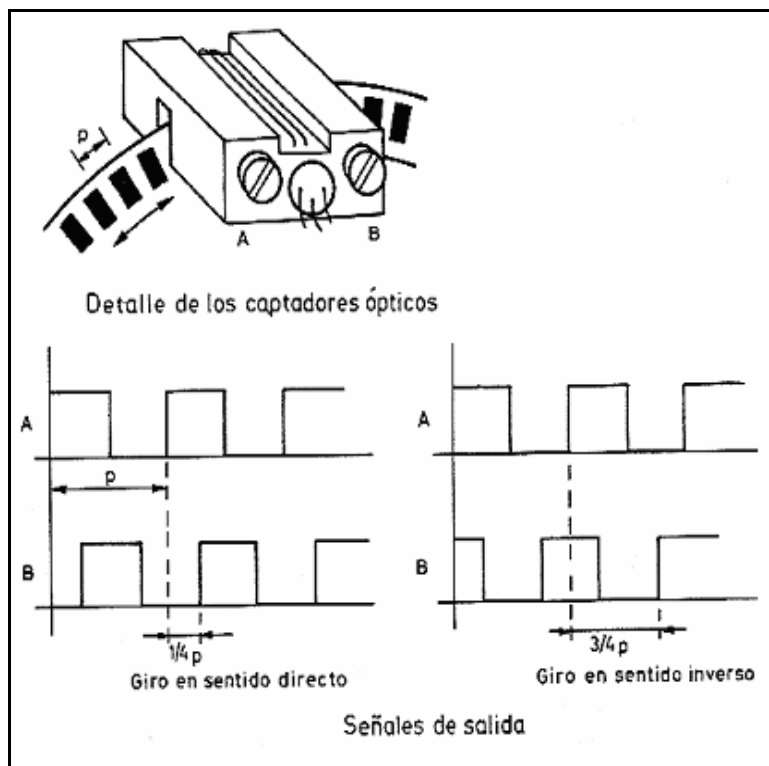
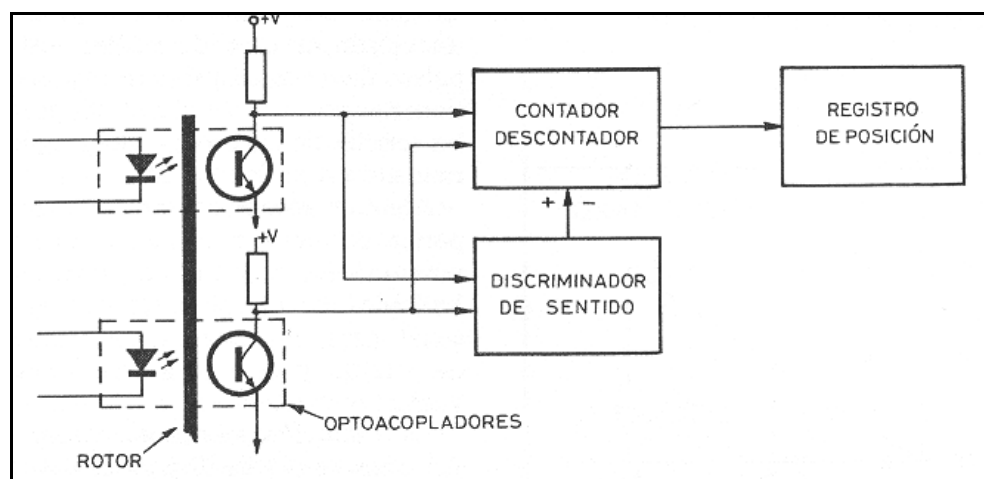


Fig. 33. Encoder incremental

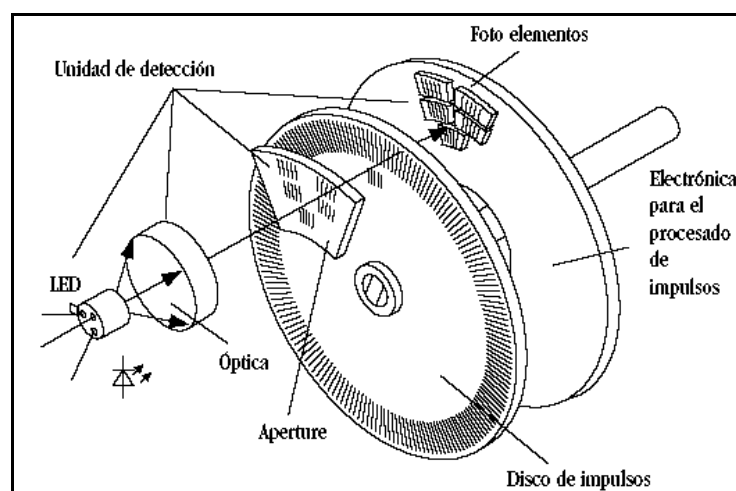
En el estator suelen disponer de dos pares de emisor-receptor óptico (salida de dos canales) decalados un número entero de pasos más $1/4$. Al girar el rotor, cada par óptico genera una señal cuadrada. El decalaje de $1/4$ de división de los captadores hace que las señales cuadradas de salida tengan entre sí un desfase de $1/4$ de período cuando el rotor gira en un sentido, y $3/4$ de período cuando gira en sentido contrario, lo cual se utiliza para discriminar el sentido de giro.

Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar los impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre las señales de los dos canales, según se muestra en la Fig. 34a.

Los incrementos angulares son registrados mediante un disco de impulsos que contiene un número específico de incrementos por revolución, Fig. 34b. Una unidad de detección con opto-electrónicos integrados produce señales eléctricas y transmite impulsos (incrementos de medida), que son procesados en etapas de salida.



a) Circuito electrónico.



b) estructura interna de un encoder incremental.

Fig. 34. Discriminador de posición y sentido de giro.

Algunos encoders incrementales disponen de un canal adicional, que proporciona un impulso por revolución. La lógica de control puede utilizar esta señal para implementar un contador de vueltas y otro para fracciones de vuelta.

La resolución del encoders, dependerá del número (N) de divisiones del rotor o, lo que es lo mismo, del número de impulsos por revolución. La resolución expresada en grados vale:

$$Resolución = \frac{360^\circ}{N} \quad (4)$$

2.2.2.2 ENCODERS ABSOLUTOS.

Los encoders absolutos disponen de varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, con zonas opacas y transparentes dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en una serie de sectores, con combinaciones de opacos y transparentes que siguen un código Gray o reflejado (Fig. 35).

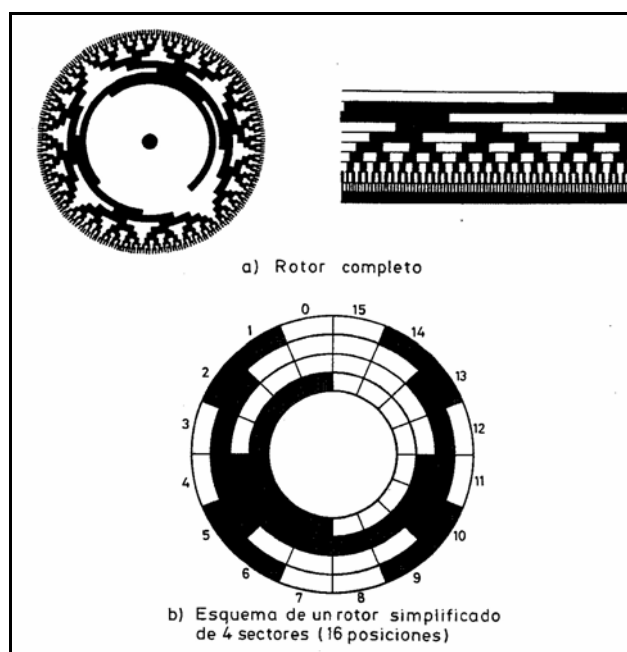


Fig. 35. Encoder absoluto.

Este tipo de encoder esta disponible como encoder absoluto univuelta y como encoder absoluto multivuelta.

El encoder absoluto univuelta divide una revolución (univuelta) del eje en incrementos de medida. El número de pasos por revolución es procesado por un disco codificado. Este valor de medida puede ser sacado en varios formatos, dependiendo de la interface.

El valor de medición se repite después de cada vuelta.

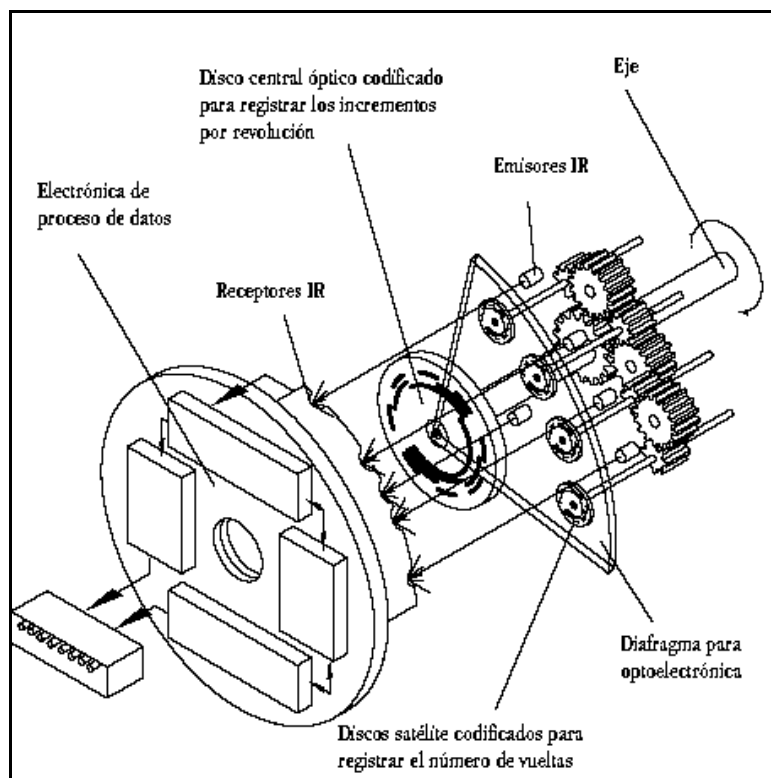


Fig. 36. Estructura interna de un encoder absoluto.

En el caso de los *encoders absolutos multivuelta*, además de registrar la posición angular por una vuelta, también puede registrar múltiples revoluciones.

Por medio de un planetario interno reductor con discos satélite conectado al eje, se puede registrar el número de revoluciones (Fig. 36).

En consecuencia, el valor de medida de un encoder multivuelta está formado por la posición angular y el número de vueltas. El valor registrado es procesado y puede ser obtenido en varios formatos dependiendo de la interface.

El estator del encoders dispone de un captador para cada corona del rotor, dispuestos en forma radial. El conjunto de informaciones binarias obtenidas de los captadores es único para cada posición del rotor y representa en código Gray, natural binario o en código decimal binario (BCD) su posición absoluta.

El tipo de código reflejado tiene la ventaja de que en cada cambio de sector sólo cambia el estado de una de las bandas, evitando así que puedan producirse errores por falta de alineación de los captadores. Como ejemplo se indica la generación del código Gray de tres bits:

Número	Código Gray
0	000
1	001
2	011
3	010
4	110
5	111
6	101
7	100

Obsérvese que a partir de los ejes de simetría se obtienen los bits correspondientes por imagen especular de los bits subrayados. De ahí el nombre de código reflejado.

Para un encoder con N bandas en el rotor, se tendrá un código de N bits, que permite 2^N combinaciones. La resolución del encoder será, por tanto, la siguiente:

$$Resolución = \frac{360^\circ}{2^N} \quad (5)$$

Típicamente, los encoders disponibles van desde los 12 a los 16 bits con lo que se consiguen resoluciones entre 0.0879° y 0.00054° .

2.2.2.3 APLICACIONES.

Dentro de las aplicaciones típicas de encoders incrementales se puede mencionar:

Dispositivos de cierre de puertas para trenes

Plotters

Máquinas de dispersión

Roscadoras

Máquinas etiquetadoras

Indicación de coordenadas x/y

Dispositivos de análisis

Perforadoras

Mezcladoras

Manipuladores

Instalaciones de producción flexible

Industria maderera

Industria de impresión

Maquinaria de construcción

Tecnología de embalaje

Maquinaria de alineación

Maquinaria de torsión

Prensas

Instalaciones de pintura

Soldadura por ultrasonidos

Instalaciones de montaje

En cuanto a las aplicaciones para los encoders absolutos, se tienen las siguientes:

Máquinas transfer	Tecnología de embalaje	Máquinas de moldeo por
Máquina herramienta	Plantas de energía	inyección
Instalación de producción	Ingeniería civil y	Empaquetadoras
flexibles	construcción	Maquinas de moldeo por
Robots pórtico	Propulsión de barcos	extrusión
Robots articulados	Compuertas	Plegadoras
Instalaciones de montaje	Máquinas de corte	Máquinas impresoras
Fundiciones	Aletas de ventilación	Sistemas de
Máquinas de proceso de	Hiladoras	almacenamiento a gran
madera	Cintas transportadoras	altura
Plantas de laminación	Controladores de levas	Troqueladoras
Industria de impresión		

2.2.3 SINCROS Y RESOLVERS.

Un sincro es un sensor de posición angular de tipo electromagnético, cuyo principio de funcionamiento puede resumirse diciendo que se trata de un transformador con uno de sus devanados rotativo. Comúnmente se aplican en la ingeniería de control como partes de servomecanismos y máquinas herramientas.

Existen diversos tipos de sincros, dependiendo del número de devanados y de su posición, pero las configuraciones más frecuentes son las que disponen de:

Primario alojado en el rotor y, en general, monofásico.

Secundario alojado en el estator y, en general, trifásico.

Para comprender el funcionamiento de un sincro, en la Fig. 37 se representa esquemáticamente uno con las características antes indicadas (primario monofásico y secundario trifásico conectado en estrella).

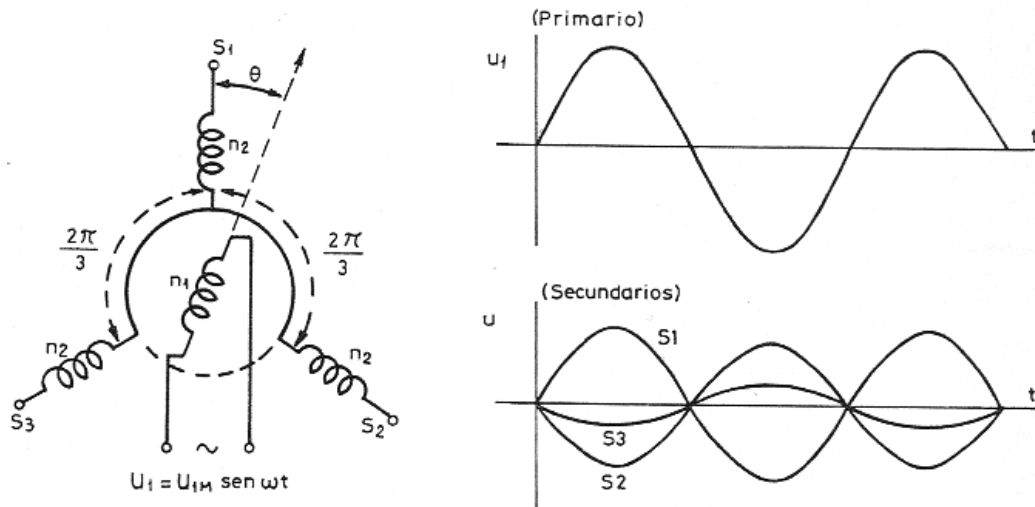


Fig. 37. Principio de funcionamiento de un sincro.

Cuando se aplica una tensión senoidal U_1 al devanado primario, se recogen en los devanados secundarios de cada una de las fases tres tensiones, e_{s1} , e_{s2} y e_{s3} , cuya amplitud y fase con respecto a la tensión de primario dependen de la posición angular del rotor, según las siguientes ecuaciones:

$$e_{s1} = \frac{n_2}{n_1} U_{1M} \text{sen } \omega t \cos \theta \quad (6)$$

$$e_{s2} = \frac{n_2}{n_1} U_{1M} \text{sen } \omega t \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \theta \right) \quad (7)$$

$$e_{s3} = \frac{n_2}{n_1} U_{1M} \text{sen } \omega t \cos \left(\frac{4\pi}{3} - \theta \right) \quad (8)$$

Obsérvese que en caso de existir una sola fase, se obtendría una sola de las tensiones de secundario, e_{s1} por ejemplo, con lo cual, si se quiere determinar la posición angular del rotor por la tensión obtenida del secundario, existiría una indeterminación con el signo del ángulo, al ser $\cos \theta = \cos (-\theta)$.

Para un sincro con secundario trifásico tal indeterminación desaparece ya que:

$$\cos \left(\frac{2\pi}{3} - \theta \right) \neq \cos \left(\frac{2\pi}{3} - (-\theta) \right) \quad (9)$$

En algunos servos de posición se utilizan pares de sincros en una configuración denominada *transmisor – receptor* o “*maestro – esclavo*” que permite generar una señal proporcional a la diferencia de ángulos de los dos sincros interconectados. Esta configuración encuentra su aplicación en servos de seguimiento, copiadoras, pilotos automáticos, etc., basándose en el siguiente principio (Fig.38).

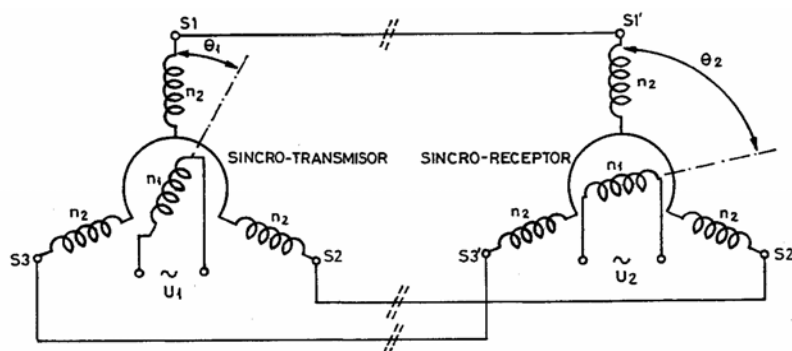


Fig. 38. Par de sincros transmisor y receptor (eje eléctrico).

El sincro maestro es alimentado por el rotor, al tiempo que dicho rotor es accionado mecánicamente siguiendo, por ejemplo, un contorno en el caso de copiadoras. El sistema trifásico de tensiones que genera el sincro maestro alimenta el devanado estático del sincro esclavo y en el devanado rotórico de este último aparece una tensión que depende de la desviación angular relativa entre los dos rotors, tal como indica la siguiente ecuación:

$$U_2 = KU_1 \sin \omega t \cos(\theta_1 - \theta_2). \quad (10)$$

Un sistema regulador de posición, que tienda a hacer cero dicha desviación, hará que el rotor del sincro esclavo siga exactamente los movimientos del sincro maestro, constituyendo lo que se llama a veces un “eje eléctrico”.

Una configuración particular de sincros es la de los ***resolvers***, cuyo principio de funcionamiento es análogo al indicado anteriormente, con las siguientes particularidades constructivas:

Primario alojado en el estator.

Secundario alojado en el rotor.

Así pues, los resolver son sincros con una configuración distinta de devanados.

El estator consiste en dos devanados primarios a 90° a los que se aplica corriente alterna con una diferencia de fase de 90° . En el rotor existe un único devanado en el que se toma la tensión de salida mediante escobillas de anillos deslizantes. La salida es de la misma amplitud pero con una fase cambiada. Normalmente se excitan con señal alterna a 50, 400, ó 1000Hz.

En la Fig. 39 se muestra el rotor girado un ángulo aproximadamente de 45° .

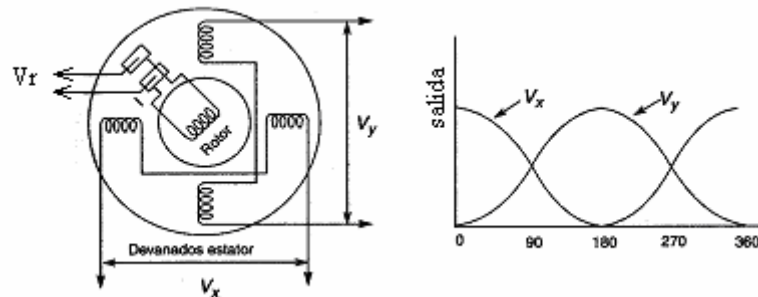


Fig. 39. Esquema de un resolver.

En general, cuando el rotor gira un ángulo θ , se genera en él la suma de los componentes de las entradas seno y coseno.

$$V_r = V \cos \theta \cos \omega t + V \sin \theta \sin \omega t = V \cos(\theta - \omega t) \quad (11)$$

El ángulo entre el rotor y el campo resultante es $(\theta - \omega t)$ y el potencial inducido es:

$$V \cos(\theta - \omega t). \quad (12)$$

Los resolvers son frecuentemente usados con motores, debido a su semejanza inherente de diseño. Su resistencia ambiental es bastante similar.

Son de ideal diseño en aplicaciones industriales donde el polvo y líquidos dispersos en el aire pueden obstruir la señal del encoder óptico. Son utilizados en las máquinas de control numérico, prensas, plataformas de movimiento, construcción de robots, líneas de transferencia, control de la posición de las válvulas en aplicaciones de alta temperatura, tales como motores de avión, refinerías de petróleo y procesamiento químico.

2.2.4 INDUCTOSYN

El inductosyn es un sensor electromagnético utilizado para la medida de desplazamientos tanto lineales como angulares, con una precisión del orden de micras. Se utiliza en la actualidad como medidor de coordenadas en muchísimas máquinas-herramientas y de control numérico.

Este sensor consta de dos partes acopladas magnéticamente. Una denominada escala, que es fija y está situada sobre el eje de desplazamiento.

Otra, solapada a la anterior, es deslizante y unida con la parte móvil.

La Fig. 40 muestra la estructura de un inductosyn utilizado para medir desplazamientos lineales.

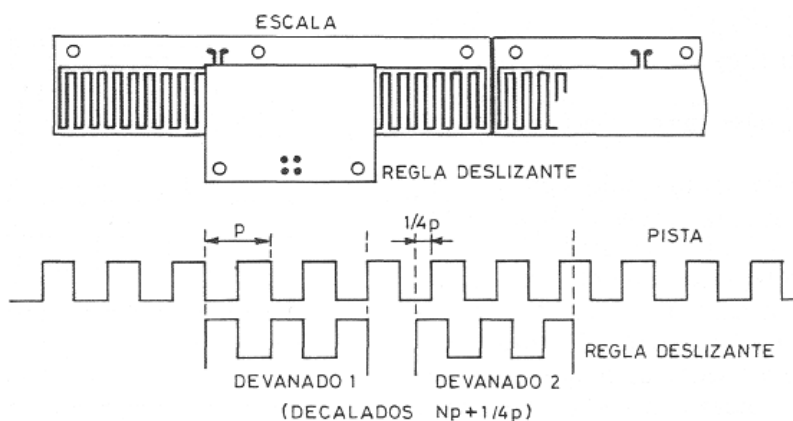


Fig. 40. Principio de funcionamiento de un inductosyn

La parte fija tiene grabado un circuito impreso con pistas en forma de onda rectangular con un paso (p). La parte móvil tiene dos circuitos impresos más pequeños, encarados con los de la escala, y desfasados entre sí un número entero de pasos más $1/4$ de paso, (principio análogo al visto para los encoders incrementales).

2.2.5 SENSORES LÁSER.

Los sensores láser pueden utilizarse como detectores de distancias, utilizando técnicas de reflexión y triangulación parecidas a la de otros detectores ópticos, o permiten también la utilización como detectores de desplazamientos por *análisis de interferencias* en la emisión-recepción de un mismo rayo (interferómetro láser). En este último caso la medición de distancias se hace contando crestas y valles en la interferencia.

El principio de funcionamiento del interferómetro láser se basa en la superposición de dos ondas de igual frecuencia, una directa y otra reflejada. Si las ondas están en fase, la superposición es aditiva, y si están en contrafase, sustractiva. La onda resultante de la superposición pasa por valores máximos y mínimos al variar la fase de la señal reflejada.

Un emisor láser está formado por una cavidad resonante que contiene un material activo y una óptica especial de emisión. Genera un impulso de luz no visible, de mucha energía de pico y poca duración, que se proyecta hacia el objeto cuya distancia se quiere determinar.

Los sensores industriales basados en este principio generan un haz de luz que se divide en dos partes ortogonales mediante un separador (Fig. 41). Un haz se aplica directamente sobre un espejo plano fijo, mientras que el otro se refleja en objeto cuya distancia se quiere determinar. Los dos haces se superponen de nuevo en el separador, de forma que al desplazarse el objeto a detectar se generan máximos y mínimos de amplitud a cada múltiplo de la longitud de onda del haz. El desplazamiento, o diferencia relativa de posiciones, se determina contando dichas oscilaciones o franjas, obteniéndose una salida *digital* de elevada precisión, con resoluciones del orden de la longitud de onda de la luz empleada (unos 50 μ m. en sensores industriales).

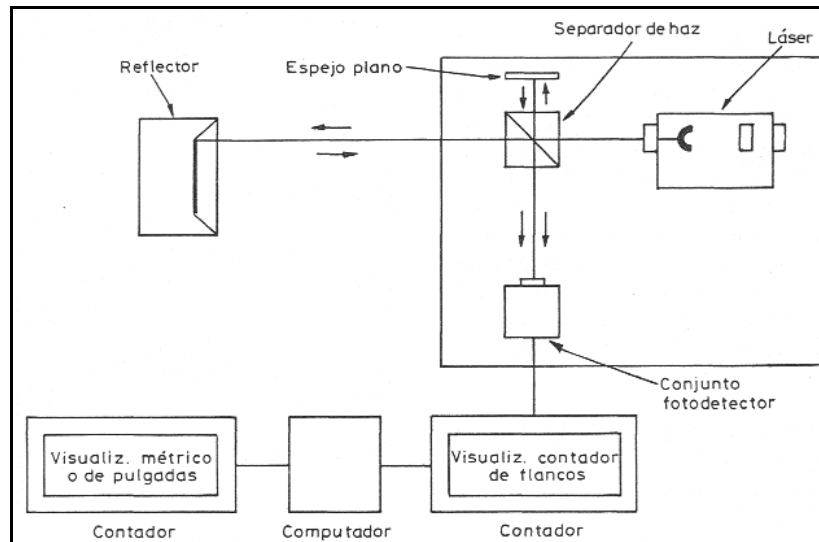


Fig. 41. Interferómetro láser.

Los sensores láser que utilizan el principio de triangulación usan ondas reflectivas que pueden ser originadas por un LED o un láser infrarrojo.

El objeto cuya distancia se desea conocer es iluminado al proyectarle un haz de luz proveniente del sensor para formar un punto de muestreo en la superficie a medir. Algo de esta luz es reflejada nuevamente desde la superficie a través del sensor a un arreglo lineal de dispositivos acoplados por carga, (charge-coupled-device, CCD), la parte sensitiva. La posición del punto en el arreglo cambia proporcionalmente a la distancia dentro del sensor y la superficie, como lo ilustra la Fig. 42. El sistema de reconocimiento de datos interno reconoce la posición, la cual es una indicación directa para la distancia.

La parte sensitiva de este sensor también puede ser un fotodiodo.

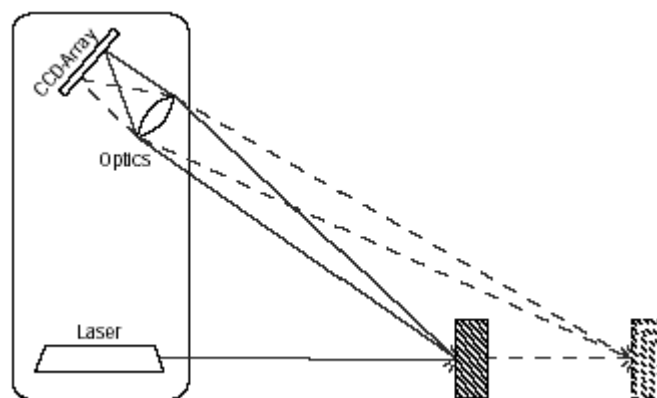


Fig. 42. Sensor láser basado en el principio de triangulación óptica.

El punto de muestreo puede ser muy importante, puesto que este dicta las aplicaciones para el cual el sensor puede ser aplicado. Los patrones de haz típicos pueden ser un punto, una línea o un área.

Para realizar un patrón de línea, muchos sensores estilo punto son usados juntos en una línea.

Para generar un área diversos sensores son usados en una matriz o arreglados en otra forma.

Los haces de luz empleados pueden ser visibles o invisibles.

Con este tipo de sensores se puede medir cualquier material que presenta reflexión difusa.

2.2.6 SENSORES ULTRASÓNICOS.

Los sensores ultrasónicos emiten una señal de presión (ultrasonidos) hacia el objeto cuya distancia se pretende medir.

Cuando las ondas ultrasonoras que circulan por un medio chocan con otro diferente, una parte de ellas se refleja hacia su origen.

Teniendo en cuenta la velocidad de propagación de la onda sonora y el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso hasta la recepción del eco reflejado en dicho objeto, se puede calcular fácilmente la distancia entre el foco de ultrasonidos y el objeto reflector, así como el espesor de los materiales.

Como generador y a la vez detector de ultrasonidos, se emplea por lo general un cristal de cuarzo. Los cristales piezoeléctricos generan una tensión eléctrica proporcional a la presión aplicada a sus superficies, y viceversa, de manera que, a menores espesores de cristal, corresponde una frecuencia natural mayor. Cuando se les aplica una tensión de corriente alterna, cuya frecuencia coincida con su propia de resonancia, se obtiene una gran energía de vibración.

Para generar ultrasonidos basta aplicar un voltaje de corriente alterna de una frecuencia superior a 15000Hz y coincide con la de resonancia del cristal. Las vibraciones de este último se transmiten al espacio circundante mediante unas láminas de metal o un diafragma adecuado.

El receptor ultrasónico es también un cristal piezoeléctrico, que recibe las ondas reflejadas por un objeto. Si la frecuencia de emisión es igual a la natural del cristal detector, sus pequeñas vibraciones se transforman en una débil señal de corriente alterna que, convenientemente amplificada, puede actuar sobre el sistema de control.

En la Fig. 43, se muestra un diagrama de bloques de un sistema ultrasónico.

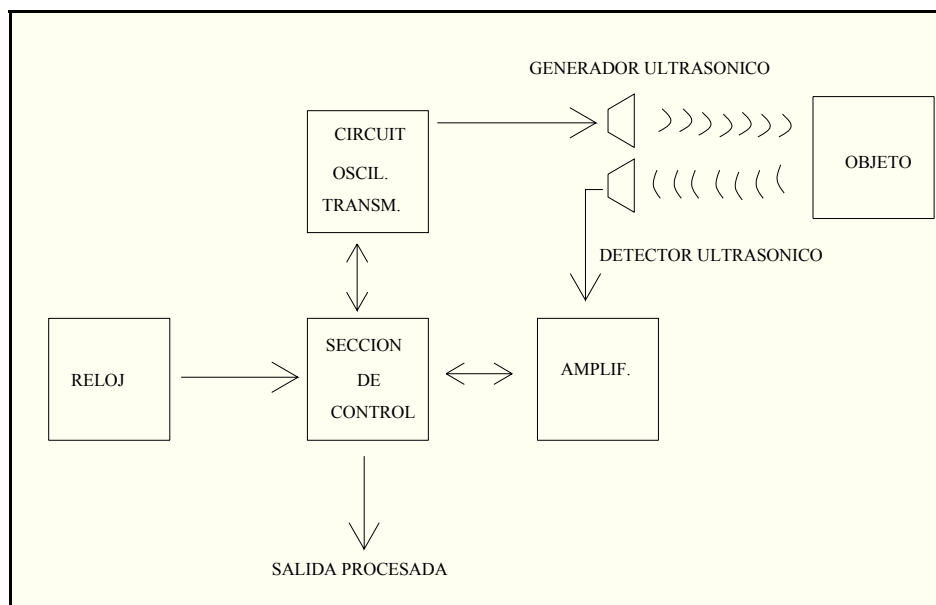


Fig. 43. Diagrama de bloques de un sistema ultrasónico.

2.3 SENSORES MEDIDORES DE PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIONES.

Este tipo de sensores se utiliza para la detección de pequeños desplazamientos, deformaciones, rugosidad y planitud de superficies, etc. Se emplean también unidos a sólidos deformables, como sensores indirectos de esfuerzos (fuerza o par).

2.3.1 TRANSFORMADORES DIFERENCIALES.

El transformador diferencial dispone de un primario y dos secundarios idénticos acoplados magnéticamente al primario mediante un núcleo móvil. Dicho núcleo se une a un palpador o vástago, cuyo desplazamiento se va a medir, de tal forma que, en posición de reposo, el núcleo

está colocado simétricamente respecto a ambos secundarios y, al desplazarse, queda descentrado. Mecánicamente el desplazamiento del núcleo puede ser *lineal o rotativo*.

Tanto en los transformadores de desplazamiento lineal (LVDT), Fig. 44, como angular (RVDT), Fig. 45, los dos secundarios se suelen conectar en oposición, de tal forma que, en la posición cero, las tensiones inducidas en cada uno de ellos son iguales y, por tanto, la tensión total obtenida es nula. Si el núcleo se desplaza, las tensiones de los secundarios dejan de ser iguales y la tensión U_2 resultante varía en módulo y signo según la magnitud y sentido del desplazamiento. Con este tipo de sensores se pueden alcanzar resoluciones de algunas décimas de milímetro y mediciones de rotaciones de hasta 180° .

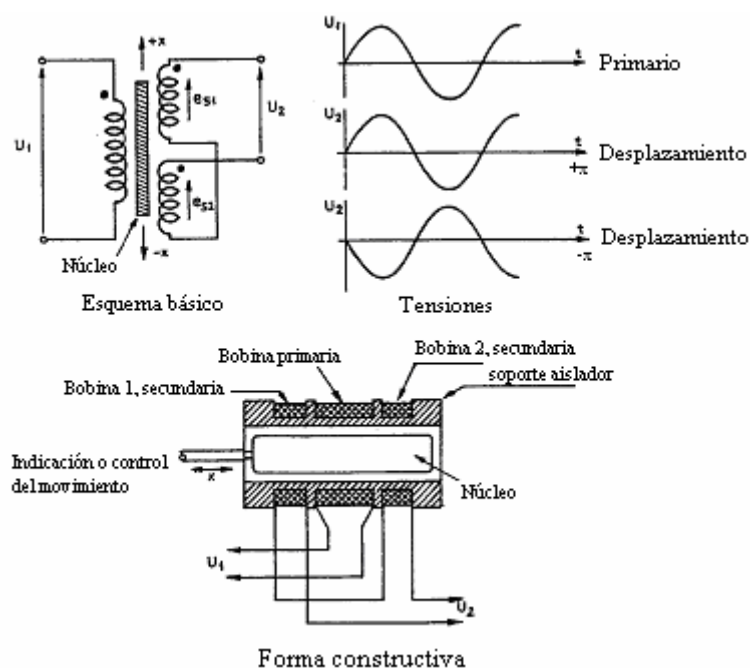


Fig. 44. Transformador diferencial lineal.

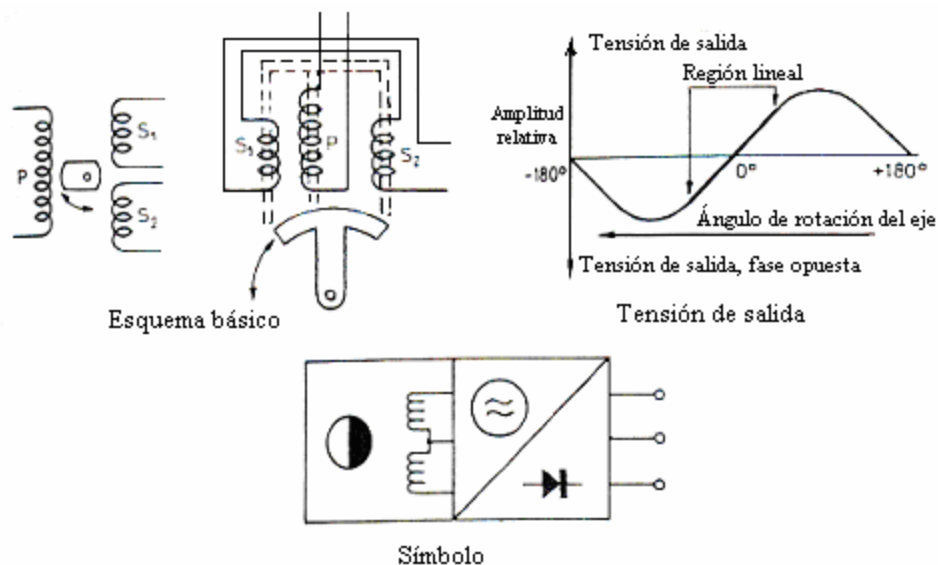


Fig. 45. Transformador diferencial rotativo.

Una ventaja importante del LVDT es que no hay ningún contacto físico entre el núcleo y la bobina y por lo tanto no existe fricción o desgastes sin embargo hay fuerzas magnéticas radiales y longitudinales en todo el tiempo. Estas fuerzas magnéticas pueden considerarse como resortes magnéticos que intentan cambiar de sitio el núcleo a su posición nula. Éste puede ser un factor crítico en algunas aplicaciones.

Un problema con LVDTs es que no puede ser fácil de hacer las dos mitades del secundario idéntico; su inductancia, resistencia, y capacitancia pueden ser diferentes.

Para desplazamientos de unos milímetros o ángulos de giro de hasta unos 45°, la relación de amplitudes secundario / primario varía casi linealmente con el desplazamiento alcanzándose linealidades entre 0.5% y 1% sin histéresis apreciable.

2.3.2 GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Las galgas extensiométricas son sensores de deformaciones basados en la variación de resistencia de un hilo conductor calibrado o, más recientemente, resistencias construidas a base de pistas de semiconductor.

Se utilizan generalmente combinadas con muelles o piezas deformables, para detectar de forma indirecta esfuerzos de tracción, compresión, torsión, etc. En definitiva más que como sensores de desplazamiento se usan como transductores de desplazamiento o de par.

Se describen a continuación los dos tipos básicos de galgas extensiométricas: las de hilo y las de semiconductor.

Galgas de hilo. En este tipo de galgas la resistencia esta formada por un hilo dispuesto en forma de zigzag sobre un soporte elástico, con una orientación preferente según se encuentra la mayor parte de la longitud del hilo (Fig. 46).

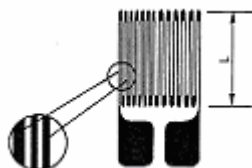


Fig. 46. Galga extensiométrica de hilo.

Al deformarse la galga por tracción en la dirección preferente, se produce un alargamiento del hilo y una disminución de su sección y, por lo tanto, una variación de su resistencia según la ley:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (13)$$

Donde: R: Resistencia,
 ρ : Resistividad del material (Ω),
 l: Longitud del hilo (cm),
 S: Sección del hilo (cm^2)

En las galgas de hilo la variación de la resistencia se produce por dos causas simultáneamente, el aumento de la longitud y la disminución de sección, manteniéndose prácticamente constante la resistividad.

Además teniendo en cuenta que las deformaciones longitudinales y transversales de un cuerpo elástico están ligadas por el módulo de Poisson, μ , se puede escribir la siguiente ecuación:

$$dR = R(1 + 2\mu)\frac{dl}{l} \quad (14)$$

Donde, dR : variación de la resistencia
 R : resistencia
 dl/l : variación unitaria de la resistencia
 μ : coeficiente de Poisson.

En base a la ecuación anterior se dice que la variación unitaria de la resistencia dR/R está ligada con la variación unitaria de longitud dl/l , por un coeficiente constante $(1+2\mu)$, que se denomina coeficiente de sensibilidad.

A fin de poder medir variaciones dR significativas, la galga tiene una resistencia alta, entre 100 y 1000 Ω , y funciona con un consumo muy bajo de corriente, para evitar en lo posible que el efecto Joule provoque variaciones importantes de resistencia por calentamiento.

La medición de deformaciones requiere una meticulosa colocación de las galgas y una calibración laboriosa, dado que el coeficiente de sensibilidad suele ser muy pequeño.

Galgas de semiconductor. En las galgas de semiconductor la variación de resistencia se produce simultáneamente por el efecto de alargamiento y estricción de una pista de semiconductor y por un efecto piezoeléctrico (variación de la resistividad por deformación del semiconductor).

En dichas galgas la expresión que liga la deformación longitudinal con la variación unitaria de resistencia es la siguiente:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + \pi_e E) \frac{dl}{l} \quad (15)$$

En donde, dR/R : Variación unitaria de resistencia,

μ : Módulo de Poisson,

E : Módulo de Young (esfuerzo / deformación),

dl / l : Variación unitaria de longitud

π_e : Coeficiente de piezorresistividad.

El coeficiente de piezorresistividad toma valores típicos entre 100 y 200 para los semiconductores más frecuentes, con lo cual la sensibilidad de dichas galgas es mucho mayor que las de hilo.

No obstante, la resistividad de los semiconductores tiene una gran dependencia de la temperatura y esto obliga a compensarlas térmicamente y dificulta en cierto modo la calibración.

CAPÍTULO 3.

SENSORES DE TEMPERATURA.

Los sensores de temperatura son específicamente apropiados para medir temperatura en medios líquidos y gaseosos. Las áreas de aplicación están siendo encontradas en instalaciones de calefacción, horno, equipos de laboratorio, construcción de aparatos y máquinas, así como en la industria en general.

Atendiendo al principio de funcionamiento de la mayoría de sensores industriales, se pueden distinguir los siguientes grupos.

Sensores de temperatura todo o nada: interruptores que conmutan a un cierto valor de temperatura, en general con una cierta histéresis. Ejemplo: los termostatos.

Termorresistencias: sensores de tipo analógico basados en el cambio de resistividad eléctrica de algunos metales o semiconductores con la temperatura.

Termopares: establece que hay un flujo de corriente eléctrica en un circuito de dos metales diferentes si las dos uniones están a temperaturas diferentes.

Pirómetros. Sensores de tipo analógico ó digital, utilizables en general para altas temperaturas, que están basados en la radiación térmica emitida por los cuerpos calientes.

3.1 TERMOSTATOS.

Los termostatos son sensores con salida todo o nada que conmuta a un cierto valor de temperatura. Los más simples se basan en la diferencia de dilatación de dos metales y los más sofisticados se suelen construir a base de un sensor de tipo analógico y uno o varios comparadores con histéresis.

Los de tipo bimetalico trabajan con base en el principio de que los metales se expanden con la temperatura y que los coeficientes de expansión no son los mismos para todos los metales. El elemento sensitivo se compone de dos metales diferentes que se unen en una tira, el coeficiente de expansión de uno de los metales es alto, y del otro es bajo.

Generalmente la expansión con la temperatura es baja, y por esta razón la tira bimetalica se enrolla en forma de espiral; conforme la temperatura se incrementa, la espiral tiende a combarse hacia el lado del metal con bajo coeficiente térmico.

Los de tipo bimetalico se utilizan típicamente en sistemas de climatización y en algunas aplicaciones industriales como interruptores de protección. Los formados por una sonda analógica y un sistema comparador tienen la ventaja de ser, en general, regulables, y de poder utilizar sondas de muy pequeño tamaño (sensores PTC o NTC de semiconductor) que pueden ubicarse en el interior de bobinados, máquinas, recintos con atmósferas explosivas u otros emplazamientos donde se requiere que ocupen poco espacio o que no se produzca arco eléctrico por apertura de un circuito.

3.2 TERMORRESISTENCIAS

Estos dispositivos son elementos que se basan en el principio de que la resistencia eléctrica de los metales puros se incrementa con la temperatura y, ya que la resistencia eléctrica se puede medir con bastante precisión, esto proporciona un medio para medir la temperatura con mucha exactitud.

3.2.1 DETECTORES DE TEMPERATURA RESISTIVOS, RTD.

Las termorresistencias RTD de uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados. El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubo metálico cerrado en un extremo que se llena con un polvo aislante y se sella con cemento para impedir que absorba humedad.

Los materiales utilizados para los arrollamientos de termorresistencias RTD son fundamentalmente platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno.

Los conductores eléctricos presentan, en general, un aumento de resistencia con la temperatura, según una ley que puede expresarse en forma simplificada por la siguiente ecuación:

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T_T - T_0)] \quad (16)$$

Donde, R_T : Resistencia del conductor a la temperatura T_T

R_0 : Resistencia del conductor a la temperatura T_0

α : Coeficiente térmico de resistencia.

T_0 : Temperatura a las condiciones iniciales.

T_T : Temperatura a las condiciones finales.

Aprovechando esta propiedad, se construyen sondas de temperatura, pero para ello se requiere un material cuyo coeficiente se mantenga relativamente constante y que dé una buena sensibilidad. Las sondas industriales se suelen construir a base de platino, material cuyo coeficiente térmico es de 0.00385 ohm/ohm °C. Dichas sondas suelen tener un valor nominal de 100Ω a 0°C de donde se deriva el nombre de Pt100.

Las sondas Pt100 son aptas como sensores para un amplio margen de temperaturas que va desde -250°C hasta 850°C, con una muy buena linealidad entre -200°C y 500°C.

El platino tiene bastante importancia en la fabricación de estos elementos debido a la cercana linealidad que presenta con la temperatura, amplio rango de operación, y superior estabilidad a largo plazo

Las termorresistencias de platino pueden medir el rango más amplio de temperaturas son las más exactas y estables por no ser fácilmente contaminadas por el medio en que se encuentran, y su relación resistencia-temperatura es más lineal que la de cualquier otro material con la excepción del cobre.

Las termorresistencias de níquel no están en condiciones de medir temperaturas tan elevadas como lo hacen los sensores de platino. Los límites de alcance para las termorresistencias de níquel están aproximadamente en $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $180\text{ }^{\circ}\text{C}$

La principal ventaja del níquel, además de posibilitar termorresistencias más económicas, es su capacidad de ser linealizado con bastante facilidad utilizando un circuito puente. Esta ventaja sin embargo, ya no es tan importante hoy en día cuando la introducción de componentes semiconductores de bajo costo han hecho posible la linealización de los sensores de platino a un costo comparable al de los sensores de níquel.

Las termorresistencias de cobre presentan la más lineal relación resistencia - temperatura entre todas las termorresistencias pero también tienen las desventajas de un rango estrecho de temperatura entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una baja resistividad. La baja resistividad implica la necesidad de usar alambres finos de poco diámetro

Las termorresistencias de tungsteno no han encontrado una utilización amplia puesto que el tungsteno ha probado ser menos estable que otros materiales. Sin embargo, su mayor resistencia mecánica permite emplear alambres extremadamente finos, lográndose de esta manera termorresistencias de elevada resistencia eléctrica.

3.2.2 TERMISTORES.

Con los elementos termistores se detectan cambios muy leves de temperatura. Los termistores se fabrican con la combinación sinterizada de material cerámico y alguna clase de óxido metálico semiconductor, como níquel, manganeso, cobre, titanio ó hierro.

En los termistores se tiene un coeficiente de resistividad muy negativo, o algunas veces positivo.

Algunas de las ventajas son el tamaño pequeño y el bajo costo; sus principales desventajas estriban en que la relación de la temperatura contra la resistencia no es lineal.

Los termistores también se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coefficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coefficient).

Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C. Los modelos disponibles están en el rango de -100 a 450°C (no en un mismo modelo).

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente, cualquiera que sea el medio donde tengan que trabajar.

Se los puede adosar fácilmente o montar con tornillos, ir roscados en superficies o cementados. Los alojamientos pueden ser de acero inoxidable, aluminio, plástico, bronce u otros materiales.

En comparación con los termopares y las termorresistencias RTD, el termistor no ofrece ventajas de exactitud de salida y estabilidad. Posiblemente, una ventaja importante esté en la extremadamente elevada sensibilidad del termistor a variaciones de temperatura.

Los termistores no sirven para la medición de temperatura dentro de alcances amplios puesto que sus variaciones de resistencia son demasiado grandes para que puedan medirse de una manera adecuada con un solo instrumento.

Los termistores resultan particularmente útiles para medir alcances reducidos de temperatura justamente a causa de sus grandes variaciones de resistencia.

3.3 TERMOPARES.

Un termopar consiste de un par de conductores de diferentes metales o aleaciones. Uno de los extremos, la junta de medición, está colocado en el lugar donde se ha de medir la temperatura. Los dos conductores salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de referencia que se mantiene a temperatura constante. Se produce entonces una fuerza electromotriz (fem) que es función de la diferencia de temperatura entre las dos juntas

Para ciertos materiales existe una relación bastante lineal entre la diferencia de temperaturas y la fem generada.

Para recoger esta fem se deberán conectar los extremos fríos a conductores de cobre u otro metal y por el mismo efecto (diferencia de temperatura) aparecerán unas fem de contacto, que solo se compensaran en el caso de que ambas uniones se mantengan a la misma temperatura.

Para que la tensión de salida sea proporcional a la temperatura en la unión caliente, debe mantenerse constante la temperatura de las uniones frías, o compensarse la fem a que darían lugar sus variaciones mediante un circuito adicional. Si se requiere una buena precisión, se prefiere generalmente compensar las variaciones de temperatura en la unión fría, esto se suele realizar mediante el empleo de un sensor adicional que por lo general suele ser una NTC.

3.3.1 TIPOS DE TERMOPARES DISPONIBLES EN EL MERCADO.

Hay siete tipos de termopares que tienen designaciones con letras elaboradas por Instrument Society of America (ISA).

Estos siete termopares se enumeran en la tabla 9. Los alcances de temperatura indicados son aquellos cuyos valores de fem se encuentran publicados. Asimismo se indican la composición de termopares y los diámetros de alambre apropiado.

Tabla 9. Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintos termopares¹

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de Temperaturas (°C) ⁽¹⁾	Diámetro del Alambre Apropriado ⁽²⁾	fem en mV ⁽³⁾
B	Platino-rodio 30% + platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ... 1500 (1800)	0.35 y 0.5 mm	0...10.094 (13.585)
R	Platino-rodio 13% + platino	PtRh 13% - Pt	0...1400 (1700)	0.35 y 0.5 mm	0...16.035 (20.215)
S	Platino-rodio 10% + platino	PtRh 10% - Pt	0...1300(1600)	0.35 y 0.5 mm	0...13.155 (15.576)
J	Hierro + constatán	Fe - CuNi	-200 ... 700 (900)	3 mm	-7.89 ... 39.130 (51.875)
			-200 ... 600 (800)	1mm	-7.89 ... 33.096 (45.498)
K	Niquel-cromo + níquel (Chromel +. Alumel)	NiCr - Ni	0...1000(1300)	3 ó 2 mm	0...41.269 (52.398)
			0 ... 900 (1200)	1.38 mm	0...37.325 (48.828)
T	Cobre + constatán	Cu - CuNi	-200 ... 700 (900)	0.5 mm	-5.60 ... 14.86 (20.86)
E	Niquel-cromo + constatán (Chromel + constatán)	NiCr - CuNi	-200 ... 600 (800)	3 mm	-9.83 ... 53.11 (68.78)
					-8.83 ... 45.08 (61.02)

(1) Los valores entre paréntesis son los admitidos en intervalos cortos (no permanentes)

(2) Los diámetros de alambres no son indicativos

(3) Valores de fem (mV) en función de ° C , referencia junta fría 0° C

Tipo B (PtRh 30% - PtRh 6%). Las ventajas del termopar tipo B sobre el tipo R o tipo S son su capacidad para medir temperaturas levemente más altas, su mayor estabilidad y resistencia mecánica, y su aptitud de ser utilizado sin compensación de junta de referencia para fluctuaciones normales de la temperatura ambiente. Los termopares tipo B resultan satisfactorios para uso continuo en atmósferas oxidantes o inertes a temperaturas hasta 1700° C. También resultan satisfactorios durante cortos períodos de tiempo en vacío.

Las desventajas del termopar tipo B son su baja tensión de salida y su incapacidad para ser utilizado en atmósferas reductoras (como hidrógeno o monóxido de carbono) y cuando se encuentran presentes vapores metálicos (de plomo o zinc) o no metálicos (de arsénico, fósforo o azufre). Nunca se le debe usar con un tubo de protección metálico o termovaina (a partir de aquí, simplemente se le menciona como vaina).

¹ Fuente: http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/index.htm

Tipo R (PtRh 13% - Pt). Los termopares tipo R pueden ser utilizados en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1400° C. No son tan estable como el tipo B en vacío. La ventaja del termopar tipo R sobre el tipo B es su mayor fem de salida.

American Society for Testing and Materials (ASTM) establece las siguientes limitaciones que se aplican al uso de los termopares tipo R:

Nunca se les debe usar en atmósferas reductoras, ni tampoco en aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducidos, a menos que se les proteja adecuadamente con tubos protectores no metálicos.

Nunca deben ser insertados directamente dentro de una vaina metálica.

Tipo S (PtRh 10 % - Pt). El termopar tipo S, es el termopar original platino-rodio. Es el estándar internacional (Escala Práctica Internacional de Temperaturas de 1968, IPTS-68) para la determinación de temperaturas entre el punto de solidificación del antimonio 630.74° C (1167.33° F) y el punto de solidificación del oro 1064.43° C (1917° F).

Los termopares tipo S, igual que los tipo R, pueden ser utilizados en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1480° C. Tienen las mismas limitaciones que los termopares tipo R y tipo B y también son menos estables que el termopar tipo B cuando se les utiliza en vacío .

Tipo J (Fe - CuNi). El termopar tipo J, conocido como el termopar hierro - constantán, es el segundo más utilizado en los EEUU. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).

Los termopares tipo J resultan satisfactorios para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental del termopar tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de los termopares tipo J:

- ✓ No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.
- ✓ A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se les recomienda para temperaturas inferiores a 0° C.
- ✓ No deben someterse a ciclos por encima de 760° C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

El constantán utilizado para termopares tipo J no es intercambiable con el constantán de los termopares tipo T y tipo E, ya que el constantán es el nombre genérico de aleaciones cobre-níquel con un contenido de cobre entre 45 % y 60 %.

Los fabricantes de los termopares tipo J regulan la composición del conductor de cobre-níquel de manera que la fem de salida del termopar siga la curva de calibración publicada. Los elementos fabricados por las distintas empresas, con frecuencia no son intercambiables para el mismo tipo de termopar.

Tipo K (NiCr Ni). El termopar tipo K se le conoce también como el termopar Chromel-Alumel (marcas registradas de Hoskins Manufacturing Co, EEUU). El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por lo que la norma IEC, International Electrotechnical Comition, la especifica NiCr - Ni. El tipo K es el termopar que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que el termopar tipo J.

Los termopares tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1260° C y constituyen el tipo más satisfactorio de termopar para uso en atmósferas reductoras o sulfurosas, o en vacío.

Tipo T (Cu - CuNi). El termopar tipo T se conoce como el termopar de cobre - constantán. Resulta satisfactorio para uso continuo en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes. Su desventaja reside en el hecho de que su límite máximo de temperatura es de tan sólo 370° C para un diámetro de 3.25 mm.

Aunque los termopares tipo T resulten adecuados para mediciones debajo de 0° C, ASTM recomienda para ese propósito a los termopares tipo E.

Tipo E (NiCr - CuNi). El termopar tipo E, o Chromel-Constantán, posee la mayor fem de salida de todos los termopares estándar. Para un diámetro de 3.25 mm su alcance recomendado es - 200° C a 980° C.

Estos termopares se desempeñan satisfactoriamente en atmósferas oxidantes e inertes, y resultan particularmente adecuados para uso en atmósferas húmedas.

3.3.2 DISEÑO DE LOS TERMOPARES.

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

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

Hay una gran variedad de diseños de termopares para numerosas aplicaciones. En su diseño más común, los conductores (alambres) de los materiales deseados se juntan, normalmente mediante soldadura, para formar la junta de medición. Los alambres son separados, después de la junta soldada y aislados, normalmente por medio de una sustancia como es la fibra de vidrio, resina fluorocarbonada (por ejemplo, teflón), aisladores cerámicos, fibra cerámica, polvo cerámico, etcétera.

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

3.3.3 VAINAS Y TUBOS DE PROTECCIÓN.

Puesto que son muchas las aplicaciones que hacen exponer el alambre del termopar a condiciones ambientales adversas, por lo general los termopares han de contar con protección. Los tubos y las vainas de protección se eligen generalmente en base a las condiciones corrosivas que se esperaran, más consideraciones de abrasión, vibración, porosidad, velocidad de fluido, presión, costo y requerimientos de reemplazo y montaje.

Los tubos de protección son similares a las vainas, salvo el hecho de que no permiten un montaje hermético a presión en el recipiente de proceso. Por lo general, los tubos se utilizan en instalaciones a presión atmosférica. Se fabrican de metal o materiales cerámicos, como porcelana, mullite, sillimanita, carburo de silicio, grafito, óxido de aluminio, acero y otras aleaciones.

Los termopares de platino requieren normalmente un conjunto de dos tubos para impedir la contaminación por vapores metálicos o gases reductores. El tubo interior se hace de un material como porcelana o sillimanita y brinda protección contra los gases corrosivos. El tubo exterior se hace de grafito, carburo de silicio o sillimanita porosa, para lograr resistencia mecánica y protección contra shock térmico.

3.3.4 RESPUESTA TÉRMICA.

El tiempo de respuesta con vainas y tubos será de tres a diez veces mayor que con los termopares sin protección.

Los métodos generalmente utilizados para minimizar el tiempo de respuesta consisten en proveer un contacto entre el sensor y el interior de la vaina por medio de una carga a resorte, o bien obtener una tolerancia estrecha entre el diámetro exterior del sensor y el diámetro interior

de la vaina. Esto minimiza la separación de aire que hace más lenta la transferencia de calor desde la vaina al sensor.

Otra manera de minimizar el retardo de la respuesta es el de agregar una pequeña cantidad de aceite o grafito en polvo y aceite dentro de la vaina. El relleno no debe congelarse o hervir a las temperaturas encontradas en el proceso, y no debe reaccionar químicamente ni con la vaina ni con el sensor. Para las instalaciones horizontales o con el extremo abierto hacia abajo, se puede usar grafito en grasa en lugar del líquido.

Cada uno de los metales tiene una distinta conductividad térmica. Por ejemplo, el acero inoxidable posee una menor conductividad que el cobre. Sin embargo, los ensayos han demostrado que no hay una diferencia significativa en el tiempo de respuesta entre una vaina de acero inoxidable y una vaina de cobre, las diferencias entre las velocidades de transferencia de calor de las distintas vainas metálicas son insignificantes si se compara la velocidad de transferencia de calor desde el proceso a la vaina con la velocidad de transferencia de calor desde la vaina al sensor y con la respuesta del sensor.

Otro factor a tener en cuenta al emplear tubos y vainas es el efecto de conducción. Puesto que el tubo o la vaina salen fuera del proceso habrá una distribución de gradientes de temperatura a través de su longitud y si el tubo o la vaina no se encuentran insertados lo suficientemente profundo dentro del proceso esos gradientes provocarán inexactitudes en la medición. Para eliminar dicho efecto, la longitud de inserción dentro del proceso debe ser por lo menos diez veces el diámetro de la vaina exterior.

El tiempo de respuesta también depende del espesor de la pared del tubo o la vaina. Cuanto más delgada es la pared, más rápida es la respuesta. Puesto que una de las funciones importantes de los tubos y vainas es brindar resistencia mecánica, habrá un compromiso en el espesor de la pared entre su velocidad de respuesta y su vida útil.

3.3.5 TUBOS DE PROTECCIÓN CERÁMICOS.

Se utilizan tubos cerámicos al presentarse alguna de las siguientes condiciones:

- ✓ El termopar estará expuesto al golpe directo de llama;
- ✓ Existirán gases contaminantes;
- ✓ Las temperaturas serán mayores de lo que pueden tolerar los tubos metálicos (el umbral de las vainas metálicas es aproximadamente 1200 °C).
- ✓ Normalmente los termopares de platino requieren un tubo cerámico para lograr protección contra la contaminación proveniente de hornos y otros gases reductores.

Un conjunto cerámico puede incluir dos tubos, uno primario (interior) y uno secundario (exterior), o un solo tubo. Con termopares de platino por encima de 1200 °C, el tubo primario es de alúmina pura al 99.7% (óxido de aluminio) que es hermético a los gases y adecuado para temperaturas hasta 1870 °C.

Debajo de 1200 °C se puede usar un tubo de porcelana (sillimanita u otras combinaciones de óxido de aluminio / óxido de silicio). No se puede usar porcelana por encima de 1315 °C puesto que libera sílice que contamina el termopar de platino.

Al utilizarse un tubo secundario, éste normalmente consiste de carburo de silicio, que no es hermético a los gases pero resiste la acción de corte del golpe directo de llama y es más resistente al shock térmico y mecánico que la alúmina pura (99.7%). Sin embargo, posee una pobre conductividad térmica.

3.4 PIRÓMETROS

Los pirómetros son instrumentos de medición a distancia de la temperatura de un sistema; estas medidas a distancia se hacen necesarias si la temperatura a medir es muy elevada, ó si el sistema está en movimiento.

3.4.1 PIRÓMETROS DE RADIACIÓN.

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

$$W = \sigma T^4 \quad (17)$$

Donde: W (potencia emitida) es el flujo radiante por unidad de área,
 σ es la constante de Stefan - Boltzman (cuyo valor es $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$) y
 T es la temperatura en Kelvin

Los pirómetros de radiación se destinan a medir elevadas temperaturas, por encima de 1600 °C.

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

3.4.1.1 ESTRUCTURA DE LOS PIRÓMETROS DE RADIACIÓN.

Los pirómetros de radiación para uso industrial, se construyen de diversas formas. El medio de enfocar la radiación que le llega puede ser *una lente o un espejo cóncavo*; el instrumento suele ser de "foco fijo" o ajustable en el foco, y el elemento sensible puede ser un simple termopar. La fuerza electromotriz se mide con un milivoltímetro o con un potenciómetro, con carácter indicador, indicador y registrador o indicador, registrador y regulador.

El espejo cóncavo es a veces preferido como medio para enfocar por dos razones:

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

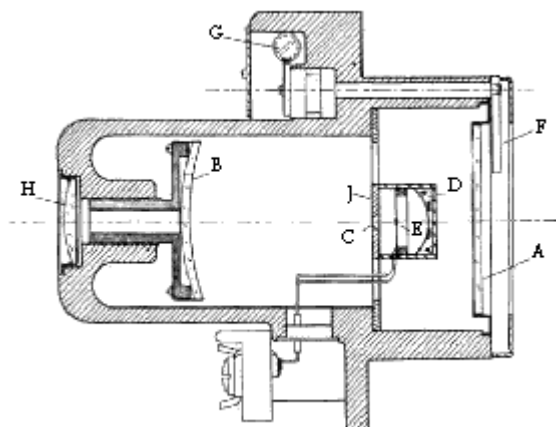


Fig. 47. Pirómetro de radiación.

Tipo espejo. En la Fig. 47 se presenta esquemáticamente los rangos de un pirómetro de radiación moderno del tipo de espejo.

La radiación entra, desde una fuente, a través de una ventana A de sílice vítrea, es reflejada por el espejo esférico B y llevada a un foco sobre el diafragma J, en el centro del cual hay una abertura C.

La radiación que pasa a través de C es reflejada por el espejo esférico D hacia el receptor E, donde se forma una imagen de C. La superficie de J se blanquea ligeramente con óxido de magnesio para que refleje difusamente suficiente luz que haga visible la imagen de la fuente cuando se mira a través de una lente H colocada detrás de B. El instrumento es orientado por el observador de manera que la imagen de la porción de la fuente que ha de ser mirada, cubra la abertura C.

Dado que B no produce ninguna aberración cromática y muy poca aberración esférica, la imagen de la fuente, colocada a la distancia para la cual está enfocado el espejo, es muy neta y puede hacerse que una porción muy definida de la imagen cubra C.

Un obturador F ajustable delante de la ventana A sirve para regular el tamaño de la abertura que deja pasar la radiación de manera que la fuerza electromotriz utilizada de la pila termoeléctrica se ajuste estrechamente a una temperatura de la tabla de temperaturas y f.e.m.

Tipo lente. Este pirómetro está formado por una lente de pyrex, sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una pila termoeléctrica formada por varios termopares de Pt - Pt Rd de pequeñas dimensiones y montados en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones caliente de los termopares. La f.e.m. que proporciona la pila termoeléctrica depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura ambiente.

La compensación de éste se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro.

La compensación descrita se utiliza para temperaturas ambientales máximas de 120 °C. A mayores temperaturas se emplean dispositivos de refrigeración por aire o por agua que disminuyen la temperatura de la caja en unos 10 a 40 °C por debajo de la temperatura ambiente.

En la medida de bajas temperaturas la compensación se efectúa utilizando además una resistencia termostática adicional que mantiene constante la temperatura de la caja en unos 50 °C, valor que es un poco más alto que la temperatura ambiente que pueda encontrarse y lo suficientemente bajo como para reducir apreciablemente la diferencia de temperatura útil. El pirómetro puede apuntar al objeto bien directamente, bien a través de un tubo de mira abierto (se impide la llegada de radiación de otras fuentes extrañas) o cerrado (medida de temperatura en baños de sales para tratamientos térmicos, hornos)

Los tubos pueden ser metálicos o cerámicos. Los primeros son de acero inoxidable o aleaciones metálicas resistentes al calor y a la corrosión y se emplean temperaturas que no superan generalmente los 1100 °C.

Permiten una respuesta más rápida a los cambios de temperatura que los tubos cerámicos. Los tubos cerámicos se utilizan hasta 1650 °C.

Un problema de gran importancia es la selección del material de la lente que debe transmitir la máxima energía compatible con la gama de radiaciones emitida:

- ✓ Las lentes de Pyrex se utilizan en el campo de temperaturas de 850 °C a 1750 °C,
- ✓ La lente de sílice fundida en el intervalo de 450 °C a 1250 °C y
- ✓ La lente de fluoruro de calcio para temperaturas inferiores.

El pirómetro de radiación se puede recomendar en lugar del termoelectrico en los casos siguientes:

- ✓ Para la medida de temperaturas de superficies
- ✓ Para medir temperaturas de objetos que se muevan
- ✓ Para medir temperaturas superiores a la amplitud de los termopares formados por metales comunes
- ✓ Donde las condiciones mecánicas, tales como vibraciones o choques acorten la vida de un termopar o termorresistencia.
- ✓ Cuando se requiere gran velocidad de respuesta a los cambios de temperatura.

3.4.2 PIRÓMETROS ÓPTICOS.

En la medición de temperaturas con estos pirómetros se hace uso de una característica de la radiación térmica: *el brillo*. El brillo de la radiación en una banda muy estrecha de longitudes de onda emitidas por una fuente, cuya temperatura ha de medirse, es confrontado visualmente con el brillo, en la misma banda, de una fuente calibrada.

3.4.2.1 ESTRUCTURA DE LOS PIRÓMETROS ÓPTICOS.

El pirómetro óptico empleado en la determinación de altas temperaturas tales como las temperaturas de fusión del platino, del molibdeno o del tungsteno, es del tipo de filamento cuya imagen desaparece. En la Fig. 48 se muestra la estructura típica de un pirómetro óptico.

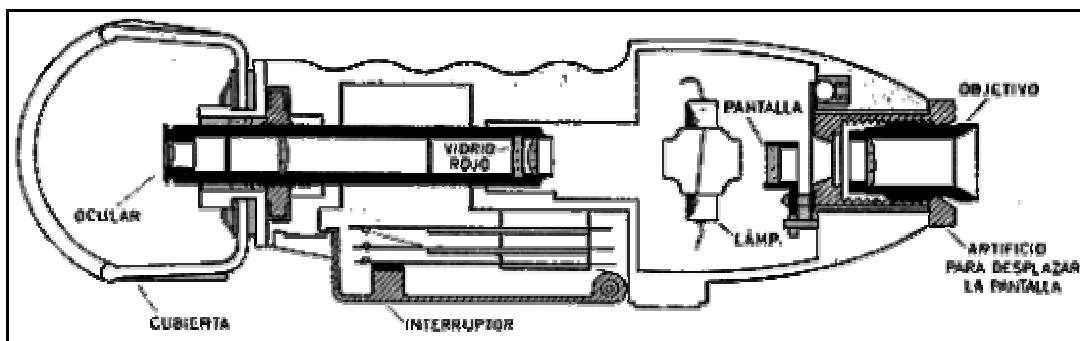


Fig. 48. Estructura de un pirómetro óptico.

Un telescopio es enfocado sobre el objeto incandescente cuya temperatura se va a medir. El filamento de tungsteno de una lámpara de alto vacío está situado en el plano focal del objetivo del telescopio. El ocular es enfocado sobre este plano, e incluye un filtro de vidrio rojo que sólo transmite una estrecha banda de longitudes de onda visible centrada en 0.65 micras. El filamento de tungsteno es calentado por la corriente de una batería, corriente regulada por un reóstato y medida, preferiblemente, por un método potenciométrico. Para hacer una medición, las imágenes superpuestas de la fuente y del filamento son confrontadas en brillo ajustando la corriente del filamento. Cuando el brillo es igual, el filamento desaparece contra el fondo de la imagen de la fuente. El filamento aparece como línea oscura o brillante, según que sea menos brillante o más brillante que la imagen de la fuente.

Cuando se ha conseguido la desaparición del filamento, se lee la corriente, o bien, si la escala de corrientes está graduada en temperaturas, se lee ésta directamente.

3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SENSORES DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.

A manera de resumen en la tabla 10 se presentan las ventajas y desventajas de los dispositivos sensores de medición mencionados anteriormente.

Tabla 10. Características de los sensores de temperatura.

<i>Características de los sensores de temperatura .</i>		
<i>Elemento sensor</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Termómetro bimetálico	Menos sujetos a ruptura Lectura en cuadrante	La calibración cambia con el manejo rudo.
Termorresistencias RTD	Precisión del sistema Respuesta rápida. Tamaño pequeño.	El autocalentamiento puede ser un problema. La desviación a largo plazo excede a la del termopar. Algunos modelos son caros y difíciles de montar.
Termistores	Tamaño pequeño. Respuesta rápida. Bueno para rangos estrechos. Bajo costo, estable. No hay unión fría.	Amplia respuesta no lineal. No son adecuados para rangos amplios. La alta resistencia hace que el sistema sea susceptible a la inducción de ruido de las líneas de energía.
Termopar	Tamaño pequeño, Bajo costo, Montaje práctico. Rango amplio.	La lectura no es tan simple. El trabajo con los alambres fríos puede afectar la calibración.
Pirómetro de radiación y óptico.	No hay contacto físico. Rango amplio, respuesta rápida. Medición en áreas pequeñas.	Más frágil que los otros dispositivos Escala no lineal.

3.6 APLICACIONES DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA.

Las aplicaciones más frecuentes para este tipo de elementos sensores se dan a conocer en la tabla 11.

Tabla 11. Aplicaciones de los sensores de temperatura.

<i>Elemento sensor</i>	<i>Aplicaciones más frecuentes.</i>
<i>Termostatos</i>	Por el tipo de salida que estos presentan se utilizan típicamente en sistemas de climatización y en algunas aplicaciones industriales como interruptores de protección.
<i>RTD</i>	Medición de la temperatura en tuberías de líquidos y gases. Control de procesos de forma automatizada. Para medición de temperaturas en recintos con atmósferas corrosivas u oxidantes. Control de temperatura en máquinas industriales. Protección térmica de motores eléctricos. Proceso de transformación del plástico, vidrio y cerámica.
<i>Termistores</i>	Sistemas de control automatizados. Industria manufacturera de alimentos. Dispositivos de control de la temperatura en maquinaria industrial. Medición del nivel de aceite en automóviles. En el control del nivel de líquidos. En el arranque de motores eléctricos.
<i>Termopares</i>	Medición de la temperatura en tuberías de distribución de líquidos y gases. Procesos de fabricación como fundición de metales de baja temperatura de fundición Útiles en atmósferas corrosivas. Medición de temperatura en hornos, ductos de aire y cambiadores de calor. Fabricación del plástico y objetos de cerámica. Sistemas de control automatizados. Industria alimenticia. Industria química.
<i>Pirómetros</i>	Medida de la temperatura en hornos. Industria de la producción del acero. Industria de la producción del cobre, y en general en cualquier proceso de fundición. Industria petroquímica, En calderas para medir la temperatura de la llama, Medida de la temperatura en procesos de tratamiento térmico de los metales, etc.

CAPÍTULO 4.

ACCIONADORES.

4.1 ACCIONADORES ELÉCTRICOS.

En general, un sistema eléctrico se puede considerar accionador cuando produce una determinada acción: conmutadores de tipo on – off, solenoides en los que una corriente se usa para producir el desplazamiento de un núcleo de hierro; o motores eléctricos, en los que una corriente es usada para producir un movimiento de rotación continuo.

Este apartado se centra exclusivamente en los motores eléctricos, pese a la importancia que tienen en el desarrollo de la producción dentro de la industria.

Los motores eléctricos dependiendo del tipo de corriente que consumen, se pueden clasificar en *motores de corriente alterna y motores de corriente continua ó directa.*

4.1.1 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

Los motores de corriente alterna, dependiendo del tipo de corriente que éstos consumen se pueden clasificar en motores de corriente alterna trifásicos y motores de corriente alterna monofásicos.

Existen dos clases principales de motores de corriente alterna trifásica: *los motores sincrónicos y los motores de inducción.* Los motores sincrónicos son motores cuya corriente de campo magnético es suministrada por una fuente dc separada, mientras que los motores de inducción son motores cuya corriente de campo magnético es suministrada por inducción magnética (acción transformadora) en sus devanados de campo. Los circuitos de campo de la mayoría de las maquinas sincrónicas y de inducción están localizados en sus rotores.

4.1.1.1 MOTORES SINCRÓNICOS

Los motores sincrónicos son maquinas utilizadas para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica.

En general los motores sincrónicos son más adaptables a aplicaciones de bajas velocidades y altas potencias que los motores de inducción. Por tanto son utilizados para cargas de baja velocidad y alta potencia.

4.1.1.1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE OPERACIÓN

En este tipo de motores la corriente de campo del motor produce un campo magnético de estado estacionario. Un conjunto trifásico de voltajes se aplica al estator de la maquina, que produce un flujo de corriente trifásica en los devanados; este conjunto trifásico de corrientes en el devanado produce un campo magnético uniforme rotacional.

En este momento hay dos campos magnéticos presentes en el motor, y el campo rotórico tendera a alinearse con el campo estatórico.

Puesto que el campo magnético del estator es rotante, el campo magnético del rotor (y el rotor en si mismo) tratara constantemente de emparejarse con él. Cuanto mayor sea el ángulo entre los dos campos magnéticos, mayor es el par sobre el rotor de la maquina. El principio básico del motor sincrónico es que el rotor “ persigue” el campo magnético rotante del estator alrededor de un circulo sin emparejarse del todo con él.

4.1.1.1.2 CONSTRUCCIÓN DE MOTORES SINCRÓNICOS.

En esencia el rotor de un motor sincrónico es un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser contruidos salientes o no salientes. El termino saliente significa “proyectado hacia fuera”; un polo saliente” es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético contruido al mismo nivel de la superficie del rotor.

Los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de dos y cuatro polos, mientras que los rotores de polos no salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos.

Se debe suministrar una corriente dc al circuito de campo del rotor. Puesto que el rotor esta girando, se requiere un arreglo especial para entregar potencia dc a sus devanados de campo.

Las dos formas comunes de suministrar esta potencia son:

1. Suministrar la potencia dc desde una fuente dc externa al rotor por medio de anillos rozantes y escobillas.
2. Suministrar la potencia dc desde una fuente especial montada directamente en el eje del motor sincrónico.

Los anillos rozantes son anillos metálicos que circundan el eje del motor pero se encuentran aislados de él. Un extremo del devanado del rotor dc esta unido a cada uno de los dos anillos rozantes colocados sobre el eje del motor sincrónico, y una escobilla estacionaria se desliza sobre cada anillo rozante. Una escobilla es un bloque de un compuesto de carbón grafitado que conduce la electricidad libremente y tiene muy baja fricción para no desgastarse con el anillo rozante.

Los anillos rozantes y las escobillas crean algunos problemas cuando se utilizan para suministrar potencia dc a los devanados de campo del motor sincrónico, pues exigen mas mantenimiento en el motor ya que se deben revisar con regularidad las escobillas debido a su desgaste. Además la caída de tensión en las escobillas puede causar perdidas significativas de potencia en las maquinas que tienen grandes corrientes de campo. A pesar de estos problemas, los anillos rozantes y las escobillas se usan en todos los motores sincrónicos pequeños ya que ningún otro método de suministro de la corriente de campo dc es adecuado por el costo.

En motores grandes, se utilizan excitadores sin escobillas para suministrar la corriente de campo dc.

4.1.1.2 MOTORES DE INDUCCIÓN.

Los motores de inducción son llamados así porque el voltaje del rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) es inducido en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectado a través de alambres. La característica distintiva de un motor de inducción es que no se requiere corriente de campo dc para operar la maquina.

Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una maquina sincrónica, pero la construcción del rotor es diferente. Hay dos tipos diferentes de rotores que pueden disponerse dentro del estator del motor de inducción. Uno de ellos se llama *rotor de jaula de ardilla* o simplemente rotor de jaula, mientras que el otro es llamado *rotor devanado*.

Un rotor de jaula de ardilla consiste en una serie de barras conductoras dispuestas entre ranuras labradas en la cara del rotor y cortocircuitadas en cada extremo por anillos de cortocircuitado (Fig. 49).

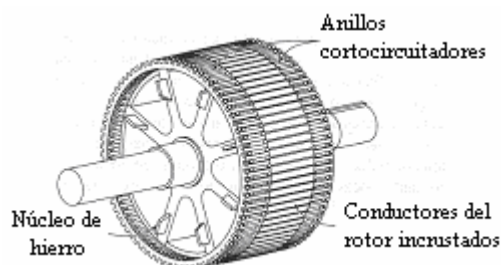


Fig. 49. Rotor de jaula de ardilla

Este diseño hace referencia a un rotor de jaula de ardilla debido a que los conductores examinados en si mismos se parecerían a los de las ruedas de ejercicio de las ardillas o hamters.

El otro tipo de rotor es el rotor devanado (Fig. 50).

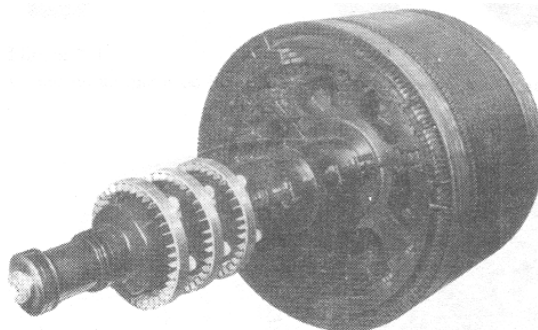


Fig. 50. Rotor devanado típico, para motor de inducción. Nótese los anillos rozantes y las barras que conectan los devanados del rotor a los anillos rozantes.

Un rotor devanado tiene un grupo completo de devanados trifásicos que son las imágenes especulares de los devanados del estator. Las fases de los devanados del rotor están conectados usualmente en Y, y los extremos de los tres alambres del rotor están unidos a anillos rozantes dispuestos sobre el eje del rotor. Los devanados del rotor están cortocircuitados a través de escobillas montadas en los anillos rozantes. En los motores de inducción de rotor devanado, sus corrientes rotóricas son accesibles en las escobillas del estator, donde pueden ser examinadas y donde se puede insertar resistencia extra al circuito del rotor. Es posible obtener ventaja de este hecho para modificar la característica par-velocidad del motor.

4.1.1.2.1 CLASES DE DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

Es posible producir gran variedad de curvas par-velocidad cambiando las características del rotor de los motores de inducción. Para ayudar a la industria a seleccionar de modo adecuado los motores destinados a diversas aplicaciones en el rango completo de caballos de fuerza, la

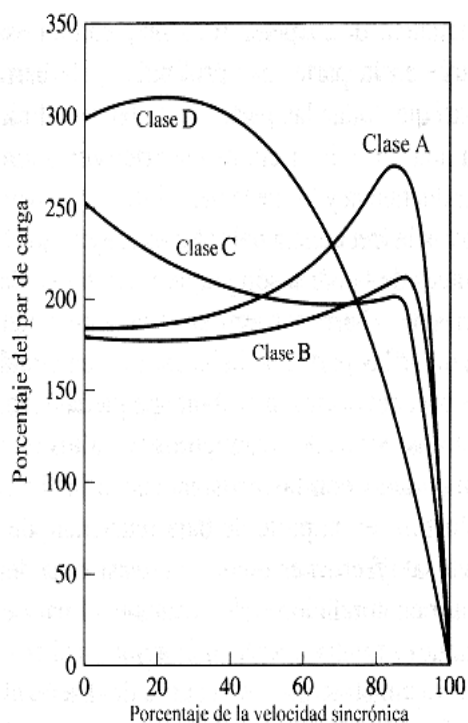


Fig. 51. Curvas características típicas para diferentes diseños de rotores.

National Electrical Manufacturers association, NEMA y la International Electrotechnical Comition, IEC, han definido una serie de diseños estándar con diferentes curvas par-velocidad.

La Fig. 51 muestra curvas típicas par-velocidad para las cuatro clases NEMA estándar de diseño. Los rasgos característicos de cada clase de diseño estándar se presentan a continuación:

Diseño clase A. Estos motores son de diseño estándar con un par de arranque normal, corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. El par máximo equivale a entre 200 y 300% del par de plena carga y ocurre a un bajo deslizamiento (menos de 20%). El par de arranque de este diseño equivale por lo menos, al nominal de los motores grandes y es 200% o más del par nominal de los motores pequeños.

El problema principal de esta clase de diseño es la extremadamente alta corriente en el arranque. Los flujos de corriente en el arranque equivalen a entre 500 y 800% de la corriente nominal. Si la potencia sobrepasa 7.5hp, se debe utilizar alguna forma de voltaje reducido en el arranque de estos motores, para evitar problemas de caída de voltaje en el sistema de potencia al cual se hallan conectados.

Estos motores se utilizan en ventiladores, sopladores, bombas, tornos y otras maquinas herramientas.

Diseño clase B. Los motores de diseño clase B tienen par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento. Este motor produce casi el mismo par de arranque que el motor de clase A con cerca de 25% menos corriente. El par máximo es mayor o igual a 200% del par de carga nominal, pero menor que el del diseño clase A, debido al aumento de la reactancia del rotor.

El deslizamiento del rotor es relativamente bajo (menos del 5%), aun a plena carga. Las aplicaciones son similares a la de los motores de diseño clase A, pero los de diseño clase B han reemplazado ampliamente a los motores de diseño clase A en las nuevas instalaciones.

Diseño clase C. Los motores de diseño clase C tienen alto par de arranque con bajas corrientes de arranque y bajo deslizamiento (menos de 5%) a plena carga. El par máximo es un poco menor que el de los motores de clase A, mientras que el par de arranque es hasta 250% del par de plena carga.

Estos motores son construidos con rotores de doble jaula; por lo tanto, son más costosos que los motores de las clases ya indicadas. Se utilizan para cargas con alto para de arranque, como bombas, compresores y transportadores.

Diseño clase D. Los motores de diseño clase D tienen alto par de arranque (275% o más del par nominal) y una baja corriente de arranque, pero también tienen alta deslizamiento a plena carga. En esencia son motores de inducción de clase A comunes, pero las barras del rotor son más pequeñas y la resistencia del material es más elevada. La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja.

También es posible que el par máximo ocurra a velocidad cero (100% de deslizamiento). En estos motores, el deslizamiento a plena carga es bastante alto debido a la alta resistencia rotórica. Está típicamente entre 7 y 11%, pero puede llegar a 17% o más. Estos motores se utilizan en aplicaciones que requieren acelerar cargas de inercias muy altas, en especial grandes volantes utilizados en cortadoras o troqueladoras. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante de modo gradual hasta alcanzar su plena velocidad, que luego se transmite a la troqueladora. Después de la operación de troquelado, el motor reacelera el volante durante un moderado tiempo hasta la próxima operación. Permitir que el motor aminore su velocidad en forma significativa cuando se incrementan las cargas le confiere al sistema una respuesta “suave”, lo cual reduce el choque y los jalones que resiente el sistema impulsor y la maquina que es impulsada.

Este tipo de motores también se encuentra en aplicaciones como prensas de punzón, guillotinas, frenos para prensas para láminas de metal, grúas, elevadores y bombas de pozos petroleros.

Además de estas cuatro clases de diseño, la NEMA reconoció las clases de diseño E y F que fueron llamados motores de inducción de arranque suave. Estos diseños se distinguieron por tener muy bajas corrientes de arranque y se utilizaron para cargas de bajo par de arranque en situaciones en que las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños están obsoletos hoy en día.

4.1.1.3 MOTORES MONOFÁSICOS.

Los apartados anteriores estuvieron dedicados a la operación de los motores en sistemas de potencia trifásica. Este apartado esta dedicado al estudio de los los dos principales tipos de motores de corriente alterna monofásica: *el motor universal* y *el motor de inducción monofásico*.

4.1.1.3.1 MOTOR UNIVERSAL.

Estos motores funcionan con corriente alterna o bien corriente directa. Su construcción es similar a la de un motor DC bobinado en serie, que se describe más adelante. Dentro, el rotor tiene bobinas eléctricas que están conectadas al circuito externo mediante un conmutador en la flecha, un tipo de ensamble de anillo de deslizamiento compuesto por varios segmentos de cobre en los que se desplazan escobillas de carbón fijas. El contacto se mantiene por medio de una ligera presión de resorte.

Por lo general, los motores universales trabajan a velocidades altas, de 3.500 a 20.000 revoluciones. Esto dá una relación potencia a peso y potencia a tamaño alta para este tipo de motor, lo que lo hace adecuado para herramientas manuales como taladros, sierras y mezcladoras de alimentos. Estos motores presentan una regulación deficiente de la velocidad, es decir, la velocidad varía en gran medida con la carga.

4.1.1.3.2 MOTORES DE INDUCCIÓN MONOFÁSICOS.

Los motores monofásicos de inducción experimentan una grave desventaja, puesto que solo hay una fase en el devanado del estator, el campo magnético en un motor monofásico de inducción no rota. En su lugar, primero pulsa con gran intensidad, luego con menos intensidad, pero permanece siempre en la misma dirección. Puesto que no hay campo magnético rotacional en el estator, un motor monofásico de inducción no tiene par de arranque.

Puesto que el campo magnético del estator no rota, no hay movimiento relativo entre el campo del estator y las barras del rotor. Por tanto, no hay voltaje inducido debido al movimiento relativo en el rotor, no fluye corriente debida al movimiento relativo en el rotor, ni hay par inducido. En realidad, se induce un voltaje en las barras del rotor por acción de transformador y, puesto que las barras están cortocircuitadas, fluye corriente en el rotor. Sin embargo, este campo magnético está alineado con el campo magnético del estator y no produce par neto sobre el rotor.

Sin embargo, *una vez que el motor comienza a girar, se induce un par en él.*

4.1.1.3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN MONOFÁSICOS.

Dependiendo del método que se emplee para producir el par de arranque en los motores monofásicos, éstos se pueden clasificar en:

- ✓ Devanados de fase partida
- ✓ Devanados con capacitor
- ✓ Polos estáticos sombreados.

Devanados de fase partida.

Un motor de fase partida es un motor de inducción monofásico de dos devanados estáticos, uno principal y otro auxiliar, Fig. 52. Estos dos devanados están separados 90° eléctricos sobre el estator del motor; el devanado auxiliar está diseñado para ser desconectado del circuito a cierta velocidad dada, mediante un interruptor centrífugo.

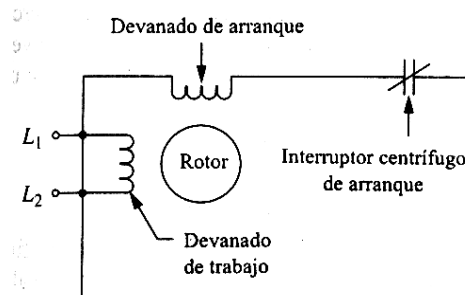


Fig. 52. Motor de fase dividida.

El devanado auxiliar logra que uno de los campos magnéticos estáticos rotacionales opuestos sea mayor que el otro y provee un par de arranque neto para el motor.

En la Fig. 53 se muestra una curva típica par-velocidad.

Los motores de fase partida tienen un par de arranque moderado justamente con baja corriente de arranque y se utilizan para aplicaciones en las cuales no se requieren muy altos pares de arranque, tales como: ventiladores, sopladores y bombas centrífugas.

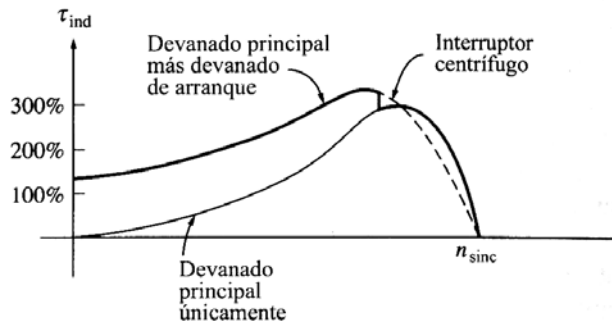


Fig. 53. Curva característica par – velocidad resultante.

En un motor de inducción de fase partida, la corriente en el devanado auxiliar alcanza siempre su valor máximo antes que la corriente en el devanado principal y, por tanto, el campo magnético del devanado auxiliar alcanza siempre su máximo antes que el del devanado principal. La dirección de rotación del motor está determinada por el hecho que el ángulo espacial del campo magnético del devanado auxiliar está 90° adelante o 90° atrás del ángulo del devanado principal. Puesto que ese ángulo puede variar de 90° adelante a 90° atrás conmutando las conexiones del devanado auxiliar, la dirección del motor se puede invertir al invertir las conexiones del devanado auxiliar mientras permanecen sin modificar las conexiones del devanado principal.

Una de las desventajas es que requiere de un interruptor centrífugo para cortar el bobinado de encendido.

Motores con arranque por capacitor.

Los motores con arranque por capacitor son más costosos que los de fase partida y se utilizan en aplicaciones en las cuales se requiera un alto par de arranque.

El par de arranque para este tipo de motores puede sobrepasar 300% de su valor nominal.

Aplicaciones típicas de tales motores son los compresores, las bombas, los equipos de aire acondicionado y otros equipos que deben arrancar con carga.

Se distinguen los dos tipos siguientes:

1. Motores con capacitor de encendido. Al igual que los motores de fase partida, el motor con capacitor de encendido también tiene dos bobinados, uno principal o de funcionamiento y uno de encendido o de arranque, Fig. 54.

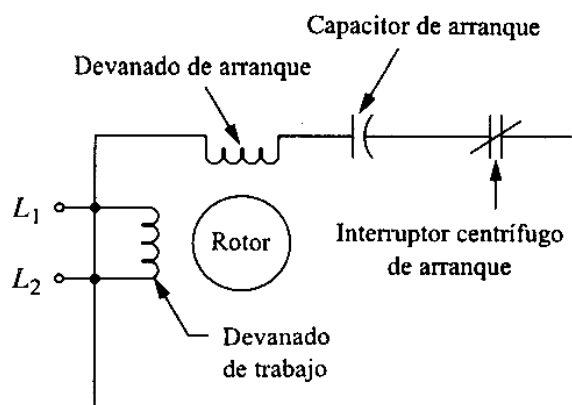


Fig. 54. Motor con capacitor de arranque.

Este tipo de motor tiene un capacitor que se conecta en serie con el bobinado de encendido, lo cual proporciona un par de encendido o arranque mucho más alto que el motor de fase partida, (Fig. 55).

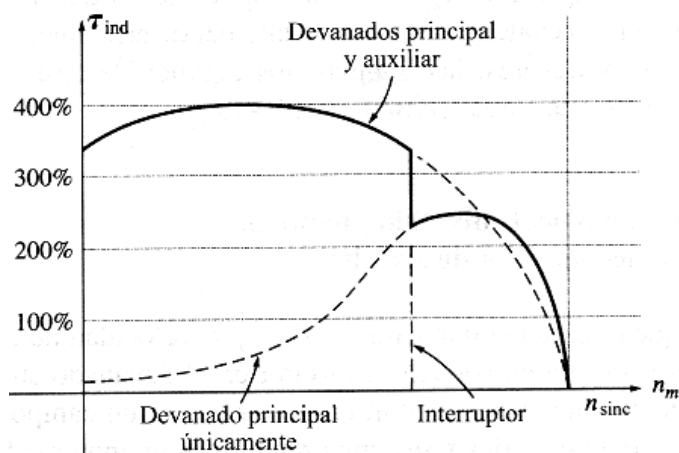


Fig. 55. Curva característica de un motor de inducción con arranque por capacitor.

Para cortar el devanado o bobinado de encendido y el capacitor se utiliza un interruptor centrífugo. Así las características de trabajo del motor son muy similares a las del motor de fase partida: buena regulación de la velocidad y buena eficiencia para operación continua.

Entre las desventajas se incluye el interruptor y el capacitor en alguna medida voluminoso.

El capacitor se suele montar en la parte superior del motor y se nota mucho.

También puede integrarse en un paquete que contiene el interruptor de encendido, un relevador u otros elementos de control.

Entre los usos que se le dan al motor con capacitor de encendido se incluyen los numerosos tipos de maquinas que requieren un par de encendido o arranque alto, como transportadores que se someten a cargas considerables, compresoras para refrigeración, bombas y agitadores para fluidos pesados.

2. Motores con capacitor de división permanente. Un capacitor se conecta en serie con el bobinado de encendido todo el tiempo, Fig. 56.

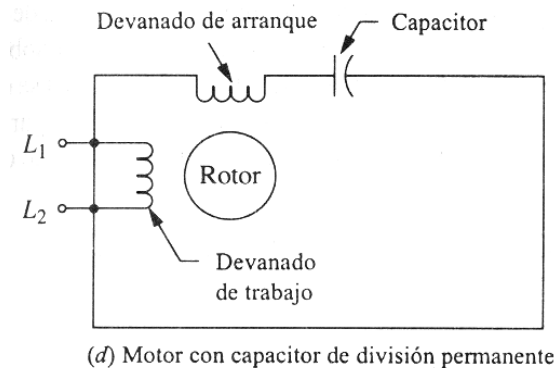


Fig. 56. Motor con capacitor de división permanente.

El par de arranque del motor con capacitor de división permanente es casi siempre en extremo bajo, de casi 40% o menos del par con carga total, (Fig. 57). Por consiguiente solo se suelen utilizar en ventiladores y ventiladores con tolva que requieren cargas de inercia baja.

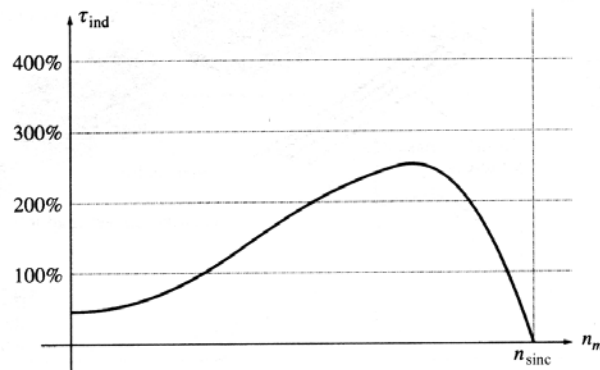


Fig. 57. Curva característica de un motor de división permanente.

Los motores con capacitor de división permanente tienen un par de arranque menor que los motores con capacitor de encendido puesto que el capacitor debe ser dimensionado para balancear las corrientes en los devanados principal y auxiliar en condiciones normales de carga.

Motores de polos sombreados.

Un motor de inducción de polos sombreados es aquel que solo tienen el devanado principal. En lugar de tener devanado auxiliar, tiene polos salientes, y una parte de cada polo está envuelta por una bobina cortocircuitada llamada bobina de sombreado, Fig. 58.

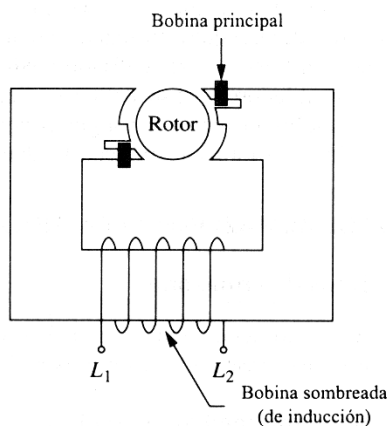


Fig. 58. Motor de polo sombreado.

El método de polos sombreados produce menor par de arranque que cualquier otro tipo de arranque de motores de inducción, Fig. 59. Estos son mucho menos eficientes y tienen mayor

deslizamiento que otros tipos de motores de inducción monofásicos. Tales polos se utilizan solo en motores muy pequeños con requerimientos de par de arranque muy bajos.

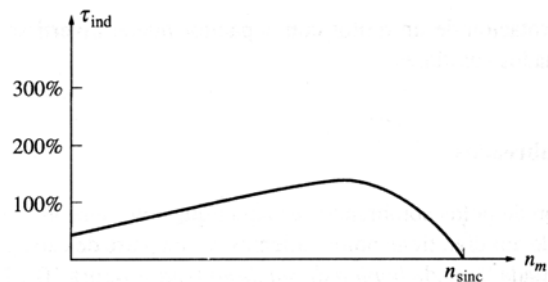


Fig. 59. Curva Característica par – velocidad resultante.

Puesto que los motores de polo sombreado cuentan con una bobina de sombreado para su par de arranque, no hay manera fácil de invertir la dirección de rotación de tales motores. Para llevar a cabo la inversión, es necesario instalar dos bobinas de sombreado en cada cara polar y cortar selectivamente una de ellas.

4.1.2 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA.

Las ventajas de los motores que operan con corriente directa se resumen a continuación:

- ✓ La velocidad puede ajustarse si se utiliza un reóstato simple para ajustar el voltaje que se aplica al motor.
- ✓ El sentido de rotación es reversible si se invierte la polaridad del voltaje que se aplica al motor.
- ✓ El control automático de la velocidad es simple para que se adapte a las velocidades de dos o más motores, o bien, para programar una variación de la velocidad como función del tiempo.
- ✓ La aceleración y la desaceleración pueden controlarse para proporcionar el tiempo de respuesta que se pretende o para disminuir el jaloneo.
- ✓ El par puede controlarse variando la corriente que se aplica al motor.
- ✓ Los motores de DC casi siempre responden rápido.

Los motores de DC tienen devanados en el rotor, y cada bobina tiene dos conexiones al conmutador que se encuentra en la flecha. El conmutador consta de una serie de segmentos de cobre mediante los cuales la corriente eléctrica es transmitida hacia el rotor.

La trayectoria de la corriente desde la parte fija del motor hacia el conmutador se realiza a través de un par de escobillas, por lo regular de carbón, que se mantienen en contacto con el conmutador mediante bobinas ligeras o resortes de hoja.

4.1.2.1 TIPOS DE MOTORES DE DC.

Los tipos de motores de DC que se utilizan mucho son *el bobinado en derivación, bobinado en serie, bobinado compuesto, y los de magneto o imán permanente.*

Motor de DC bobinado en derivación. El campo electromagnético se conecta en paralelo con la armadura giratoria, Fig. 60. La curva par-velocidad muestra una regulación de velocidad buena en alguna medida hasta aproximadamente dos veces el par con carga total, después de ese punto se registra una caída rápida. La velocidad sin carga es solo un poco más alta que la velocidad con carga total. Los motores bobinados en derivación se utilizan sobre todo para ventiladores y ventiladores con tolva pequeños.

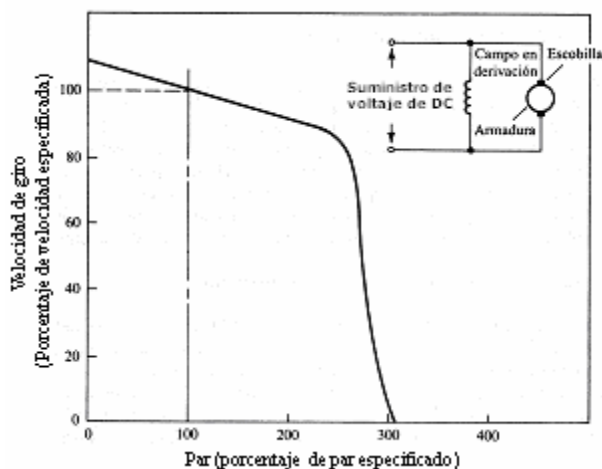


Fig. 60. Curva de respuesta de un motor de DC bobinado en derivación.

Motor de DC bobinado en serie. El campo electromagnético está conectado en serie con la armadura giratoria, como se muestra en la Fig. 61. la curva par-velocidad es muy pronunciada, lo que le da al motor un rendimiento suave que es adecuado en grúas, malacates e impulsores de tracción para vehículos.

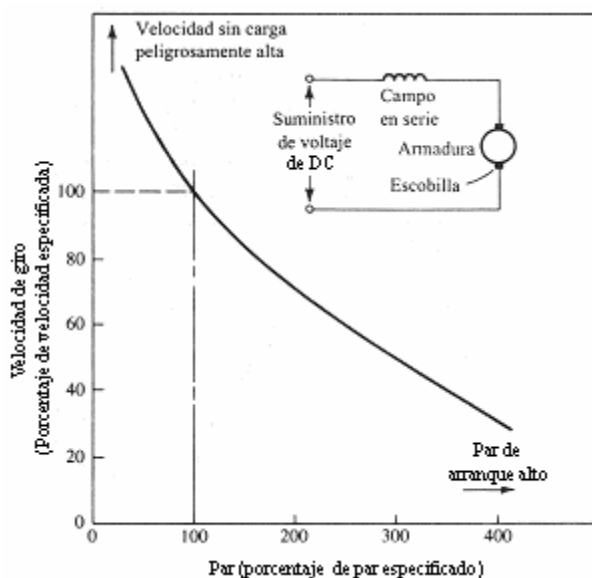


Fig. 61. Curva de rendimiento de un motor DC bobinado en serie.

El par de arranque es muy alto. Sin embargo, una dificultad importante con motores bobinados en serie es que, en teoría, la velocidad sin carga es ilimitada. El motor puede alcanzar una velocidad peligrosa si la carga se desconectara en forma accidental. Se sugiere utilizar dispositivos de seguridad, por ejemplo detectores de velocidad excesiva, que apaguen el motor.

Motor DC bobinado compuesto. El motor de DC bobinado compuesto emplea tanto un campo en serie como un campo en derivación, Fig. 62. Su desempeño se encuentra entre el de un motor bobinado en serie y el de uno bobinado en derivación. El par de arranque que proporciona es razonablemente alto y una característica de velocidad suave, sin embargo, presenta una velocidad sin carga que se controla inherentemente. Esto lo hace adecuado para grúas, las cuales son susceptibles a perder sus cargas en forma súbita.

Por seguridad y para fines de control, el motor trabajara despacio cuando se le apliquen cargas pesadas y cuando se le apliquen cargas ligeras trabajara con rapidez con el objeto de incrementar la productividad.

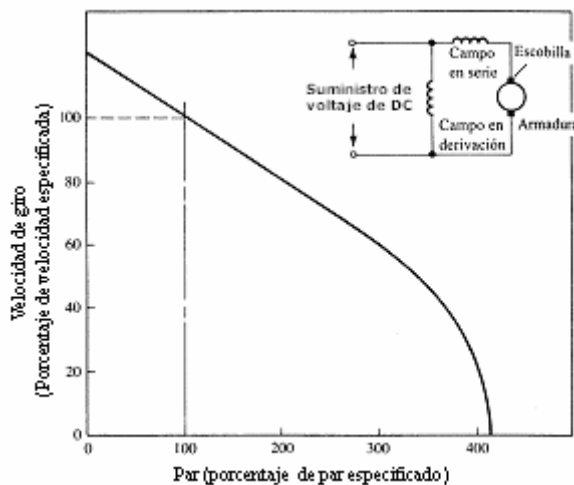


Fig. 62. Curva de rendimiento de un motor de DC con bobinado compuesto.

Motores de DC de imán o magneto permanente. El motor de DC de imán o magneto permanente utiliza magnetos o imanes permanentes a fin de proveer un campo para la armadura, Fig. 63.

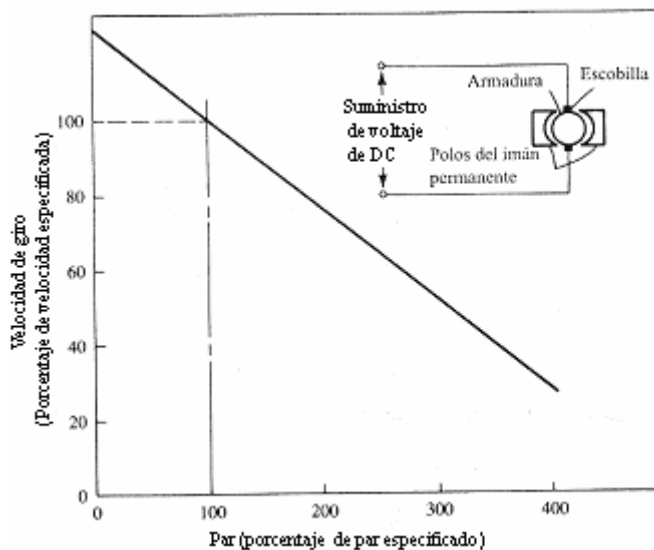


Fig. 63. Curva de rendimiento de un motor DC de imán permanente.

El campo es casi constante en todo momento y da por resultado una curva de velocidad-par lineal. La corriente que se utiliza varia asimismo, de manera lineal, en función del par. Entre los usos que se le da a motores de este tipo se incluye los ventiladores y ventiladores con tolva para enfriar paquetes electrónicos en aeronaves, actuadores pequeños para control en aeronaves, como energía automotriz de apoyo para ventanas y asientos y ventiladores en automóviles, para calefacción y aire acondicionado. Estos motores suelen tener integrados reductores de velocidad tipo engrane para generar una salida de baja velocidad y par alto.

Motores DC sin escobillas.

Los componentes básicos de un motor DC sin escobillas son: un rotor de imán permanente, un estator con devanados de tres, cuatro o más fases, un sensor de posición del rotor y un circuito electrónico para controlar las fases del devanado del rotor.

Un motor dc sin escobillas funciona energizando en cualquier momento una bobina del estator, con un voltaje dc constante. Cuando se energiza la bobina ésta produce un campo magnético estatórico y se induce un par sobre el rotor, el cual lo tiende a alinear con el campo magnético del estator. La clave de la operación de un motor dc sin escobillas es que incluye un sensor de posición, de modo que el circuito de control sabrá cuando está casi alineado el rotor con el campo magnético del estator. En este momento se desconecta la bobina y se energiza la siguiente; entonces el rotor experimenta de nuevo un par y continua rotando.

La electrónica del circuito de control se puede utilizar para controlar tanto la velocidad como la dirección del motor.

Algunas de sus ventajas principales son:

- ✓ Relativamente alta eficiencia,
- ✓ Larga vida y alta confiabilidad,
- ✓ Poco o ningún mantenimiento,
- ✓ Muy pequeño ruido de radiofrecuencia comparado con un motor dc con escobillas,
- ✓ Son posibles muy altas velocidades

Motores paso a paso

En los motores paso a paso el giro del rotor se produce de forma discreta, es decir, gira un determinado ángulo igual en cada paso. Estos motores son gobernados por un tren de pulsos. De forma general, están formados por un rotor y por el estator que presenta diferentes circuitos dispuestos angularmente que activan su polarización de forma secuencial según el tren de pulsos con que se alimenta.

Hay tres tipos de motores paso a paso:

Reluctancia variable: este tipo de motor está compuesto por un rotor de material ferromagnético que presenta un número de polos inferior a los que tiene el estator, que está compuesto por una serie de polos que alternan su alimentación por medio de conmutación a través de un tren de pulsos. Cuando un par de polos del estator son alimentados se produce un campo magnético al que responde el rotor de forma que se produzca la mínima reluctancia alineando los polos más cercanos con el campo magnético, y por consiguiente el giro del rotor (Fig. 64). Las principales características son que presenta rápida aceleración, bajo par y baja inercia.

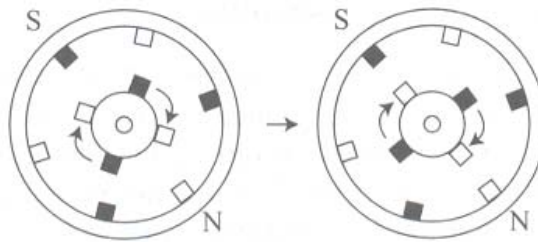


Fig. 64. Motor paso a paso de reluctancia variable.

Imanes permanentes. En este caso el rotor está compuesto por un imán permanente.

Los polos del estator van alternando su alimentación de forma secuencial según un tren de pulsos de forma que el rotor gira alineando sus polos hasta quedar enfrentado en cada instante de tiempo con los opuestos en el estator y que en ese momento están alimentados, y por tanto generando un campo magnético (Fig. 65). Con este tipo de motores es posible conseguir pasos angulares más pequeños que con el de reluctancia variable, además son más económicos, aunque son más lentos en aceleración y presentan menos par.

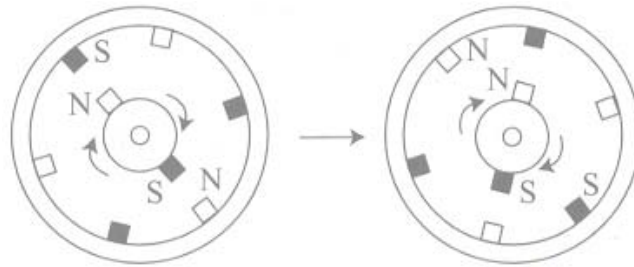


Fig. 65. Motor paso a paso de imanes permanentes.

Híbridos. En este tipo de motores combinan las características de los dos anteriores.

Presenta como principal ventaja la alta resolución que se puede conseguir en el paso angular, siendo muy adecuados para aplicaciones de alta precisión. Son los que mejores características presentan, alta inercia, alto par y pueden conseguir el menor paso angular. Valores típicos en estos casos están en torno a 1° por paso.

Por su modo de funcionamiento, los motores paso a paso presentan muy buenas características en bucle abierto, ya que el control de la posición se puede hacer directamente por el tren de pulsos de alimentación. Sin embargo, es necesario acudir al control en bucle cerrado cuando se requiera alta precisión y robustez, ya que pueden existir situaciones en las que no se pueda asegurar que la posición del rotor se corresponda con la marcada por el tren de pulsos, como por ejemplo en el caso de una sobrecarga que provoca un par aplicado al rotor superior al que quede mantenerse por el campo magnético generado.

Con referencia a las características intrínsecas del funcionamiento de los motores paso a paso en general, éstos se pueden clasificar en dos grandes grupos: de paso completo y de medio paso.

La diferencia entre uno y otro es que con los motores de medio paso el rotor gira la mitad del recorrido de un paso normal, con lo que se obtiene una mayor resolución y velocidad, con una notable reducción de la resonancia.

La velocidad del motor es proporcional a la frecuencia con la que se envían los impulsos de excitación a los devanados y el par motor disminuye con el aumento de la velocidad.

4.2 ELEMENTOS MOTORES DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO

En los actuadores hidráulicos la fuente de energía es producida por aceite a presión, el cual es un fluido incompresible.

Dentro de los actuadores hidráulicos se considera los cilindros y los motores hidráulicos.

4.2.1 CILINDROS HIDRÁULICOS.

Los cilindros hidráulicos transforman la energía hidráulica en energía mecánica. Los cilindros producen movimientos lineales, por lo que también son denominados “motores lineales”. Los cilindros hidráulicos se clasifican en los dos siguientes tipos básicos: cilindros de simple efecto y cilindros de doble efecto.

4.2.1.1 CILINDROS DE SIMPLE EFECTO.

En los cilindros de simple efecto, la presión solo actúa sobre el émbolo.

En consecuencia, el cilindro solamente puede trabajar en **un sentido**.

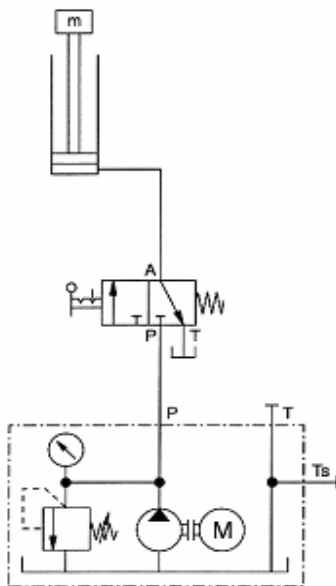


Fig. 66. Cilindro de simple efecto.

Estos cilindros funcionan de la siguiente manera:

El fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo.

En el émbolo se forma una presión por el efecto de la contrafuerza (carga por peso). Una vez superada esta fuerza, el cilindro avanza hasta el final de carrera.

Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo está conectada con el depósito a través de la tubería y la válvula de vías, mientras que el conducto de presión está bloqueado por la válvula de vías, Fig. 66. El retroceso se produce por el propio peso, por acción de un muelle o por efecto de una fuerza externa. Estas fuerzas (pesos) tienen que superar

la fricción dentro del cilindro y en las tuberías y las válvulas, y tienen que desplazar el fluido hacia el conducto de retorno.

Los cilindros de simple efecto se aplican en aquellos casos en los que el trabajo hidráulico actúa solamente en un sentido, como por ejemplo elevar, sujetar, descender herramientas, elevadores hidráulicos, gatos y plataformas de tijeras.

Los cilindros de simple efecto pueden ser:

Cilindro de embolo buzo, el émbolo y el vástago forman una sola pieza y

Cilindro telescópico, utilizado para carreras largas.

El montaje de los cilindros hidráulicos de simple efecto se rige por los siguientes criterios:

Montaje vertical. Si el retroceso del cilindro se produce por efecto de fuerzas externas (excepción: plataforma de tijeras).

Montaje horizontal: se trata de cilindros de simple efecto con retroceso por muelle.

4.2.1.2 CILINDROS DE DOBLE EFECTO.

En los cilindros de doble efecto es posible poner presión en ambas superficies del émbolo, Fig. 67 En consecuencia, pueden realizar trabajo en ambos sentidos.

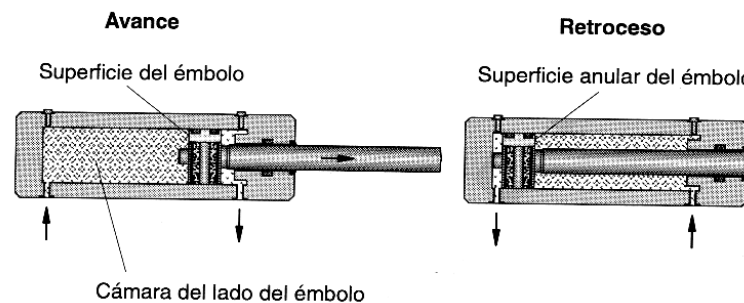


Fig. 67. Cilindro de doble efecto.

Estos cilindros funcionan de la siguiente manera:

El fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo actuando sobre la superficie A. Las resistencias internas y externas crean una presión, p . La presión y la superficie del émbolo crean una fuerza F , según la fórmula $F = p \times A$. De este modo se superan las resistencias, con lo que avanza el cilindro. Este avance se debe a la conversión de energía hidráulica en energía mecánica, quedando ésta a disposición del elemento de trabajo.

Al avanzar el cilindro deberá tenerse en cuenta que el aceite ubicado en el lado del émbolo necesariamente tiene que descargar por los tubos hacia el depósito.

Durante el retroceso del cilindro, el aceite fluye hacia la cámara del lado del vástago. El cilindro retrocede, con lo que el aceite es desplazado de la cámara del lado del émbolo.

En los cilindros de doble efecto con vástago simple, las fuerzas y las velocidades son diferentes durante el avance y el retroceso aunque el caudal volumétrico sea el mismo, puesto que las superficies son diferentes (superficie del émbolo y superficie anular del émbolo).

La velocidad del retroceso es mayor, ya que si bien el caudal volumétrico es el mismo, la superficie activa durante el retroceso es más pequeña que durante el avance.

Los tipos de cilindros de los que se dispone son los siguientes:

Cilindro diferencial. Relación de superficies 2:1

(superficie del émbolo: superficie anular). Retrocede al doble de la velocidad de avance.

Cilindro sincronizado. Superficies activas iguales. Avanza y retrocede a la misma velocidad.

Cilindro con amortiguación de posiciones finales. Para frenar la velocidad en caso de masas grandes y para evitar choques bruscos.

Cilindro telescópico. Carreras mayores.

Convertidor de presión. Aumento de la presión.

Cilindro tándem. Es útil en los casos en que se necesitan fuerzas considerables en reducido espacio.

Según los movimientos de los cilindros hidráulicos, son posibles las siguientes aplicaciones:

Máquinas herramientas. Movimientos de avance para herramientas y piezas, dispositivos de fijación, movimientos de corte o en máquinas planeadoras, maquinas de ensayos, accionamientos de prensas, movimientos en máquinas de impresión y de moldeo por inyección.

Dispositivos de elevación y transporte. Movimientos basculantes, ascendentes, giratorios de volquetes, carretillas elevadoras, etc.

Equipos móviles. Excavadoras, palas mecánicas, tractores, carretillas elevadoras, hormigoneras.

Aviación. Movimientos ascendentes, basculantes, y giratorios del tren de aterrizaje, de los alerones, etc.

Navíos. Movimientos del timón, posicionamiento de las hélices.

4.2.2 MOTORES HIDRÁULICOS.

Los motores hidráulicos son maquinas que transforman la energía del fluido que se les aplica en una energía mecánica rotativa y que se toma del eje del propio motor.

Los motores hidráulicos tienen los mismos parámetros característicos que las bombas, aunque en el caso de los motores hidráulicos no se aplica el término de volumen desplazado, utilizándose más bien el de volumen absorbido.

Los fabricantes de motores hidráulicos indican por lo general este volumen en cm^3 por giro, agregando la información sobre el régimen de revoluciones en el que el motor trabaja más eficientemente.

El caudal volumétrico que necesita el motor es calculado en base al volumen de absorción y las revoluciones deseadas.

Las aplicaciones de los motores, aun siendo menos que las de los cilindros, son muy importantes dentro del amplio campo de las instalaciones hidráulicas, siendo su campo de aplicación principal en máquinas de obras públicas, elevación, barcos, armamento, máquinas herramienta, transfer, máquinas para la fabricación del caucho y sus derivados incluyendo los plásticos, prensas, cortadoras y otras muchas.

Los motores hidráulicos se pueden clasificar en dos tipos, a saber:

Motores de accionamiento constante. El volumen de absorción es constante. Se incluyen en esta clasificación los motores de engranes.

Motores regulables. El volumen de absorción es regulable, lo que permite variar la velocidad con tan solo variar el volumen absorbido. Ejemplo de este tipo de motores son los motores de paleta y los de pistones, los que a su vez pueden ser de accionamiento constante.

4.3 ELEMENTOS MOTORES DE ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO.

La fuente de energía en este tipo de elementos es aire a presión, y dado que el aire es compresible, el posicionamiento dependerá de la carga de trabajo.

Los elementos motores neumáticos son básicamente de dos tipos: motores y cilindros neumáticos.

4.3.1 MOTORES NEUMÁTICOS.

Son ligeros y compactos. El arranque y paro es muy rápido y pueden trabajar con velocidad y par variables sin necesidad de un control complejo. Pueden trabajar sin problemas hasta temperaturas de 120°C y soportan sobrecargas sin consecuencias posteriores. La relación par / peso es superior a la de los motores eléctricos. En el caso de motores reversibles, puede cambiarse el sentido de giro sin producir sacudidas sobre la carga. Trabajando en vacío, el cambio de sentido puede realizarse en muy pocos grados gracias a su alta aceleración y baja inercia.

4.3.1.1 MOTOR DE ALETAS ROTATIVAS.

Es relativamente simple y su utilización está muy extendida. Un motor neumático de aletas consiste en varias aletas, generalmente de un plástico a base de resinas fenólicas, montadas en unas hendiduras distribuidas regularmente sobre un rotor cilíndrico, Fig. 68. Este rotor se halla colocado excéntricamente en el cuerpo del motor.

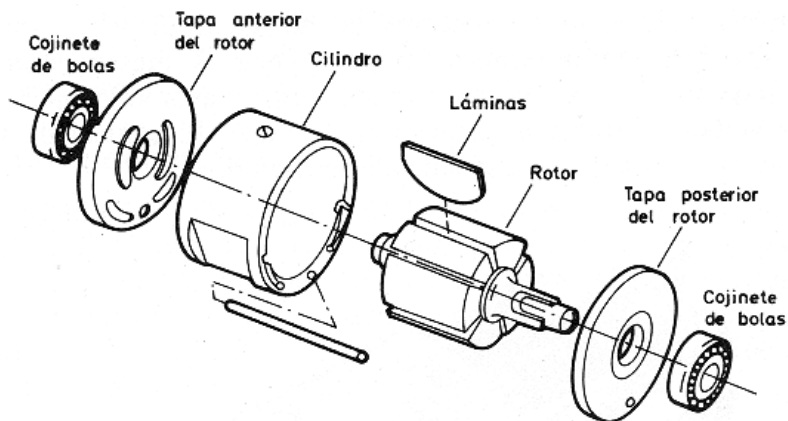


Fig. 68. Despiece de motor neumático de aletas rotativas.

Unos muelles empujan las aletas contra el cuerpo del motor proporcionando la estanqueidad necesaria para que el rotor pueda girar en uno u otro sentido.

El par de giro sobre la carga se desarrolla cuando el aire comprimido entra en el compartimiento y empuja la aleta correspondiente haciendo girar al rotor.

Cuando el compartimiento con el aire comprimido alcanza la abertura de salida, el aire al escapar se expansiona dando lugar a una reducción de calor que refrigera el motor.

Normalmente cuatro o cinco paletas son suficientes para la mayoría de las aplicaciones. Se utilizan mayor número de paletas cuando se necesita mejorar la fiabilidad de la máquina y su par de arranque.

Como norma general, los motores deben trabajar con una precarga para evitar que giren a velocidades altas. Al girar en vacío el motor, el número de veces que las paletas rozan sobre el

cilindro es casi doble que en carga. Esto supone un desgaste innecesario de las paletas y de la pared del cilindro sobre la que deslizan.

Los motores de paletas giran a velocidades más altas y desarrollan mas potencia en relación con su peso que los motores de pistones, sin embargo tienen un par de arranque menos efectivo. Los motores de aletas son más ligeros y más baratos que los motores de pistones de potencia similar. Son los motores de uso más frecuente.

Es normal la utilización de motores de aletas acopladas a un dispositivo reductor, lo que permite multiplicar el par y que el motor pueda trabajar a velocidades mayores, en las que se consigue una mayor eficiencia y un mejor control de la velocidad frente a variaciones de carga. El control de la velocidad se efectúa fácilmente ajustando el caudal de alimentación.

4.3.1.2 MOTOR DE PISTONES.

Trabaja a velocidades inferiores a las de los motores de aletas debido al mayor peso de sus elementos rotativos. Una característica importante es el bajo nivel de vibración a cualquier velocidad, siendo esto especialmente destacable a baja velocidades en las que, además se obtiene el par máximo. Su empleo se limita principalmente a sistemas que precisan de una potencia elevada.

Los motores neumáticos de pistones tienen de 4 a 6 cilindros.

El par de giro sobre la carga se desarrolla cuando el aire comprimido entra en el compartimiento y hace que el cigüeñal empiece a rotar.

Según sea la disposición de los pistones pueden ser de tipo radial o axial, Fig. 69 y Fig.70. Su comportamiento es similar, caracterizándose los de pistón axial por un par rápido y elevado en el arranque.

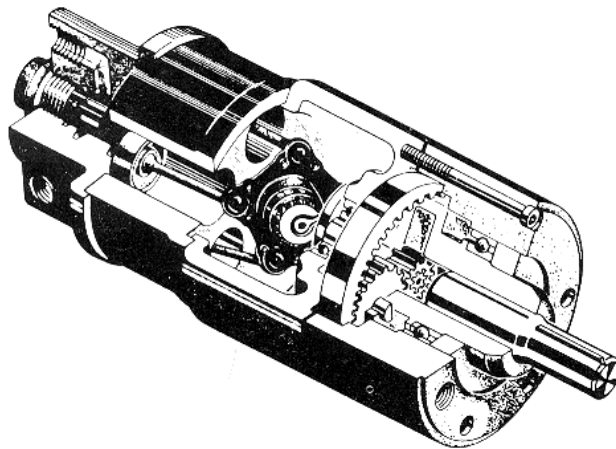


Fig. 69. Sección de un motor neumático de pistón axial.

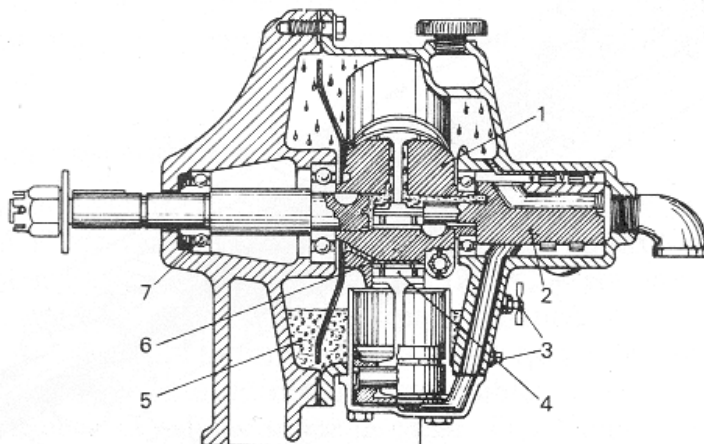


Fig. 70. Sección de un pistón neumático de pistón radial. 1-Eje de cigüeñal, 2- Válvula distribuidora rotativa de aire comprimido, 3-Tornillos de rellenado de aire y de purga, 4-Cojinete, 5-Baño de aceite, 6-Flujo de aceite centrífugo para engrasado de la biela, 7-Cojinetes del eje motor.

4.3.2 CILINDROS NEUMÁTICOS.

Los cilindros neumáticos transforman la energía del aire a presión en energía mecánica.

Al igual que los cilindros hidráulicos estos son llamados “motores lineales” y se clasifican en *cilindros de simple efecto* y *cilindros de doble efecto*.

El modo de operación de los cilindros neumáticos es similar al de los cilindros hidráulicos. La única diferencia estriba en el hecho de que en este caso el fluido de trabajo no tiene recirculación; es decir que una vez efectuada la operación, el aire es descargado a la

atmósfera, no así en el caso de los cilindros hidráulicos que se envía nuevamente al depósito colector de aceite.

Los cilindros de simple efecto tienen una sola conexión de aire comprimido. No pueden realizar trabajos más que en un sentido. Se necesita aire sólo para un movimiento de traslación. El vástago retorna por el efecto de un muelle incorporado o de una fuerza externa.

El resorte incorporado se calcula de modo que haga regresar el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente grande.

En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera del cilindro

Los Cilindros de doble efecto poseen dos conexiones para aire comprimido, lo que permite realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos, es decir que se dispone de fuerza útil tanto en la ida como en el retorno.

En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago al encontrarse éste completamente extendido y sometido a la carga externa.

Los tipos de cilindros neumáticos, de los cuales se dispone en el mercado son los mismos que para los cilindros hidráulicos, es decir cilindros de émbolo buzo, cilindros telescópicos, cilindros tándem, cilindros diferenciales, etc.

La principal diferencia está en la presión de trabajo, que es menor para los cilindros neumáticos y por supuesto el tipo de fluido.

4.4 ELECTROVÁLVULAS.

Un sistema de control electroneumático ó electrohidráulico trabaja con dos formas de energía: energía eléctrica en la sección de control de las señales y energía del fluido de trabajo en la sección de potencia.

Las válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente (electroválvulas) forman el interfaz entre las dos partes de control del sistema.

Las válvulas de vías o distribuidoras son elementos constructivos que modifican, abren o cierran los pasos del flujo del fluido. Estas válvulas permiten controlar la dirección del movimiento y la parada de los elementos de trabajo.

Son activadas por las señales de salida de la sección de control y distribuyen el fluido de trabajo en la sección de potencia. Las tareas más importantes de las electroválvulas son: abrir y cerrar la alimentación del fluido con el que se este trabajando, y controlar el movimiento, ya sea de cilindros ó de motores.

Es de aclarar que las electroválvulas se utilizan ampliamente en otras aplicaciones diferentes a la electroneumática o electrohidráulica, como son en instalaciones de vapor, monitoreo de gases o para controlar la apertura o cierre en instalaciones hidráulicas -instalaciones de bombeo-. En este apartado solo se estudia las aplicaciones a nivel electroneumático y electrohidráulico.

4.4.1 TIPOS DE ELECTROVÁLVULAS Y MODO DE FUNCIONAMIENTO.

Las electroválvulas se activan por medio de solenoides, y se pueden dividir en dos grupos:

Válvulas con retorno por muelle (monoestables). Sólo están activadas mientras fluye corriente por el solenoide, y

Válvulas de doble bobina (biestables), las que mantienen la última posición aunque deje de fluir corriente por el solenoide, esto es en el caso de las electroválvulas neumáticas 5/2 vías, puesto que en las electroválvulas hidráulicas existen resortes que la devuelven a su posición de centro, ya que son válvulas 5/3 vías.

En posición inicial, todos los solenoides de una electroválvula distribuidora están sin tensión y por lo tanto inactivos. Una válvula de doble solenoide no tiene una posición estable definida ya que no tiene muelle de retorno.

Las electroválvulas distribuidoras también se distinguen por el número de conexiones y el número de posiciones de conmutación. La denominación de la válvula resulta del número de conexiones y de posiciones, por ejemplo:

Electroválvula de 3/2 vías con muelle de retorno (monoestable)

Electroválvula de 5/2 vías de doble bobina (biestable)

Las electroválvulas distribuidoras son generalmente de diseño modular.

Se componen de los siguientes elementos:

1. La electroválvula distribuidora propiamente dicha.
2. Uno ó dos solenoides para su accionamiento
3. Uno ó dos conectores para las señales de mando a las bobinas.

Con el objetivo de familiarizar al lector con este tipo de válvulas, en párrafos siguientes se describe el funcionamiento de algunas de ellas.

4.4.1.1 ELECTROVÁLVULA DE 3/2 VÍAS CONTROLADA DIRECTAMENTE.

Este tipo de válvulas en su posición inicial, la conexión de utilización 2 esta unida a la conexión de descarga 3 por la ranura en el inducido, Fig. 71a.

Si se excita el solenoide, las fuerzas del campo magnético fuerzan el inducido hacia arriba contra la fuerza del muelle, Fig. 71b. la junta de asiento inferior abre y el fluido de la conexión 1 puede fluir hacia la conexión de trabajo 2. la junta de asiento superior cierra, cerrando el paso entre las conexiones 2 y 3.

Si la bobina del solenoide se desexcita, el inducido regresa a su posición inicial por efecto del muelle de retorno, Fig. 71a. el paso entre las conexiones 2 y 3 se abre y el paso entre las conexiones 1 y 2 se cierra. El aire comprimido se descarga a través del tubo del inducido por la conexión 3.

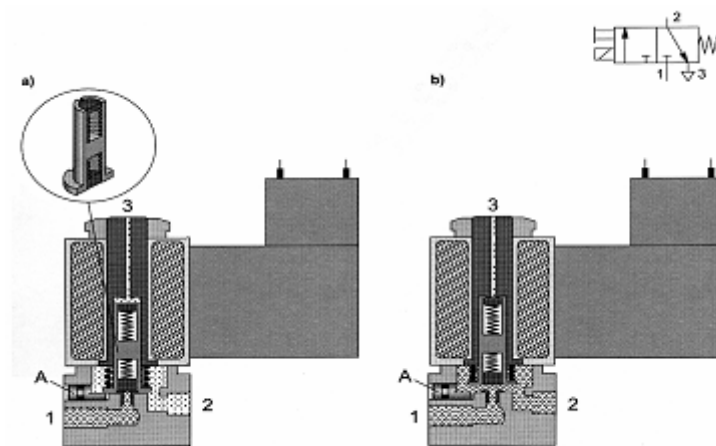


Fig. 71. Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual (normalmente cerrada).

El accionamiento manual A, permite abrir el paso entre las conexiones 1 y 2 aunque el solenoide no este excitado. Al girar el tornillo, la leva excéntrica acciona el inducido. Girando de nuevo el tornillo, el inducido regresa a su posición inicial.

4.4.1.2 ELECTROVÁLVULA DISTRIBUIDORA PILOTADA.

En las electroválvulas pilotadas, el émbolo de la válvula es accionado indirectamente.

El inducido del solenoide abre o cierra un conducto derivado de la conexión 1.

Si el inducido esta abierto, el aire comprimido de la conexión 1 acciona el émbolo de la válvula.

Como ejemplo considérese una electroválvula 3/2 vías pilotada, en la posición inicial, la superficie del émbolo solo esta sujeta a la presión atmosférica, de forma que el muelle de retorno empuja el émbolo hacia arriba (Fig. 72a). Las conexiones 2 y 3 están unidas.

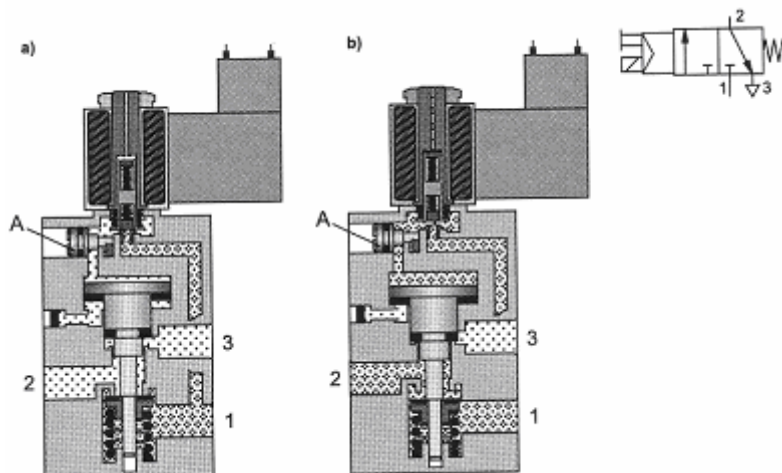


Fig. 72. Electroválvula pilotada de 3/2 vías (normalmente cerrada con accionamiento manual).

Si se excita la bobina del solenoide, la cámara inferior del émbolo de la válvula se une con la conexión de presión 1 (Fig. 72b). La fuerza en la superficie superior del embolo de la válvula aumenta, presionando el émbolo hacia abajo. La unión entre las conexiones 2 y 3 se cierra, mientras que la unión entre 1 y 2 se abre. La válvula permanece en esta posición mientras esté excitada la bobina del solenoide.

Si la bobina del solenoide se desexcita, la válvula conmuta de nuevo a su posición inicial.

Se necesita de una mínima presión de alimentación (presión de mando) para accionar una válvula pilotada contra la fuerza del muelle, que por lo general se indica en las especificaciones de la válvula y se halla, según el tipo entre 2 y 3 bar.

En el caso de una electroválvula de 5/2vías pilotada neumáticamente en su posición inicial, el émbolo se halla en su tope izquierdo (Fig. 73a). Las conexiones 1 y 2, así como las 4 y 5 se hallan unidas.

Si se excita la bobina del solenoide, la corredera de la válvula se mueve hacia el tope derecho (Fig.73b). En esta posición las conexiones 1 y 4, así como las 2 y 3 se hallan unidas.

Si el solenoide se desexcita el muelle de retorno devuelve la corredera a su posición inicial.

El aire de pilotaje, es suministrado a través de la conexión 84.

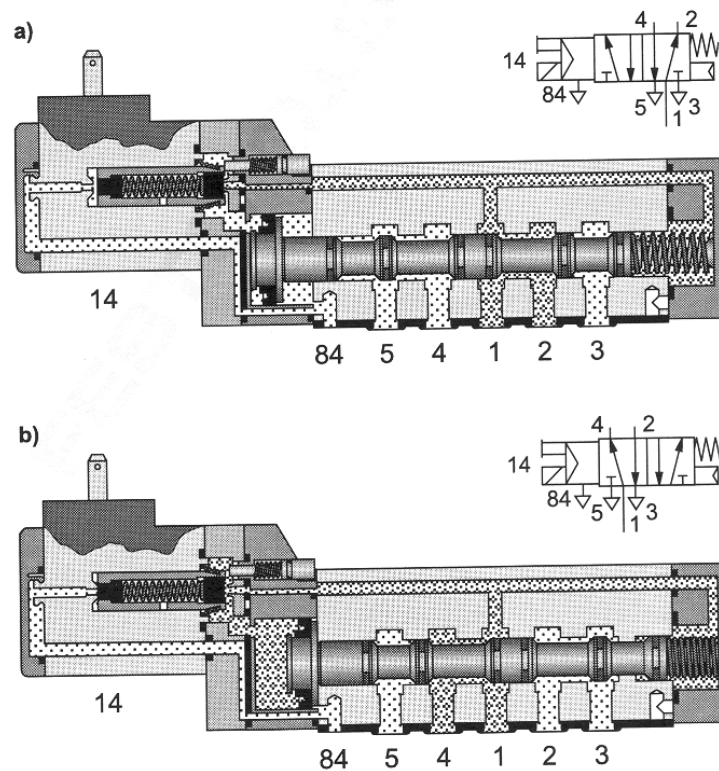


Fig. 73. Electrovalvula de 5/2vías pilotada neumáticamente, y retorno por resorte.

4.4.1.3 ELECTROVÁLVULA 4/2 VÍAS.

La electroválvula 4/2 vías esta provista con dos posiciones de trabajo, de una conexión para los ductos de presión y una conexión hacia el depósito de aceite si es hidráulica o a la atmósfera si es neumática, Fig. 74.

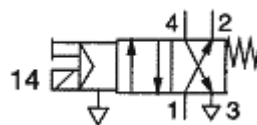


Fig. 74. Electrovalvula de 4/2 vías pilotada

En su posición inicial las conexiones 1 y 2 se encuentran unidas, lo mismo sucede con las conexiones 3 y 4.

Al excitarse la bobina del solenoide, la corredera se desplaza y las conexiones son como sigue, 1 se une con 3 y 2 se une con 4, respectivamente.

Si el solenoide se desexcita la corredera vuelve a su posición inicial por acción del muelle.

En aplicaciones de hidráulica es muy común encontrar este tipo de válvulas con tres posiciones, es decir con una posición intermedia, 4/3.

En este caso la válvula posee dos bobinas, s1 y s2 que son las responsables del movimiento de la corredera, Fig. 75.

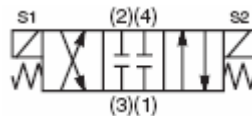


Fig. 75. Electroválvula hidráulica 4/3 vías, de doble solenoide.

En este caso la válvula tiene una posición definida, que es la de centro, puesto que al no haber tensión en ninguna de las dos bobinas los muelles de retorno se encargan de devolver la corredera a su posición inicial (posición de centro).

Inicialmente las conexiones 1, 3 y 2, 4 se encuentran bloqueadas, es decir no hay transmisión de potencia fluida.

Al aplicar tensión a la bobina s1, la corredera se desplaza de su posición inicial y conecta las terminales 3 con 4 y 1 con 2 respectivamente.

De igual forma ocurre si se desenergiza la bobina s1 y se excita el solenoide s2, se unen las conexiones 2, 3 y 1 con 4.

4.4.1.4 ELECTROVÁLVULA NEUMÁTICA PILOTADA DE 5/2 VÍAS DE DOBLE BOBINA.

En este tipo de válvulas, si el émbolo de la válvula se halla en su tope izquierdo, las conexiones 1 y 2, así como las 4 y 5 se encuentran unidas, Fig. 76a.

Si se excita la bobina izquierda (14), el émbolo se desplaza hacia la derecha, con lo que las conexiones 1 y 4, así como las 2 y 3 se unen, Fig. 76b.

Si la válvula debe volver a su posición inicial, no es suficiente con des-excitar la bobina izquierda. Además hay que excitar la bobina derecha (12).

Si ninguna de las dos bobinas esta excitada, el rozamiento mantiene el émbolo de la válvula en la última posición seleccionada. Esto vale también si se excitan ambas bobinas al mismo tiempo, ya que se oponen una a otra con la misma fuerza.

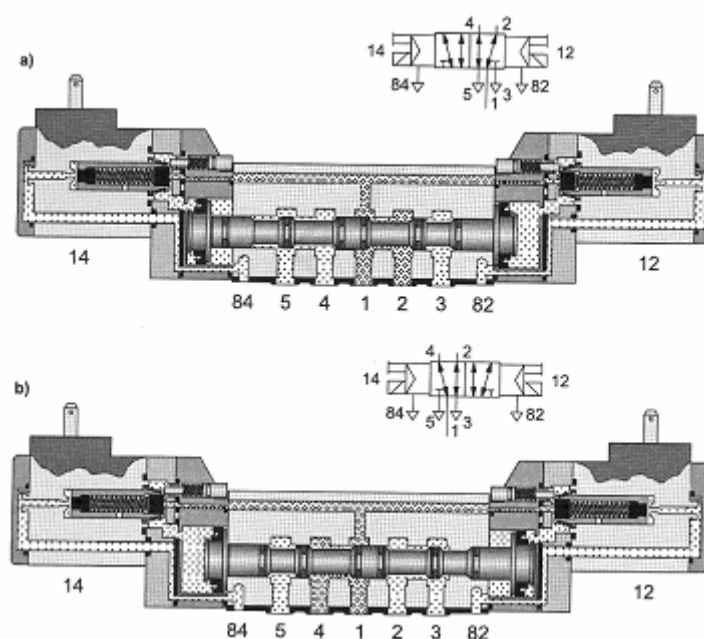


Fig. 76. Electroválvula neumática pilotada de 5/2 vías de doble bobina.

4.4.2 TIPOS DE ELECTROVÁLVULAS Y DATOS CARACTERÍSTICOS.

Las electroválvulas distribuidoras se fabrican en una amplia gama de variantes y tamaños para cubrir diferentes necesidades de la práctica industrial.

Cuando se selecciona la válvula adecuada, es útil tener en cuenta los dos siguientes puntos:

Primero establecer el tipo de válvula que se necesita según la tarea y la reacción exigida en caso de fallo de tensión (por ejemplo, una electroválvula de 5/2 vías con muelle de retorno).

Segundo, utilizar el catálogo del fabricante para establecer que válvula cumple con las prestaciones y rendimiento exigido. Además, hay que tener en cuenta no sólo el coste inicial de la válvula, sino también los costes de la instalación, mantenimiento, recambios, etc.

En la tabla 12 y tabla 13 se resume los tipos de electroválvulas más corrientemente utilizadas, con sus símbolos y aplicaciones.

Tabla 12. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas.

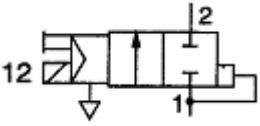
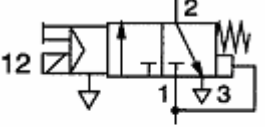
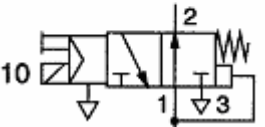
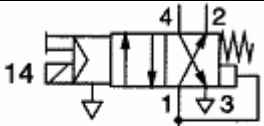
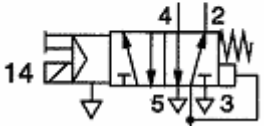
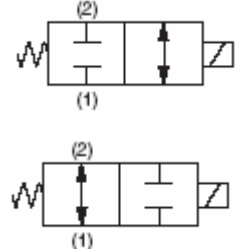
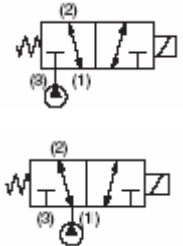
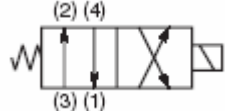
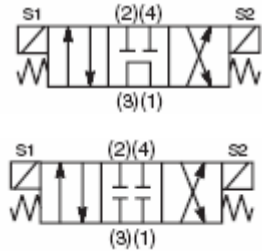
<i>Tipo de válvula</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Aplicaciones.</i>
<i>Electroválvulas distribuidoras con muelle de retorno (monoestables).</i>		
Electroválvula de 2/2 vías pilotada, retorno por muelle		Función de cierre
Electroválvula de 3/2 vías pilotada, retorno por muelle, normalmente cerrada		Cilindros de simple efecto
Electroválvula de 3/2 vías pilotada, retorno por muelle, normalmente abierta.		Cilindros de simple efecto (bajo presión sin tensión)
Electroválvula de 4/2 vías pilotada, retorno por muelle		Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios.
Electroválvula de 5/2 vías pilotada, retorno por muelle.		

Tabla 12. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas, cont.

<i>Tipo de válvula</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Aplicaciones.</i>
<i>Electroválvulas distribuidoras con muelle de retorno (monoestables), cont.</i>		
<p>Electroválvula de 5/3 vías pilotada, con muelles de retorno (cerrada a descarga o a presión en reposo).</p>		<p>Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios con parada intermedia, con requerimientos especiales en el caso de un gallo de tensión.</p>
<i>Electroválvulas distribuidoras de doble bobina.</i>		
<p>Electroválvulas de 4/2 vías pilotada, doble bobina. Electroválvula de 5/2 vías pilotada, doble bobina.</p>		<p>Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios.</p>

Tabla 13. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas hidráulicas.

<i>Tipo de válvula</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Aplicaciones</i>
<p>Electroválvula 2/2 vías, retorno por muelle, normalmente cerrada.</p> <p>Electroválvula 2/2 vías, retorno por muelle, normalmente abierta.</p>		<p>Función de cierre.</p>
<p>Electroválvula 3/2 vías, retorno por muelle, normalmente cerrada.</p> <p>Electroválvula 3/2 vías, retorno por muelle, normalmente abierta.</p>		<p>Cilindros de simple efecto.</p>
<p>Electroválvula 4/2 vías, retorno por muelle.</p>		<p>Cilindros de doble efecto</p>
<p>Electroválvula 4/3 vías, posición intermedia “bomba a recirculación”</p> <p>Electroválvula 4/3 vías, posición intermedia “cerrada”.</p>		<p>Cilindros de doble efecto Control de la carga en posiciones intermedias Protección en caso de fallo por tensión.</p>

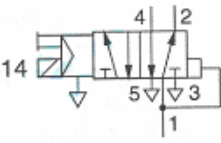
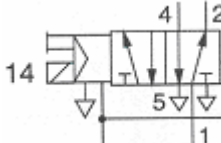
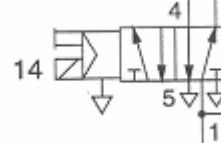
Si no hay una válvula con todas las propiedades requeridas, a menudo puede utilizarse una válvula con un número de conexiones diferente.

Las electroválvulas de 4/2 vías y de 5/2 vías realizan casi la misma función (escape único ó escapes separados). Son intercambiables.

Para realizar la función de una válvula de 3/2 vías de doble bobina, puede cerrarse con un tapón una de las conexiones de utilización de una válvula 4/2 vías o de 5/2 vías.

En la tabla 14 se presenta los datos característicos de electroválvulas neumáticas 5/2 vías, y la tabla 15 corresponde a una electroválvula hidráulica 4/3 vías.

Tabla 14. Datos característicos de electroválvulas neumáticas 5/2 vías².

Tipo de válvula	<i>Electroválvula pilotada de 5/2 vías con retorno por muelle</i>	<i>Electroválvula pilotada de 5/2 vías con retorno por muelle y alimentación auxiliar del pilotaje</i>	<i>Electroválvula pilotada de 5/2 vías con retorno por muelle.</i>
Distribución de las conexiones	Válvula en placa base.	Válvula en placa base con aire de pilotaje auxiliar.	Válvula individual.
Símbolo gráfico			
Tamaño nominal	4,0 mm	4,0 mm	14,0 mm.
Caudal nominal	500 l/min.	500 l/min.	2000 l/min.
Margen de presión	2.5 a 8 bar	0.9 a 8 bar (aire de pilotaje auxiliar: 2.5 a 8 bar)	2.5 a 10bar
Tiempo de respuesta Activación/Desactivación.	20/30 ms.	20/30 ms.	30/55ms.

² Fuente: Manual de estudio, Nivel Básico. Electroneumática. Festo Didactic

Tabla 14. Datos característicos de electroválvulas 5/2 vías, cont.

Datos característicos de bobinas de solenoide en AC y DC.		
Tipo de bobina.	Corriente continua (DC)	Corriente alterna (AC)
Tensiones Normal	12, 24, 42, 48V	24,42, 110,230V, 50 a 60 Hz.
Especial.	Bajo demanda	Bajo demanda
Variaciones de tensión	máx. $\pm 10\%$	máx. $\pm 10\%$
Fluctuaciones de la frecuencia	-	máx. $\pm 5\%$ a la tensión nominal.
Consumo a tensiones normales	4.1 W a 12V 4.5 W a 24V	Llamada: 7.5 VA Sostenimiento: 6VA
Factor de potencia	-	0.7
Ciclo de trabajo	100%	100%
Grado de protección	IP65	IP65
Temperatura ambiente	de -5 a $+40^{\circ}\text{C}$	de -5 a $+40^{\circ}\text{C}$
Temperatura del fluido	de -10 a $+60^{\circ}\text{C}$	de -10 a $+60^{\circ}\text{C}$
Tiempo promedio de llamada.	10ms	10ms.

Tabla 15. Datos característicos de una electroválvula hidráulica 4/3 vías³.

Tipo de válvula	Electroválvula hidráulica 4/3 vías
Símbolo	
Flujo nominal	3 gpm.
Presión de entrada	5000psi
Tiempo de respuesta	50 - 150ms
Voltaje de operación	DC: 12 y 24V AC: 120/110V 50/60Hz 240/220V 50/60Hz
Voltaje de operación mínimo	85% del voltaje de operación a 20°C
Temperatura de operación	-40 a $+93.3^{\circ}\text{C}$
Filtración	ISO Code 1613 SAE clase 4 o superior.
Fluido	Aceite hidráulico base mineral o sintético con propiedades lubricantes a viscosidades de 45 a 2000 SSU.

³ Fuente: <http://www.parker.com/ihd/cat/english/HY15-3500g002c.pdf>

CAPÍTULO 5.

ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE LOS SENSORES.

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio, son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar.

Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones, las siguientes: amplificación, filtrado, adaptación de impedancias y modulación o demulación.

5.1 INTERFACES DE ENTRADAS / SALIDAS.

En general, siempre es necesaria una acción sobre la señal del sensor antes de su utilización final. Con el término interfaz se designa, en ocasiones, el conjunto de elementos que modifican las señales, cambiando incluso de dominio de datos, pero sin cambiar su naturaleza, es decir, permaneciendo en el dominio eléctrico.

Se denomina dominio de datos al nombre de una magnitud mediante la que se representa o transmite información; ej: dominio analógico, dominio temporal y dominio digital.

Una interfaz es un bloque que sirve de enlace entre otros dos que podrán trabajar, en general, con niveles distintos de tensión e incluso con códigos distintos.

Las funciones de la interfaz son básicamente dos:

- 1.** Enlace a nivel de hardware (niveles y tipo de tensión).
- 2.** Enlace a nivel de código (estados lógicos, conversión A/D ó D/A, tipo de código digital, etc.).

Dependiendo del tipo de señal que empleen los sistemas a enlazar, la interfaz puede tener mayor o menor complejidad. A este respecto, tanto las señales de mando como las de proceso, en entornos industriales, se pueden clasificar en los dos grupos siguientes:

Señales todo-nada: codificación digital (un solo bit).

Señales continuas, con dos tipos posibles de codificación: Codificación analógica y codificación digital en palabras de una determinada longitud (8 bits, 16 bits, etc.).

Dependiendo del sentido o sentidos de enlace las interfaces pueden ser:

Unidireccionales: Transferencia de información en un solo sentido (entradas o salidas).

Bidireccionales: Posibilidad de transferencia en ambos sentidos, ya sea conmutando de un sentido a otro (half-duplex) o en ambos sentidos simultáneamente (full-duplex).

Finalmente, para sistemas digitales programables, puede establecerse una división entre dos partes de la interfaz:

Interfaz de hardware: encargada del enlace a nivel de tensiones y estados lógicos.

Interfaz de software: encargada de la interpretación de códigos y de las señales de control.

5.2 ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES.

La interfaz para estas señales suele ser básicamente una interfaz de hardware de tipo unidireccional, en el caso de entradas destinadas a captar los niveles (alto o bajo) de tensión y convertirlos a niveles lógicos TTL (0 a 5V) y en el caso de las salidas haciendo la conversión inversa.

Una característica a valorar para este tipo de interfaces es la separación galvánica entre los circuitos internos, que operan a niveles TTL y los circuitos externos. La separación galvánica proporciona enormes ventajas desde el punto de vista de inmunidad al ruido eléctrico y robustez ante las sobretensiones y perturbaciones a que suelen estar sometidas las señales de campo.

5.2.1 ENTRADAS DIGITALES.

Dentro de las interfaces de entrada para señales binarias, se puede distinguir los siguientes tipos, atendiendo a distintas características de los mismos:

Según la tensión de alimentación pueden ser:

De corriente continua: los valores de tensión más frecuentes son 12, 24, 48 y 110VDC.

De corriente alterna: los valores de tensión más frecuentes son 24, 48, 110 y 220VAC.

Par los de corriente directa, DC y según la polaridad de la fuente de alimentación conectada al común, se puede distinguir los tipos:

PNP: Común de alimentación a negativo (lógica positiva).

NPN: Común de alimentación a positivo (lógica negativa).

Según el aislamiento de la interfaz:

Con aislamiento galvánico: Alimentaciones completamente separadas de las E/S y de la lógica interna. Dicho aislamiento se suele conseguir mediante un opto-acoplador, que suele admitir tensiones de prueba desde 1500 hasta 5000V, según los casos.

De acoplamiento directo: señales sin aislamiento galvánico que requieren, por tanto, unir el común de alimentación de E/S al cero de la lógica interna.

Este tipo de acoplamiento está prácticamente en desuso por las razones expuestas en líneas anteriores.

Una característica importante a tener en cuenta en las interfaces de entradas binarias son los márgenes de ruido, que se definen como sigue:

El margen de ruido de una señal lógica es el rango de valores que puede tomar dicha señal siendo interpretada inequívocamente como nivel lógico 0 ó 1. Este parámetro permite determinar el máximo nivel de perturbación que puede superponerse a una señal de entrada sin que el sistema lógico interprete erróneamente su nivel lógico. Cabe distinguir dos márgenes de ruido: Margen de ruido estático, y margen de ruido dinámico.

5.2.2 SALIDAS DIGITALES.

Las interfaces de salida de tipo lógico son, aquellas que conectan al autómata programable, al microcontrolador o al ordenador con los accionamientos del proceso tales como relés, electroválvulas, etc. Una característica común a todos ellos suele ser que disponen de un buffer o registro, donde el procesador escribe una sola vez por ciclo el valor 1 ó 0 según corresponda por programa. Así, el mencionado registro constituye el bloque lógico de enlace entre la lógica interna y la interfaz.

Atendiendo a distintas características se puede clasificar las interfaces de salida en diferentes grupos:

Según los componentes utilizados como salida se puede distinguir dos grandes grupos:

1. Interfaces de salida estáticas:

Éstas emplean algún tipo de semiconductor para conmutar la salida. Según la naturaleza de salida pueden clasificarse en:

Para corriente continua. El conmutador de salida es un transistor a colector abierto con dos variantes posibles, según la polaridad:

Salida PNP ó lógica positiva.

Salida NPN ó lógica negativa.

Para corriente alterna. El conmutador de salida suele ser un triac o un par de tiristores en antiparalelo.

2. Interfaces de salida por relé:

Este tipo de interfaz es válido tanto para corriente continua como para alterna y proporciona siempre un aislamiento galvánico entre la salida y la lógica interna.

Según la separación galvánica entre el circuito de salida y la lógica interna se puede clasificar las interfaces en:

- ✓ Salidas acopladas directamente y
- ✓ Salidas con aislamiento galvánico.

5.3 ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS.

El procesamiento de datos dentro del autómata programable, el ordenador ó el microcontrolador es enteramente digital, y por tanto, las señales de tipo analógico deben ser previamente digitalizadas para que puedan ser procesadas.

Así pues, para el tratamiento de señales analógicas será preciso ante todo convertir dichas señales a la forma digital. Dicha forma digital consistirá en representar la magnitud de la variable analógica por un número codificado en forma binaria o en forma BCD (decimal codificado en binario).

Recíprocamente si se debe suministrar al proceso variables o señales de regulación continuas, se deberá previamente convertir los datos internos en forma binaria o BCD a magnitudes de tipo analógico.

Las funciones de multiplexado y conversión A/D y D/A son precisamente unas de las funciones esenciales que realizan las interfaces de E/S analógicas.

Con objeto de disponer de interfaces estándar, parte de la manipulación de la señal se realiza exteriormente al dispositivo de control (autómata programable, microcontrolador u ordenador), mediante amplificadores y otros adaptadores de señal específicos y de uso más o menos estandarizado dentro del campo de la instrumentación, de manera que la señal del sensor se convierte en una señal de tipo normalizado que suele ser de uno de los siguientes tipos:

- ✓ Señales de 0 a 10V.
- ✓ Señales de 0 a 5V.
- ✓ Señales de 0 a 20mA.
- ✓ Señales de 4 a 20mA.

5.3.1 CONVERTIDOR D/A.

La conversión D/A consiste en transformar una información digital, un byte o una variable numérica expresada en forma binaria con n bits, en una tensión ó una corriente cuyo valor sea proporcional al valor numérico de dicha variable numérica.

La información digital puede presentarse en diversos códigos de numeración, pero lo más frecuente es que para la conversión D/A venga expresada en código binario puro y, en el caso de números negativos, éstos se expresan en complemento a dos.

5.3.2 CONVERSIÓN A/D

La conversión A/D tiene por objeto la transformación de señales analógicas de tensión o corriente en datos numéricos que, por lo general, se obtendrán en código binario. El proceso de conversión requiere, en general, que la señal analógica haya sido previamente tratada para conseguir dos objetivos:

1. Adaptación al fondo de escala, con objeto de aprovechar al máximo la resolución del convertidor.

2. Mantener el valor de la señal constante mientras dura la conversión. Esto es especialmente necesario para señales de variación rápida, pero puede no serlo para otras más lentas o incluso para ciertos tipos de convertidores.

Para realizar estas funciones, las interfaces de entradas analógicas suele disponer de dos bloques antes del convertidor A/D propiamente dicho:

- 1. Un amplificador de ganancia programable.*
- 2. Un circuito de muestreo y mantenimiento, (Sample and Hold).*

Los tres tipos básicos de convertidores A/D son:

- 1. Convertidores basados en contadores binarios.*
- 2. Convertidores de aproximaciones sucesivas.*
- 3. Convertidores de doble rampa de integración.*

5.3.3 INTERFACES PARA ENTRADAS ANALÓGICAS.

Las interfaces de entrada de tipo analógico suelen disponer de varios canales de entrada agrupados, pero, salvo casos especiales, no se utiliza un convertidor para cada canal, sino que se utiliza un solo convertidor para un conjunto de entradas analógicas. Para ello es preciso que en cada momento sólo una de ellas esté conectada al convertidor, realizándose la conversión de forma cíclica, una tras otra.

El esquema de bloques de una interfaz de entradas analógicas completa para n canales puede verse en la Fig. 77, donde se ha supuesto la existencia de una serie de transductores analógicos cuyos datos deben ser procesados por la unidad central, pudiendo ésta seleccionar en cada momento el canal que se desea leer y, en algunos casos, incluso el factor de escala a aplicar.

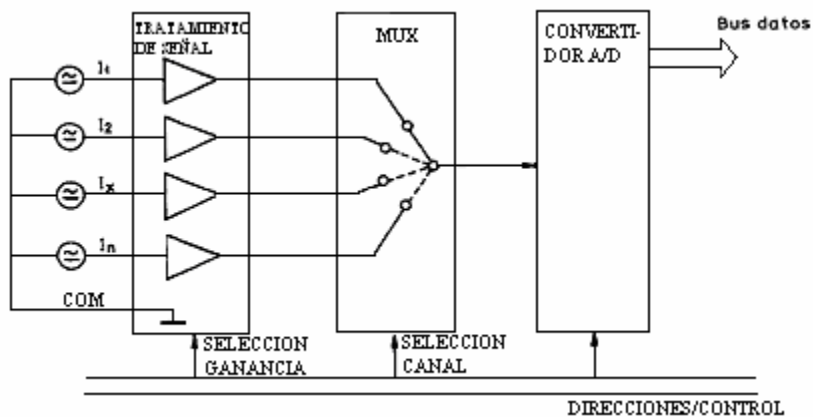


Fig. 77. Interfaz de entradas analógicas.

La función de conectar varios canales de entrada a un solo convertidor se realiza mediante un multiplexor analógico, que consiste básicamente en un conjunto de interruptores estáticos gobernados por un decodificador que selecciona en cada momento el cierre de uno de ellos.

Las interfaces de entradas analógicas más comunes trabajan con señales normalizadas entre 0 a 10V ó de 4 a 20mA.

Como criterio general, los parámetros más relevantes a comprobar en cada aplicación son los siguientes:

- ✓ Márgenes de tensión o corriente de entrada.
- ✓ Impedancia de entrada.
- ✓ Nivel de aislamiento entre entradas y unidad de control y entre entradas entre sí.
- ✓ Resolución, que dependerá del número de bits del convertidor.
- ✓ Tipo de conversión A/D.
- ✓ Polaridad de la señal de entrada (conversión con signo ó solo con valor absoluto).
- ✓ Tiempo de adquisición del dato.
- ✓ Precisión o margen de error.
- ✓ Precauciones de instalación (longitud y tipos de cables).
- ✓ Exigencias de fuentes de alimentación.

A título orientativo en la tabla 16, se indican los tipos y características más relevantes de algunas interfaces de entradas analógicas comerciales.

Tabla 16. Características de algunas interfaces de entradas analógicas Siemens.

Datos técnicos			
Entrada analógica	6ES5 460-45A12	6ES5 465-4UA12	6ES5 463-4U12
Cantidad de entradas	8 entradas tensión/intensidad o bien 8 entradas term. resistencia Pt 100	16 entradas tensión/intensidad o bien 8 entradas term. resistencia Pt100	4 entradas tensión/intensidad
Separación galvánica	Sí	no	sí
Márgenes de entrada (valores nominales)	±12.5mV (solo en 460-4); ± 50mV; ±500mV; Pt 100; ± 1V; ± 5V; ±10V; ± 20mA; ± 4...20mA. Márgenes de entrada seleccionables para cada 4 canales mediante módulos de margen de medida.		0...1V, 0...10V, 0...20mA +4...20mA para transmisores de medida de 2 y 4 hilos.
Resistencia de entrada en los diferentes márgenes.	12.5mV: ≥10MΩ 5V: ≥50Ω 50mV: ≥10MΩ 10V: ≥50KΩ 0.2% 500mV: ≥10MΩ 20mA: ≥25Ω 0.1% Pt 100: ≥10MΩ 4...20mA: ≥31.25Ω 0.1% 1V: ≥90KΩ		1V: ≥10MΩ; 10V: 90KΩ 20mA: 50Ω 4...20mA: 62.5Ω
Conexión del emisor de señal	Conexión de dos hilos; 4 hilos para Pt 100		Conexión de 2 hilos.
Representación digital de la señal de entrada.	12bits + signo o 13 bits en complemento a 2		11 bits en complemento a 2
Principio de medida.	integral		integral
Principio de conversión.	conversión tensión/tiempo.		conversión tensión/frecuencia
Tiempo de integración (ajustable para supresión óptima de perturbaciones).	20ms para 50Hz. 16⅔ ms para 60Hz.		20ms para 50Hz. 16⅔ ms para 60Hz.
Tiempo de codificación máx. (es posible codificación elemental).	60 ms para 50Hz, ref. al valor nominal. 50ms. para 60Hz, ref. al valor nominal.		60 ms para 50Hz. 50ms. para 60Hz.
Tiempo de ciclo para 4 entradas.	-	-	20ms para 50Hz. 16⅔ ms para 60Hz.
8 entradas.	0.48 s para 50Hz	0.48 s para 50Hz.	-
16 entradas.	-	0.96 s para 50Hz.	-
Tensión admisible entre entradas o entre entradas y punto central de puesta a tierra (lim. destrucción) máx.	18V o 75 V para máx. 1ms y relación de exploración 1:20		30V o 75V para máx. 1 ms y relación de exploración 1:10
Tensión admisible entre potencial de referencia de un emisor sin separación galvánica y el punto central de puesta a tierra máx.	DC 75V/AC 60V	±1V	DC 75V AC 60V

Tabla 16. Características de algunas interfaces de entradas analógicas Siemens, cont.

Datos técnicos			
<i>Entrada analógica</i>	<i>6ES5 460-45A12</i>	<i>6ES5 465-4UA12</i>	<i>6ES5 463-4UI2</i>
Aviso de falta si hay -desbordamiento de margen. - rotura de hilo en cable emisor de señal.	Para 200% del valor nominal (4095 unidades) Proyectable en el margen 50mV, 500mV y Pt100.		Para 150% del valor nominal no
Supresión de interferencias para $f=n.(50/60Hz \pm 1\%)$; $n = 1, 2...$ - en modo común mín. - en modo normal mín.	100dB 40dB	86dB 40dB	80dB 40dB
Limites de error básico (a 20°C)	12.5mV: $\pm 0.2\%$ 5V: $\pm 0.35\%$ 50mV: $\pm 0.2\%$ 10V: $\pm 0.35\%$ 500mV: $\pm 0.15\%$ 20mA: $\pm 0.25\%$ Pt100: $\pm 0.2\%$ 4....20mA: $\pm 0.25\%$ 1V: $\pm 0.35\%$		0.11%
Limites de error práctico (0°C a 60°C, para 1 año)	12.5mV: $\pm 0.6\%$ 5V: $\pm 0.77\%$ 50mV: $\pm 0.5\%$ 10V: $\pm 0.77\%$ 500mV: $\pm 0.45\%$ 20mA: $\pm 0.67\%$ Pt100: $\pm 0.5\%$ 4....20mA: $\pm 0.67\%$ 1V: $\pm 0.77\%$		0.37%
Longitud del cable (apantallado) máx.	200m; 50m a 50mV		200m
Entrada liberación. (como para salidas analógicas).	+24V		+24V
Tensión de alimentación (como para salidas analógicas).	+24V		+24V
Fuente intensidad constante para Pt 100	2.5mA		-
Consumo -interno (5V) tip. -externo (24V) tip.	0.15 A 0.1 A	0.15A -	0.2A 0.15A
Espacio necesario	1 puesto de montaje.		1 puesto de montaje
Conector frontal	42 polos		42 polos
Peso aprox.	0.4 kg		0.4kg.

5.3.4 INTERFACES PARA SALIDAS ANALÓGICAS.

Las interfaces de salida analógicas permiten enviar al proceso señales de regulación o para instrumentación, empleando, por lo general, señales normalizadas.

Como criterio general, los parámetros más relevantes a comprobar en cada aplicación son los siguientes:

- ✓ Posibilidad de salidas multivalentes: 0-10V, 0-20mA ó 4-20mA.
- ✓ Márgenes de tensión y/o corriente de salida.
- ✓ Impedancia de salida.
- ✓ Protección contra cortocircuitos.
- ✓ Nivel de aislamiento entre salidas y unidad de control y entre salidas entre sí.
- ✓ Resolución (que dependerá del número de bits del convertidor D/A).
- ✓ Límites de error.
- ✓ Posibilidad de doble polaridad de salida (conversión con signo o sólo valor absoluto).
- ✓ Posibilidad de control manual / automático.
- ✓ Exigencias de instalación: fuente de alimentación, longitud de cables, etc.

En la tabla 17 se indican los tipos y características más relevantes de algunas interfaces de salida analógicas comerciales.

Tabla 17. Características de algunas interfaces de salidas analógicas OMRON.

<i>Modelo</i>	<i>Número de entradas</i>	<i>Margen de entrada</i>	<i>Resolución</i>	<i>Velocidad de conversión</i>	<i>Palabras de E/S requeridas</i>	<i>Datos convertidos</i>	<i>Corriente consumida</i>	<i>PC aplicables</i>
3G2A5-DA001	2canales	4 a 20mA, 1 a 5V	1/4096 (fondo de escala)	5ms máx.	2	12 bits.	550mA máx, 5VDC	C500 C1000H C2000H
3G2A5-DA002		0 a 10V						
3G2A5-DA003		0 a 5V						
3G2A5-DA004		-10 a 10V						
3G2A5-DA005		-5 a 5V						
C500-DA101	4 canales	4 a 20mA, 1 a 5V ó 0 a 10V	1/4096 (fondo de escala)	10ms máx.	4	12 bits	1.3A máx, 5VDC	
C200H-DA001	2 canales	4 a 20mA, 1 a 10V	1/4096	2.5ms máx/canal.	10	12bits	650mA máx, 5VDC	C200H
3G2A6-DA001	2 canales	4 a 20mV, 1 a 5V	1/4096 (fondo de escala).	5ms máx.	2	12 bits	500mA máx, 5VDC	C120
3G2A6-DA002		0 a 10V						
3G2A6-DA003		0 a 5V						
3G2A6-DA004		-10 a 10V						
3G2A6-DA005		-5 a 5V						
C1K-DA	1 canal	4 a 20mA, 1 a 5V.	1/256 (fondo de escala)	20ms máx/canal	1 entrada y 1 salida	8 bits.	250mA máx, 5VDC.	C20K(P) C28K(P) C40K(P) C60K(P)

CAPÍTULO 6.

SELECCIÓN DE SENSORES Y ACCIONADORES.

Este apartado está dedicado a establecer una metodología para la eficaz selección ó verificación de sensores y accionadores, que son utilizados en el control automático de procesos industriales.

Es de aclarar que aquí sólo se presenta la metodología para seleccionar sensores y accionadores, se recuerda que para la manipulación de su información se hace necesario el uso de circuitos electrónicos (interfaces) que adecuen su señal a niveles, ya sea de tensión o corriente que se manejan en el autómeta programable, en el microcontrolador o en el ordenador.

Además en algunos sensores y accionadores se hace necesario convertir la señal de salida que éstos proporcionan, ó el empleo de un controlador como en el caso de los motores paso a paso. Generalmente es el mismo proveedor o fabricante quién proporciona esta información.

6.1 SELECCIÓN DE SENSORES.

Dependiendo del proceso de fabricación en el que se estén desarrollando actividades de automatización (la aplicación), así es el tipo de elemento sensor que se emplea y su selección, verificación o utilización depende de varios factores, que son únicos para cada elemento sensor.

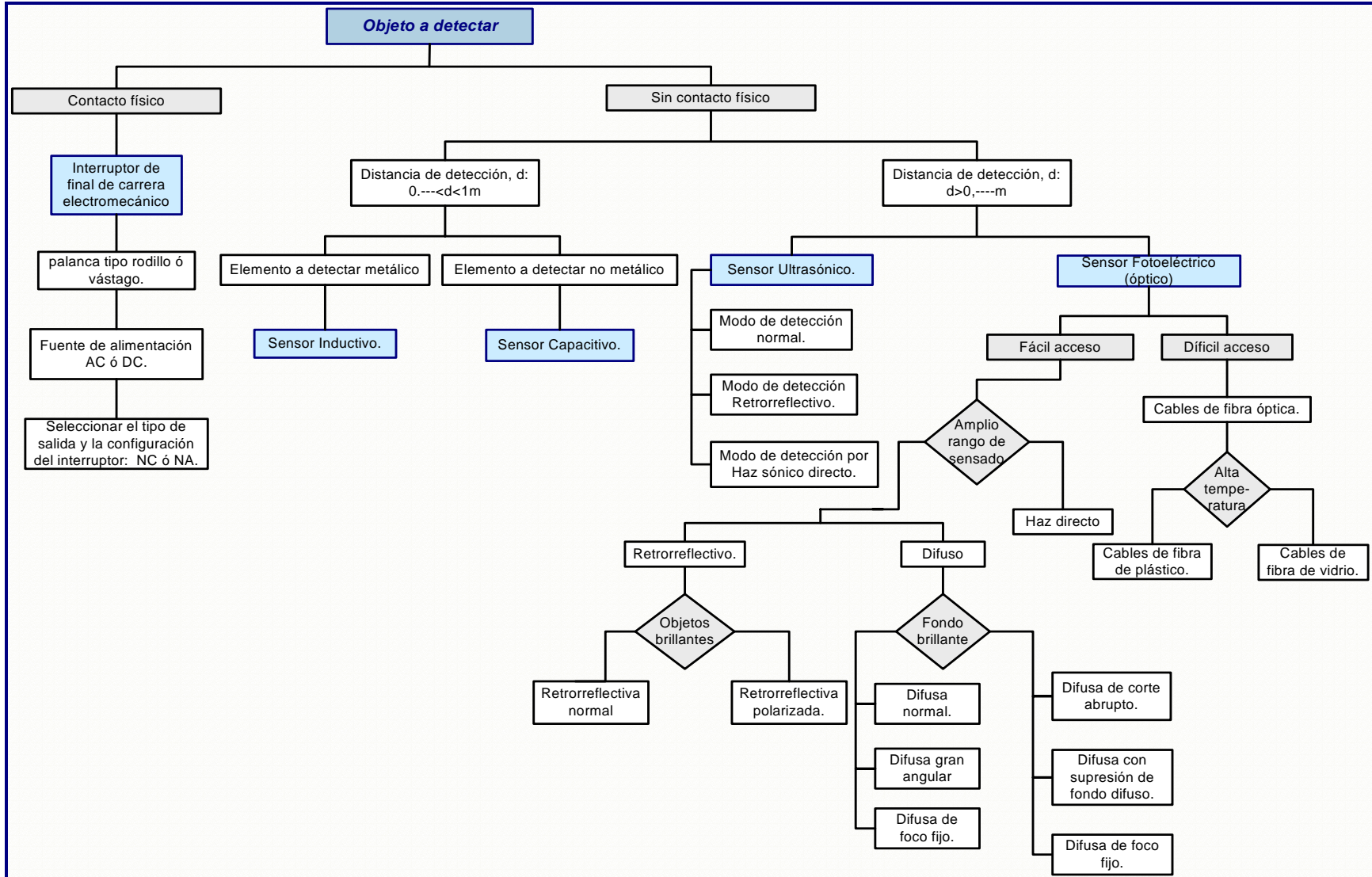
En la tabla 18 se presentan algunas de las aplicaciones más comunes para diversos tipos de sensores.

Tabla 18. Aplicaciones típicas de los sensores.

<i>Aplicación</i>	<i>Elemento sensor</i>
Manejo de materiales, ascensores y escaleras mecánicas, elevadores de tijera ó plataforma, líneas de transporte, máquinas herramientas, etc.	Interruptor de final de carrera electromecánico
Líneas de transporte de objetos metálicos, plantas de tratamiento térmico, como interruptores de final de carrera.	Sensores inductivos.
Detección de materiales no metálicos como vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, papel, detección de nivel de líquidos y materiales a granel, etc.	Sensores capacitivos.
Envasado de alimentos y bebidas, sistemas de transporte e instalaciones de almacenaje, inspección de paso, detección de objetos empaquetados, reconocimiento de color y/o contraste, detección e identificación de papel por tipo y color, identificación y posicionamiento de etiquetas, etc.	Sensores ópticos.
Detección de objetos transparentes como cristal o plásticos, materiales que ofrecen dificultades para la detección óptica.	Sensores ultrasónicos.
Instrumentos de control y medida, radio, audio (amplificadores, mesas mezcladoras).	Potenciómetros.
Dispositivos de cierre de puertas para trenes, plotters, soldadura por ultrasonidos, mezcladoras, industria maderera, prensas, máquinas de corte, cintas transportadoras, máquinas de moldeo por inyección, posicionamiento de ejes, etc.	Encoders
Prensas, plataformas, líneas de transferencia, control de la posición de las válvulas en aplicaciones de alta temperatura, tales como motores de avión, refinerías de petróleo, y procesamiento químico, control de la conmutación de motores eléctricos, etc.	Sincros / Resolvers.
Medición de espesores en diferentes tipos de materiales, control de nivel en depósitos de llenado, control de las dimensiones de piezas después de cierto proceso de transformación, líneas de producción, detección de cualquier material que presente reflexión difusa, etc.	Sensores láser.
Medición de desplazamientos lineales y angulares ocasionados por deformaciones en el material.	LVDT, RVDT, Galgas extensiométricas.
Medición de la temperatura	Sensor de Temperatura, ver tabla 11

6.1.1 SELECCIÓN DE SENSORES DE PROXIMIDAD.

Los sensores de proximidad juegan un papel muy importante en el control de procesos automatizados, y su selección se representa mediante el siguiente diagrama.



Para ampliar en más detalle sobre la selección de este tipo de sensores en líneas siguientes se presenta los pasos a seguir en la selección de cada tipo de sensor que aparece en el diagrama anterior.

6.1.1.1 INTERRUPTORES DE FINAL DE CARRERA ELECTROMECAÑICOS.

La selección de este tipo de sensor es muy sencilla y los pasos a seguir son los siguientes:

1. Conocer las condiciones ambientales en las que va a trabajar. Es decir si va a trabajar en un ambiente polvoriento, húmedo ó si se trata de un ambiente corrosivo, etc. esto esta relacionado con el material de que esta construido el sensor.
2. El tipo de interruptor que se desee emplear, esto esta asociado con el tipo de accionador que se emplee (palanca tipo rodillo o vástago).
3. Calcular la fuerza necesaria para operar los contactos.
4. Especificar la temperatura de operación de dicho interruptor.
5. Especificar el espacio disponible para realizar la instalación.
6. Especificar el tipo de energía que utiliza para su funcionamiento, DC ó AC, esto esta relacionado con el tipo de energía que está disponible en la planta.
7. Definir el tipo de salida que se requiera, PNP ó NPN, normalmente abierto, NA, normalmente cerrado, NC.
8. Revisar catálogos de los diferentes proveedores, ya sea vía electrónica (direcciones web) o consultando directamente al representante de dicho proveedor.
9. Seleccionar el elemento deseado.

6.1.1.2 DETECTORES INDUCTIVOS.

Los pasos a seguir para su eficaz selección se enumeran a continuación:

1. Definir el material específico a detectar
2. Especificar la tensión de trabajo del sensor, si es a tensión constante, VDC ó a tensión alterna, VAC, esto esta en función de la tensión que se disponga en la planta.
3. Definir la corriente de fuga permisible para el sensor.
4. Definir la temperatura de operación.

5. Especificar la caída de tensión
6. Definir la distancia de detección nominal requerida para el sensor.
7. Especificar las dimensiones. Esto es muy importante, para conocer el espacio ocupado por dicho elemento.
8. Definir la configuración de la salida, es decir normalmente abierto ó cerrado, PNP ó NPN, etc.
9. Revisar los catálogos de los diferentes proveedores, ya sea vía dirección web ó a través del representante local de dicho proveedor.
10. Seleccionar el elemento deseado.

6.1.1.3 DETECTORES CAPACITIVOS.

Los sensores capacitivos, al igual que los demás sensores tienen diversas aplicaciones en el control automatizado de procesos industriales. Los pasos a seguir o factores a considerar en la selección son:

1. Definir el material específico a detectar.
2. Especificar la distancia mínima de detección.
3. Definir el espacio disponible para instalar el dispositivo sensor, esto está asociado con las dimensiones que presenta dicho elemento.
4. Especificar el tipo de tensión de alimentación: DC ó AC, esto depende de la fuente de alimentación que esté disponible en la planta.
5. Definir el tipo de salida deseado para dicho sensor, PNP ó NPN u otro tipo.
6. Especificar la configuración de la salida, esto es normalmente abierto, NA ó normalmente cerrado, NC.
7. Revisar catálogos de fabricantes o proveedores de este tipo de sensores ó consultar al representante local de algún proveedor.
8. Seleccionar el elemento deseado.

6.1.1.4 DETECTORES ÓPTICOS (FOTOELÉCTRICOS).

Los sensores fotoeléctricos se utilizan en muchas industrias y aplicaciones para lograr una exacta detección de objetos sin necesidad de contacto físico, véase la tabla 18. Además de esto en general son insensibles a las atmósferas agresivas y no existe desgaste mecánico.

La metodología a seguir para su eficaz selección es:

1. Definir la distancia que hay entre el sensor y el objeto a detectar.
2. Definir el modo de detección a usar: haz directo, retrorreflectivo o detección difusa
3. Determinar el espacio disponible donde se realizará el montaje de dicho elemento.
4. Definir el tipo de energía disponible para la alimentación de dicho elemento, AC ó DC, en función del tipo de energía con la que se dispone en la planta.
5. Establecer las condiciones ambientales en que operará el dispositivo, es decir si va a operar dentro de un ambiente con presencia de polvo, agentes corrosivos, etc.
6. Definir el tipo de aplicación a la que estará destinado el sensor, y en función de ello seleccionar el sensor más adecuado, esto esta muy relacionado con el punto anterior y con el tipo de sensor a emplear, si es un ambiente agresivo y hay limitación de espacio considérese el empleo de cables de fibra óptica.
7. Establecer la temperatura de funcionamiento del sensor.
8. Definir el tipo de salida que se desea para dicho elemento: salida a base de transistores, tiristores, relés, triacs, etc.
9. Establecer el tiempo de respuesta.
10. Consultar las especificaciones del dispositivo, con base en catálogos de proveedores ó consultando a su representante local.
11. Seleccionar el sensor.

6.1.1.5 DETECTORES ULTRASÓNICOS.

Su selección es bastante sencilla, y es como sigue:

1. Definir la distancia de detección requerida por el sensor.
2. Determinar las condiciones de trabajo, esto es muy importante a la hora de seleccionarlo, debido a que estos sensores utilizan ondas ultrasónicas que se mueven en el aire, no podrán ser utilizados en lugares donde éste circule con violencia.
3. Además es de tener muy presente que la superficie del objeto que refleja la onda y su ángulo de incidencia juegan un papel muy importante en la eficiencia del sensor. Una mala alineación en el ángulo de incidencia puede dar resultados erróneos.
4. Establecer la temperatura de operación del sensor.
5. Definir el espacio requerido para su fácil instalación.
6. Establecer el modo en que va a operar el sensor, en modo emisor-receptor, modo retro-reflectivo o en modo normal (el emisor y el receptor formando un solo conjunto).
7. Definir el tipo de tensión de alimentación: AC ó DC, en función de la energía disponible en la planta.
8. Definir el tipo de salida que se desea para este tipo de sensor.
9. Especificar el tiempo de respuesta.
10. Consultar en catálogos las especificaciones técnicas de diferentes modelos de diversos proveedores ó al representante local.
11. Con la información anterior, seleccionar el sensor.

6.1.1.6 PROVEEDORES.

En cuanto a los proveedores, existe en el mercado una variedad de distribuidores, que comercializan con este tipo de dispositivos, pero los principales son:

- ✓ *Allen Bradley*
- ✓ *Siemens*
- ✓ *Schneider*
- ✓ *Festo*
- ✓ *Omron*

Si desea obtener mas detalle de los datos técnicos de un sensor específico se recomienda visitar las siguientes direcciones:

- ✓ <http://www.festo.com>
- ✓ <http://www.ab.com>
- ✓ <http://www.siemens.com>
- ✓ <http://www.schneider-electric.com>
- ✓ <http://www.espanol.omron.com>

La tabla 19 presenta una comparación entre los proveedores mencionados anteriormente, con el objetivo de mostrar que en cuanto a características comunes la mayoría ofrece productos similares, sin embargo es de aclarar que en más de algún producto sí existen características que son únicas; y esto depende del fabricante o proveedor en particular. Además se trata de familiarizar al lector con este tipo de elementos y su respectivo proveedor. Se recuerda que no constituye una guía de selección. Para una adecuada y correcta selección refiérase a las direcciones electrónicas anteriores y consulte los manuales o catálogos.

Tabla 19. Comparación entre los diferentes proveedores de elementos sensores.

Proveedor	SENSORES FOTOELÉCTRICOS⁺			
	Características	MODO DE DETECCION		
		HAZ DIRECTO	RETRO-REFLECTIVOS	MODO DIFUSO
Siemens	MODELO: Rango de sensado. Voltaje de operación Salida Temperatura de operación.	3RG7042-0AB00 0.25 a 50m. 10-30V DC PNP o NPN 0 a 55°C	3RG7121-0AB00 1.5 a 12m 10-30V DC PNP ó NPN -25 a 55°C	3RG7040-0AB00 0.05 a 2m. 10-30V DC PNP ó NPN 0 a 55°C
Omron	MODELO Rango de sensado. Voltaje de operación Salida Temperatura de operación Modo de operación	E3JU-25M4-3 0.5 a 25m. 24 a 240 VAC 50/60 Hz 12 a 240 VDC. RELES/FET -25 a 55°C NA / NC	E3JU-R5M4-3 0.5 a 5m 24 a 240 VAC 50/60 Hz 12 a 240 VDC. RELES/FET -25 a 55°C NA / NC	E3JU-D1M4-3 1 a 2m 24 a 240 VAC 50/60 Hz 12 a 240 VDC RELES/FET -25 a 55°C NA / NC
Festo	MODELO Rango de sensado Tensión de alimentación Salida Temperatura de operación	SOEG-M18-NAS-2L 0.05 a 20m 10 a 30VDC PNP ó NPN -25 a 55°C	SOEG-RSP-M12-PS-S-2L 0.05 a 1.5m. 10 a 30VDC PNP ó NPN -25 a 55°C	SOEG-RTH-MD18-NS-S-2L 0.010.a 0.120m.(Sup. Fondo) 10 a 30VDC PNP ó NPN -25 a 55°C
Schneider	MODELO Rango de sensado Tensión de alimentación Salida Temperatura de operación Modo de activación	XUM 0APSAL2 0 a 60m. 12...24VDC NPN ó PNP -25...55°C NA / NC	XUM 0APSAL2 0 a 4m (polarizado) 12 a 24VDC NPN ó PNP -25 a 55°C NA / NC	XUM 0APSAL2 0 a 0.55m. 12 a 24VDC NPN ó PNP -25 a 55°C NA / NC
Allen Bradley	MODELO Rango de sensado Tensión de alimentación Salida Temperatura de operación Modo de activación	42EF- E1QZB- A2 (emisor) 42EF- R9SFBV-A2 (receptor) 0.025 a 152m* 21.6 a 132VAC/DC PNP ó NPN -25 a 55°C NA / NC**	42KL-U2LB-A2 2m (ref. pol.) - 9m. (ref. norm) 10.8 a 30VDC PNP ó NPN -20 a 70°C NA / NC**	42BA-S2LNAA-A2 0.030m. (sup. fondo) – 2.7m (normal) 12 a 24VDC PNP ó NPN -25 a 55°C NA / NC**

+ Los datos proporcionados corresponden a la distancia más pequeña de sensado.

* Allen Bradley tiene sensores, cuyo rango de sensado puede aumentarse hasta los 274m, con un margen 1X, estos corresponden a la serie 4000B y funcionan con fuente de luz infrarroja.

** NA / NC esta relacionado con el tipo de operación: operación por luz u operación por oscuridad.

Tabla 19. Comparación entre los diferentes proveedores de elementos sensores. (continuación.)

Proveedor	Características	TIPO DE SENSOR			
		INT. FIN. CARRERA	ULTRASONICO	INDUCTIVOS	CAPACITIVOS
Siemens	<i>MODELO</i> Voltaje de alimentación Temperatura de operación Salida Distancia de detección. Fuerza de operación Tipo de accionador*	3SE2 230-1GW (AC/DC) 24 a 500VAC -30 a 85°C --- --- --- palanca tipo rodillo y vástago	3RG61 12-3BF00 12 a 30VDC -25...70°C PNP 0.06 a 10m. --- ---	3RG4052-0AG30 (AC/DC)15 a 34VDC -25..... 85°C No disponible 0.0006 a 0.075m. --- ---	3RG1613-0AB00 (AC/DC) 30VDC -20 a 70°C --- 0.005 a 0.020m. --- ---
Omron	<i>MODELO</i> Voltaje de alimentación Temperatura de operación Salida Distancia de detección Fuerza de operación Tipo de accionador*	D4CC-3001 (AC/DC) 1 a 30VDC -10 a 70°C --- --- 1.2kg. Rodillo o vástago	E4A-3KDC12/24 12 a 24VDC/120/240VAC -20 a 55°C NPN / PNP 0.3 a 3m. --- ---	E2EL-C1R5E1-M3 (AC/DC) 24VDC -25 a 70°C NPN / PNP 0.0015 a 0.015m. --- ---	E2K-C25ME1 (AC / DC) 10 a 40VDC -25.a 70°C NPN / PNP 0.003 a 0.025m. --- ---
Festo	<i>MODELO</i> Voltaje de operación Temperatura de operación Salida Distancia de detección	SMB-1 / EL-318 24VDC/230VAC / 250VDC/AC -20 a 120°C --- ---	---	SIEN-4B-PO-S-L (AC/DC) 10-30VDC -25 a 70°C PNP ó NPN 0.0008 a 0.015m.	---
Schneider	<i>MODELO:</i> Voltaje de operación Tipo de accionador* Temperatura de operación. Efuerzo mínimo Salida Distancia de detección	KCK-P128 (AC/DC) 110VAC Palanca tipo rodillo y vástago -25 a 70°C 15N --- ---	XX5 12A1KAM8 12 a 24VDC --- -20 a 65°C --- PNP / NPN 0.05 a 1m	XS6 08B1PAL2 (DC/AC) 12 a 48VDC --- -25 a 70°C --- PNP ó NPN 0.0025 a 0.060m.	XT1M12PA372 (DC/AC) 12 a 24VDC --- -25 a 70°C --- PNP ó NPN 0.002 a 0.060m.
Allen Bradley	<i>MODELO:</i> Voltaje de operación Tipo de accionador* Temperatura de operación. Fuerza de operación* Salida Distancia de detección	801-ASA11 (DC/AC) 120 a 600VAC. palanca tipo rodillo y vástago 0 a 40°C 10 a 37.82N --- ---	873C-DDAV1000E2 (DC/AC) 18 a 30VDC --- -10 a 60°C/ -25 a 70°C --- NPN ó PNP 0.300 a 1m.	872C-B15BR30-E2 (DC/AC) 30 a 132VAC/DC --- -25 a 70°C --- Rele STDP / PNP/NPN 0.002 a 0.015m.	875C-D5CP18- A2 (DC/AC) 10 a 36VDC --- -25 a 70°C --- PNP / NPN 0.00004 a 0.030m.

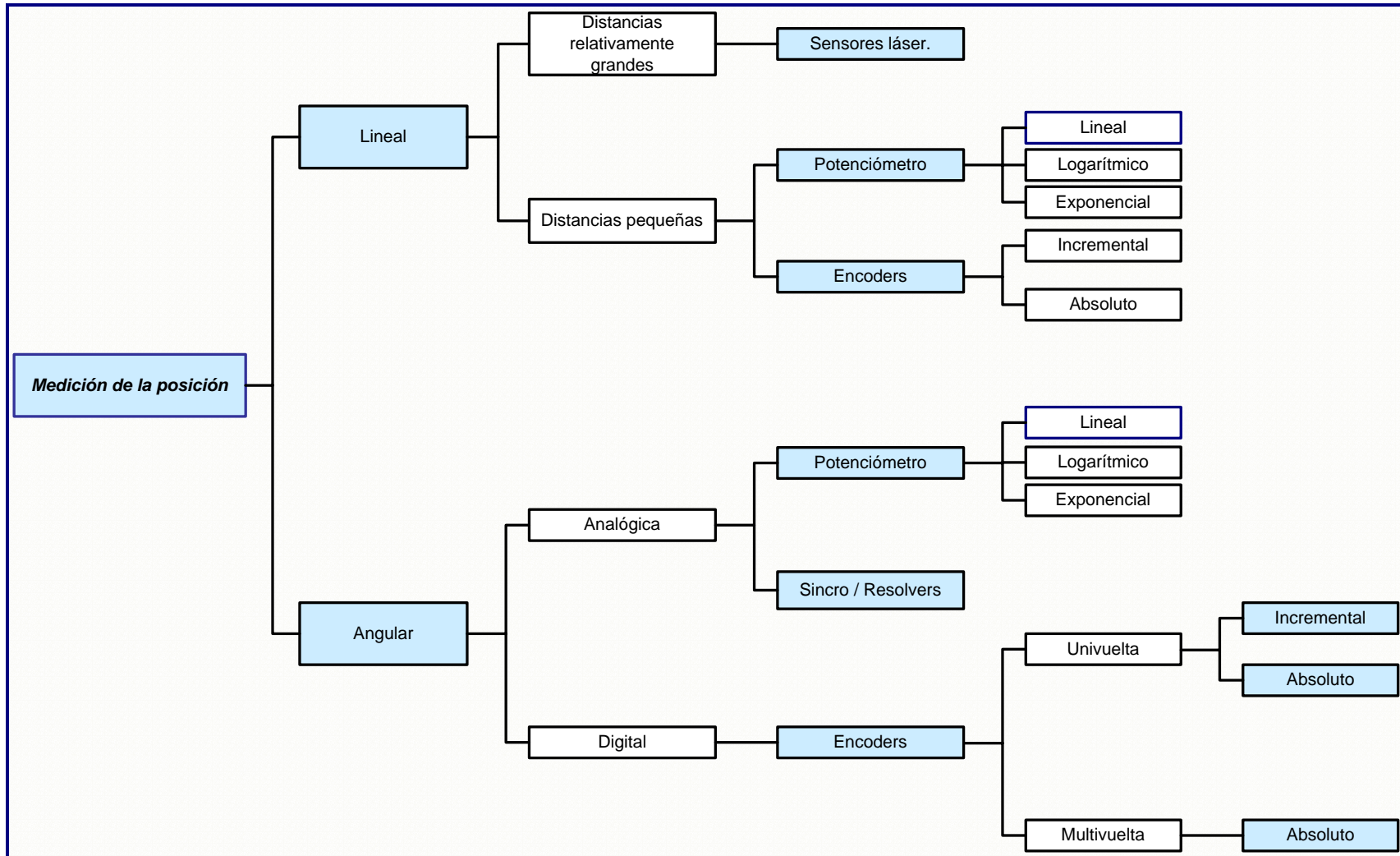
*aplicable solo a los interruptores de final de carrera.

Importante: los datos que aparecen en color corresponden a modelos diferentes.

6.1.2 SELECCIÓN DE SENSORES MEDIDORES DE POSICIÓN Ó DISTANCIA.

Como su nombre lo indica este tipo de sensores permite determinar la posición lineal ó angular respecto de un eje o punto de referencia.

En el siguiente diagrama se describe el procedimiento a seguir para una eficaz selección de este tipo de sensores.



Importante: Los potenciómetros utilizados para detectores de posición se recomienda que la variación de la resistencia sea de tipo lineal.
La señal de salida para los sincro y los resolvers comúnmente se denomina señal de tipo resolver o de tipo sincro.

Para ampliar en detalle lo que se muestra en el diagrama anterior, en líneas siguientes se dan los pasos necesarios para una eficaz selección de cada uno de los elementos que forman parte de los sensores medidores de posición o distancia.

6.1.2.1 POTENCIÓMETROS.

Los potenciómetros son sensores de posición angular ó lineal, cuya salida es del tipo analógico.

Los factores a considerar ó pasos a seguir en su eficaz selección ó verificación se dan a conocer como sigue:

1. Definir el tipo de aplicación en la cual se va a emplear, para escoger el tipo de potenciómetro a usar: lineal ó rotativo.
2. Definir la variación de la resistencia en función del ángulo girado: lineal, logarítmica ó exponencial. Para potenciómetros utilizados como detectores de posición se recomienda que la variación de la resistencia sea de tipo lineal.
3. Determinar las condiciones de operación. Esto esta relacionado con el material que esta construida la carcaza.
4. Definir la temperatura de funcionamiento del potenciómetro, que no debe sobrepasar a la temperatura del medio de trabajo.
5. Definir el espacio disponible para su instalación, esto está estrechamente relacionado con las dimensiones del dispositivo.
6. Especificar el valor de la resistencia que se necesita.
7. Especificar el tipo de material del cual está construido.
8. Definir la tensión de alimentación en base a la energía de la cual se dispone en la planta.
9. Definir el ángulo de rotación eléctrico y mecánico.
10. Una vez obtenida la información de los numerales anteriores, consultar catálogos de diferentes proveedores, ó a su representante local.
11. Seleccionar el potenciómetro más apropiado.

6.1.2.2 ENCODERS.

Este tipo de dispositivos son necesarios en el control de la posición angular de ejes; también son utilizados en el control de la posición lineal.

Para realizar una eficaz selección ó verificación de estos dispositivos se debe seguir los siguientes pasos:

1. Determinar el ambiente en el que va a trabajar el encoders. Esto es de importancia para escoger el tipo de armazón que se desea para el encoders.
2. Definir la temperatura ambiente de operación del encoders.
3. Establecer el tamaño físico necesario para realizar la instalación.
4. Definir el tipo de encoders a usar: incremental, absoluto, rotativo ó lineal.
5. Especificar la resolución del encoders, esto esta muy relacionado con el numeral anterior. Téngase presente que a mayor resolución se obtienen mayores precisiones; sin embargo el coste se incrementa.
6. Establecer el voltaje de alimentación.
7. Establecer la velocidad máxima de operación.
8. Definir el tipo de salida deseado.
9. Consultar los catálogos de los diferentes proveedores ó a su representante local, y seleccionar el encoders que más se adapte a las necesidades.

6.1.2.3 SINCROS Y RESOLVERS.

La metodología a seguir en la selección ó verificación de este tipo de sensores electromagnéticos es como sigue:

1. Determinar las condiciones de operación.
2. Determinar el espacio físico necesario para realizar la instalación.
3. Seleccionar el tipo de elemento a usar: sincro ó resolvers, con base en el tipo de salida que se desea obtener: salida en formato sincro ó salida en formato resolvers.
4. Definir el tipo de energía de alimentación: DC ó AC.
5. Definir la velocidad de operación, a la cual debe funcionar el sincro ó el resolver.

6. Especificar la temperatura a la cual debe operar el sincro o el resolver, la que no debe ser menor a la temperatura del medio en que se encuentre.
7. Especificar la relación de transformación.
8. Revisar las especificaciones técnicas de diversos modelos de distintos proveedores o fabricantes, o consultar al representante local.
9. Seleccionar el elemento que más se adapte a las especificaciones deseadas.

6.1.2.4 SENSORES LÁSER.

Al igual que los demás sensores, éstos también tienen un papel muy importante en el control automatizado de procesos industriales. Su selección ó verificación se hace de la siguiente forma:

1. Definir el tipo de aplicación para conocer el tipo de ambiente en que va a operara el sensor, esto esta relacionado con la construcción física del sensor.
2. Definir el rango de medida que se desea posea el sensor.
3. Definir la distancia de medida, que es la mínima distancia a la cual el objeto es detectado por el rayo láser.
4. Establecer la temperatura a la cual debe operar el sensor, que no debe ser menor a la temperatura del medio en el que se trabaja.
5. Definir el tipo de energía a utilizar en su operación: DC ó AC.
6. Especificar el tipo de fuente de luz.
7. Especificar la señal de salida/interface para este tipo de sensor.
8. Consultar las especificaciones técnicas de varios modelos de diferentes proveedores.
9. Seleccionar el sensor que más se adapte a las necesidades, considerando además el factor económico.

6.1.2.5 PROVEEDORES.

En la tabla 20 se presenta un listado de los diferentes proveedores de los siguientes dispositivos: encoders, potenciómetros, sincros, resolver y sensores láser; y en la tabla 21 se da a conocer parte de las especificaciones técnicas de los productos que ofrece cada proveedor. El objetivo de presentar esta información es el de establecer una comparación entre los diferentes proveedores, a tal grado que el lector disponga de datos reales y de alguna manera sirva como fuente de referencia para la selección de algún elemento sensor. Se recuerda que el contenido de las tablas siguientes no constituyen una guía de selección, para ello refiérase a las direcciones electrónicas de cada proveedor en donde encontrara más información relacionada con el elemento sensor de interés.

Tabla 20. Lista de proveedores.

<i>Elemento sensor</i>	<i>Proveedores</i>
<i>Potenciómetro</i>	http://www.vsensors.com/ http://www.activesensors.com/ http://www.novotechnik.com/
<i>Encoders</i>	http://www.heidenhain.com/main.html Encoders de tipo absoluto e incremental, rotativo y lineal http://www.gurley.com Encoders de tipo rotativo y lineal, incrementales y absolutos. http://www.sick.com Encoders rotativos de tipo incremental y absolutos. Además provee encoders de tipo absoluto tanto rotativos como lineales. http://www.beiiied.com/ Encoders tanto incrementales como absolutos de tipo rotativo. http://www.servosystems.com/ Encoders de tipo rotativo incremental y absoluto. http://www.vsensors.com/ Encoders tipo rotativo incremental y absoluto, univuelta y multivuelta. http://www.ab.com/manuals/sn/ER.htm Encoders de tipo incremental y absoluto. http://www2.intertronic.es/ Descargas/Catalogo_TR/catalogo_TR2001.pdf. Encoders tipo rotativo incremental y además de tipo rotativo absoluto univuelta y multivuelta.

Tabla 20. Lista de proveedores, cont.

<i>Elemento sensor</i>	<i>Proveedores</i>
<i>Sincros / Resolvers</i>	http://www.ab.com/manuals/sn/ER.htm http://www.polysci.com/ http://www.danaherdefense.com/PDFs/Catalogs_and_Brochures/Danaher/Harowe_Resolvers_Feedback_Systems_Catalog.pdf
<i>Sensores láser</i>	http://www.lap-laser.com/e/laser_g/prod/prod.html http://www.lmint.com/cfm/index.cfm?It=900&Id=37&Se=2&Lo=2 http://www.sensor.nl/english.html http://www.pinlaser.com/

Tabla 21. Comparación entre los diferentes proveedores.

Elemento sensor	Proveedores	Características		
Potenciómetros	http://www.vsensors.com/	<i>Modelo:</i> Tipo Rango de resistencia. Rango de medida. Potencia Rango de temperatura Velocidad del eje.	111 TUFF LINE Lineal 500Ω a 125KΩ/in 0.0254 a 1.22m. 39.37watts/m. -55 a 125°C 1.27m/s.	SL11 Rotativo 200Ω a 200KΩ 344° a 355° 1.5 a 5 watts. -65 a 125°C ---
	http://www.activesensors.com/	<i>Modelo:</i> Tipo Rango de resistencia. Rango de medida. Rango de temperatura Velocidad del eje	CLS1921-250 lineal 1 a 14Kohms 0.025 a 0.350mm. -30 a 100°C <0.100m/s.	RP5110-130 Rotativo 2 a 5Kohms 130° a 350° -55 a 125°C ---
	http://www.novotechnik.com/	<i>Modelo:</i> Tipo Rango de resistencia Medida Temperatura Velocidad del eje	TLH100 Lineal 3 a 20Kohms 10 a 3000mm -30 a 100°C 10m/s.	PL300 1KO AA130UK Rotativo 1 a 10Kohms 340° -25 a 85°C 31.42m/s.

*Importante: los datos que aparecen en color corresponden a otros modelos.

Tabla 21. Comparación entre los diferentes proveedores, cont.

Elemento sensor	Proveedores	Características		
Encoders.	http://www.gurley.com	<i>Modelo</i> Tipo de encoders Resolución Tensión de alimentación Temperatura de operación Salida de datos.	R112S500Q5L05A08SZ03N Rotativo incremental 32000imp./rev. 5 VDC 0 a 70°C RS422	R119B512Q5L05AY04MN Rotativo incremental 65536imp/rev. 5VDC 0 a 70°C RS422
	http://www.sick.com	<i>Modelo</i> Tipo de encoders Resolución Tensión de alimentación Temperatura de operación Velocidad de operación Salida de datos	DRS60 Rotativo incremental 1 a 8192 impulsos/rev 4.5 a 5.5VDC -20 a 85°C 6000/10000rpm TTL/RS422	ARS60 Rotativo absoluto 2 a 32760pulsos /rev. 10 a 32VDC -20 a 85°C 6000/10000 rpm TTL/RS422
	http://www.beiied.com/	<i>Modelo</i> Tipo de encoders Resolución Tensión de alimentación Temperatura de operación Velocidad de operación Controlador (dispositivo de salida)	H25ESS1500AB7272SC23 Rotativo incremental 1...72000imp/rev. 5 a 24V. 0 a 70°C 12000rpm Driver de línea	H25ESS12GC7272SM14/19 Rotativo absoluto. 4096imp/rev. 5 a 30VDC 0 a 70°C 12000rpm Driver de línea (7272,7273, SSI - serial synchronous interface).
	http://www2.intertronic.es/Descargas/Catalogo_TR/catalogo_TR2001.pdf	<i>Modelo</i> Tipo Resolución Tensión de alimentación Temperatura de operación Salida de datos Velocidad de operación	CE65S Absoluto univuelta 13bits (8192imp/rev.) 12 a 27VDC 0 a 60°C RS422 6000rpm	CE65M Absoluto multivuelta 24bits (4096 pulsos/vuelta) x 4096vueltas. 11 a 27VDC 0 a 60°C En contrafase (push pull) 6000rpm.

Tabla 21. Comparación entre los diferentes proveedores, cont.

Elemento sensor	Proveedores	Características		
Sincros / resolvers	http://www.ab.com/manuals/sn/ER.htm	<i>Modelo.</i> Elemento: Voltaje de entrada Voltaje de salida Voltaje nulo* Par de inicio Velocidad Temperatura Relación de transformación.**	846SJHN1CGR1C Resolver 12VAC/2500Hz 6V rms 30mV 0.025N.m 6000rpm 0 a 100°C 0.5	846SJH1CGR2C Resolvers 6VAC/1000Hz 2.72Vrms 15mV 0.025N.m 6000rpm 0 a 100°C 0.454
	http://www.polysci.com/	<i>Modelo.</i> Elemento Voltaje de entrada Voltaje de salida Voltaje nulo* Relación de transformación** Temperatura de operación	B4H618 Sincro. 26V/400Hz 11.8Volts. 0.03V. 0.454 -55 a 125°C	11BHW27F Resolvers 12V/2000Hz 6V 0.015V 0.5 ---
	http://www.danaherdefense.com/PDFs/Catalogs_and_Brochures/Danaher/Harowe_Resolvers_Feedback_Systems_Catalog.pdf	<i>Modelo.</i> Elemento Voltaje de entrada. Voltaje nulo* Relación de transformación.**	11BRW300B Resolvers 12Vrms/400Hz 30mV. 1.75	R25SBSRY1A15 Resolvers 5.3Vrms/4000Hz ---

* Voltaje nulo: es el voltaje residual que permanece cuando una componente del voltaje de salida es cero.

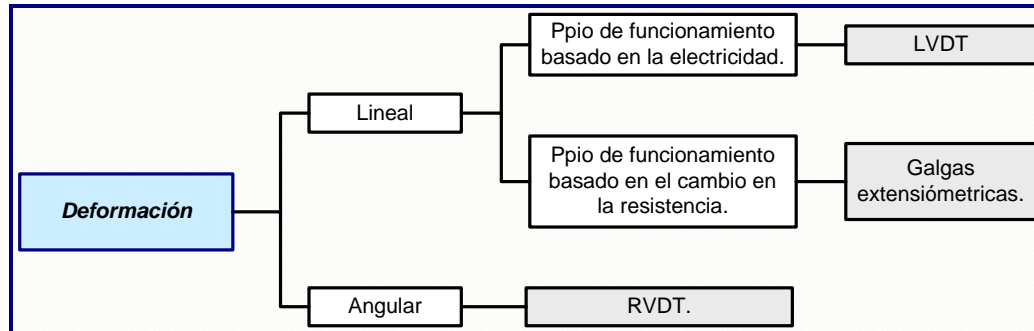
** Relación de transformación: es la relación del voltaje de salida al voltaje de entrada cuando la salida esta en su máximo acoplamiento.

Tabla 21. Comparación entre los diferentes proveedores, cont.

Elemento sensor	Proveedores	Características		
Sensores láser	http://www.lap-laser.com/e/laser_g/prod/prod.html	<p><i>Modelo</i> Rango de medida Distancia de medida. Salida/interface</p> <p>Principio de medida Fuente de luz Temperatura de operación Voltaje de alimentación.</p>	<p>Polaris 10 0.010m. 0.051m. Analógica: 4 a 20mA / Digital RS485</p> <p>Triangulación láser Diodo láser 0 a 40°C 24VDC</p>	<p>LMS10 0.010m. 0.045m. Analógica: 4-20mA</p> <p>Triangulación láser Diodo láser 0 a 40°C 24VDC</p>
	http://www.sensor.nl/english.html	<p><i>Modelo</i> Rango de medida Distancia de medida Señal de salida Fuente de luz Temperatura de operación Voltaje de alimentación</p>	<p>LDS80/10 0.010m. 0.075m. Analógica: 0 a 10VDC Diodo láser 0 a 50°C 15VDC</p>	<p>M24-14-24 0.610m. 0.355m. Digital: RS-232/RS-485 Diodo láser 0 a 50°C 15VDC</p>
	http://www.lmint.com/cfm/index.cfm?It=900&Id=37&Se=2&Lo=2	<p><i>Modelo</i> Rango de medida Distancia de medida Señal de salida</p> <p>Rango de temperatura Voltaje de alimentación</p>	<p>DLS2000 0.300m. 100mm Digital: RS485, Analógica: 4 a 20mA / 0 a 10VDC</p> <p>0 a 45°C 15 a 30VDC</p>	<p>DLS2000LR 3.0m. 0.500m. Digital: RS485, Analógica: 4 a 20mA / 0-10VDC</p> <p>0 a 45°C 15 a 30VDC</p>

6.1.3 SELECCIÓN DE SENSORES MEDIDORES DE PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIONES.

En este caso se trata de sensores de posición diseñados exclusivamente a la detección de pequeños desplazamientos ó deformaciones. La selección de este tipo de sensores se muestra en el diagrama siguiente:



Para ampliar más en la selección de este tipo de elementos sensores, en líneas siguientes se da a conocer los pasos a seguir en la selección de cada uno de los elementos que aparecen en el diagrama anterior.

6.1.3.1 TRANSFORMADORES DIFERENCIALES (LVDT Ó RVDT).

Los pasos a seguir en la selección o verificación de este tipo de sensores son los siguientes:

1. Definir el rango de medida en el cual debe operar el sensor.
2. Establecer las condiciones de operación, tales como presencia de polvo, temperatura de operación, etc.
3. Escoger el tipo de elemento a usar: LVDT ó RVDT.
4. Escoger el voltaje de alimentación: DC ó AC.
5. En caso de ser AC especificar la frecuencia de operación
6. Especificar la linealidad, aunque esto no es muy necesario, puesto que la mayoría esta muy cercana ó es de $\pm 0,5\%$.
7. Revisar catálogos de diferentes proveedores, bien de forma electrónica ó consultando al representante local.
8. Seleccionar el sensor que más se adapte a las necesidades, sin olvidar el coste.

6.1.3.1.1 PROVEEDORES.

Los proveedores para los elementos sensores LVDT más comunes son los que se mencionan a continuación:

- ✓ <http://www.columbiaresearchlab.com/>
- ✓ <http://www.macrosensors.com/>
- ✓ <http://www.activesensors.com/>
- ✓ <http://www.daytronic.com/company/e-security.htm>
- ✓ <http://www.rdpelectrosense.com/index.htm>
- ✓ <http://www.sentechlvdt.com/index.asp>.

Estos últimos dos proveedores además de proporcionar sensores LVDT, también proporciona sensores RVDT.

En la tabla 22 se muestran datos comparativos de algunos de los proveedores que se mencionaron anteriormente.

Tabla 22. Datos comparativos de proveedores de sensores LVDT.

<i>Elemento sensor</i>	<i>Características</i>	<i>Proveedor.</i>		
		<i>http://www.daytronic.com/comp/any/e-security.htm</i>	<i>http://www.macrosensors.com/</i>	<i>http://www.sentechlvdt.com/index.asp</i>
<i>LVDT / RVTD</i>	<i>Modelo</i> Elemento Voltaje de alimentación Frecuencia de operación. Linealidad Temperatura de operación Rango de medida. Peso total. Salida nula.	DS200SUH LVDT (AC/DC) 0.5 a 7 VACrms 2 a 10KHz sinusoidal ±0.5% -20 a 125°C (0.00065 a 0.470m.) 0.0025m. 16gr. ---	PR750-050-006 LVDT (AC/DC) 3.0Vrms 2.5 a 3.0KHz <±0.5% -55 a 105°C (0.00063 a 0.250m.) 0.00125m. --- ---	42DC-500SR LVDT (AC/DC) 24VDC --- ±0.5% 0 a 70°C (0.000127 a 0.508m) --- 4-20mA.

Importante: los datos en color corresponden a modelos diferentes.

6.1.3.2 GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS.

Los pasos que se siguen en la selección de este tipo de sensores son:

1. Definir el tipo de galga que se va a usar: galga de hilo o de semiconductor.
2. Escoger el margen nominal de medida.
3. Establecer la temperatura de operación.
4. Definir la forma de trabajo: tracción, compresión.
5. definir la forma de unión con el elemento al cual se le quiere medir la deformación.
6. Consultar catálogos de los diferentes proveedores y seleccionar el modelo que más satisfaga los requisitos impuestos por la aplicación.

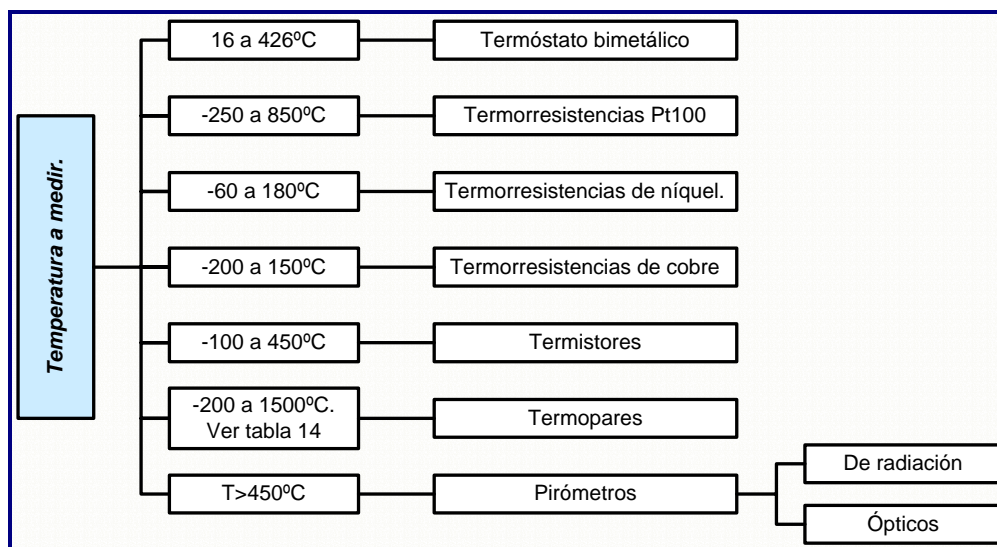
6.1.4 SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA.

Gracias a este tipo de sensores, es posible controlar la temperatura en diversas aplicaciones de índole industrial.

Existe una diversidad de este tipo de sensores; sin embargo la aplicación de cada uno de ellos está condicionada por el rango de temperatura, del cual es capaz de medir.

Téngase en cuenta que además del elemento sensor, es necesario un circuito adicional que adapte la señal a un controlador, que puede ser: un autómata programable, un microcontrolador ó un ordenador.

El siguiente diagrama presenta una forma fácil de seleccionar los sensores de temperatura más comunes aplicados industrialmente.



Más información sobre como seleccionar un sensor de temperatura se detalla enseguida.

1. Determinar la temperatura a medir por el sensor.
2. En base a la tabla 23 seleccionar el tipo de sensor a utilizar.

Tabla 23. Rango de temperatura de operación de los sensores de temperatura.

Tipo de sensor.	Rango de temperatura
Bimetálicos (todo ó nada)	16 a 426°C
Termorresistencias RTD. Termorresistencias Pt100 Termorresistencias de níquel. Termorresistencias de cobre	-250 a 850°C -60 a 180°C -200 a 150°C
Termistores	-100 a 450°C
Termopares	Ver tabla 9.
Pirómetros	T > 450°C. Por lo general se utilizan para medir temperaturas superiores a los 1600°C.

3. En el caso de los sensores de temperatura que precisan de una fuente de alimentación, como es el caso de los pirómetros, indicar el tipo de fuente de alimentación: AC ó DC.

4. Consultar diferentes especificaciones técnicas en catálogos de proveedores, ya sea mediante dirección web ó a través del representante local, escoger el sensor que más se adecuó a las necesidades e indicar lo siguiente:

 Especificar el tipo de material de que esta construido el sensor seleccionado.

 Especificar el valor de la resistencia nominal.

 En el caso de termopares indicar el valor de la fem inducida.

 De ser posible indicar el tipo de interface de comunicación ó el tipo de salida que presenta.

6.1.4.1 PROVEEDORES.

En la tabla 24 se presenta un listado de proveedores, indicando además el tipo de elemento sensor del cual es proveedor; y parte de las especificaciones técnicas de algunos de los productos que ofrece cada uno de ellos. Se recuerda que para una selección eficiente se debe consultar al proveedor, el cual proporciona la información necesaria que se debe conocer acerca del producto.

Tabla 24. Proveedores de sensores de temperatura.

<i>Proveedor</i>	<i>Elemento sensor.</i>
<i>http://www.omega.com</i>	En este sitio web se encuentra información relacionada con las termorresistencias RTD, termopares, termostatos y termistores en un amplio rango de temperatura de operación.
<i>http://www.thermometricscorp.com/index.html</i>	Termopares de todos los tipos estándar en un amplio rango de operación. Termorresistencias RTD de níquel, platino y cobre. Además encontrará información relacionada con el tema.
<i>http://www.kobold.com</i>	Sensores de temperatura RTD
<i>http://www.iprocessmart.com/temperature_1_esp.htm</i>	En este sitio se encuentra información de termorresistencias RTD, termopares y termistores.
<i>http://www.pyrometer.com</i>	Pirómetros ópticos y de radiación
<i>http://www.ipscustom.com/index.aspx?SID=1&</i>	Termopares de diferentes tipos, y termorresistencias RTD.
<i>http://www.peakensors.co.uk/index.html</i>	Termopares y termorresistencias RTD.

Tabla 24. Proveedores de sensores de temperatura, cont.

<i>Proveedor</i>	<i>Características</i>			
http://www.omega.com	<i>Modelo</i> Elemento Resistencia nominal Temperatura a medir Material del elemento	XTAP10RU06230MQ1 2 Termopar tipo S --- 0 a 1475°C PtRh10% - Pt	NB11CIN116G12 Termopar tipo J --- 0 a 750°C Hierro-constantan.	PR132100M45150E RTD 100Ω @ 0°C 0 a 750°C Platino
http://www.thermometricscorp.com/index.html	<i>Modelo</i> Elemento Resistencia nominal Temperatura a medir Material del elemento fem	Solicitud vía fax. Termopar tipo K --- 1 a 1250°C NiCr-Ni 0.39 a 50.644mV	Solicitud vía fax. RTD Niquel 120Ω @ 0°C -100 a 300°C Niquel ---	Solicitud vía fax. Termopar tipo R 1 a 1450°C PtRh13% - Pt 0.005 a 17.746mV
http://www.kobold.com	<i>Modelo</i> Elemento Rango de temperatura Material del elemento Resistencia	TSP5205N5TA RTD -40 a 149°C Platino 100Ω @ 0°C	TSR52040ET RTD -45.55 a 593°C Platino 100Ω @ 0°C	TSR 100KS3450 RTD -23 a 100°C Platino 100Ω @ 0°C
http://www.pyrometer.com	<i>Modelo</i> Rango de temperatura Elemento Interface de comunicación. Fuente de alimentación Temperatura de operación del equipo	PF905 600 a 1500°C Pirómetro Digital: RS232C Analógica: 0 a 5VDC / 0 a 20mA 115V/60Hz 0 a 250°C	95-D 500 a 3200°C Pirómetro óptico Analógica: 0 a 1 VDC Digital: RS232C (AC/DC) 110V AC/60Hz ---	81F / 81C 760 a 3200°C Pirómetro óptico n/a Baterías recargables de NiCad ---

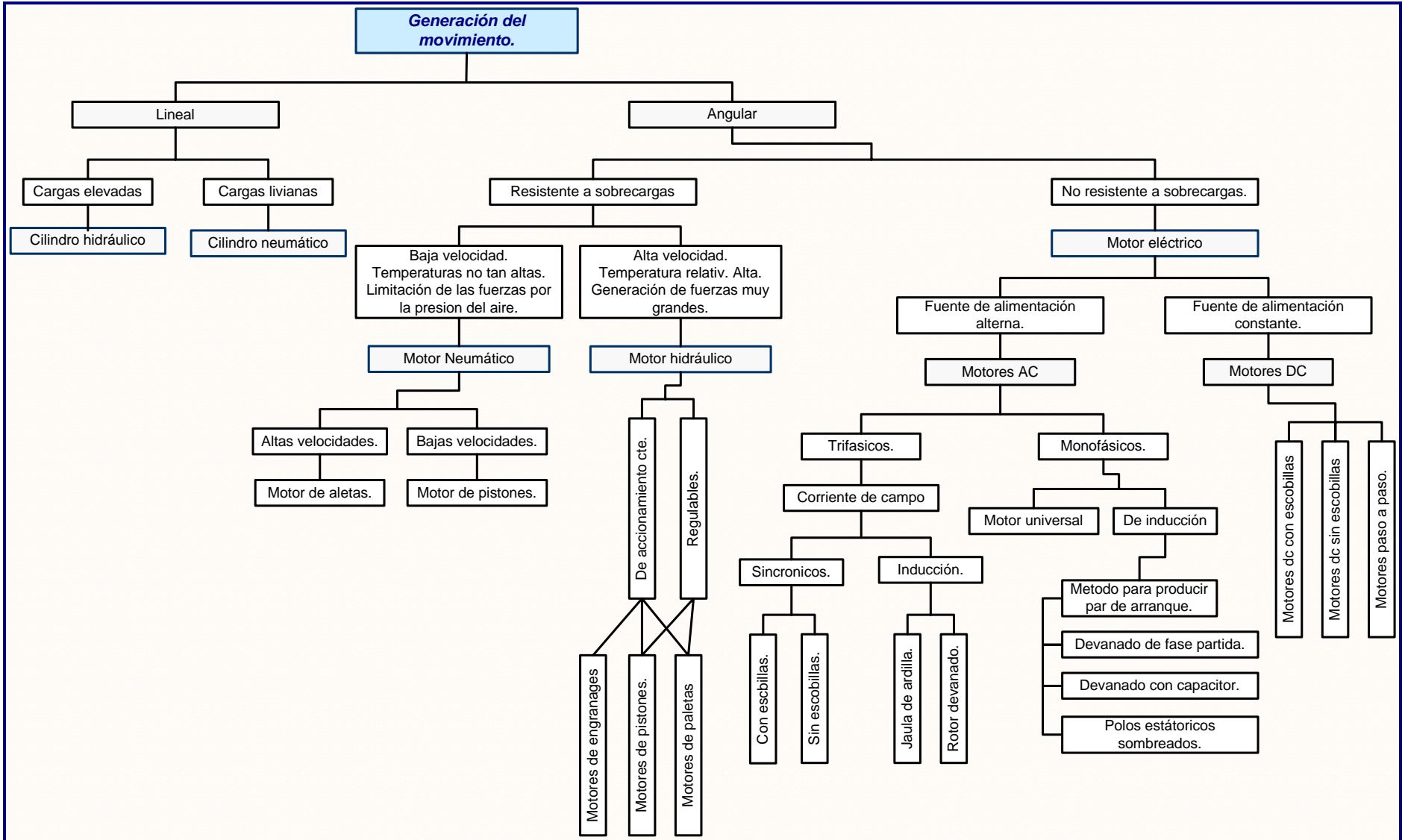
6.2 SELECCIÓN DE ACCIONADORES.

En la tabla 25 se presentan algunas de las aplicaciones más comunes para los tres tipos de accionadores: eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Tabla 25. Aplicaciones más comunes de los accionadores.

<i>Aplicaciones</i>	<i>Elemento accionador.</i>
Accionamiento de compresores, bombas, ventiladores, transmisiones de todo tipo: correa, engranes, etc. aplicaciones muy comunes se encuentran en el manejo de materiales, máquinas herramientas, industria de la transformación de materiales, etc.	<i>Motores eléctricos.</i>
Utilizados ampliamente en máquinas herramientas para controlar el avance de la herramienta y piezas de trabajo, dispositivos de fijación, movimientos de corte, accionamientos de prensas, etc. También se les emplea en los dispositivos de elevación y transporte para generar movimientos basculantes, ascendentes, descendentes y demás.	<i>Cilindros hidráulicos y neumáticos.</i>
Se utilizan donde se requiere un par de giro elevado con revoluciones bajas, como en grúas, máquinas perforadoras, etc. Su campo de aplicación principal se encuentra en máquinas de obras públicas, elevación, barcos, armamento, máquinas herramienta, transfer, máquinas para la fabricación del caucho y sus derivados incluyendo los plásticos, prensas, cortadoras y otras muchas. Son ideales para el trabajo en paradas.	<i>Motores hidráulicos.</i>
Se les emplea ampliamente en máquinas herramientas, automatismos, mezcladores de pintura, grúas y cabrestantes, perforadoras, cargadoras de minas, reductores, cintas transportadoras, máquinas de inyección, refinerías, industria química, astilleros, etc.	<i>Motores neumáticos.</i>

En la siguiente página se describe con la ayuda de un diagrama la selección de los diversos tipos de accionadores discutidos en el contenido de este Trabajo de Graduación.



Para ampliar la información presentada en el diagrama anterior, las líneas siguientes indican los pasos necesarios a seguir para seleccionar los diferentes elementos accionadores.

6.2.1 SELECCIÓN DE ACCIONADORES ELÉCTRICOS.

Como mínimo, para los motores es necesario especificar los aspectos siguientes:

1. Tipo de motor: de corriente directa, (DC), corriente alterna (AC), monofásico, trifásico, y demás.
2. Especificación de potencia y velocidad.
3. Voltaje y frecuencia de operación.
4. Tipo de carcasa, en función de la aplicación.
5. Detalles relativos al montaje.

Además, es probable que existan necesidades especiales que deben ser comunicadas al vendedor. Los factores principales a tomar en cuenta al seleccionar un motor incluyen los siguientes:

1. Par de operación, velocidad de operación y especificación de potencia.
2. Par de arranque.
3. Variaciones de carga que se esperan y variaciones de velocidad correspondientes que pueden tolerarse.
4. Limitaciones de la corriente durante las fases de arranque y funcionamiento.
5. Ciclo de trabajo: que tan a menudo hay que encender y apagar el motor.
6. Factores ambientales: temperatura, presencia de atmósferas corrosivas ó explosivas, exposición al clima o a líquidos, disponibilidad de aire para enfriar y demás.
7. Variaciones de voltaje que se esperan: casi todos los motores toleran hasta un $\pm 10\%$ de variación respecto al voltaje que se especifica.

Con toda la información anterior el paso siguiente es dirigirse al vendedor o consultar los catálogos de los diferentes proveedores para escoger el motor que más se adapte a las condiciones de trabajo requeridas.

6.2.2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS MOTORES DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO.

En este apartado se dan a conocer los factores más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la selección de estos elementos.

6.2.2.1 SELECCIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS Y NEUMÁTICOS.

Los factores a considerar ó pasos a seguir en la selección ó verificación de un cilindro ya sea éste, neumático o hidráulico son los siguientes:

1. Definir la aplicación en la que se va a utilizar el cilindro y en base a ello determinar la longitud de la carrera.
2. Establecer en base a la aplicación el tipo de cilindro: de simple o doble efecto.
3. Definir la presión de trabajo, en función de la existente en el lugar de trabajo.
4. Calcular la Fuerza que debe ejercer el cilindro.
5. Calcular la velocidad de ida y vuelta para el cilindro.
6. Calcular el consumo de aire, si es neumático ó de aceite, si es hidráulico.
7. Determinar las pérdidas de presión admisibles en el sistema.
8. Determinar el diámetro del cilindro y del vástago.
9. Indicar las condiciones de operación: temperatura, presencia de polvo, ambiente corrosivo, etc.
10. Establecer detalles relativos al montaje.
11. Con la información anterior, consultar catálogos de diferentes proveedores, y seleccionar el cilindro que más se acomode a los requerimientos exigidos por la aplicación, teniendo en cuenta además el factor económico.
12. Para el cilindro seleccionado indicar además de lo anterior lo siguiente:
 - Material del que esta fabricado.
 - Viscosidad del fluido, y tipo de aceite utilizado en el caso de los cilindros hidráulicos.
 - Indicar las condiciones requeridas para el fluido que se emplee: filtrado, lubricado, etc.

6.2.2.2 SELECCIÓN DE MOTORES HIDRÁULICOS Y NEUMÁTICOS.

En la selección ó verificación de este tipo de motores, los pasos a seguir se enumeran enseguida:

1. Calcular la potencia requerida por el motor.
2. Definir la velocidad de operación
3. Calcular el par de arranque y el de carga.
4. Calcular el volumen desplazado (absorbido), en el caso de los motores hidráulicos.
5. Calcular la eficiencia con la que se espera que funcione.
6. Indicar el flujo requerido, ya sea de aire, si es neumático ó de aceite si es hidráulico.
7. Especificar el tipo de motor que se requiera: motor hidráulico: de paletas, de engranes o de pistones, ó si es un motor neumático: de aletas o de pistones.
8. Definir la presión de trabajo para el motor, en función de la existente en la instalación industrial.
9. Determinar las condiciones ambientales en las que se espera trabaje el motor, en base al tipo de aplicación para la cual se requiere.
10. Indicar datos relativos al montaje
11. Con la información anterior dirigirse al vendedor ó proveedor y seleccionar el motor que más se adecuó a los requisitos exigidos por la aplicación.

Además de la información anterior es necesario conocer para el motor seleccionado información como: viscosidad y tipo de aceite que utiliza el motor, si es hidráulico y detalles referentes a las condiciones del fluido de trabajo: filtrado, lubricado, etc.

6.2.3 PROVEEDORES.

En la tabla 26 se presenta parte de las especificaciones técnicas de algunos modelos de los principales proveedores para los elementos accionadores discutidos en apartados anteriores.

Se recuerda que para que la selección del elemento sea eficaz, consulte a su representante local de los proveedores listados en la tabla 26 ó visite las direcciones electrónicas, para consultar la mayor cantidad de información pertinente al elemento accionador de interés.

Tabla 26. Proveedores de los diferentes accionadores.

Elemento Accionador	Proveedores	Características / especificaciones técnicas			
Accionadores Eléctricos	http://www.baldor.com	<i>Modelo</i> L1177T Potencia 15.0HP Voltaje de alimentación 230VAC Tipo de motor Motor de corriente alterna, 3 fases. Frecuencia 60Hz. Velocidad 1725 rpm. Corriente a plena carga 70A Eficiencia a plena carga. 82.5% Factor de servicio 1.0	D50300P-BV 300HP 150/300V. Motor de corriente directa. --- 1750/1900 rpm. --- --- 1.0	D1154 1.0HP 115V Motor de corriente directa. --- 1750 rpm. --- --- ---	
	http://www.ab.com/catalogs/	<i>Modelo</i> 1329RSKA02036FXH Potencia 20HP Voltaje de alimentación 230/460VAC Tipo de motor Motor AC, velocidad variable, complet. sell. Frecuencia 60Hz Velocidad 3600, variable Eficiencia a plena carga. 91.7% Factor de servicio 1.0	1329LZC00518NVHUL 5HP 230/460VAC. Motor AC, velocidad variable, 3 fases. 60Hz 1800 rpm, variable. --- 1.0	1325LSDC00318DGC 3HP 240/150VDC Motor DC. --- 1800 rpm, variable. --- 1.0	
	http://www.geindustrial.com/cw/c/products?famid=23&lang=en_US	<i>Modelo</i> 5KE132SFIG1112 Potencia. 7.5HP Voltaje de alimentación 220 a 240VAC Tipo de motor Motor de corriente alterna 3 fases. Factor de servicio 1.15 Frecuencia 50/60Hz Velocidad. 3600rpm. Corriente a plena carga. 17.9 a 16.5A Sentido de giro. antihorario	5CD193PA084A010 30HP 150/300V. Motor DC, bobinado en derivación. 1.0 --- 1750/2300 rpm. --- ---	N8907 700HP 2300/4000VAC Motor de corriente alterna, 3 fases. 1.15 60Hz. 3600rpm. 151.0/57.0A horario/antihorario	

Tabla 26. Proveedores de los diferentes accionadores, cont.

Elemento Accionador		Proveedores	Características / especificaciones técnicas			
Accionadores Neumáticos	Motores neumáticos	http://www.neumac.es/htm/es/neumacn/neumacn.htm	<i>Modelo</i> Potencia máxima Velocidad a potencia máxima. Par a máxima potencia Par de arranque Consumo de aire a máxima potencia. Peso. Tipo de motor. Presión del aire	MA05/18 0.38 Kw. 1800rpm. 2.1N.m 3.15N.m 0.5m ³ /min. 1.35kg. No reversible. 600Kpa.	MAR07/65 0.41Kw 6500 rpm. 0.7N.m 1.05N.m 0.64m ³ /min. 1.12kg. Reversible. 600Kpa.	5CR30 4.6Kw. 3000 rpm. 14.50N.m 14.10N.m 6.1m ³ /min. 15.0kg. Reversible. 600Kpa.
	Cilindros neumáticos	www.festo.com	<i>Modelo</i> Tipo de cilindro. Presión de funcionamiento (KPa.) Temperatura ambiente. Fluido Fuerza desarrollada. Carrera del cilindro.	ADN1650APA Cilindro de doble efecto, vast. simple 100 a 1000 (v. simple) 100 a 1000 (v. doble) -20°C a 80°C Aire comprimido, filtrado, lubricado o sin lubricar. 121N (avance, vást. s.) 90N (avance, v. Doble) 90N. (retroc, vást. s.) 90N. (retroc, v. doble) 0.050m.	CRDG5080PA Cilindro de doble efecto. 100 a 1000 -20 a 80°C Aire comprimido, filtrado, lubricado o sin lubricar. 1178N en avance a 0.6 MPa. 990N en retroc. a 0.6 MPa. 0.080m.	DNCT5080PPVAS6 Cilindro de doble efecto, tándem. 60 a 1000 -20 a 80°C Aire comprimido, filtrado, lubricado o sin lubricar. 2168N en avance, a 0.6 MPa. 1980N en retroceso a 0.6MPa. 0.080m.

Tabla 26. Proveedores de los diferentes accionadores, cont.

Elemento Accionador		Proveedores	Características / especificaciones técnicas			
Accionadores Neumáticos	Cilindros neumáticos	http://www.parker.com/frameless/default.asp?FamID=0&DivID=0&GID=9&TechID=10&Type=2&ID=31&img=1&	Modelo	6BCRTB2AUVS14A12	4FPTB2ANUS14AX10	3304B99202100051
			Tipo de cilindro	Cilindro de doble efecto.	Cilindro de doble efecto.	Cilindro de simple efecto, retorno por resorte.
Accionadores Hidráulicos	Motores Hidráulicos	http://hydraulics.eaton.com/products/menu_main.htm	Carrera del cilindro	0.3048m.	0.254m	0.051m
			Presión máx. de func.	1724.7KPa.	1724.7KPa.	1000KPa.
			Temperatura	-23 a 74°C	-23 a 74°C	-10 a 80°C
			Fluido	Aire filtrado	Aire filtrado.	Aire comprimido, filtrado y lubricado.
			Fuerza desarrollada	12575N a 690 KPa. (avan) 663N. a 690KPa. (retr.)	5591N a 690KPa. 351N a 690KPa.	---
			Modelo	21305DSD	F3MFB-10UY-31	M2U1S25S1C10S60L
			Tipo	Motor hidráulico de engranes.	Motor hidráulico de pistones, desplaz. fijo.	Motor hidráulico, de paletas.
			Potencia	15.8HP @ 2000rpm.	8HP	4HP
			Desplazamiento	16.72 cm ³ /rev.	21.14 cm ³ /rev.	25.4 cm ³ /rev.
			Velocidad	3500rpm.	1800 rpm.	2500rpm.
			Presión máx. de trabajo	17.2MPa (2500psi.)	10.3 a 20.7 MPa. (1500 – 3000psi.)	13.8 MPa. (2000psi.)
			Temperatura del fluido	-29 a 107°C	38 a 66°C	49 a 65°C.
			Flujo	0.07m ³ /min (18.5gpm @2000psi.)	0.038 m ³ /min. (10gpm.)	0.045 m ³ /min. (12gpm.)
			Eficiencia total.	---	90%	---
			Fluido.	Aceite hidráulico antidesg.	Aceite hidráulico antidesg.	Aceite hidráulico antidesg.

Tabla 26. Proveedores de los diferentes accionadores, cont.

Elemento Accionador		Proveedores	Características / especificaciones técnicas			
Accionadores Hidráulicos	Motores Hidráulicos	http://www.denquipgroup.com/	<i>Modelo</i>	MR33	MRT8500	M3B0181N00B100
			Tipo	Motor hidráulico de pistones radiales.	Motor hidráulico de pistones radiales.	Motor hidráulico de paletas.
			Potencia	8.9HP	265.5HP	5.77HP
	Cilindros Hidráulicos	http://www.parker.com/frameless/default.asp?FamID=0&DivID=0&GID=9&TechID=6&Type=2&ID=31&img=1&	<i>Modelo</i>	5F2HLT14A10	4F3LT14A10	100CHMIGB14M250M14
			Tipo de cilindro	Cilindro hidráulico de doble efecto	Cilindro hidráulico, doble efecto, vástago simple.	Cilindro hidráulico, doble efecto, vást. Simple.
			Carrera del cilindro	0.254m	0.254m	0.250m.
Cilindros Hidráulicos	http://www.enerpac.com/	Presión máx. de func.	20.7MPa (3000psi)	6.9MPa (1000psi)	21Mpa (210bar.)	
		Temperatura	-23 a 74°C	-23...74°C	-20 a 80°C	
		Fluido	Aceite hidráulico base mineral, limpio y filtrado.	Aceite hidráulico, base mineral.	Aceite mineral HH, HL, HLP, HLP-D, HM, HV.	
		Fuerza desarrollada	87363N a 6.9MPa, avance 13967.4N a 6.9MPa (1000psi), retroc.	27957N a 3.45MPa, avnc. 3314N a 3.45MPa (500psi), retroceso.	125.7KN a 16MPa, avance 25.5KN a 16MPa, retroceso.	
		<i>Modelo</i>	RAC 204	RR7513	RC51	
		Tipo de cilindro	Cilindro de simple efecto, retorno por resorte.	Cilindro de doble efecto.	Cilindro de simple efecto, retorno por resorte.	
		Presión máx. de operaci6n.	70MPa	69Mpa (10.000psi)	69Mpa (10.000psi.)	
		Carrera del cilindro.	0.100 m.	0.33m. (13.13 in.)	0.0254m. (1 in.)	
		Capacidad	309 KN	667.23KN. (75 ton.)	44.18KN (5 ton.)	

CAPÍTULO 7.

APLICACIÓN DE LOS SENSORES Y ACCIONADORES. “CONTROL DE TEMPERATURA”.

Los apartados anteriores han sido dedicados al estudio de diversos sensores y accionadores. Se han estudiado sus aspectos constructivos, funcionamiento y demás; hasta listar algunos de sus proveedores. Como complemento a la información hasta este momento expuesta, lo siguiente constituye un ejemplo de aplicación práctica, que consiste en el “control de temperatura”.

El objetivo del desarrollo de esta aplicación es controlar la temperatura de un horno, mediante el empleo de un controlador PID.

De forma general se puede decir que el funcionamiento es de la siguiente manera: En el controlador PID se establece la temperatura en la cual se desea que este operando el horno. La temperatura de operación del horno es capturada por un sensor de temperatura, un Pt100, y mediante una tarjeta de adquisición de datos, esta información es enviada al ordenador. Si la temperatura de operación del horno se encuentra fuera de la temperatura que se ha establecido en el controlador PID, entonces se actúa sobre un calefactor que hace que la temperatura de operación del horno alcance la temperatura deseada. Los datos de temperatura son mostrados en pantalla mediante el empleo de un software de programación, Lab View.

7.1 ELEMENTOS A USAR:

En la Fig. 78 se muestra los diferentes elementos que forman parte del sistema a controlar, indicando además como se interrelacionan entre sí.

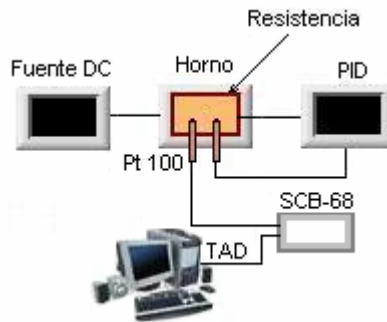


Fig. 78. Sistema de control de temperatura.

Para el desarrollo de esta aplicación las herramientas con las que se cuenta son las siguientes:

- ✓ Un ordenador,
- ✓ Software de programación gráfica, Lab View,
- ✓ Un controlador PID,
- ✓ Una tarjeta de adquisición de datos, TAD, junto con sus accesorios,
- ✓ Un sensor de temperatura (una termorresistencia, Pt100), junto con su circuito acondicionador (linealizador).

Para la simulación del horno es necesario:

- ✓ Un depósito aislado térmicamente
- ✓ Una fuente de alimentación, y
- ✓ Un elemento resistivo que sirve como calefactor.

7.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ORDENADOR.

Las características mínimas con las que debe contar el ordenador para la instalación de Lab View son las siguientes:

- ✓ Windows 2000/XP o superior.
- ✓ Microsoft Internet Explorer 5.0 o superior.
- ✓ Como cantidad mínima 128 MB de RAM.
- ✓ Resolución del monitor: 800 x 600 pixels.
- ✓ Procesador Pentium III o superior ó Celeron de 600MHz o procesador equivalente; Sin embargo National Instruments recomienda un Pentium IV o procesador equivalente.
- ✓ National Instruments recomienda que se tenga al menos 130MB de espacio en disco para la instalación mínima de Lab View, ó 550MB de espacio en disco para una instalación completa.

Para el desarrollo de la práctica el ordenador a utilizar ha sido proveído por **SOLINTEG**, *Soluciones Integrales de Software y Comunicaciones*, y cuenta con las siguientes características:

- ✓ Procesador/MHz 2600XP+AMD BOX
- ✓ 512 MB de RAM
- ✓ 80 GB en disco duro
- ✓ Monitor Samsung 17"
- ✓ Altavoces de 240W
- ✓ Puertos serie y paralelo.
- ✓ Disquetera de 3½".
- ✓ DVD16X
- ✓ Regrabadora 52x32x52x

Mayor información en anexo I.

7.1.2 INTRODUCCIÓN A LAB VIEW.

Lab View es un lenguaje de programación que usa iconos en lugar de líneas de texto para crear las aplicaciones. Contrario a los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, Lab View utiliza la programación de flujo de datos, donde el flujo de los datos determina la ejecución.

En Lab View se construye la interface de usuario con un conjunto de herramientas y objetos. La interface de usuario es conocida como el panel frontal, Fig. 79. Luego se agrega el código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos en el panel frontal. El diagrama de bloques es el que contiene este código, Fig. 80. De alguna forma el diagrama de bloques se parece a un flujograma.

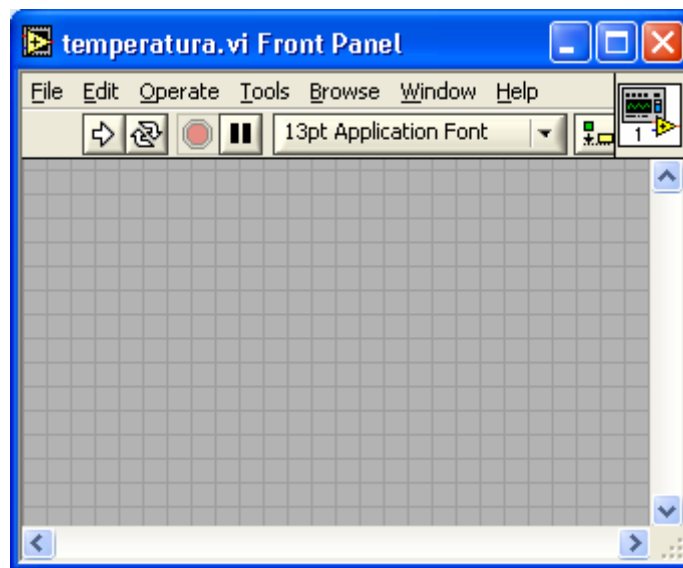


Fig. 79. Panel frontal.

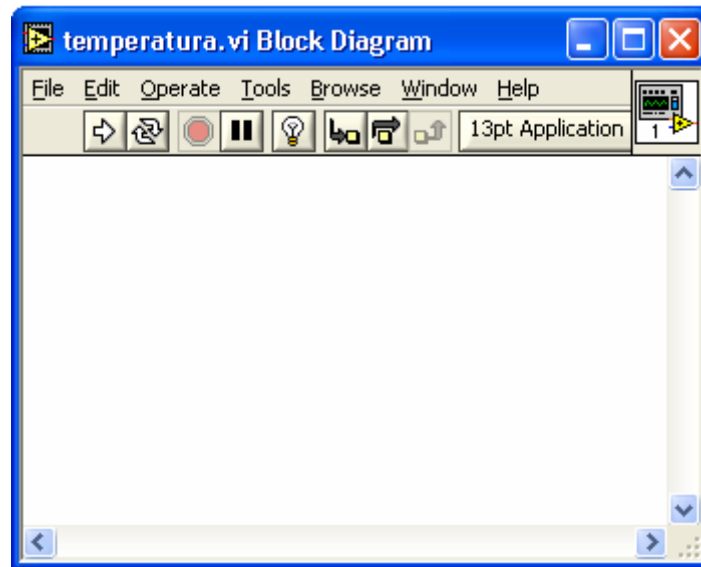


Fig. 80 Diagrama de bloques.

Como ya se dijo en líneas anteriores, cuando se crea un Instrumento Virtual, VI, en Lab View se trabaja con dos ventanas: Una en la que se implementará el panel frontal y otra que soportara el nivel de programación. Para la creación del panel frontal se dispone de una librería de controles e indicadores de todo tipo y la posibilidad de crear más, diseñados por el propio usuario.

Cuando un control es pegado desde la librería en el panel frontal se acaba de crear una variable cuyos valores vendrán determinados por lo que el usuario ajuste desde el panel; inmediatamente, aparece un terminal en la ventana de programación representándolo. El nivel de programación del VI consistirá en conectar estos terminales a bloques funcionales (por ej. un comparador), hasta obtener el resultado que se desea visualizar, como por ejemplo un led de alarma. Los bloques funcionales son iconos con entradas y salidas que se conectan entre si mediante cables ficticios por donde fluyen los datos, constituyendo el nivel de programación del VI.

7.1.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS, TAD.

Son muchas las aplicaciones donde se hace indispensable el tratamiento de señales que nos proporcionen información sobre fenómenos físicos. En general, este tratamiento es necesario hacerlo sobre grandes cantidades de información y con una elevada velocidad de procesado. Un ordenador personal es el encargado de realizar estas tareas debido a su excelente velocidad de procesado sobre cantidades elevadas de información.

Comúnmente los dispositivos usados para la adquisición de señales son las tarjetas de adquisición de datos, que son las que proporcionan al ordenador personal la capacidad de adquirir y generar señales, ya sean analógicas ó digitales. Sin embargo, éstas no son las únicas funciones de las tarjetas de adquisición; entre otras, también disponen de contadores y temporizadores.

Cuando se desea obtener información sobre fenómenos físicos es necesario introducir un nuevo elemento en el sistema que nos suministre un parámetro eléctrico a partir de un parámetro físico, dicho elemento es el sensor ó transductor. El sensor es el primer elemento que forma un sistema general de adquisición de señales.

Hoy en día se dispone de una gran variedad de TAD que permite llevar a cabo las aplicaciones. Sin embargo, es importante conocer cuáles son las prestaciones que puede dar cada tarjeta para que se adapte correctamente a la aplicación en cuestión sin que sus prestaciones sean muy elevadas ni muy bajas.

7.1.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS TAD.

En este apartado se describe las consideraciones que determinan las características hardware de las tarjetas de adquisición de datos, para tener un criterio de valoración de la efectividad de la TAD y de comparación entre diferentes placas.

Entradas analógicas. Las prestaciones y precisión que nos proporciona una tarjeta, en cuanto a entradas se refiere, son básicamente el número de canales de que dispone, la frecuencia de muestreo, la resolución y los niveles de entrada. Generalmente, muchos de estos parámetros se pueden configurar por software.

El número de canales analógicos se ha de especificar tanto para entradas referenciadas a masa como para diferenciales. Las entradas referenciadas a masa también se las conoce como “single-ended inputs”. Si entre el terminal de referencia y tierra existe una diferencia de potencial, ésta se denomina tensión en modo común, causante de muchos errores de medida.

Esta configuración se utiliza en adquisición de señales de alto nivel donde el error introducido por la señal en modo común es despreciable.

Las señales diferenciales se basan en que los dos terminales de una entrada corresponden con dos terminales de entrada de la TAD, es decir, no existe ningún terminal referenciado a masa. De esta forma, se elimina la tensión en modo común. Esta configuración de entrada es útil para la adquisición de señales de bajo nivel.

Frecuencia de muestreo. Determina la velocidad a la que se producen las conversiones ADC. Una frecuencia de muestreo elevada proporciona señales con mayor calidad de definición en tiempo; al mismo tiempo aumenta el flujo de datos hacia el procesador. Por tanto, se habrá de buscar un valor de compromiso que haga óptimo el funcionamiento del sistema.

Resolución. Indica el número de bits que utiliza el conversor ADC para cuantificar los niveles de señal analógica. Cuanto mayor sea el número de bits del ADC, mayor será el número de niveles de señal que se puede representar.

Niveles de entrada. Son los límites de entrada de la TAD. Es muy común diferenciar entre señales unipolares y bipolares. Las señales unipolares admiten únicamente niveles de tensión positivos mientras que las bipolares permiten las dos polaridades.

Salidas analógicas. Muchas TAD incorporan salidas analógicas. Básicamente las características técnicas de las salidas analógicas son las mismas comentadas para las entradas.

Puertos digitales. Son líneas de entrada/salida digitales. Se utilizan para control de procesos, generación de modelos de testeo, para comunicación con equipos periféricos, etc.

Los parámetros más importantes que caracterizan los puertos digitales son el número de líneas disponibles, la velocidad a la cual se pueden transferir los datos y la capacidad de control de diferentes dispositivos (“handshacking”).

Temporizadores. Son líneas útiles para muchas aplicaciones tales como contar las veces que se produce un evento, generar bases de tiempos para procesos digitales o generación de pulsos.

Con objeto de dejar lo más claro posible los conceptos anteriores, en la tabla 27 se presenta un resumen de lo antes expuesto.

Tabla 27. Consideraciones generales sobre las TAD.

<i>Características</i>	<i>Significado</i>
<i>Entradas analógicas</i>	Se refiere al número de canales analógicos que posee la tarjeta de adquisición de datos. Se ha de especificar tanto para entradas referenciadas a masa como para entradas diferenciales.
<i>Frecuencia de muestreo.</i>	Determina la velocidad a la que se producen las conversiones ADC.
<i>Resolución.</i>	Indica el número de bits que utiliza el conversor ADC para cuantificar los niveles de señal analógica.
<i>Niveles de entrada.</i>	Son los límites de entrada de la TAD. Es muy común diferenciar entre señales unipolares y bipolares.
<i>Salidas analógicas.</i>	Representa el número de canales analógicos que posee la TAD. Básicamente las características técnicas de las salidas analógicas son las mismas comentadas para las entradas.
<i>Puertos digitales.</i>	Son líneas de entrada/salida digitales. Se utilizan para control de procesos, generación de modelos de testeo, para comunicación con equipos periféricos, etc.
<i>Temporizadores.</i>	Son líneas útiles para muchas aplicaciones, tales como contar las veces que se produce un evento, generar bases de tiempos para procesos digitales ó generación de pulsos.

7.1.3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DE UNA TAD.

La etapa de entrada de una TAD es muy común para todos los tipos y modelos. Básicamente esta compuesta por un multiplexor, que permite disponer de varios canales de entrada, seguido de un amplificador de instrumentación de ganancia programable. Este amplificador se conecta a otro amplificador de muestreo y retención ("Sample & Hold") y finalmente éste proporciona el valor de tensión al conversor ADC.

La Fig. 81 muestra la etapa de entrada general de una TAD.

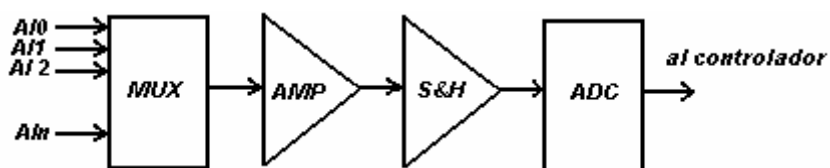


Fig. 81. Étape de entrada general de una TAD.

En cuanto a las salidas analógicas se componen básicamente de conversores DAC que se conectan directamente al bus interno del microprocesador. Para cada salida analógica se necesita un conversor DAC que normalmente tienen la misma resolución que los ADC de la entrada.

7.1.3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TAD UTILIZADA EN LA APLICACIÓN.

La tarjeta de adquisición de datos que se usa en esta aplicación práctica es una tarjeta de National Instruments, cuyo modelo es: NI **PCI-MIO 6030E**, también conocida como **PCI-MIO-16XE-10**. Sus especificaciones técnicas más importantes se resumen a continuación:

Entradas analógicas:

- Número de canales: 16 single-ended u 8 diferencial.
- Tipo de convertidor A/D (ADC): de aproximación sucesiva.
- Resolución: 16 bits, 1 en 65 536.
- Rango de entrada: ± 0.1 a $\pm 10V$.
- Numero de muestras (un solo canal): 100KS/s, garantizado.
- Máximo voltaje de trabajo: Cada entrada debe permanecer dentro de $\pm 11V$ DC.
- Protección contra sobrevoltaje: encendido, $\pm 25V$ DC.
Apagado, $\pm 15V$ DC.

Salidas Analógicas.

- Numero de canales: 2 de voltaje.
- Resolución: 16 bits, 1 en 65536
- Número de muestras: 100KS/s
- Tipo de convertidor de digital a analógico, (DAC): double – buffered.
- Voltaje de salida: $\pm 10V$ DC a $10V$ DC.

Entradas / Salidas de tiempo

- Número de canales: 2
- Frecuencia escalar: 1
- Resolución: Contadores ascendentes/descendentes, timers: 24bits.
Frecuencia escalar: 4 bits.
- Compatibilidad: 5 V TTL/CMOS

Entradas / Salidas digitales.

Número de canales: 8 entrada/salidas

Compatibilidad: 5 V TTL/CMOS

Condiciones ambientales

Temperatura de operación: 0.....50°C

Temperatura de almacenamiento: -20.....70°C

Humedad relativa: 10-90% no condensable.

Los accesorios utilizados en esta tarjeta son un bloque conector tipo **SCB-68**, en donde se realizan todas las conexiones. También se utiliza un cable para conectar el bloque de terminales a la tarjeta; este cable conector es de 68 pines y es el del tipo **SH68-68-EP**. Los dos accesorios adicionales son provistos por National Instruments.

Si se desea mayor información, referirse al anexo II.

7.1.4 TERMORRESISTENCIA DE PLATINO, PT100.

Las termorresistencias de platino ofrecen una excelente precisión a través de un amplio rango de temperatura (desde -200 a 850°C). Los sensores estándar son disponibles por muchos fabricantes con varias especificaciones de fabricación y numerosas opciones para satisfacer diversas aplicaciones. Diferente a los termopares no es necesario usar cables especiales para conectar al sensor.

El principio de operación es medir la resistencia de un elemento de platino. El tipo más común (PT100) tiene una resistencia de 100 ohms a 0°C y 138.4 ohms a 100°C.

La relación entre la temperatura y la resistencia es aproximadamente lineal a través de un pequeño rango de temperatura: por ejemplo, si se asume que es lineal a través del rango de temperatura de 0 a 100°C. el error a 50°C es 0,4°C.

Para medidas de precisión, es necesario linealizar la resistencia; para dar una temperatura más precisa. La definición más reciente de la relación entre la resistencia y la temperatura es el Estándar de Temperatura Internacional de 1990, (ITS-90). La linealización es igual a:

$$R_t = R_0 * (1 + A * t + B * t^2 + C * (t-100) * t^3) \quad (18)$$

Donde:

R_t : Resistencia a la temperatura t

R_0 : Resistencia a 0°C

t : Valor de la temperatura.

$A = 3.9083 \text{ E-}3$

$B = -5.775 \text{ E-}7$

$C = -4.183 \text{ E-}12$ (Abajo de 0°C)

Zero (Arriba de 0°C).

Para un sensor PT100, un cambio en la temperatura de 1°C provoca un cambio en la resistencia de 0,384 ohm, así un pequeño error en la medida de la resistencia (por ejemplo, la resistencia de los alambres que llegan hasta el sensor) pueden provocar un error grande en la medida de la temperatura.

Para trabajos de precisión, los sensores tienen 4 alambres, dos para transportar la corriente a medir, y dos para medir el voltaje a través del elemento sensor. También es posible obtener sensores de tres alambres, aunque estos operan asumiendo que la resistencia de cada uno de ellos es la misma.

La corriente a través del sensor provoca algo de calor. Por ejemplo, una corriente de sensado de 1mA a través de un resistor de 100 ohm genera $100\mu\text{W}$ de calor. Si el elemento sensor es incapaz de disipar este calor, reportará una temperatura alta artificialmente. Este efecto puede ser reducido usando un elemento sensor más grande o asegurándose que exista un buen contacto térmico con su ambiente.

Usando una corriente de sensado de 1 mA dará una señal de solamente 100mV. Debido a esto el cambio en la resistencia para un grado Celsius es muy pequeño, aun un error pequeño en la medida del voltaje a través del sensor producirá un gran error en la medida de la temperatura. Por ejemplo, un error de voltaje, medido de 100 μ V, provocará 0,4°C de error en la lectura de la temperatura, muy similar a un error de 1 μ A en la corriente de sensado, que provocará un error en la temperatura de 0,4°C.

Puesto que el nivel de la señal es de bajo nivel, es importante mantener cualquiera de los cables alejado de cables eléctricos, motores u otros dispositivos que emitan ruido eléctrico. Cuando se use cables de gran longitud es necesario controlar que el equipo de medida sea capaz de manipular la resistencia de los cables.

El tipo de sonda y cable deberá ser escogido cuidadosamente para satisfacer la aplicación. Los aspectos principales son el rango de temperatura y la exposición a fluidos ó metales. Claramente las uniones de soldadura normal en cables no deberán ser usadas a temperaturas arriba de aproximadamente los 170°C.

Uno de los accesorios es el linealizador de sensores de temperatura de películas de platino, cuyo proveedor es **RS AMIDATA**, Este linealizador ha sido diseñado específicamente para uso con sensores de platino de RS y cualquier otro sensor de temperatura de platino que esté conforme a BS 1904 Grado II.

Este linealizador produce una salida linealizada de 1mV por cada grado centígrado en el rango de -100 a 500°C en el sensor.

Las especificaciones para este tipo de linealizador son las siguientes:

- ✓ Voltaje a suministrar: +7 a +15VDC
- ✓ Corriente a suministrar: 7mA.
- ✓ Sensor de entrada: Termorresistencia de platino.
- ✓ Voltaje de salida: 1mV / °C
- ✓ Corriente de energización del sensor: 2,1mA.

En el anexo III se encuentra el resto de las especificaciones, incluyendo el diagrama de conexión.

7.1.5 CONTROLADOR DE TEMPERATURA, CONTROLADOR PID.

Actualmente el controlador PID es el control más común usado en la industria. Es muy frecuente usar un controlador PID para controlar procesos que incluyen sistemas de enfriamiento ó de calefacción, control del nivel de fluidos, control de flujo, y de la presión. En un control PID se debe especificar una variable de proceso y un valor de consigna. La variable de proceso es el parámetro dentro del sistema que se quiere controlar, tal como la temperatura, presión, o el flujo; y la variable de consigna es el valor deseado para el parámetro que se esta controlando.

Un controlador PID determina la salida de control, tal como la potencia de un calentador o la posición de una válvula; luego aplica este valor al sistema, el cual devuelve a la variable de proceso al valor que tiene la consigna.

7.1.5.1 FUNCIONAMIENTO DE UN CONTROLADOR PID.

Considérese la Fig. 82.

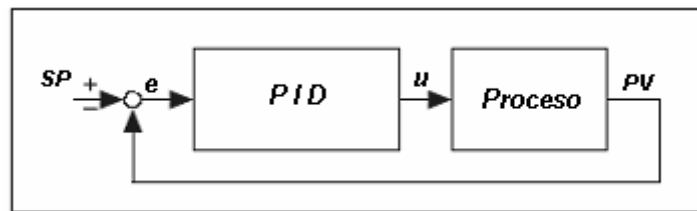


Fig. 82. Proceso bajo control PID.

El controlador PID compara el valor de consigna (SP) con el de la variable de proceso (PV) para obtener el error (e).

$$e = SP - PV \quad (19)$$

Luego calcula la acción de control, $u(t)$:

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (20)$$

Donde K_c es la ganancia del controlador, T_i es el tiempo integral en minutos, y T_d es el tiempo derivativo en minutos; es decir que un controlador PID incluye tres acciones de control: Proporcional (P), Integral (I), y Derivativa (D).

La siguiente formula representa la acción proporcional:

$$u_p(t) = K_c e \quad (21)$$

Mientras que la acción integral esta representada mediante la siguiente fórmula:

$$u_I(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e dt \quad (22)$$

Y por último la acción derivativa se representa por:

$$u_D(t) = K_c T_d \frac{de}{dt} \quad (23)$$

Este tipo de control permite eliminar el error en estado estacionario logrando una buena estabilidad relativa del sistema de control; la mejora de estabilidad relativa implica una respuesta transitoria con tiempos de adquisición y máximo sobreimpulso pequeños.

7.1.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR A UTILIZAR.

El controlador PID a utilizar es un controlador marca **OMRON**, de la serie **E5AX**, cuyo modelo es **E5AX-A**. Sus principales características se resumen a continuación:

Voltaje suministrado: 100 a 240VAC 50/60Hz.

Salidas: Un par de relés SPDT 5A 250VAC 50/60Hz.

Dispositivos de entrada: Termopares y Resistencias de platino, -Pt 100.

Tipo de controlador: PID.

Temperatura de operación: -10 a 55°C

Si se desea conocer más acerca de este tipo de controlador, referirse al anexo IV, donde se encuentra el resto de las especificaciones técnicas.

7.1.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y ELEMENTO RESISTIVO.

La fuente de alimentación se utiliza para producir la corriente que circula a través del elemento resistivo, y de esta forma incrementar la temperatura en el depósito que simula el horno.

Como elemento resistivo se utiliza una resistencia de 1500 Watts.

La fuente de alimentación que se utiliza es provista por **PROMAX Instrumentos de medida para telecomunicaciones**, y es un modelo **FAC - 662B**. El modelo FAC 662-B, (anexo V) es una fuente doble, regulable, estabilizada y protegida contra sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos. Dispone también de una salida auxiliar de 5V/2A. Cada una de las salidas principales puede actuar:

- ✓ Como fuente de tensión, con salida ajustable de forma continua, entre 0 y 30V, por medio de dos controles, grueso y fino, para mejorar la resolución.
- ✓ Como fuente de corriente, con salida ajustable de forma continua, entre 0 y 1A.

Las dos salidas principales pueden utilizarse como dos salidas independientes, o conectarse en serie, en paralelo ó como fuente doble simétrica, simplemente accionando el pulsador apropiado en el panel frontal.

7.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LAB VIEW.

La aplicación desarrollada en Lab View cuenta con una serie de controles, por medio de los cuales el usuario tiene acceso a diversos parámetros de control dentro de la aplicación. Asimismo cuenta con una serie de indicadores que proporcionan en todo momento lo que está ocurriendo dentro del sistema que está bajo control. Estos controles e indicadores se encuentran todos reunidos en el panel frontal, el cual se muestra en la Fig. 83.

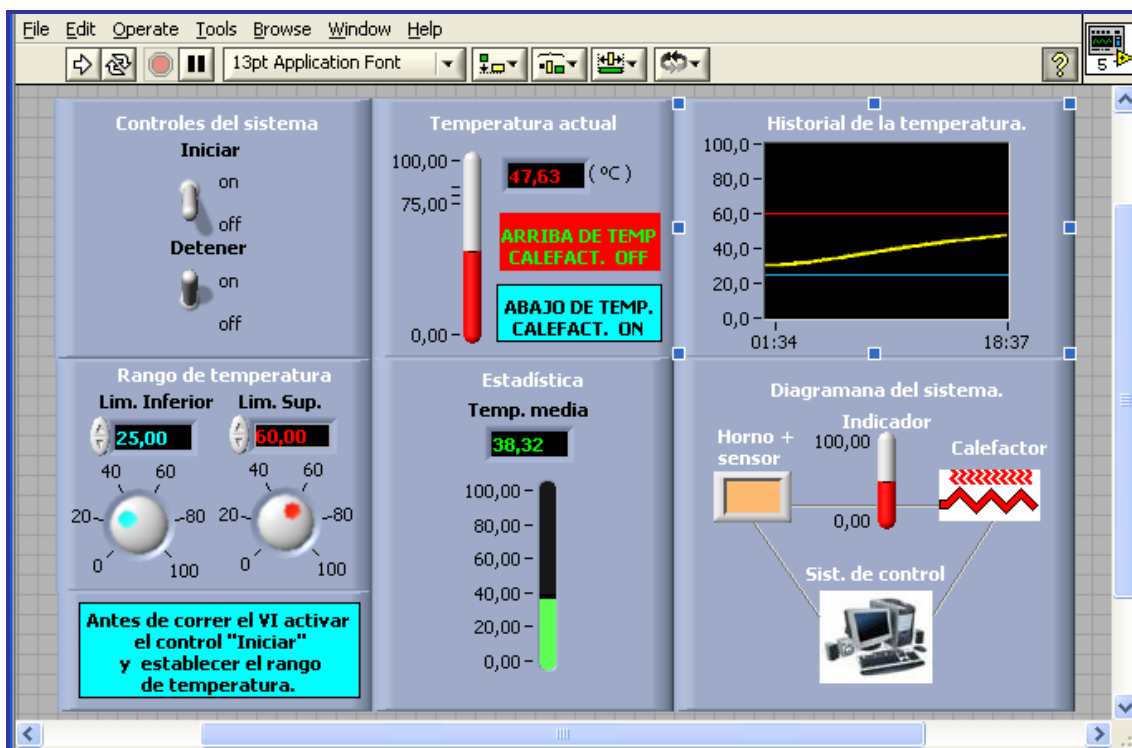


Fig. 83. Panel frontal

El diagrama de bloques para el panel frontal de la Fig. 83 se encuentra representado por la Fig. 84.

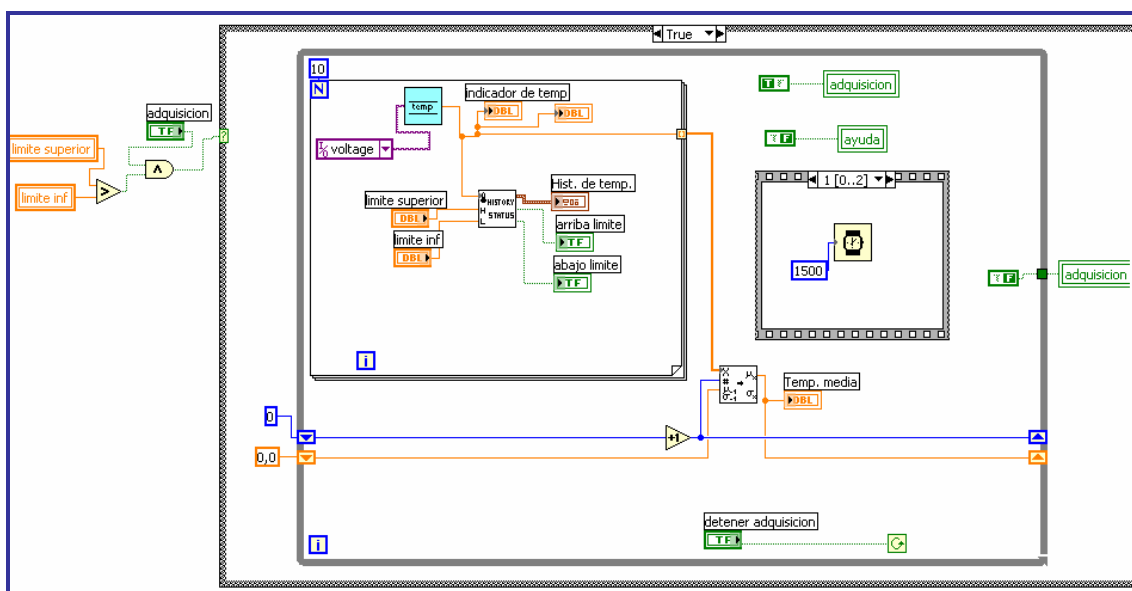


Fig. 84. Diagrama de bloques.

En cuanto a las conexiones se refiere, éstas se configuran utilizando el software NI-DAQ que viene incluido con la tarjeta de adquisición de datos.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- 1 En MAX click derecho a *Data Neighborhood* y seleccionar *Create New*.
- 2 Seleccionar *Traditional NI-DAQ Virtual Channel* en la ventana de Create New y dar click en *Finish*. Se abre el asistente para crear un nuevo canal.
- 3 Seguir las instrucciones del asistente para crear un nuevo canal. Información adicional sobre la creación de diferentes tipos de canales, referirse a *Measurement & Automation Explorer Help for Traditional NI-DAQ*.

Una vez configurado el canal virtual a utilizar para la adquisición de la señal, el siguiente paso es realizar las conexiones.

El diagrama de conexión del sensor de temperatura al linealizador se encuentra en la Fig. 85a y la conexión de la salida del linealizador - bloque conector – tarjeta de adquisición de datos se presenta en la Fig. 85b. Estas conexiones corresponden a un modo de entrada de la señal de tipo Single Ended – Ground Referenced (RSE). Las conexiones realizadas en el controlador PID están representadas por medio de la Fig. 85c.

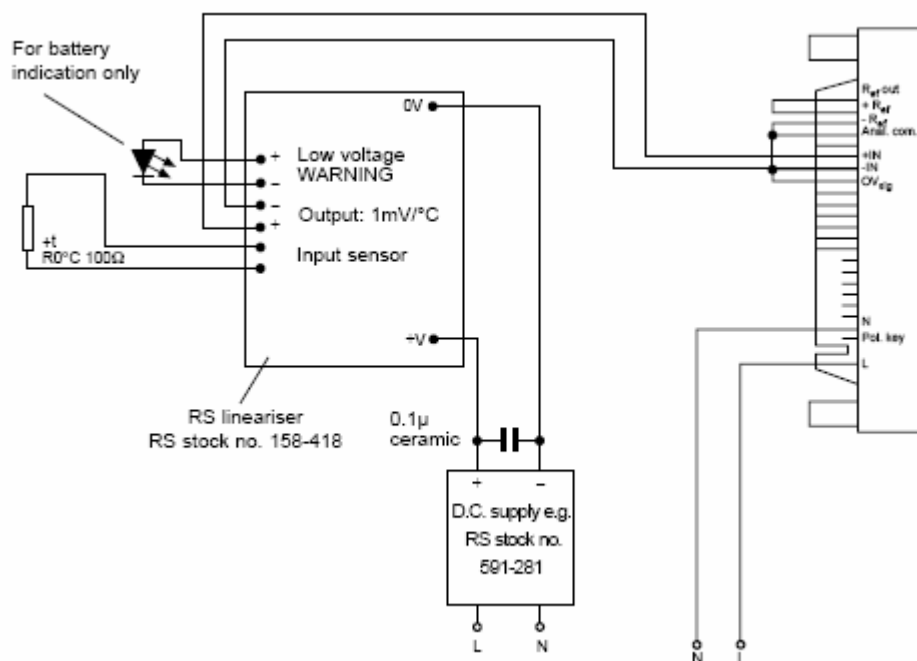


Fig. 85a. Diagrama de conexión del linealizador.

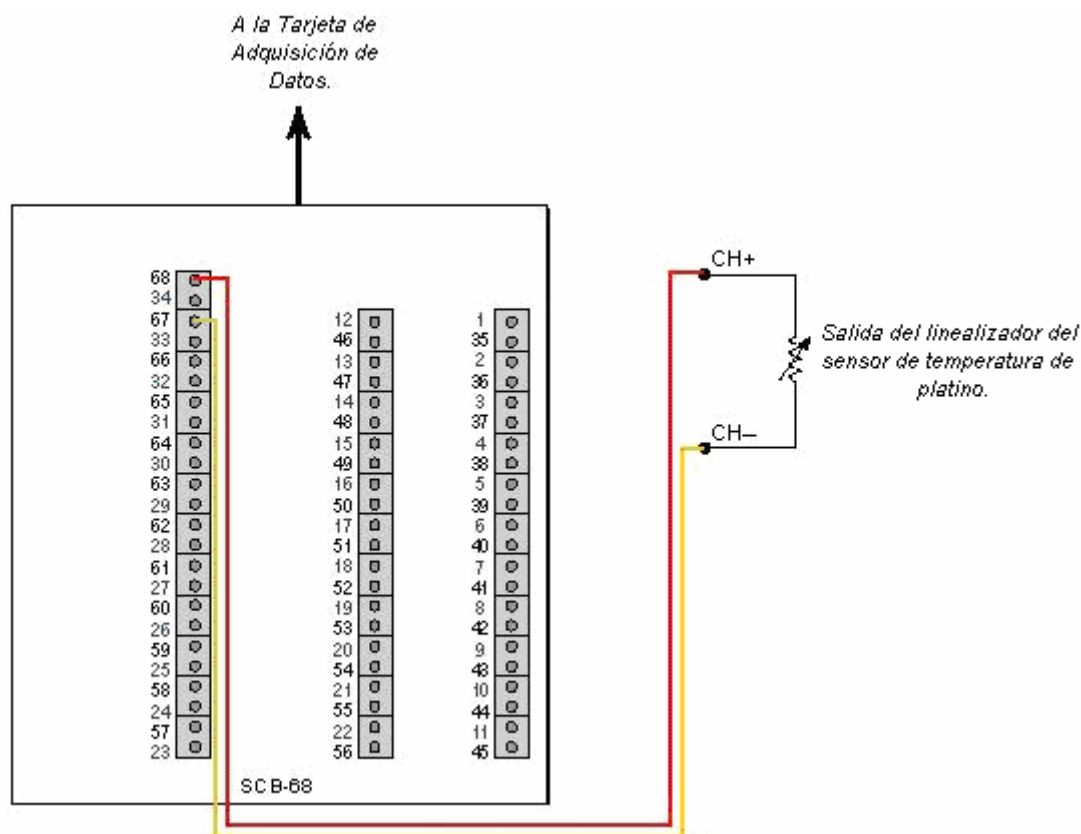


Fig. 85b. Diagrama de conexión del sensor de temperatura al bloque conector.

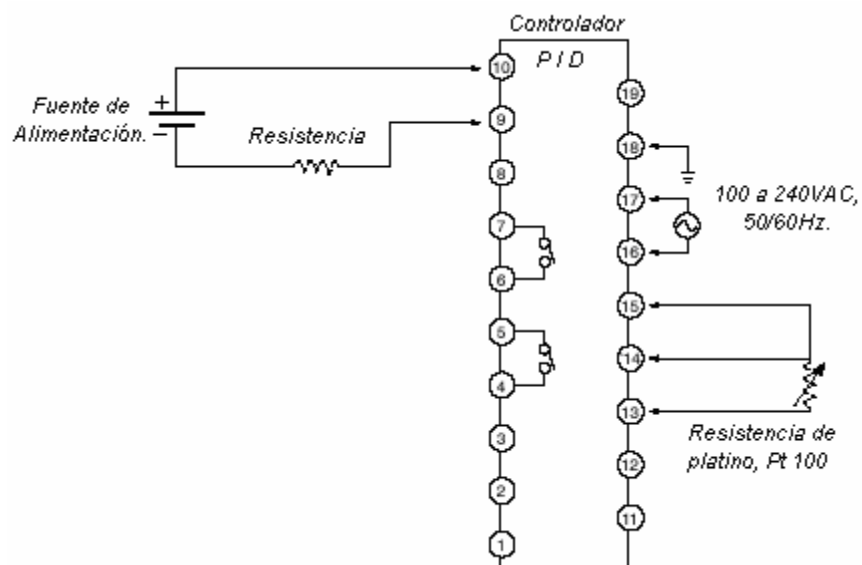


Fig. 85c. Diagrama de conexiones en el controlador PID.

7.3 PRESUPUESTO.

En la tabla 28 se presenta en detalle el precio de cada uno de los componentes involucrados en el desarrollo de la aplicación que se ha descrito anteriormente.

Tabla 28. Listado de precios de los componentes involucrados para el desarrollo de la aplicación práctica.

<i>Número</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio (€)</i>
1	Ordenador <ul style="list-style-type: none"> ✓ Procesador/MHz 2600XP+AMD BOX ✓ 512 MB de RAM ✓ 80 GB en disco duro ✓ monitor Samsung 17" ✓ altavoces de 240W ✓ Puertos serie y paralelo. ✓ DVD16X ✓ Regradora 52x32x52x 	1	u	684.00
2	Software de programación gráfica Lab View Professional Development System, Windows 2000/NT/XP	1	u	4445.00
3	Tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6030E y software NI-DAQ	1	u	1695.00
4	Cable Tipo SH68-68-EP.	1	u	110.00
5	Bloque conector SCB-68.	1	u	295.00
6	Controlador de temperatura OMRON E5AX-A.	1	u	500.00
7	Termorresistencia de platino, Pt100.	2	u	42.84
8	Linealizador para sensores de temperatura de platino.	1	u	122.28
9	Tubo ó vaina de protección.	2	u	28.42
10	Placa de soporte.	2	u	23.10
11	Bloque terminal.	2	u	40.32
12	Terminal sujetador entre tubo y placa de soporte.	2	u	17.20
13	Fuente de alimentación FAC - 662B	1	u	529.00
Subtotal (€).				8532.16
Otros (5% imprevistos).				426.61
Total (€).				8958.77

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Libros consultados:

1. Baturone, Aníbal Ollero, Robótica: Manipuladores y Robots Móviles, Marcombo, Barcelona, España, 2001.
2. Balcells, Joseph; Romeral, José Luis, Autómatas Programables, Marcombo, Barcelona, España, 1997.
3. Chapman, Stephen J., Máquinas Eléctricas, 3ª edición, McGraw Hill, Colombia, 2001.
4. Ferraté, G., Robótica Industrial, Marcombo, Barcelona, España, 1986.
5. Groover, Mikell P.; Weiss, Mitchell; Nogel, Roger N.; Odrey, Nicholas G, Robótica Industrial. Tecnología, Programación y Aplicaciones, 1ª edición, McGraw Hill, Madrid, España, 1989.
6. Lázaro, Manuel Antonio, Lab View Programación Gráfica para el Control de Instrumentación, Paraninfo, Madrid, España, 1996.
7. Merkle, D.; Schrader, B.; Thomes, M., Manual de Estudio. Nivel Básico, “Hidráulica”, 2ª edición, Festo Didactic, 1998.
8. Mott, Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, 2ª edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1995.
9. Prede, G.; Scholz, D.; Manual de estudio. Nivel Básico, “Electroneumática”, Festo Didactic, 2001.
10. Smith, Carlos A.; Corripio, Armando B., Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica, Limusa, México, D.F., 1999.
11. Torres, Fernando; Pomares, Jorge; Gil, Pablo, Puente, Santiago T.; Aracil, Rafael, Robots y sistemas sensoriales, 2ª edición, Prentice Hall, Madrid, España, 2002.
12. Viloría, José Roldán, Prontuario de Hidráulica Industrial. Electricidad Aplicada, Paraninfo, Thomson Learning, Madrid, España, 2001

Internet:

1. *Active Sensors:* <http://www.activesensors.com/>
2. *Allen Bradley:* <http://www.ab.com/catalogs/C114-CA001A-ES-P/0fronral.pdf/>
<http://www.ab.com/manuals/sn/ER.htm> / <http://www.ab.com/catalogs/motors-ca001b-en-p.pdf>
3. *Baldor Electric company:* <http://www.baldor.com>
4. *Baumer Electric:* <http://www.baumerelectric.com/baumer/boxe.html>
5. *BEI Technologies Inc. / BEI Industrial Encoder Division:* <http://www.beiied.com/>
6. *Bitmakers, S.L.:* <http://www.bitmakers.com>
7. *Danaher Motion:*
http://www.danaherdefense.com/PDFs/Catalogs_and_Brochures/Danaher/Harowe_Resolvers_Feedback_Systems_Catalog.pdf
8. *Daytronic Corporation:* <http://www.daytronic.com/company/e-security.htm>
9. *Denquin Group:* <http://www.denquipgroup.com/>
10. *Eaton Corporation:* http://hydraulics.eaton.com/products/menu_main.htm
11. *Enerpac:* <http://www.enerpac.com/>
12. *Engineering Handbook On Line:* <http://www.engnetbase.com/books/419/Ch06.pdf>
13. *Festo:* <http://www.festo.com>
14. *General Electric Industrial Systems:*
http://www.geindustrial.com/cwc/products?famid=23&lang=en_US
15. *Global Espec. The Engineering Search Engine:* http://sensors-transducers.globalspec.com/LearnMore/Sensors_Transducers_Detectors/Linear_Position_Sensing/Optical_Triangulation_Position_Sensors
16. *Grupo Tecnológico Maser:* http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA_PRINCIPAL/index.htm
17. *Gurley Precision Instruments:* <http://www.gurley.com>
18. *Heidenhain corporation:* <http://www.heidenhain.com/main.html>
19. *Ingeniería en Sistemas de Seguridad:* <http://www.insseg.com.mx>
20. *Intertronic:* http://www2.intertronic.es/Descargas/Catalogo_TR/catalogo_TR2001.pdf
21. *Kobold Instrument, Inc:* <http://www.kobold.com>
22. *Lap Laser:* http://www.lap-laser.com/e/laser_g/prod/prod.html

23. *LMI 3D Machine vision:*
<http://www.lmint.com/cfm/index.cfm?It=900&Id=37&Se=2&Lo=2>
24. *Macrosensors Division of Howard Á. Schaevitz Technologies Inc.:*
<http://www.macrosensors.com/>
25. *Moog Components Grou, Poly Scientific:* <http://www.polysci.com/>
26. *Neumac:* <http://www.neumac.es/htm/es/neumacn/neumacn.htm>
27. *Novotechnic:* <http://www.novotechnik.com/>
28. *Omega Engineering, Inc.:* <http://www.omega.com>
29. *Omron:* <http://www.espanol.omron.com>
30. *Parker:*
<http://www.parker.com/frameless/default.asp?FamID=0&DivID=0&GID=9&TechID=10&Type=2&ID=31&img=1&>
<http://www.parker.com/frameless/default.asp?FamID=0&DivID=0&GID=9&TechID=6&Type=2&ID=31&img=1&>
31. *Pico Technology Limited:* <http://www.picotech.com/applications/pt100.html>
32. *Pyrometer Instrument Company:* <http://www.pyrometer.com>
33. *RS Amidata:* <http://www.amidata.es>
34. *Schneider Electric:*
<http://www.schneiderelectric.es/telemecanique/indexTelemecanique.html>
35. *Sensor Systems L.L.C.:* <http://www.vsensors.com/>
36. *Sensors Partners BV:* <http://www.sensor.nl/english.html>
37. *Sentech Inc.:* <http://www.sentechlvd.com/index.asp>
38. *Servo System Co.:* <http://www.servosystems.com/motion.htm>
39. *Sick Sensor Intelligence:* <http://www.sick.com>
40. *Siemens:* <http://www.siemens.com>
http://mediaibox.siemens.com.br/mediaibox/templates/catalogo_manuais.asp?canal=38&curpage=2&produto=&marca=&titulos=&idioma=&familia=
41. *Thermometrics Corporation:* <http://www.thermometricscorp.com/index.html>
42. *Universidad de Chile:* <http://cipres.cec.uchile.cl/~gbenucci/radiacion.html>
43. <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r69/r69.htm>
44. http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/index.htm

45. *<http://www.monografias.com>*
46. *<http://www.schilling.com.ar>*

Anexos.

	Página.
ANEXO I: ESPECIFICACIONES DEL ORDENADOR.	223
ANEXO II: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	224
ANEXO III: ESPECIFICACIONES DEL LINEALIZADOR DE SENSORES DE TEMPERATURA.	239
ANEXO IV: ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.	242
ANEXO V: ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.	245

ANEXO I: ESPECIFICACIONES DEL ORDENADOR.

Marca / Modelo	.
Placa Base / Chipset	7VT600-RZ Via KT600 3DDR400 FSB400 LAN
Procesador / MHz	2600XP+ AMD BOX
Ventilador	DOCTOR COOLER
Memoria RAM	ELIXIR KDOS 1 Módulo DDR 512Mb pc400
HD/RPM	80GB / 7200 SEAGATE ultraATA 100 7200
Tarjeta de Red	TARJETA DE RED 10/100 PCI INTEGRADA
Tarjeta Gráfica	TARJETA DE VIDEO 64MB AGP ATI AGP no integrada en placa
Tarjeta de Sonido	T. SONIDO COMPATIBLE SB. AC97 GIGABYTE Integrada en placa
CD-ROM / DVD	CD-ROM 52X LG
Teclado	TECLADO PS/2 GENIUS compatible español 105 teclas
Ratón	RATON GENIUS 2 botones + scroll
Disquetera	DISQUETERA 3 1/2 1.44MB PANASONIC(NEC)
Caja / Fuente	CAJA SEMITORRE ATX AZUL MET.300W GENIUS Semitorre ATX 300w
Monitor	SAMSUNG MONITOR SM753S 17" SAMSUNG 0,27 DOT PICH Tamaño de diagonal 17" Plug & Play Si Dot pitch máximo 0,27 mm (H) Resolución soportada 1280 *1024@60 Hz Frecuencia de pixel máxima 110 MHz Frecuencia horizontal 30-70 kHz aprox. MultiSync
Altavoces	ALTAVOCES 240W GENIUS 240w
Slots PCI Libres	5 PCI, 1 AGP, 1 CNR
Puertos	2 SERIE 1 PARALELO 2 USB + 4USB
Precio (IVA Incluido)	636 €

Componentes (opcionales)	Incremento sobre el precio (Iva Inc.)
MEMORIA RAM AMPLIACION A 1024MB DDR KDOS DDR PC400	102 €
DISCO DURO A 120 GB 7.200 RPM SEAGATE 120 GB, 7200 RPM	27 €
T.VIDEO ATI RADEON 9200 128MB ATI 128MB	22 €
DVD SUST. CD, POR DVD LG 16X LG 16X	14 €
REGRABADORA LG 52X32X52 LG 52X32X52	34 €

ANEXO II: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

NI 6030E/6031E/6032E/6033E Family Specifications

This document lists the I/O terminal summary and specifications for the devices that make up the NI 6030 E family of devices. This family includes the following devices:

NI PXI-6030E and PCI-MIO-16XE-10 (NI 6030E)
 NI PCI/PXI-6031E
 NI PCI-6032E
 NI PCI-6033E

For the most current edition of this document, refer to ni.com/manuals. For more information about using your E Series device, refer to the *E Series Help* at ni.com/manuals or on your NI-DAQ CD. Refer to the *DAQ Quick Start Guide* for more information about accessing documents on the NI-DAQ CD.

Note With NI-DAQmx, National Instruments has revised its terminal names so they are easier to understand and more consistent among NI hardware and software products. The revised terminal names used in this document are usually similar to the names they replace. For a complete list of Traditional NI-DAQ terminal names and their NI-DAQmx equivalents, refer to the *Terminal Name Equivalents* table in the *E Series Help*.

Tabla 1. I/O Terminal Summary.

Terminal Name	Terminal Type and Direction	Impedance Input/ Output	Protection (Volts) On/Off	Source (mA at V)	Sink (mA at V)	Rise Time (ns)	Bias
AI <0..15> AI <16..63> ¹	AI	100 GΩ in parallel with 100 pF	25/15	—	—	—	±1 nA
AI SENSE AI SENSE 2 ¹	AI	100 GΩ in parallel with 100 pF	25/15	—	—	—	±1 nA
AI GND	—	—	—	—	—	—	—

Table 1. I/O Terminal Summary (Continued).

Terminal Name	Terminal Type and Direction	Impedance Input/ Output	Protection (Volts) On/OFF	Source (mA at V)	Sink (mA at V)	Rise Time (ns)	Bias
AO 0 ²	AO	0.1 Ω	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	5 V/ μ s	—
AO 1 ²	AO	0.1 Ω	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	5 V/ μ s	—
AO GND	—	—	—	—	—	—	—
D GND	—	—	—	—	—	—	—
+5 V	—	0.1 Ω	Short-circuit to ground	1 A	—	—	—
P0.<0..7>	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	13 at ($V_{CC} - 0.4$)	24 at 0.4	1.1	50 k Ω pu
AI HOLD COMP	DO	—	—	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
EXTSTROBE*	DO	—	—	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 0/(AI START TRIG)	AI/DIO	10 k Ω	$V_{CC} + 0.5/\pm 35$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	9 k Ω pu and 10 k Ω pd
PFI 1/(AI REF TRIG)	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 2/(AI CONV CLK)*	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 3/CTR 1 SOURCE	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 4/CTR 1 GATE	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
CTR 1 OUT	DO	—	—	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 5/(AO SAMP CLK)*	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 6/(AO START TRIG)	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 7/(AI SAMP CLK)	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
PFI 8/CTR 0 SOURCE	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at ($V_{CC} - 0.4$)	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu

Table 1. I/O Terminal Summary (Continued).

Terminal Name	Terminal Type and Direction	Impedance Input/Output	Protection (Volts) On/Off	Source (mA at V)	Sink (mA at V)	Rise Time (ns)	Bias
PFI 9/CTR 0 GATE	DIO	—	$V_{CC} + 0.5$	3.5 at $(V_{CC} - 0.4)$	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
CTR 0 OUT	DO	—	—	3.5 at $(V_{CC} - 0.4)$	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
FREQ OUT	DO	—	—	3.5 at $(V_{CC} - 0.4)$	5 at 0.4	1.5	50 k Ω pu
<p>* Indicates active low</p> <p>¹ NI 6031E and NI 6033E only</p> <p>² Not available on NI 6032E and NI 6033E</p> <p>AI = Analog Input DIO = Digital Input/Output pd = pull-down AO = Analog Output DO = Digital Output pu = pull-up AI/DIO = Analog Input/Digital Input/Output</p> <p>Note: The tolerance on the 50 kΩ pull-up and pull-down resistors is large. Actual value might range between 17 kΩ and 100 kΩ.</p>							

SPECIFICATIONS.

The following specifications are typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Input Characteristics

Number of channels

NI 6030E, NI 6032E.....16 single-ended or 8 differential
(software-selectable per channel)

NI 6031E, NI 6033E.....64 single-ended or 32 differential
(software-selectable per channel)

Type of A/D converter (ADC).....Successive approximation

Resolution.....16 bits, 1 in 65,536

Max sampling rate (single-channel).....100 kS/s guaranteed

Input signal ranges

Range (Software-Selectable)	Input Range	
	Bipolar	Unipolar
20 V	± 10 V	—
10 V	± 5 V	0 to 10 V
5 V	—	0 to 5 V
4 V	± 2 V	—
2 V	± 1 V	0 to 2 V
1 V	± 500 mV	0 to 1 V
500 mV	—	0 to 500 mV
400 mV	± 200 mV	—
200 mV	± 100 mV	0 to 200 mV
100 mV	—	0 to 100 mV

Input coupling.....DC

Max working voltage.....Each input should remain within
 ± 11 V of ground.

Overvoltage protection

Powered on..... ± 25 V

Powered off..... ± 15 V

Inputs protected

NI 6030E, NI 6032E.....AI <0..15>, AI SENSE

NI 6031E, NI 6033E.....AI <0..63>, AI SENSE,
AI SENSE 2

FIFO buffer size.....512 samples (S)

DMA

Channels.....3

Data sources/destinations.....Analog input, analog output,
counter/timer 0, or counter/timer 1

Data transfers.....Direct memory access (DMA),
interrupts, programmed I/O

DMA modes.....Scatter-gather (single-transfer,
demand-transfer)

Configuration memory size.....512 words (1 word = 8 bits)

Accuracy Information

Nominal Range (V)		Absolute Accuracy							Relative Accuracy	
		% of Reading		Offset (μ V)	Noise + Quantization (μ V)		Temp Drift (%/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)	Resolution (μ V)	
Positive Full Scale	Negative Full Scale	24 Hours	1 Year		Single Pt.	Averaged			Single Pt.	Averaged
+10.0	-10.0	0.0044	0.0061	479.2	634.1	54.9	0.0001	1.147	723.3	72.3
+5.0	-5.0	0.0344	0.0361	243.6	317.1	27.5	0.0006	2.077	361.6	36.2
+2.0	-2.0	0.0344	0.0361	102.2	126.8	11.0	0.0006	0.836	144.7	14.5
+1.0	-1.0	0.0344	0.0361	55.1	63.4	5.5	0.0006	0.422	72.3	7.2
+0.5	-0.5	0.0344	0.0361	31.6	36.8	3.2	0.0006	0.215	42.2	4.2
+0.2	-0.2	0.0394	0.0411	17.4	22.5	2.0	0.0006	0.102	26.5	2.7
+0.1	-0.1	0.0044	0.0461	12.7	19.6	1.8	0.0006	0.061	24.1	2.4
10.0	0.0	0.0044	0.0061	326.6	417.8	36.6	0.0001	0.976	482.2	48.2
5.0	0.0	0.0344	0.0361	167.3	208.9	18.3	0.0006	1.992	241.1	24.1
2.0	0.0	0.0344	0.0361	71.7	83.6	7.3	0.0006	0.802	96.4	9.6
1.0	0.0	0.0344	0.0361	39.9	41.8	3.7	0.0006	0.405	48.2	4.8
0.5	0.0	0.0344	0.0361	23.9	28.1	2.5	0.0006	0.207	33.1	3.3
0.2	0.0	0.0394	0.0411	14.4	19.6	1.8	0.0006	0.098	24.1	2.4
0.1	0.0	0.0444	0.0461	11.2	18.1	1.7	0.0006	0.059	22.9	2.3

Absolute Accuracy = (% of Reading \times Voltage) + Offset + Noise + (Temp Drift \times Voltage)

Note: Temp Drift applies only if ambient is greater than ± 10 °C of previous external calibration. Accuracies are valid for measurements following an internal E Series Calibration. Averaged numbers assume dithering and averaging of 100 single-channel readings. Measurement accuracies are listed for operational temperatures within ± 1 °C of internal calibration temperature and ± 10 °C of external or factory calibration temperature. One-year calibration interval recommended. The Absolute Accuracy at Full Scale calculations were performed for a maximum range input voltage (for example, 10 V for the ± 10 V range) after one year, assuming 100-point averaging of data.

Transfer Characteristics.Relative accuracy..... ± 0.75 LSB typ, ± 1 LSB maxDifferential nonlinearity (DNL)..... ± 0.5 LSB typ, ± 1 LSB max

No missing codes.....16 bits, guaranteed

Offset error

State	NI 603XE Devices
Pregain error after calibration	± 3 μ V max
Pregain error before calibration	± 2.2 mV max
Postgain error after calibration	± 76 μ V max
Postgain error before calibration	± 102 mV max

Gain error (relative to calibration reference)

After calibration (gain = 1)..... ± 30.5 ppm of reading maxBefore calibration..... $\pm 2,150$ ppm of reading max

With gain error adjusted to 0 at gain = 1

Gain $\neq 1$ ± 200 ppm of reading max***Amplifier Characteristics***

Input impedance

Normal, powered on 100 G in parallel with 100 pF

Powered off 820 Ω minOverload 820 Ω minInput bias current ± 1 nAInput offset current ± 2 nA

Common-mode rejection ratio (CMRR), DC to 60 Hz

Range	CMRR	
	Bipolar (dB)	Unipolar (dB)
20 V	92	—
10 V	97	92
5 V	—	97
4 V	101	—
2 V	104	101
1 V	105	104
100 mV to 500 mV	105	105

Dynamic Characteristics

Bandwidth (–3 dB)

All gains.....255 kHz

Settling time for full-scale step (DC to all gains and ranges)

Device	Accuracy ¹		
	$\pm 0.00076\%$ (± 0.5 LSB)	$\pm 0.0015\%$ (± 1 LSB)	$\pm 0.0061\%$ (± 4 LSB)
NI 6030E and NI 6032E	40 μ s max	20 μ s max	10 μ s max
NI 6031E and NI 6033E	50 μ s max	25 μ s max	10 μ s max

¹ Accuracy values are valid for source impedances < 1 k Ω . Refer to *Multichannel Scanning Considerations* in the *E Series Help* for more information.

System noise (LSB_{rms}, including quantization)

Range	Bipolar	Unipolar
2 to 20 V	0.6	0.8
1 V	0.7	0.8
400 to 500 mV	1.1	1.1
200 mV	2.0	2.0
100 mV	—	3.8

Crosstalk (DC to 100 kHz)

Adjacent channels.....-75 dB

All other channels.....-90 dB

Stability

Offset temperature coefficient

Pregain..... ± 5 V/°CPostgain..... ± 120 V/°CGain temperature coefficient..... ± 8 ppm/°C**Analog Output (NI 6030E/6031E Only)****Output Characteristics**

Number of channels.....2 voltage

Resolution.....16 bits, 1 in 65,536

Max update rate.....100 kS/s

Type of digital-to-analog

converter (DAC).....Double-buffered

FIFO buffer size.....2,048 samples (S)

Data transfers.....DMA, interrupts,
programmed I/ODMA modes.....Scatter-gather (single-transfer,
demand-transfer)**Accuracy Information**

Nominal Range (V)		Absolute Accuracy					Absolute Accuracy at Full Scale (mV)
		% of Reading			Offset	Temp Drift	
Positive Full Scale	Negative Full Scale	24 Hours	90 Days	1 Year	(μ V)	(%/°C)	
10	-10	0.0045	0.0053	0.0062	812.8	0.0001	1.430
10	0	0.0045	0.0053	0.0062	583.9	0.0001	1.201

Absolute Accuracy = (% of Reading \times Voltage) + Offset + (Temp Drift \times Voltage)

Note: Temp drift applies only if ambient is greater than ± 10 °C of previous external calibration.

Transfer Characteristics

Relative accuracy, or integral nonlinearity (INL).....	± 0.5 LSB typ, ± 1 LSB max
DNL.....	± 1 LSB max
Monotonicity.....	16 bits, guaranteed
Offset error	
After calibration.....	305 μ V max
Before calibration.....	20 mV max
Gain error (relative to internal reference)	
After calibration.....	± 30.5 ppm max
Before calibration.....	$\pm 2,000$ ppm max

Voltage Output

Range.....	± 10 V, 0 to 10 V (software-selectable)
Output coupling.....	DC
Output impedance.....	0.1 max
Current drive.....	± 5 mA
Protection.....	Short-circuit to ground
Power-on state.....	0 V (± 20 mV)
Dynamic Characteristics	
Settling time for full-scale step.....	10 μ s to ± 1 LSB accuracy ¹
Slew rate.....	5 V/ μ s
Noise.....	60 μ Vrms, DC to 1 MHz

Stability

Offset temperature coefficient	± 50 μ V/ $^{\circ}$ C
Gain temperature coefficient.....	± 7.5 ppm/ $^{\circ}$ C

¹ Accuracy values are valid for source impedances < 1 k Ω . Refer to *Multichannel Scanning Considerations* in the *E Series Help* for more information.

Digital I/O

Number of channels.....8 input/output

Compatibility.....5 V TTL/CMOS

Digital logic levels on P0.<0..7>

Level	Min	Max
Input low voltage	0 V	0.8 V
Input high voltage	2 V	5 V
Input low current ($V_{in} = 0$ V)	—	-320 μ A
Input high current ($V_{in} = 5$ V)	—	10 μ A
Output low voltage ($I_{OUT} = 24$ mA)	—	0.4 V
Output high voltage ($I_{OUT} = -13$ mA)	4.35 V	—

Power-on state.....Input (high-impedance)

Data transfers.....Programmed I/O

Transfer rate

Maximum with NI-DAQ,

system-dependent.....50 kwords/s

Constant suitable rate.....1 to 10 kwords/s, typ

Timing I/O

Number of channels

Up/down counter/timers 2

Frequency scaler 1

Resolution

Up/down counter/timers 24 bits

Frequency scaler 4 bits

Compatibility 5 V TTL/CMOS

Digital logic levels

Level	Min	Max
Input low voltage	0.0 V	0.8 V
Input high voltage	2.0 V	5.0 V
Output low voltage ($I_{out} = 5 \text{ mA}$)	—	0.4 V
Output high voltage ($I_{out} = -3.5 \text{ mA}$)	4.35 V	—

Base clocks available

Up/down counter/timers..... 20 MHz, 100 kHz

Frequency scaler..... 10 MHz, 100 kHz

Base clock accuracy..... $\pm 0.01\%$

Max external source frequency

Up/down counter/timers..... 20 MHz

External source selections..... PFI <0..9>, RTSI <0..6>, analog
trigger, software-selectable

External gate selections..... PFI <0..9>, RTSI <0..6>, analog
trigger, software-selectable

Min source pulse duration..... 10 ns in edge-detect mode

Min gate pulse duration..... 10 ns in edge-detect mode

Data transfers

PCI/PXI up/down

counter/timer..... DMA (scatter-gather), interrupts,
programmed I/O

DAQCard up/down

counter/timer..... DMA (scatter-gather), interrupts,
programmed I/O

Frequency scaler..... programmed I/O

Trigger

Analog Trigger

Purpose

Analog Input.....	Start, reference, and pause trigger, sample clock
Analog Output.....	Start and pause trigger, sample clock
Counter/timers.....	Source, gate

Source

NI 6030E, NI 6032E.....	AI <0..15>, PFI 0/AI START TRIG
NI 6031E, NI 6033E.....	AI <0..63>, PFI 0/AI START TRIG

Level

Internal.....	±Full scale
External.....	±10 V

Slope..... Positive or negative
(software-selectable)

Resolution..... 12 bits, 1 in 4,096

Hysteresis..... Programmable

Bandwidth (–3 dB)

PCI devices.....	255 kHz internal, 4 MHz external
PXI devices.....	255 kHz internal/external

External input (PFI 0/AI START TRIG)

Impedance..... 10 k Ω

Coupling..... DC

Protection

When configured

as a digital signal..... 0.5 to $V_{CC} + 0.5$ V

When configured as an

analog signal or disabled..... ±35 V

Powered off..... ±35 V

Accuracy..... ±1% of full-scale range

Digital Trigger

Purpose

Analog Input.....	Start, reference, and pause trigger, sample clock
Analog Output.....	Start and pause trigger, sample clock
Counter/timers.....	Source, gate
External sources.....	PFI <0..9>, RTSI <0..6>
Compatibility.....	5 V TTL
Response.....	Rising or falling edge
Pulse width.....	10 ns min

RTSI (PCI Only)

Trigger lines.....	7
--------------------	---

PXI Trigger Bus (PXI Only)

Trigger lines.....	6
--------------------	---

Star trigger.....	1
-------------------	---

Calibration

Recommended warm-up time.....	15 minutes
Calibration interval.....	1 year
External calibration reference.....	Between 6 and 9.999 V
Onboard calibration reference	
Level.....	5.000 V (± 1.0 mV), over full operating temperature, actual value stored in EEPROM
Temperature coefficient.....	± 0.6 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ max
Long-term stability.....	± 6 ppm/ $\sqrt{1,000}$ h

Bus Interface

Type.....	Master, slave
-----------	---------------

Power**Bus Requirements**

+5 VDC ($\pm 5\%$).....1.5 A

Note Excludes power consumed through V_{CC} available at the I/O connector.

I/O Connector

Power available at I/O connector.....+4.65 to +5.25 VDC at 1 A

Physical

Dimensions (not including connectors)

PCI devices.....17.5 by 10.6 cm (6.9 by 4.2 in.)

PXI devices.....16.0 by 10.0 cm (6.3 by 3.9 in.)

I/O connector

NI 6030E, NI 6032E.....68-pin male SCSI-II type

NI 6031E, NI 6033E.....100-pin female 0.05 D-type

Maximum Working Voltage

Maximum working voltage refers to the signal voltage plus the common-mode voltage.

Channel-to-earth.....42 V, Installation Category II

Channel-to-channel.....42 V, Installation Category II

Environmental

Operating temperature.....0 to 50 °C

Storage temperature.....-20 to 70 °C

Relative humidity

PCI devices.....10 to 90%, noncondensing

PXI devices.....10 to 90%, noncondensing

Maximum altitude.....2,000 meters

Pollution Degree (indoor use only)2

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 3111-1, UL 61010B-1
- CAN/CSA C22.2 No. 1010.1

Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/hardref.nsf, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

Emissions.....EN 55011 Class A at 10 m
FCC Part 15A above 1 GHz

Immunity.....EN 61326:1997
A2:2001, Table 1

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Note For EMC compliance, you *must* operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety).....73/23/EEC

Electromagnetic Compatibility
Directive (EMC).....89/336/EEC

Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/hardref.nsf, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

ANEXO III: ESPECIFICACIONES DEL LINEALIZADOR DE SENSORES DE TEMPERATURA.



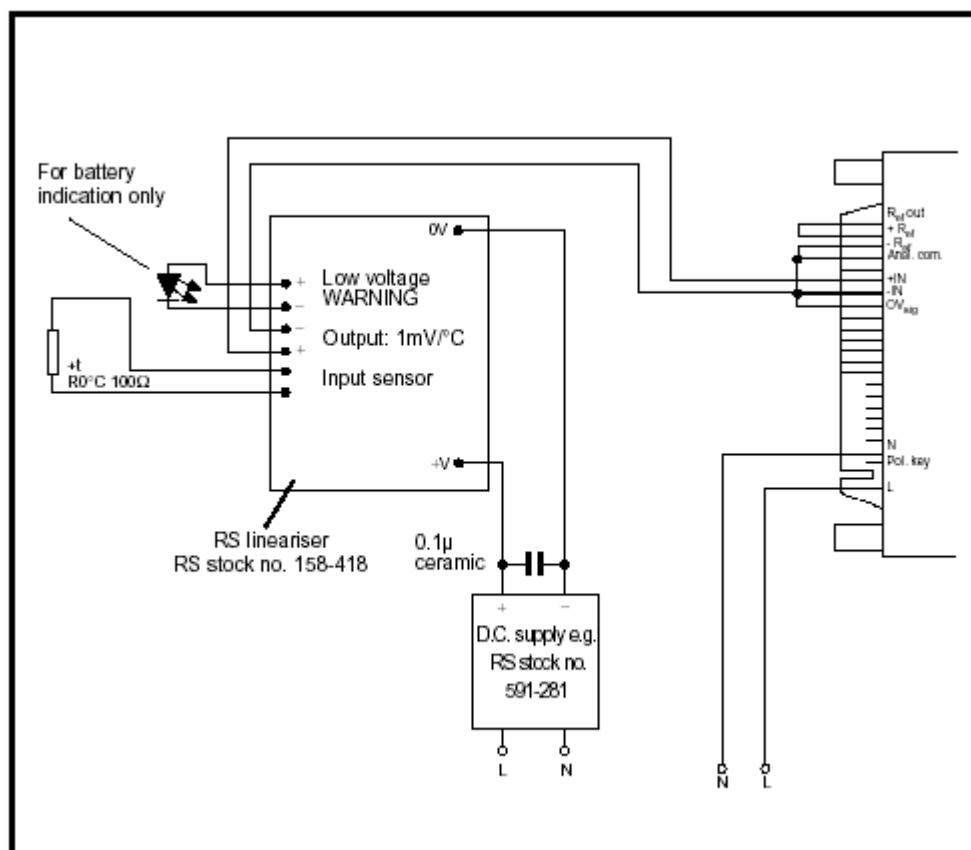
Instruction Leaflet

Platinum film temperature detector lineariser

RS stock no. 158-418

The RS platinum film temperature detector lineariser, has been designed specifically for use with RS platinum film detectors and any other platinum temperature sensors which conform to BS 1904 grade 11. The encapsulated module is suitable for p.c. mounting (0.1" grid) and contains circuitry required to produce a linearised 1mV output per degree centigrade in the range -100°C to +500°C at the sensor. Incorporated in the module is also sensing circuitry, which will produce an output suitable to directly drive an LED to indicate low supply volts, i.e. battery 'low' indication.

Connection information



Specification

Power supply voltage: _____ +7V to +15V d.c.

Power supply current: _____ 7mA

Low voltage warning: _____ Current limited output, suitable to drive LED
RS stock no. 576-327 or similar.*Note:*

Inaccurate readings may result if module is used when low voltage warning LED is illuminated.

Input sensor: _____ Platinum resistance thermometer element to BS 1904: 1964

Input temperature range: _____ -100°C to +500°C

Maximum measurement error: _____ $\pm 0.2^\circ\text{C}$ over the range
-100°C to 350°C,
 $\pm 1^\circ\text{C}$ from +350°C to +500°C

Ambient temperature range: _____ -10°C to +30°C

Output voltage: _____ 1mV per °C

Long term stability: _____ Less than 0.1°C per annum

Sensor energising current: _____ 2.1mA

Output impedance: _____ $<1\Omega$

Notes

1. The module has been individually calibrated, and care should be taken not to introduce significant input lead resistance error between the sensor and the module, i.e. avoid long, thin p.c.b. tracks or thin connecting wires.
2. If the load connected to the output of the module is capacitive (i.e. a long length of cable) then 100 Ω resistors should be inserted in series with + and - output leads ensure stability.
3. When using a lineariser with a mains powered DPM, ensure that the DPM's common mode voltage range is not exceeded. Should this occur, ensure that the lineariser is fed from an isolated supply and connect the DPM in a single ended mode (figure 1).
4. The -ve output pin sits nominally at 1.2V above the 0V rail, while the +ve output pin varies with temperature.
5. The lineariser is designed for simple installation and is suitable for remote mounting and requires no compensation loops
Providing the remote millivolt output is read using a high input impedance instrument, such as a DPM. e.g. RS stock no. 258-827, there is no loss of accuracy - the cable resistance being negligible when compared with the input impedance of the DPM.

The information provided in RS technical literature is believed to be accurate and reliable; however, RS Components assumes no responsibility for inaccuracies or omissions, or for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk.

No responsibility is assumed by RS Components for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. Specifications shown in RS Components technical literature are subject to change without notice.

ANEXO IV: ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

HARDWARE SPECIFICATIONS.

E5AX.

Supply voltage		100 to 240 VAC, 50/60 Hz	
Operating voltage		85 to 110% of rated supply voltage	
Power consumption		Approx. 10 VA at 100 VAC to 15 VA at 240 VAC	
Control output	Number	One output unit, ordered separately; mounts in internal socket of Standard E5AX-A, heater burnout E5AX-AH types. Two output units, ordered separately; mounts in internal sockets of heating/cooling E5AX-V output type.	
	Type	Relay	SPDT, 5 A, 250 VAC (resistive load) using E53-R output unit
		SSR	SPST-NO, 1 A, 75 to 250 VAC using E53-S output unit
		Voltage	40 mA, 12 VDC, NPN, using E53-Q output unit with short-circuit protection 20 mA, 24 VDC, NPN, using E53-Q3 output unit with short-circuit protection 20 mA, 24 VDC, PNP, using E53-Q4 output unit with short-circuit protection
		Current	4 to 20 mA DC, 600 Ω max. load, 8-bit resolution using E53-C output unit. Current output unit cannot be used with heater burnout type E5AX-AH.
	Isolation	All output units are optically isolated from the internal circuits	
	Hysteresis	0.0 to 999.9 °C/°F in units of 0.1 (during ON/OFF control action)	
	Update time	Output 500 ms for pulse output Display 500 ms	
Service life	100,000 electrical operations minimum for relay output unit E53-R 10 million mechanical operations minimum for relay output unit E53-R		
Alarm output	Number	One SPST-NO relay, 3 A, 250 VAC for E5AX-VA and E5AX-AH Two SPST-NO relays, 3 A, 250 VAC for E5AX-A	
	Setting range	Thermocouple: -999 to 9,999 °C/°F Platinum RTD: -99.9 to 999.9 °C/°F	
Heater burnout output E5AX-H only	Type	SPST-NO relay, 1 A, 250 VAC	
	Setting range	0.1 to 49.9 A in units of 0.1 A 0.0 setting disables the output 50.0 setting turns output ON continuously	
	Minimum detectable ON time	200 ms; heater current is not measured when the control output is ON less than 200 ms	
Indication accuracy	General	$\pm 0.3\%$ of set value or $\pm 1^\circ$, whichever is greater, ± 1 digit maximum	
	Exceptions	Accuracy of types T and U thermocouples is $\pm 2^\circ\text{C}$ (3.6°F) from -150° to 400°C (-240 to 700°F), ± 1 digit. Accuracy is not guaranteed below -150°C (-240°F). Accuracy of types R and S thermocouples is $\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5.4^\circ\text{F}$) from 0° to 200°C (32° to 400°F), ± 1 digit.	
	Heater burnout	$\pm 5\%$ of full scale, ± 1 digit maximum of heater current	
Setting accuracy		Set value coincides with the indicated value, since no relative error exists between both values	
Control modes	Type	ON/OFF or PID with automatic tuning and feed-forward circuitry to prevent overshoot	
	Proportional band	0.0 to 999.9 °C/°F in units of 0.1	
	Reset time	0 to 3,999 seconds in units of 1 second	
	Rate time	0 to 3,999 seconds in units of 1 second	
	Control period	Pulse output: 1 to 99 seconds in units of 1 second	
	Sampling period	500 ms	
Cooling coefficient		0.1 to 99.9 for model E5AX-V	
Dead band		-999 to 999 °C or °F (in 1 °C or °F units) for model E5AX-V	
Memory protection		Non-volatile memory (EEPROM)	

HARDWARE SPECIFICATIONS.
E5AX.

Other functions	Shift set input, E5AX-A, E5AX-VA	Sets a second set point. Requires no-voltage contact signal with input impedance of 100 Ω max. Thermocouple range: -999 to 9,999 °C/°F Platinum RTD range: -99.9 to 999.9 °C/°F
	Input shift, all models	Offsets input value and display value to accommodate a sensor input that deviates by a known value. Thermocouple range: -999 to 9,999 °C/°F Platinum RTD range: -99.9 to 999.9 °C/°F
	Miscellaneous, all models	Upper and lower set value limits, setting key disable, °C/°F selectable internally, Normal and Reverse output selection, DIN/JIS sensor input selection, Watchdog function to detect CPU failure and restore CPU to normal operation. Dead band and cooling coefficient for E5AX-V.
Indicators		Present Value, 15 mm H (0.59 in); Set Value, 11 mm H (0.43 in) LED digits; LED indicators for all functions
Materials		Plastic case
Mounting		Fits 1/4 DIN panel cutouts; includes two panel mounting brackets
Connections		Plated steel screw terminals mounted on rear of unit
Weight		Approx. 400 g (14 oz.)
Enclosure ratings	Front panel	IEC IP50
	Rear panel	IEC IP20
	Terminals	IEC IP00
Approvals	UL	Recognized, File Number E68481 (all models)
	CSA	Certified, File Number LR59623 (all models)
	Factory Mutual	Class Number 3545 (all E5AX-_-FMF models)
Ambient temperature	Operating	-10° to 55°C (14° to 131°F)
	Storage	-25° to 65°C (-13° to 149°F)
Humidity		35 to 85% RH
Insulation resistance		20 M Ω minimum at 500 VDC, measured with an output unit installed
Dielectric strength		2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between terminals of different polarity, measured with an output unit installed
Vibration	Mechanical durability	10 to 55 Hz, 0.75 mm (0.03 in) in X, Y, and Z directions for 2 hours each
	Malfunction durability	2 to 55 Hz, 2 G, in X, Y, and Z directions for 10 minutes each
Shock	Mechanical durability	300 m/s ² in 6 directions, 3 times each
	Malfunction durability	200 m/s ² in 6 directions, 3 times each

Standard Test Conditions:

Temperature: 20°C

Humidity: 65%

Note: Unless otherwise specified, the values described in this specification were obtained under the above standard conditions.

Storage conditions:

Store the product under the followings conditions:

Temperature: -25 to 65°C (without freezing or condensation)

Humidity: 35 to 85%

Storage Environment.

Locations where the product or containers is not exposed to corrosive gases such as hydrogen sulfide gas or salty air.

Locations where no visible dust exists.

Locations not subject to direct sunlight.

Do not apply stresses to the product which may result in its deformation or deterioration.

Operating Conditions.

Use the product under the followings conditions:

Temperature: -10 to 55°C

Humidity: 35 to 85%

Operating environment.

Locations where the product is not exposed to dust or corrosive gas.

Locations where the product is not subject to much vibration or shock and the product is not soaked in water or splashed with oil.

Even if the temperature stays within the specified range, avoid using in location where the temperature fluctuates greatly or where the product is exposed to the radiation from a furnace.

Do not apply stresses to the product which may result in its deformation or deterioration.

ANEXO V: ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN. FAC-662B

1 GENERALIDADES.

1.1 Descripción.

El modelo FAC-662B es una fuente doble, regulable, estabilizada y protegida contra sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos.

Dispone también de una salida auxiliar, fija de 5V/2A. Las dos salidas principales (S1 y S2) pueden utilizarse como dos fuentes independientes, o conectarse en serie, en paralelo, o como fuente doble simétrica (tracking), simplemente accionando el pulsador apropiado del panel frontal.

Un voltímetro y un amperímetro digitales, conmutables por separado a cada una de las salidas principales controlan las magnitudes deseadas.

Cada una de las salidas principales puede actuar:

Como fuente de tensión, con salida ajustable de forma continua, entre 0 y 30V, por medio de dos controles, grueso y fino, para mejorar la resolución.

Como fuente de corriente, con salida ajustable de forma continua, entre 0 y 1A.

1.2 Especificaciones.

SALIDAS PRINCIPALES.	
Modo independiente	0 a 30V / 0 a 1A cada una
Modo paralelo	0 a 30V / 0 a 2A
Modo serie	0 a 60V / 0 a 1A
Modo track	0 a \pm 30V / 0 a 1A
Resistencia interna.	6 m Ω (1kHz) 10 m Ω (10kHz)
Variación con la carga (0 a 100%)	
Tensión constante	< 1,5 mV
Corriente constante	< 3 mA
Variación con la red (\pm 10%)	
Tensión constante	< 1 mV
Corriente constante	< 2 mA
Tiempo de recuperación	< 50 μ s

Ruido y zumbido	
Tensión constante	< 500V rms.
Corriente constante	< 2 mA rms.
Coefficiente de temperatura	< 0,01% °C
Diferencia entre tensiones simétricas (modo track)	< 1%
Instrumentos de medida	
Precisión	± 0,1 % ± 1 dígito
Resolución voltímetro	0,1 V (3 dígitos)
Resolución amperímetro	0,01 A (3 dígitos).
SALIDA AUXILIAR	
Tensión de salida	5 V
Intensidad nominal	2 A máx.
Variación con la carga (0 a 100%)	< 2%
Variación con la red (± 10%)	< 0,1%
Ruido y zumbido	< 500µV rms
ALIMENTACIÓN	
Tensión de red.	AC 110-125-220V ± 10% / 50-60Hz. 230V, -6% / 50-60 Hz. 240V, +10% / 50-60 Hz.
Consumo	145W.
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Dimensiones	A1.185 x A.210 x P.280mm.
Peso	6,6 kg.