

**CURSO DE INSTRUMENTACION**  
**Alfonso Pérez García.**

**INDICE.**

<b>PROGRAMA .....</b>	<b>9</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>10</b>
<b>Practicas.....</b>	<b>10</b>
<b>UNIDAD 1. Conceptos Básicos.....</b>	<b>11</b>
<b>Evolución de la Instrumentación. (1.1) .....</b>	<b>11</b>
<b>Simbología ISA y SAMA. (1.2).....</b>	<b>13</b>
Diagramas de proceso e información.....	15
<b>Variables Físicas. (1.3) .....</b>	<b>20</b>
Efectos.....	20
Efecto Peltier.....	20
Efecto Seebeck (efecto termoeléctrico).....	21
Termopar (termocupla).....	21
Efecto foto eléctrico.....	21
Efecto Hall.....	22
Efecto Nernst.....	22
Efecto Piel. ....	22
Efecto piezoelectrico.....	22
La metrologia .....	23
<b>La calidad en la metrologia.....</b>	<b>24</b>
<b>CONCEPTOS: Resolucion, Sensibilidad, Exactitud etc. (1.4).....</b>	<b>25</b>
Resolución.....	25
Exactitud.....	25
Precision.....	26
Incertidumbre.....	27
<b>Unidades patron del sistema internacional de unidades .....</b>	<b>29</b>
<b>UNIDAD 2. Principios de Medición y Sensores.....</b>	<b>33</b>
<b>Sensores.....</b>	<b>33</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>33</b>
<b>SENSOR OVERVIEW .....</b>	<b>34</b>
<b>Sensores de Desplazamiento, localización o posición.....</b>	<b>39</b>
Potenciometrico.....	39
Capacitivo e Inductivo .....	40
Reluctancia Variable.....	42
Sensores de nivel.....	45
<b>Sensores de posición y movimiento.....</b>	<b>48</b>
LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMERS (LVDTS) .....	48
HALL EFFECT MAGNETIC SENSORS.....	53
OPTICAL ENCODERS .....	56
RESOLVERS AND SYNCHROS .....	58
INDUCTOSYNS .....	62

<b>ACCELEROMETERS .....</b>	<b>64</b>
<b>Medición de Nivel.(2.1) .....</b>	<b>71</b>
<b>NIVEL. ....</b>	<b>71</b>
<b>Transmisores de nivel en líquidos .....</b>	<b>71</b>
<b>Nivel tubular .....</b>	<b>71</b>
<b>Medidor de nivel de flotador .....</b>	<b>71</b>
<b>Interruptor de nivel tipo flotador.....</b>	<b>72</b>
<b>Medidor de presión diferencial.....</b>	<b>73</b>
<b>Medidor de nivel por burbujeo .....</b>	<b>74</b>
<b>Medidor radioactivo .....</b>	<b>75</b>
<b>Medidor capacitivo .....</b>	<b>76</b>
<b>Medidor por ultrasonidos .....</b>	<b>76</b>
<b>Medidor de tipo conductivímetro .....</b>	<b>76</b>
<b>Sistemas de radar .....</b>	<b>76</b>
<b>Servoposicionador.....</b>	<b>77</b>
<b>Medidores de nivel en sólidos .....</b>	<b>77</b>
<b>Medidor por palpador.....</b>	<b>77</b>
<b>Paletas rotativas .....</b>	<b>78</b>
<b>Instrumentos de nivel para líquidos .....</b>	<b>80</b>
<b>Instrumentos de nivel para sólidos.....</b>	<b>82</b>
<b>Medición de Temperatura.(2.2) .....</b>	<b>83</b>
<b>Temperatura.....</b>	<b>83</b>
<b>Sensores de temperatura.....</b>	<b>84</b>
<b>Dilatación .....</b>	<b>84</b>
<b>Termómetros de bulbo .....</b>	<b>85</b>
<b>Termómetros bimétalicos .....</b>	<b>85</b>
<b>Sensibles a la resistencia .....</b>	<b>86</b>
<b>RTD Fundamentals.....</b>	<b>86</b>
<b>RTD Basics .....</b>	<b>86</b>
<b>Summary of RTD Characteristics .....</b>	<b>86</b>
<b>Thermistor Fundamentals .....</b>	<b>88</b>
<b>Thermistor Basics.....</b>	<b>88</b>
<b>Summary of Thermistor Characteristics.....</b>	<b>88</b>
<b>Measurement Considerations When Using RTDs and Thermistors .....</b>	<b>89</b>
<b>Considerations When Using Thermistors .....</b>	<b>90</b>
<b>Fundamentos de termopares. ....</b>	<b>91</b>
<b>Tipos de Termopares.....</b>	<b>92</b>
<b>Termopares .....</b>	<b>92</b>
<b>Required Signal Conditioning for Thermocouples.....</b>	<b>93</b>
<b>Amplification for High-Resolution A/D Converter.....</b>	<b>93</b>
<b>Cold-Junction Compensation .....</b>	<b>93</b>
<b>Filtering.....</b>	<b>93</b>
<b>Linearization .....</b>	<b>93</b>
<b>Quick Tips: .....</b>	<b>93</b>
<b>Measurement Considerations When Using Thermocouples .....</b>	<b>94</b>
<b>Options for Making Temperature Measurements.....</b>	<b>94</b>

<b>Medida con termopares.....</b>	<b>95</b>
<b>Métodos sin contacto .....</b>	<b>96</b>
<b>Pirómetros de radiación .....</b>	<b>96</b>
<b>Pirómetros ópticos .....</b>	<b>96</b>
<b>Pirómetro de Radiación Total .....</b>	<b>97</b>
<b>Pirómetros de dos colores.....</b>	<b>97</b>
<b>Características de los medidores de T<sup>a</sup> .....</b>	<b>98</b>
<b>Medición de Presión.(2.3) .....</b>	<b>99</b>
<b>    PRESION. ....</b>	<b>99</b>
<b>    Understanding Pressure and pressure Measurement .....</b>	<b>99</b>
<b>        Introduction .....</b>	<b>99</b>
<b>        Pressure and Pressure Measurement.....</b>	<b>99</b>
<b>        Static Pressure Systems .....</b>	<b>101</b>
<b>        Dynamic Pressure Systems .....</b>	<b>102</b>
<b>        Steady-State Dynamic Systems.....</b>	<b>102</b>
<b>        Transient Systems .....</b>	<b>104</b>
<b>        Motorola Pressure Sensors.....</b>	<b>105</b>
<b>        Conclusion .....</b>	<b>105</b>
<b>    Sensores de Presión .....</b>	<b>106</b>
<b>        Tubo BourdonTipo C .....</b>	<b>106</b>
<b>        De hélice y espiral .....</b>	<b>106</b>
<b>        Fuelle .....</b>	<b>107</b>
<b>        Diafragma .....</b>	<b>108</b>
<b>        Sensor capacitivo .....</b>	<b>108</b>
<b>        Sensor de galgas extensiométricas.....</b>	<b>109</b>
<b>    Medicion de Flujo.(2.4) .....</b>	<b>110</b>
<b>        FLUJO. ....</b>	<b>110</b>
<b>        Medidores de presión diferencial .....</b>	<b>111</b>
<b>            Placa orificio .....</b>	<b>112</b>
<b>            Tubo Venturi .....</b>	<b>113</b>
<b>            Tubo Pitot .....</b>	<b>114</b>
<b>            Medidores de impacto:.....</b>	<b>114</b>
<b>        Medidores de velocidad.....</b>	<b>115</b>
<b>            Turbina.....</b>	<b>115</b>
<b>            Medidor electromagnético .....</b>	<b>116</b>
<b>            Medidor Vortex .....</b>	<b>117</b>
<b>            Rotámetros .....</b>	<b>117</b>
<b>            Medidores de ultrasonidos .....</b>	<b>118</b>
<b>            Medidor a pulsos .....</b>	<b>119</b>
<b>        Medidores másicos .....</b>	<b>119</b>
<b>            Medidor másico térmico.....</b>	<b>119</b>
<b>            Medidor de incremento de T<sup>a</sup> .....</b>	<b>119</b>
<b>            Medidor de Coriolis .....</b>	<b>120</b>
<b>        Medidores volumétricos .....</b>	<b>121</b>
<b>            Medidor de desplazamiento positivo.....</b>	<b>121</b>

<b>UNIDAD 3. Controladores .....</b>	<b>122</b>
<b>Modos de Control.(3.1) .....</b>	<b>125</b>
Accion correctiva de tipo proporcional.....	125
Accion correctiva de tipo derivativo.....	126
Accion correctiva de tipo integral. ....	126
<b>Sintonizacion de Controladores.(3.2) .....</b>	<b>127</b>
Metodo de entonamiento PID de Ziegler-Nichols. ....	127
Entonación simple de un PID y simulación de lazo cerrado. ....	131
Introducción. ....	131
Entonamiento del PID. ....	131
Referencias. ....	133
<b>Aplicaciones de Control.(3.3).....</b>	<b>134</b>
Introducción a la implementación de controladores PID análogos .....	134
Sistema de Control Analogo de Flujo Y Nivel de Liquido.....	151
<b>UNIDAD 4. Elementos finales de control. ....</b>	<b>164</b>
<b>Introducción.(4.1).....</b>	<b>164</b>
<b>Definiciones de válvula y piston.....</b>	<b>165</b>
<b>Válvulas.(4.2).....</b>	<b>167</b>
Cuerpo de la válvula.....	167
Tapa de la válvula .....	167
Parte internas de una válvula .....	167
<b>Tipos de válvulas .....</b>	<b>168</b>
Válvulas de control.....	169
Válvula neumática de control.....	169
<b>Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo .....</b>	<b>170</b>
Válvula de mariposa .....	170
Mariposa: .....	170
Válvula en ángulo .....	171
Válvula de tres vías. ....	171
Válvula de jaula.....	171
Válvula de compuerta.....	171
Válvula en Y.....	171
Válvula de cuerpo partido .....	171
Válvula Saunders.....	171
Válvula de compresión .....	172
Válvula de obturador excéntrico rotativo.....	172
Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.....	172
Válvula de orificio ajustable .....	172
Válvula de flujo axial.....	173
Válvula inteligente .....	173
Válvulas distribuidoras.....	173
Válvula de bola .....	174
Bola: .....	174
Válvula de globo .....	175

<b>Electroválvulas (válvulas electromagnéticas):.....</b>	<b>178</b>
<b>Funcionamiento: .....</b>	<b>179</b>
<b>Representación esquemática de las válvulas.....</b>	<b>180</b>
<b>Actuadores .....</b>	<b>182</b>
<b>Modos de accionamiento de Válvulas.....</b>	<b>182</b>
<b>Eléctricos (electrohidráulicos o electromecánicos).....</b>	<b>185</b>
<b>Características de construcción de válvulas distribuidoras .....</b>	<b>186</b>
<b>Válvulas de asiento .....</b>	<b>186</b>
<b>Válvulas de asiento esférico .....</b>	<b>186</b>
<b>Válvulas de asiento plano.....</b>	<b>186</b>
<b>Elementos accesorios a las válvulas: .....</b>	<b>187</b>
<b>Selección de válvulas de control .....</b>	<b>187</b>
<b>Característica de caudal:.....</b>	<b>188</b>
<b>Dimensionamiento .....</b>	<b>188</b>
<b>Resumen de Válvulas. ....</b>	<b>189</b>
<b>SISTEMA NEUMATICO .....</b>	<b>190</b>
<b>Transmisión de Potencia .....</b>	<b>190</b>
<b>Transmisión de Potencia a Través de una Tubería. ....</b>	<b>190</b>
<b>Presión Hidráulica. ....</b>	<b>191</b>
<b>Sistemas Neumático-Hidráulicos .....</b>	<b>192</b>
<b>Convertidores de Presión .....</b>	<b>193</b>
<b>Multiplicador de Presión.....</b>	<b>193</b>
<b>FRL (filtro regulador lubricador, ) .....</b>	<b>194</b>
<b>Pistones.(4.3).....</b>	<b>196</b>
<b>Cilindros neumáticos.....</b>	<b>196</b>
<b>Actuadores Neumáticos. ¿Que son? .....</b>	<b>196</b>
<b>Los cilindros como elementos neumáticos de movimiento rectilíneo. ....</b>	<b>197</b>
<b>Características principales de los cilindros Neumáticos.....</b>	<b>197</b>
<b>Cálculos, y relaciones importantes, tanto para el uso como para el diseño de cilindros.....</b>	<b>198</b>
<b>Fuerza del émbolo.....</b>	<b>199</b>
<b>Longitud de carrera.....</b>	<b>201</b>
<b>Velocidad de un Cilíndro. ....</b>	<b>201</b>
<b>Velocidad del émbolo. ....</b>	<b>201</b>
<b>Consumo de aire .....</b>	<b>202</b>
<b>Fijaciones .....</b>	<b>202</b>
<b>Tipos Principales de Cilindros. ....</b>	<b>205</b>
<b>Cilindros de simple efecto .....</b>	<b>205</b>
<b>Cilindro de Embolo .....</b>	<b>205</b>
<b>Cilindros de membrana .....</b>	<b>206</b>
<b>Cilindros de membrana arrollable. ....</b>	<b>206</b>
<b>Cilindros de doble efecto.....</b>	<b>207</b>
<b>Cilindros con amortiguación interna .....</b>	<b>207</b>
<b>Cilindros de doble efecto, en ejecución especial.....</b>	<b>208</b>

<b>Cilindros de doble vástago.....</b>	<b>208</b>
<b>Cilindro tandem .....</b>	<b>208</b>
<b>Cilindros sin Vástago .....</b>	<b>208</b>
<b>Control de un Cilindro sin Vástago .....</b>	<b>209</b>
<b>Cilindro multiposicional.....</b>	<b>209</b>
<b>Cilindro de impacto .....</b>	<b>209</b>
<b>Cilindro de cable.....</b>	<b>210</b>
<b>Cilindro de giro.....</b>	<b>211</b>
<b>Cilindro de émbolo giratorio.....</b>	<b>212</b>
<b>Cilindros de acción diferencial .....</b>	<b>212</b>
<b>Émbolos buzo .....</b>	<b>213</b>
<b>Cilindros Telescópicos. ....</b>	<b>213</b>
<b>Cilindros con pistón no rotativo. ....</b>	<b>214</b>
<b>Cilindros de vástago hueco. ....</b>	<b>214</b>
<b>UNIDAD 5. control por computadora.....</b>	<b>215</b>
<b>Protocolo HART .....</b>	<b>215</b>
<b>PROTOCOL HISTORY.....</b>	<b>216</b>
<b>HART COMMUNICATIONS BENEFITS .....</b>	<b>217</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>220</b>
<b>A .....</b>	<b>220</b>
<b>B .....</b>	<b>223</b>
<b>C .....</b>	<b>225</b>
<b>D .....</b>	<b>229</b>
<b>E .....</b>	<b>232</b>
<b>F .....</b>	<b>234</b>
<b>G .....</b>	<b>236</b>
<b>H .....</b>	<b>237</b>
<b>I .....</b>	<b>238</b>
<b>J .....</b>	<b>240</b>
<b>K .....</b>	<b>240</b>
<b>L .....</b>	<b>241</b>
<b>M .....</b>	<b>242</b>
<b>N .....</b>	<b>244</b>
<b>O .....</b>	<b>245</b>
<b>P .....</b>	<b>246</b>
<b>R .....</b>	<b>249</b>
<b>S .....</b>	<b>251</b>
<b>T .....</b>	<b>254</b>
<b>U .....</b>	<b>257</b>
<b>V .....</b>	<b>258</b>
<b>W .....</b>	<b>259</b>
<b>Y .....</b>	<b>260</b>

Z .....	260
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>261</b>

## PROGRAMA

**SEP DIRECCION GENERAL DE INSTITUTOS TECNOLOGICOS SEIT**

### 1. IDENTIFICACION DEL PROGRAMA DESARROLLADO POR UNIDADES DE APRENDIZAJE.

<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	<b>INSTRUMENTACION (4-2-10)</b>
<b>NIVEL</b>	<b>LICENCIATURA</b>
<b>CARRERA</b>	<b>INGENIERIA ELECTRONICA</b>
<b>CLAVE</b>	<b>ECC-9335</b>

<b>NUMERO</b>	<b>TEMA</b>	<b>SUBTEMAS</b>	<b>DURACION</b>	<b>EVAL.</b>
1	CONCEPTOS BASICOS	<b>1.1</b> EVOLUCION DE LA INSTRUMENTACION <b>1.2</b> SIMBOLOGIA ISA Y SAMA <b>1.3</b> VARIABLES FISICAS <b>1.4</b> CONCEPTOS, RESOLUCION SENSIBILIDAD EXACTITUD, ETC	<b>100% EE</b>	<b>3 SEMANAS</b>
2	SENSORES Y PRINCIPIOS DE MEDICION.	<b>2.1</b> MEDICION DE NIVEL, TEORIA BASICA, FLOTADOR, TUBO DE VIDRIO, DESPLAZAMIENTO, COLUMNAS HIDROESTATICA, ULTRASONIDO <b>2.2</b> MEDICION DE FLUJO, TEORIA BASICA, TURBINA , PLACA ORIFICIO, ETC <b>2.3</b> MEDICION DE TEMPERATURA, TEORIA BASICA, TERMOPAR, RTD, TERMISTOR, ETC <b>2.4</b> MEDICION DE PRESION, TEORIA BASICA, MANOMETRICA, ABSOLUTA, ETC	<b>100% EE</b>	<b>6 SEMANAS</b>
3	CONTROLADORES.	<b>3.1</b> MODOS DE CONTROL. <b>3.2</b> SINTONIZACION DE CONTROLADORES <b>3.3</b> APLICACIONES DE LOS CONTROLADORES	<b>50% EE 50% TI.</b>	<b>3 SEMANAS</b>
4	ACTUADORES FINALES DE CONTROL.	<b>4.1</b> VALVULAS <b>4.2</b> TIPOS DE VALVULAS <b>4.3</b> PISTONES	<b>50% EE 50% TI.</b>	<b>2 SEMANAS</b>
5	TOPICOS DE CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADORA.	<b>5.1</b> CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADORA <b>5.2</b> CONTROL DISTRIBUIDO	<b>100% TI</b>	<b>1 SEMANA</b>

**BIBLIOGRAFIA.**

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
<b>A CREUS</b>	INSTRUMENTACION INDUSTRIAL	MARCOMBO
<b>NORMAN A ANDERSON</b>	INSTRUMENTATION FOR PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL	FOXBORO
<b>BENJAMIN C. KUO</b>	SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO DISEÑO	PRENTICE HALL

Nombre.	Dirección.	Temas.
<b>NATIONAL INSTRUMENTS</b>	<a href="http://WWW.NI.COM">WWW.NI.COM</a>	
<b>ISA</b>	<a href="http://WWW.ISA.ORG">WWW.ISA.ORG</a>	
<b>SAMA</b>	<a href="http://WWW.SAMA.ORG">WWW.SAMA.ORG</a>	
<b>OMEGA</b>	<a href="http://WWW.OMEGA.COM">WWW.OMEGA.COM</a>	

**Practicas.**

PRACTICA NO.	DESCRIPCION	UNIDAD
<b>1</b>	<b>SENSORES</b>	<b>I</b>
<b>2</b>	<b>MEDIDOR DE NIVEL</b>	<b>II</b>
<b>3</b>	<b>TERMISTOR</b>	<b>II</b>
<b>4</b>	<b>RTD (LAMPARA INCANDESCENTE)</b>	<b>II</b>
<b>5</b>	<b>MEDIDOR DE TEMPERATURA</b>	<b>II</b>
<b>6</b>	<b>SENSOR DE PRESION DIAFRAGMA (GLOBO), PISTON (JERINGA)</b>	<b>II</b>
<b>7</b>	<b>MEDIDOR DE PRESION</b>	<b>II</b>
<b>8</b>	<b>MEDIDOR DE FLUJO</b>	<b>II</b>
<b>9</b>	<b>MEDICION DE PARAMETROS DE RESPUESTA NATURAL</b>	<b>III</b>
<b>10</b>	<b>CONTROLADOR DE NIVEL</b>	<b>III</b>
<b>11</b>	<b>CONSTRUCCION DE UNA VALVULA</b>	<b>IV</b>
<b>12</b>	<b>CONSTRUCCION DE UN PISTON 8JERINGA)</b>	<b>IV</b>

## UNIDAD 1. Conceptos Básicos.

### Evolución de la Instrumentación. (1.1)

Antes de comenzar con la evolución de la instrumentación, primeramente debemos de conocer el significado de esta palabra.

¿ Que es la instrumentación? Esta es un área o campo que estudia los instrumentos y ¿Qué es un instrumento? Un instrumento es un objeto, dispositivo, proceso, sistema, en términos generales algo que tiene un propósito u objetivo particular como función.

Luego un instrumento puede ser un lápiz, un vaso un voltímetro, etcétera; la función de un lápiz es como **instrumento** de escritura, un vaso sirve para contener un líquido luego es un **instrumento** de almacenamiento, y por último un voltímetro es un **instrumento** que sirve para medir voltaje.

Como hemos podido ver la palabra **instrumento** se puede aplicar de una forma muy general pero para nosotros en este curso el contexto se vera reducido a la **función de medición** y **control**, como es el caso del último instrumento mencionado anteriormente, el voltímetro es un **instrumento de medición**.

Una vez definido el contexto de la palabra instrumento, podemos proceder a hacer un análisis de su evolución, no sin antes mencionar lo que la asociación más importante a nivel mundial dice al respecto.

La sociedad de instrumentos de América o “**Instrument Society of America**”, mejor conocida como **ISA**, es la organización que mundialmente se encarga de emitir los estándares de este campo cuenta actualmente con alrededor de 30,000 miembros en todo el mundo, su página puede ser accedida en la siguiente dirección: <http://www.isa.org>. ISA define así:

#### Instrumento:

1. Un dispositivo directa o indirectamente usado para medir y/o controlar una variable. El término incluye, elementos primarios, elementos finales de control, dispositivos de computo y dispositivos eléctricos tales como anunciantes, interruptores y botones oprimibles (pushbuttons). El término no aplica a partes que son partes internas de un instrumento [S5.1] (como ejemplo diafragmas receptores o una resistencia).
2. Un dispositivo que ejecuta un análisis de una muestra de fluido y para lo cual se requiere conectar una línea de muestra, también conocida como “análizador” o “monitor” [S67.10]
3. Un dispositivo para medir el valor de un atributo observable; el dispositivo puede meramente indicar el valor observado o puede también registrar o controlarlo.
4. Medidores, Registradores, Controladores y aparatos similares que requieran el uso de una cantidad moderada de energía eléctrica en operación normal.

## Instrumentación.

1. Un conjunto de instrumentos o su aplicación con el propósito de observar , medir o controlar[**S5.1**].
2. Un conjunto de instrumentos o su aplicación con el propósito de observar, medir o controlar o cualquier combinación de estos [**S5.1**].
3. Un conjunto de instrumentos y equipo asociado o su aplicación con el propósito de observar, medir, transmitir señales, convertir de señales o cualquier combinación de estas [**S5.1**].

El hombre desde sus primeros pasos sobre la tierra enfrentó él desafío de la vida y la supervivencia. Conforme este evoluciono, en algún momento surgió la idea o muy probablemente la necesidad de comparar, de cuantificar, de medir. Seguramente la mayoría de nosotros conoce historias de hechos antiguos, algunos de estos hechos relatados en el libro más universal de la civilización humana, la **Biblia**; la famosa arca de Noé para salvarse del diluvio universal, la cual media 300 “**codos**” de largo; por supuesto existen relatos donde se menciona el uso de la “**vara**” para medir distancias y como olvidar la legendaria “**milla**” de los tiempos romanos, la cual consistia de la distancia de mil pasos caminada por un centurión romano.

La curiosidad del hombre es insaciable y desde tiempos remotos se ha maravillado ante la madre naturaleza, como olvidar a los grandes sabios griegos, que en su afán de conocimiento estudiaron la tierra, las estrellas, las formas, seguramente Pitágoras, Arquímedes hicieron uso de **instrumentos de medición**: varas, compases, balanzas etcétera.

El desarrollo del hombre y la ciencia ha sido paralelo al de los instrumentos de medición, existe una vieja máxima que dice:

“No se puede controlar lo que no se ha medido”.

Es evidente que el avance del hombre ha implicado la necesidad de controlar, y por ende la de medir.

Como trabajo adicional se recomienda hacer una investigación sobre los instrumentos de medición, una **reseña histórica** por épocas, haciendo un recorrido por las civilizaciones Egipcia, Griega, Romana, Medieval y los tiempos modernos desde la revolución industrial.

## Simbología ISA y SAMA. (1.2)

De la misma forma que en otros campos de la Ciencia y la Ingeniería, los **instrumentos de medición** también han generado la necesidad de crear **organizaciones** que agrupen a los especialistas del campo. Actualmente existen diversas organizaciones en el campo de la Ingeniería de las cuales destacan en el **campo de la instrumentación** las siguientes dos:

**ISA**      (**Instrument Society of America**)  
**SAMA**    (**Scientific Apparatus Manufacturing Association**)

Estas **organizaciones** son **reconocidas a nivel mundial** dentro del **campo de la instrumentación**, siendo estas las promotoras de la **estandarización** en el campo de los instrumentos de medición y control.

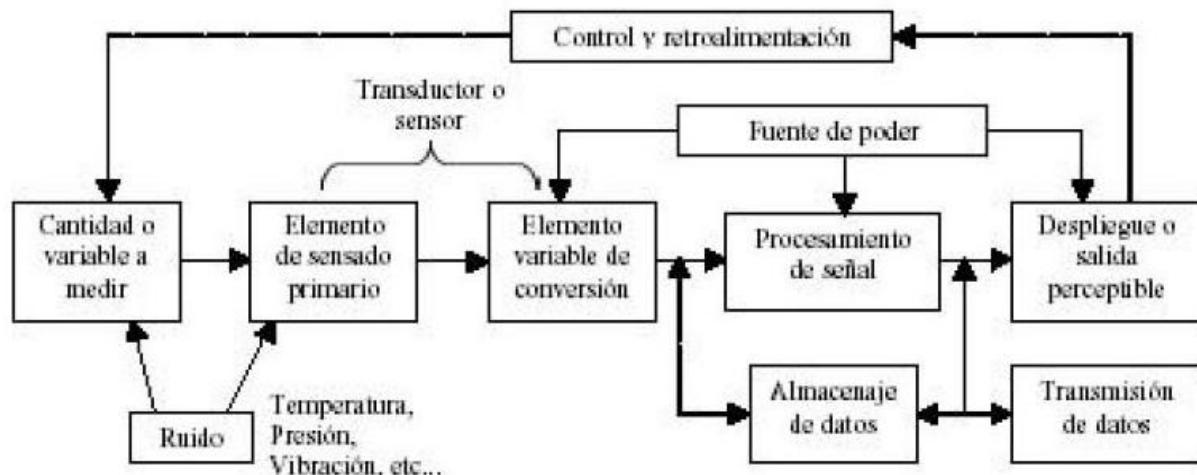
Se recomienda al estudiante que acceda la pagina de internet de **ISA** y se registre como **miembro estudiante** de esta.

Esta es la forma más **directa y fácil** de tener acceso a la **norma** o **estándar** que **define la simbología** utilizada en la **instrumentación**.

Otra forma de conocer la simbología de **ISA** es estudiarla en la obra de **Antonio Creus** llamada “**Instrumentación Industrial**” de la editorial **Alfa Omega**; aunque es preciso aclarar que no es del todo completa en esta ultima referencia.

<b>Clases de instrumentos</b>	
<b>Por la funcion.</b>	<b>Por la variable</b>
Ciegos	Caudal o flujo.
Indicadore.	Nivel.
Registradoes.	Presion.
Elementos primarios.	Temperatura.
Transmisores.	Densidad y peso especifico.
Transductores.	PH.
Convertidores.	Conductividad.
Receptore.	Peso, Fuerza.
Controladores.	Otras variables.
Actuadores.	

## Diagrama de bloques de un instrumento de medición.



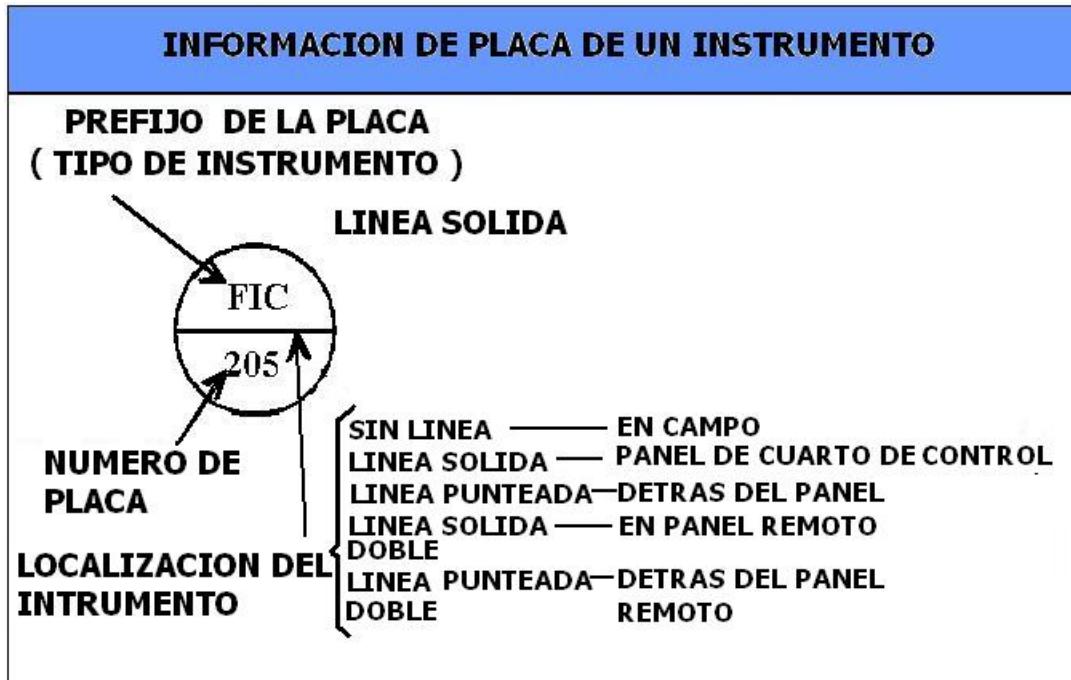
A continuación se presenta un resumen de la norma.

Simbologia norma **ISA S5.1-84.**

Un diagrama de instrumentación industrial es una descripción gráfica de un proceso que muestra una vista general de los instrumentos empleados en un formato estandar, en el diagrama cada instrumento esta identificado, asi como su funcion y relacion con otros componentes del proceso.

Un ejemplo de esto:

## Diagramas de proceso e información.



Las **líneas** se usan para indicar como están **montados** los instrumentos como se indica en el ejemplo anterior.

En el interior del símbolo existe una información **alfanumérica** que permite identificar al instrumento, la primera es la identificación funcional (prefijo de la placa) la segunda identifica el numero de lazo (numero de placa).

A continuación se presentan dos tablas, la primera con las asignaciones y significados de los símbolos, y en la segunda los códigos utilizados para el prefijo de la placa.

Tabla con el significado de los símbolos.

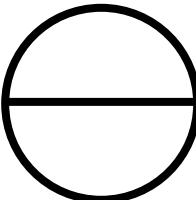
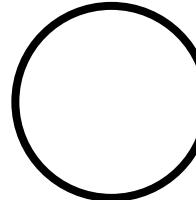
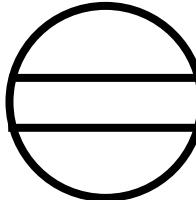
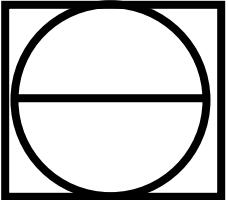
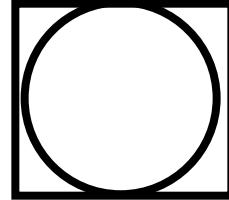
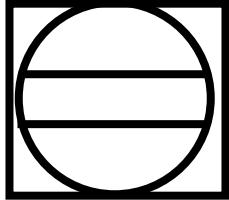
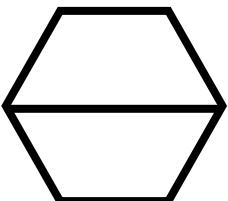
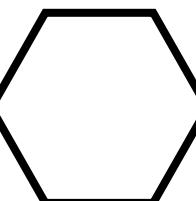
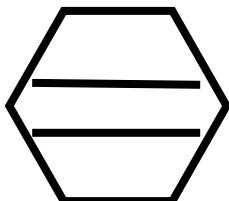
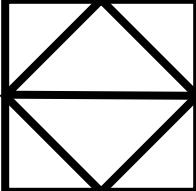
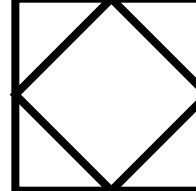
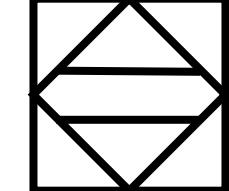
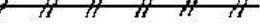
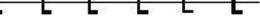
	Localización primaria, normalmente accesible al Operador.	Montado en Campo	Localización auxiliar, normalmente accesible al Operador.
Instrumentos Discretos.	1 	2 	3 
Display compartido, Control compartido	4 	5 	6 
Función de Computadora.	7 	8 	9 
Control Lógico Programable	10 	11 	12 

Tabla con la asignación de letras y su significado.

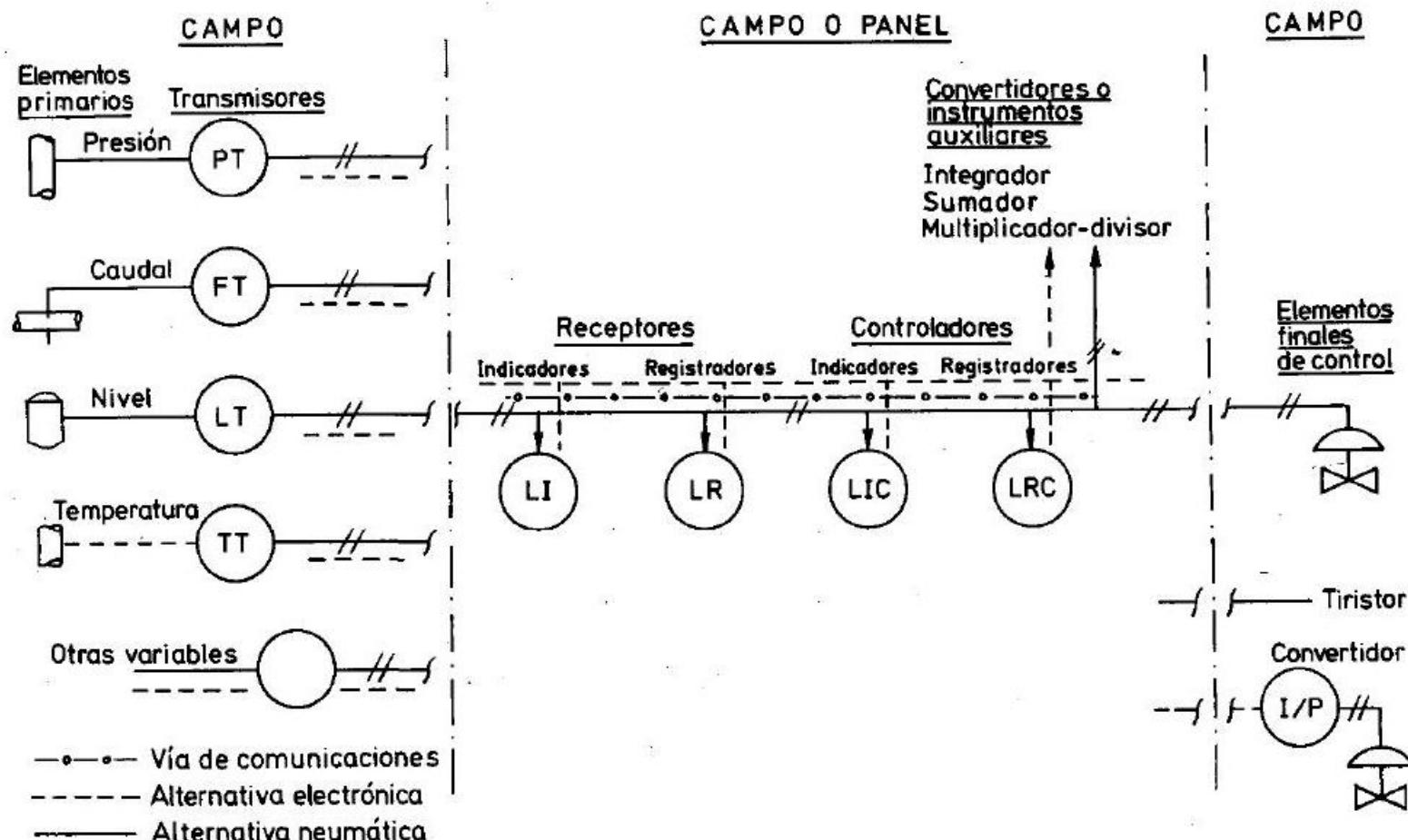
<b>1<sup>a</sup>. Letra</b>	<b>VARIABLE INICIAL O MEDIDA</b>	<b>MODIFICADOR</b>	<b>LECTURA O FUNCION PASIVA</b>	<b>FUNCION DE SALIDA</b>	<b>MODIFICADOR</b>
<b>PRIMERA LETRA</b>		<b>LETRAS SUCESIVAS</b>			
A	Analisis		Alarma		
B	Combustion, quemador		Opcion de usuario	Opcion de usuario	Opcion de usuario
C	Opcion de usuario			Control	
D	Opcion de usuario	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor (Primario)		
F	Razon de flujo	Razon (fraccion)			
G	Opcion de usuario		Vidrio, Vista		
H	Mano				Alto
I	Corriente		Indicacion		
J	Potenciar	Busqueda			
K	Tiempo, programacion de tiempo	Razon de tiempo de cambio		Estacion de Control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Opcion de usuario	Momentary			Medio
N	Opcion de usuario		Opcion de usuario	Opcion de usuario	Opcion de usuario
O	Opcion de usuario		Orificio		
P	Presion de vacio		Punto, Prueba		
Q	Cantidad	Integrador, Totalizador			
R	Radiacion	Registrador	Registro		
S	Velocidad, frecuencia	Seguridad		Switch	
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifucion	Multifucion	Multifucion

<b>1<sup>a</sup>. Letra</b>	<b>VARIABLE INICIAL O MEDIDA</b>	<b>MODIFICADOR</b>	<b>LECTURA O FUNCION PASIVA</b>	<b>FUNCION DE SALIDA</b>	<b>MODIFICADOR</b>
V	<b>Vibracion</b>				
W	<b>Peso, fuerza</b>		<b>Vaina</b>		
X	<b>No clasificado</b>	Eje x	<b>No clasificado</b>	No clasificado	No clasificado
Y	<b>Evento, Estado</b>	Eje y		Relay, Computo	
Z	<b>Posicion, Dimension</b>	Eje z		Driver, Actuador	

Algunos otros símbolos empleados.

<b>Tipos de Valvulas</b>		<b>Operadores de tipo de valvula</b>	<b>TIPOS DE LINEA DE INSTRUMENTOS</b>
 Compuerta  Diafragma  Plug  Bola  Aguja  Mariposa 	 Barstock  3 Vias  4 Vias  Transflujo  Angulo  Descarga  No especificada  Liga fusible	 Continua operada por aire  Operad por aire on/off  Operada por motor electrico  Solenoide electrico on/off	 PROCESO O LIGA MECANICA  ELECTRICA O TERMOPAR  TUBO CAPILAR  INSTRUMENTO DE AIRE O NEUMATICO  SEÑAL HIDRAULICA  ENLACE SERIAL DE SENDA DE DATOS  SEÑAL DE FIBRA OPTICA

Ejemplo de un diagrama de procesos.



## Variables Físicas. (1.3)

Una vez mas y continuando con esta forma de hacer las cosas, el cual me pide definir un **marco contextual**, esto es, una referencia precisa de las cosas, comenzaremos por definir el significado de las palabras.

**¿Qué es una variable?** Una **variable** es algo que cambia, pero no solo eso, sino que **representa un concepto**, un **fenómeno**, el valor de algo en términos generales. Así podemos hablar por ejemplo de las **variables de la economía**; la **inflación** las **tasas de interés**, etcétera, índices que “**varian**”, que cambian. Como podemos observar del ejemplo anterior la palabra puede tener un significado muy amplio dependiendo del contexto en el que estemos hablando. En el caso que nos interesa en particular, la **referencia** es el campo de la **Física**, es decir “**Variables Físicas**”, esto nos lleva a decir que una **variable física** es la representación de un **fenómeno físico o propiedad física**. Cuando hablamos de algo físico es evidente que nos referimos a los **objetos materiales**, por lo tanto una **variable física** implica los **fenómenos y propiedades de la materia**. Podríamos mencionar por ejemplo la **Temperatura**, la cual es una **medida de una propiedad de la materia** y nos dice si un objeto esta caliente o frió; la **dureza** de un material, la cual nos da una idea de la fortaleza del material o el **peso**, lo cual nos indica la fuerza con que la tierra nos atrae o como dirian el resto de los mortales que tan gorditos o flacos estamos.

Se recomienda al estudiante hacer una lista de **variables y propiedades físicas de la materia**, a manera de complemento y que las discutan en clase con el profesor.

### Efectos.

A continuación se lista la traducción de algunas definiciones sobre algunos **fenómenos** relacionados con **propiedades de la materia** y que serán de mucha utilidad para la **medición de variables físicas**.

La mayor parte de estas definiciones se obtuvieron de: <http://www.xrefer.com>

Este sitio de Internet es una **biblioteca virtual** altamente recomendable, la posible desventaja es que actualmente es accesible solo a través de una membresía institucional, de cualquier forma existen otros recursos de consulta como “**Bibitec**” la **biblioteca virtual** del sistema de **los Tecnológicos**.

### Efecto Peltier

El cambio en la temperatura producido en la unión de dos metales diferentes o semiconductores cuando una corriente eléctrica pasa a través de esta. La dirección de la corriente determina que la temperatura suba o baje. Los primeros metales en ser investigados fueron el **Bismuto** y el **Cobre**; si la corriente fluye del Bismuto al Cobre la temperatura se eleva, si por el contrario la corriente fluye al revés, la temperatura baja. El efecto fue descubierto en 1834 por **Jean Peltier** (1785-1845) y recientemente se ha utilizado para la refrigeración en baja escala. Véase el efecto **Seebeck**.

A Dictionary of Science, Oxford University Press, © Market House Books Ltd 1999

## Efecto Seebeck (efecto termoeléctrico).

La generación de una f.e.m. en un circuito conteniendo dos metales diferentes o semiconductores, cuando la unión entre estos dos se mantiene a diferentes temperaturas. La magnitud de la f.e.m. depende de la naturaleza de los metales y la diferencia en temperatura. El efecto Seebeck es la base de los **termopares**. Este fue nombrado por **Thomas Seebeck** (1770-1831) quien encontró que un campo magnético envolvería un circuito consistente de dos metales conductores solamente si la unión entre ambos metales fuera mantenida a diferentes temperaturas. Él asumió de forma incorrecta que los metales habían sido magnetizados por la diferencia de temperaturas. Véase el efecto **Peltier**.

A Dictionary of Science, Oxford University Press, © Market House Books Ltd 1999

## Termopar (termocupla).

Un dispositivo que consiste de dos metales diferentes o rodillos de semiconductor soldados por uno de sus extremos. Una f.e.m. termoeléctrica se genera en el dispositivo cuando los extremos se mantienen a diferentes temperaturas, la magnitud de la f.e.m. se relaciona con la diferencia de temperatura. Esto hace posible que un **termopar** se pueda utilizar como un **termómetro** dentro de un rango limitado de temperatura. Una de las uniones llamada **unión caliente** o **unión de medición**, se expone a la temperatura a ser medida. La otra unión conocida como **unión fría** o **unión de referencia**, se mantiene a una temperatura de referencia conocida. La f.e.m. generada se mide con un mili voltímetro apropiado o un potenciómetro incorporado dentro del circuito. Véase efecto **Seebeck** y **termo pila**.

A Dictionary of Science, Oxford University Press, © Market House Books Ltd 1999

## Efecto foto eléctrico.

La liberación de electrones (véase **foto electrón**) de una sustancia expuesta a la radiación electromagnética. El numero de electrones emitidos depende de la intensidad de radiación. La energía cinética de os electrones emitidos depende de la frecuencia de la radiación. El efecto es un proceso cuantico en el cual la radiación es tomada en cuenta como una corriente de **fotones**, cada uno teniendo una energía de **hf** donde **h** es la constante de **Planck** y **f** es la frecuencia de radiación. Un foton solo puede proyectar un electrón si la energía del mismo excede la **función trabajo** (**phi**) del sólidó, por ejemplo si  $hf_0 = (\phi)$  se proyectará un electrón,  $f_0$  es la frecuencia mínima (o **frecuencia de umbral**) en la que una proyección puede ocurrir. Para muchos sólidos el efecto foto eléctrico sucede en frecuencias del ultravioleta o por encima, pero para algunos materiales (con función de traba baja) este se produce con luz. La energía cinética máxima  $E_m$  del **foto electrón** esta dada por la **ecuación de Einstein** :  $E_m = hf - (\phi)$ . Véase también **foto ionización**.

A parte de la liberación de electrones de los átomos, otros fenómenos son también referidos como efectos foto eléctricos. Estos son el efecto **foto conductivo** y el efecto **foto voltaico**. En el efecto foto conductor, un incremento de la conductividad eléctrica del semiconductor es causado por la radiación como resultado de la excitación de portadores de carga libres adicionales debido a los fotones incidentes. Las **celdas foto conductivas**, utilizan tales materiales foto sensibles como el **sulfuro de cadmio** y estos son ampliamente utilizados como detectores de radiación e interruptores de luz, un ejemplo de ello, en las luces de alumbrado publico.

En el efecto foto voltaico, una f.e.m. se produce entre dos capas diferentes de material como resultado de la irradiación. Este efecto es utilizado en las **celdas foto voltaicas**, la mayoría de las cuales consisten de una unión PN semiconductor (véase **foto diodo** y **foto transistor**). Cuando los fotones se absorben cerca de la unión PN se producen nuevos portadores de carga libres (como en la foto conductividad), sin embargo, en el efecto foto voltaico el campo eléctrico en la unión causa que estos portadores de carga se muevan creando un flujo de corriente en un circuito externo sin la necesidad de una batería. Véase también **celda foto eléctrica**.

### Efecto Hall.

La producción de una f.e.m. dentro de un conductor o semiconductor a través del cual esta fluyendo una corriente cuando se está en un fuerte campo magnético transverso. Desarrolla una diferencia de potencial de forma ortogonal a la corriente y el campo. Esto se debe a la deflexión de los portadores de carga por causa del campo y fue descubierto primeramente por **Edwin Hall** (1855-1938). La fuerza del campo eléctrico  $E_H$  producida esta dada por la relación:  $E_H = R_H j B$  donde  $j$  es la densidad de corriente,  $B$  la densidad de flujo magnético y  $R_H$  es una constante llamada el **coeficiente Hall**. El valor de  $R_H$  puede ser calculado por  $1/n e$  donde  $n$  es el número de portadores de carga por unidad de volumen y  $e$  es la carga del electrón. El efecto se utiliza para investigar la naturaleza de los portadores de carga en los metales y semiconductores, en la punta de prueba Hall para la medición de campos magnéticos y en dispositivos interruptores operados magnéticamente. Véase también efecto Hall cuantico.

### Efecto Nernst

Un efecto en el cual un gradiente de temperatura junto con un conductor eléctrico o semiconductor puestos de forma perpendicular a un campo magnético causa una diferencia de potencial de manera ortogonal a estos y en los extremos del conductor. Este efecto es análogo al efecto Hall, fue descubierto en 1886 por **Walter Nernst** (1864-1941).

*A Dictionary of Science, Oxford University Press, © Market House Books Ltd 1999*

### Efecto Piel.

El efecto inductivo que causa una gran proporción de corriente llevada en un conductor a alta frecuencia, y que se conduce en la parte externa (**piel**) de este. La corriente varia exponencialmente x de la superficie como  $\text{EXP}(-x/(\delta))$ , la **profundidad de la piel (delta)** esta dada por:  $(\delta) = (\text{raiz cuadrada})^2 / (\sigma)(\mu)(\omega)$ , donde  $(\sigma)$  es la conductividad del conductor o alambre,  $(\mu)$  es la permeabilidad y  $\omega$  es la frecuencia angular de la corriente. De esta forma las frecuencias altas son bien conducidas por tubos delgados, así como también por conductores gruesos.

### Efecto piezoelectrónico.

La generación de una diferencia de potencial a través de caras opuestas en ciertos cristales no conductores (**cristales piezoelectrinos**) como resultado de la aplicación de una presión mecánica entre estas caras. La polarización eléctrica producida es proporcional a la presión y la dirección de la polarización se invierte si la presión mecánica cambia de compresión a

tensión. **El efecto piezoelectrico inverso** es el fenómeno opuesto: si las caras opuestas de un cristal piezoelectrico se someten a una diferencia de potencial, el cristal cambia su forma. Las sales de Rochelle y el cuarzo son los materiales piezoelectricos mas comúnmente utilizados. En tanto que las sales de Rochelle producen la diferencia de potencial más grande para una presión dada, el cuarzo se usa mas ampliamente dado que sus cristales tienen mayor fortaleza y son más estables a temperaturas mayores a los 100 °C.

Si una placa de cuarzo se somete a un campo eléctrico alterante, el efecto piezoelectrico inverso causa que este se expanda y contraiga a la frecuencia del campo. Si este campo se hace a la frecuencia que coincide con la frecuencia natural elástica del cristal entonces la placa resuena; el efecto piezoelectrico directo aumenta entonces el campo electrico aplicado. Esto es la base del **oscilador de cristal** en el **reloj de cuarzo**. Véase también **micrófono de cristal y cristal pick up**.

*A Dictionary of Science, Oxford University Press, © Market House Books Ltd 1999* ⓘ

## La metrologia.

Conforme a las raices de la palabra esta tiene su origen en el griego "metro" que significa medida y "logos" cuyo significado es tratado, por lo tanto podemos decir que la metrologia es la encargada de tratar con las medidas, sus sistemas, unidades e instrumentos, como ya habiamos mencionado antes el hombre comercia industrializa crea tecnología y para todo esto es esencial la **metrologia**. Podriamos decir que la **metrologia** se clasifica por su campo de aplicación en:

- La metrologia oficial o legal.
- La metrologia científica.
- La metrologia industrial.

La primera es claramente la de mayor **jjerarquia** y en esencia establece los **estandares** y coordina la relacion entre los tres tipos de metrologia, la segunda básicamente es el origen de todos los **patrones** y la que tiene mucho mas rigidez en cuanto a sus tolerancias y definiciones, actualmente esta se esta desarrollando con la tendencia a establecer los **patrones con base a la estructura atómica de la materia**, por ultimo la metrologia de la industria, esta es la de mas amplio uso dado que se aplica a los procesos de transformación de los insumos primarios para obtener productos de consumo y o servicios para los usuarios finales, entiendase las personas que consumimos.

En México la institución que se encarga de administrar lo relativo a las mediciones es el **CENAM** (Centro Nacional de Metrologia) esta organización mexicana se coordina a nivel mundial con el bureau internaciona de pesas y medidas el primero puede ser accesado via internet en <http://www.cenam.mx> en tanto que el segundo esta en <http://www.bipm.org>.

Otra organización muy importante para México es el **NIST** (National Institute of Standards and Technology) que fueron fundado a principios del siglo XX por el gobierno americano, con la finalidad de desarrollar la ciencia de la medición (metrología) y queremoslo o no nuestra cercanía y sociedad con la unión americana es un hecho.

## La calidad en la metrología.

Una vez que entramos al campo industrial y de servicios, debemos de mencionar algunas características importantes que relacionan la ciencia de la medición y la calidad de los productos manufacturados y/o servicios brindados.

Normalmente en la manufactura de un producto existen **especificaciones** que hay que cumplir, pero como sabemos no todo puede ser perfecto, y existen margenes en la consecución de este fin por lo que existen las **tolerancias**, en este sentido es importante entonces tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Medio Ambiente y sus cambios.
- La incertidumbre de medición.
- Las tolerancias de seguridad para el cliente.
- Sistema de aseguramiento de la calidad.

## CONCEPTOS: Resolucion, Sensibilidad, Exactitud etc. (1.4)

### Resolución.

Cuando hablamos de este concepto no nos referimos a repetir la solución, tampoco a las decisiones que se toman en los congresos, parlamentos o tribunales, aunque parecería.

Como se podrían dar cuenta una vez más el significado de una palabra en ocasiones es muy amplio, en esta ocasión el término se refiere a la **cantidad de divisiones** que tiene un **rango determinado**; por ejemplo podemos decir, en el periodo de tiempo que gobernó el PRI de 1930 a 2000, existe una división típica que generalmente usamos y es "años".

Por lo tanto de 1930 a 2000 hay 70 años (70 divisiones), pero, ¿qué tantos meses? Para contestar a esta pregunta bastaría con calcular el número de meses que hay en 70 años, lo cual nos da un cifra de  $70 \times 12$  meses = 840 meses, esto nos indica que el periodo de 1930 a 2000 podemos decir que tiene 70 años u 840 meses, ¿cuál es la diferencia? Entre uno y otro.

La diferencia es la "**Resolucion**", la **cantidad de divisiones** en que se dividió el **rango** en cuestión.

Cuando dividimos en años la cantidad fue menor que cuando dividimos en meses, se dice que cuanto mayor es la cantidad de divisiones que hacemos, mayor es la resolución que tenemos. En términos populares decimos **fineza**.

Otro ejemplo que podemos citar al respecto es el de una balanza en el supermercado, como ustedes habrán podido observar alguna vez las balanzas del supermercado tienen una capacidad típica de 3 o 5 kg, con indicaciones desde 0 y de uno en uno hasta el máximo, pero también cuentan con divisiones más pequeñas entre kg y kg, la mayoría de esas con una indicación de **50 gramos por división**, la cual sería su **resolución**.

Generalmente la "**resolución**" se expresa en **unidades de la variable** por **división** de un **rango definido**, en el primer ejemplo la variable fue **tiempo** por lo tanto la resolución sería **años por división** o **meses por división**; en el segundo ejemplo, la variable fue peso por lo tanto la resolución sería **gramos por división**.

Se recomienda al estudiante que haga algunos ejercicios de dividir rangos de una variable en una cierta cantidad y expresar la resolución.

Como se habrán dado cuenta la "resolución" es un concepto que tiene que ver con mediciones y aparatos que miden.

### Exactitud.

El término "**exactitud**" es muchas veces confundido con el término "**precision**" el cual es diferente. A continuación citaremos el término del glosario de "**Nacional Instrument**" reconocida compañía líder a nivel mundial en instrumentación integrada a computadoras. De acuerdo con este la definición es:

“la cercania de una indicacion o lectura de un dispositivo de medicion, a el valor actual de la cantidad que esta siendo medida. Generalmente expresada en un porcentaje de la escala total de lectura.” (accuracy)

La cercania de la lectura a un valor actual ¿ que significa eso? Primeramente veamos a lo que se refiere como **valor actual**. Dado que una variable “varia” el termino **valor actual** se refiere al valor que tiene la variable al momento de hacer la medicion; nosotros podriamos decir que, el valor es el que estamos midiendo, lo cual es razonable pero,¿ que tan razonable? Ademas se habla de una **cercania a la indicacion**; de lo anterior podemos deducir que tenemos un **valor actual** de la variable (**valor real** y verdadero) y otro **valor medido**, los cuales son **cercanos** y que la “**exactitud**” es una medida de esa cercania.

Por lo tanto podemos entender que la “**exactitud**” es **que tan cerca del valor real** es la medicion que hicimos, lógicamente podriamos preguntarnos entonces ¿el valor medido no es el valor real? Y la respuesta a esa pregunta es que ciertamente el valor medido no es el valor real, pero si con cierta **cercania**, entre **mas cercano** esté la **exactitud sera mayor**.

De lo anterior podemos tambien concluir algo muy importante; todas las mediciones tienen un grado de **incertidumbre**. Otro concepto interesante del cual hablaremos mas adelante. Por lo pronto pasaremos a definir otro termino importante que ya mencionamos anteriormente, la “**precision**”, el cual se confunde aun en la actualidad con “**exactitud**”

### Precision.

Actualmente este termino ha sido oficialmente reemplazado por el termino “**repetibilidad**”, aunque en la practica existe una inercia que lleva algun tiempo detener. De acuerdo con el glosario de “**Nacional Instrument**” el termino significa lo siguiente:

“La habilidad de un transductor para reproducir lecturas de salida cuando el mismo mesurando se aplica de forma consecutiva, bajo las misma condiciones y en la misma direccion. Se expresa como la maxima diferencia entre las lecturas de salida.” (Repeatability).

De una manera mas general el termino transductor se puede sustituir por el termino medidor, de esta manera entonces podemos observar que la “**precision**” o “**repetibilidad**” es la accion de medir el mismo mesurando de manera repetida bajo las mismas condiciones, lo cual es diferente la “**exactitud**” como se podran dar cuenta, por lo que no existe razon para confundirla.

Mas adelante se ejemplificara con el tiro de arco. Por ahora continuaremos con la definición del concepto de incertidumbre.

## Incertidumbre.

Cuando hablamos de incertidumbre nos podemos referir a un sin numero de posibilidades, por ejemplo la sensación que experimentan algunos de ustedes cuando llega el final de semestre y esperan sus calificaciones finales, o la no tan agradable que experimentamos cuando un ser querido es sometido a una cirugía mayor y no sabemos que va a pasar, lo que es cierto es que la “**incertidumbre**” contiene un alto grado de desconocimiento, de no saber, de falta de certeza es decir de verdad. En pocas palabras tiene que ver con no saber la verdad. Y en este sentido cuando se utiliza el termino en el campo de las mediciones la “**incertidumbre**” es el grado de **alejamiento** que se tiene de la realidad, mas particularmente **que tan lejos** se esta del **valor real** y en este sentido es la medida complementaria de la **exactitud**.

A mayor **incertidumbre** menor **exactitud** y viceversa, en terminos estadisticos la “**incertidumbre**” es una medida de **dispersión** en tanto que la “**exactitud**” es una medida de **centralización**.

Cuando hablamos de medidas, la **incertidumbre** se asocia con el termino “**error**”, el cual sabemos que es una diferencia algebraica entre el valor medido u obtenido y el esperado o real, considerese aquí que el valor real puede ser en muchas ocasiones un valor teorico o calculado y en este sentido el valor real entonces si es posible conocerlo aunque solo sea en la teoria.

Existen muchos terminos relacionados con la instrumentación ademas de los anteriores, se sugiere al alumno que investigue los siguientes y los discutan en la clase junto con su maestro.

Rango  
Sensibilidad  
Histeresis  
Sensor  
Transductor  
Tiempo de respuesta  
Span (alcance)

Algunas Definiciones de acuerdo a la norma **NMX-Z-055-1997:IMNC**, Metrologia-Vocabulario de terminos fundamentales y generales, 17 de Enero de 1997.

**Magnitud.** Es una variable física usada para especificar el comportamiento de la naturaleza de un sistema particular.

**Medida.** Es la evaluación de una magnitud hecha según su relación con otra magnitud de la misma especie adoptada como unidad ya sea de manera directa o indirecta.

**Patrón.** Medio materializado, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar, o reproducir una unidad de medición conocida de una magnitud, para transmitirlo por comparación a otros instrumentos.

**Trazabilidad.** Propiedad de una medición, física o química, o del valor de un patrón, por medio de la cual estos pueden ser relacionados a referencias establecidas por los patrones apropiados, generalmente nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones.

**Tolerancia.** Es la cantidad total que se permite variar a una dimensión especificada determinada por la diferencia entre los límites inferior y superior especificados.

**Error.** Desviación a partir del valor real de la variable medida.

Una medida del error es la **incertidumbre**, diferencia entre los valores máximo y mínimo obtenidos en una serie de lecturas sobre una misma dimensión constante.

## Unidades patron del sistema internacional de unidades

El sistema internacional de unidades tiene como base **7 patrones fundamentales** que son:

- El metro
- El kilogramo
- El segundo
- El ampere
- El grado kelvin
- El mol
- La candela.

Estas unidades están definidas en la tabla que se presenta mas adelante, en tanto que la tabla siguiente presenta los prefijos asociados con las potencias de 10 o notación científica de numeros.

Prefijos decimales de notación científica numérica.					
Multiplicador.	Prefijo.	Símbolo.	Multiplicador.	Prefijo.	Símbolo.
<b>10<sup>1</sup></b>	<b>Deca</b>	<b>E</b>	<b>10<sup>-1</sup></b>	<b>Deci</b>	<b>d</b>
<b>10<sup>2</sup></b>	<b>Hecto</b>	<b>P</b>	<b>10<sup>-2</sup></b>	<b>Centi</b>	<b>c</b>
<b>10<sup>3</sup></b>	<b>Kilo</b>	<b>T</b>	<b>10<sup>-3</sup></b>	<b>Mili</b>	<b>m</b>
<b>10<sup>4</sup></b>	<b>Mega</b>	<b>G</b>	<b>10<sup>-4</sup></b>	<b>Micro</b>	<b>u</b>
<b>10<sup>5</sup></b>	<b>Giga</b>	<b>M</b>	<b>10<sup>-5</sup></b>	<b>Nano</b>	<b>n</b>
<b>10<sup>6</sup></b>	<b>Tera</b>	<b>K</b>	<b>10<sup>-6</sup></b>	<b>Pico</b>	<b>p</b>
<b>10<sup>7</sup></b>	<b>Peta</b>	<b>h</b>	<b>10<sup>-7</sup></b>	<b>Femto</b>	<b>f</b>
<b>10<sup>8</sup></b>	<b>Exa</b>	<b>da</b>	<b>10<sup>-8</sup></b>	<b>Atto</b>	<b>a</b>

DEFINICION DE LAS UNIDADES BASICAS			
MAGNITUD FISICA	UNIDAD	SIMBOLO	DEFINICION
<b>Longitud</b>	Metro	m	<p>En 1889 se definió el metro patrón como la distancia entre dos finas rayas de una barra de aleación platino iridio que se encuentra en el museo de pesas y medidas de Paris. El interés por establecer una definición mas precisa e invariable llevo en 1960 a definir el metro como 1,650,763.73 veces la longitud de onda de la radiación rojo naranja (transición entre los niveles 2p10 y 5d6) del átomo de Kriptón 86 (<math>^{86}\text{Kr}</math>)</p> <p>A partir de <b>1983</b> se define como la distancia recorrida por la luz en el vacío en <b>1/(299,792,458)</b> de segundo</p>
<b>Masa</b>	Kilogramo	Kg.	<p>En la primera definición de kilogramo fue considerado como "la <b>masa de un litro de agua destilada a la temperatura de 4 °C</b>". En <b>1889</b> se definió el kilogramo patrón como "<b>la masa de un cilindro de aleación de platino iridio</b>" que se conserva en el museo de pesas y medidas de Paris. En la actualidad se intenta definir de forma más rigurosa expresándolo en función de la masa de los átomos.</p>
<b>Tiempo</b>	Segundo	s	<p>La unidad segundo patrón su primera definición fue "el segundo es la 1/(8,6400) parte del día solar medio" pero con el aumento en la precisión de medidas de tiempo se ha detectado que la tierra gira cada vez mas lento ( alrededor de 5 milisegundos por año) y en consecuencia se optado por definir el segundo en función de constantes atómicas. Desde <b>1967</b> se define como "la duración de <b>9,192,631,770</b> periodos de la radiación correspondiente a la transición de los dos niveles hiperfinos del estado natural del átomo de <b>Cesio 133</b>"</p>
<b>Corriente eléctrica</b>	Ampere	A	<p>La magnitud de la corriente que fluye en conductores paralelos distanciados un metro entre si en el vacío que produce una fuerza entre ambos (a causa de sus campos magnéticos) de <b><math>2 \times 10^{-7} \text{ N/m}</math></b> (9 conferencia general de pesas y medidas, <b>1948</b>).</p>
<b>Temperatura</b>	Kelvin	K	<p>La fracción <b>1/ (273.16)</b> de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.(13 conferencia general de pesas y medidas, <b>1967</b>.)</p>
<b>Intensidad luminosa</b>	Candela	Cd	<p>La intensidad luminosa en dirección perpendicular de una superficie de <b>1/ (600,000) m<sup>2</sup></b> de un cuerpo negro a la <b>temperatura de congelamiento del platino (2,042 ° K)</b> bajo una <b>presión de 101,325 N/m<sup>2</sup></b>. La intensidad en una dirección dada de una luz monocromática de <b>540 Thz</b> con una <b>intensidad energética de 1/683 Watts por Steradian.</b>(<b>1979</b>)</p>
<b>Cantidad de sustancia</b>	Mol	mol	<p>La cantidad de sustancia de un sistema que contiene un número de entidades elementales igual al numero de átomos que hay en <b>0.012 Kg de carbono 12.</b>(14<sup>a</sup> conferenciageneral de pesas y medidas, <b>1971</b>)</p>

**UNIDADES DERIVADAS.**

MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO	En términos de otras unidades.
Angulo plano	radian	rad	
Angulo solidó	esterradian	sr	
Superficie	Metro cuadrado	M <sup>2</sup>	
Volumen	Metro cúbico	M <sup>3</sup>	
Frecuencia	hertz	Hz	
Densidad	Kilogramo/metro cúbico	Kg/m <sup>3</sup>	
Velocidad	Metro por segundó	M/s	
Velocidad angula	Radian por segundo	Rad/s	
Aceleración	Metro por segundo cuadrado	M/s <sup>2</sup>	
Aceleración angular	Radian por segundo cuadrado	Rad/s <sup>2</sup>	
Fuerza	Newton	N	1N = 1 kg m/s <sup>2</sup>
Presión (tensión mecánica)	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática	Metro cuadrado por segundo	M/s <sup>2</sup>	
Viscosidad dinámica	Newton por metro segundo cuadrado	N m/s <sup>2</sup>	
Trabajo, energía, cantidad de calor.	Joule	J	1J = 1 N m
Potencia	Watt	W	1W = 1J/s
Carga eléctrica	Coloumb	C	1 C= 1A s
Tensión eléctrica, diferencia de potencial, fuerza electromotriz.	Volt	V	1V = 1W/A
Intensidad de campo eléctrico	Volt por metro	V/m	
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	1Ω = 1V/A
Conductancia eléctrica	Siemens	S	
Capacitancia	Farad	F	1F = 1A S/ V
Flujo magnético	Weber	Wb	1 Wb = 1 V S
Inductancia	Henrio	H	1 H = 1V S/A
Inducción magnética	Tesla	T	1 T = 1 WB /m <sup>2</sup>
Intensidad de campo magnético	Ampere por metro	A/m	
Flujo eléctrico	Ampere	A	
Flujo luminoso	Lumen	Lm	1 Lm = 1 Cd sr
Luminancia	Candela por metro cuadrado	Cd/m <sup>2</sup>	
Iluminación	Lux	Lx	1 Lx = 1Lm /m <sup>2</sup>
Numero de ondas	Metro a la menos 1	m <sup>-1</sup>	
Entropía	Joule por Kelvin	J/K	
Calor específico	Joule por kilogramo kelvin	J/kg°K	
Conductividad térmica	Watt por metro kelvin	W/m°K	

Intensidad energética	Watt por estero-radian	W/sr	
Actividad de una fuente radiactiva	Segundó a la menos 1	$s^{-1}$	

## Otras magnitudes y equivalencias.

Magnitud	Nombre	Símbolo	Equivalencia SI
Angulo	Grado	$^\circ$	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	Minuto	'	$1 \text{ min.} = 1^\circ/60 = [(\pi/180)/60] \text{ rad}$
	Segundo	"	
Tiempo	Minuto	Min	
	Hora	H	
	Dia	D	
Volumen	Litro	L	
Masa	Tonelada	T	
Area	Hectárea	Ha	

Fuente:<http://redquimica.pquim.UNAM.mx/fqt/cyd/glinda/sistema1.htm>

## UNIDAD 2. Principios de Medición y Sensores.

### Sensores.

En el campo de la **medición y la instrumentación** se utilizan muchos **sensores** y **transductores**, una vez mas es necesario hacer algunas aclaraciones al respecto:

Un **transductor** es un dispositivo que transforma un tipo de **energía de entrada** en otro de tipo diferente de **energía de salida**. Como podemos apreciar un dispositivo como este considera una **entrada** y una **salida** y una **transformación de energía**.

Un **sensor** es un dispositivo que pertenece al **conjunto de los transductores** pero con una característica particular, este tiene una **energía de salida eléctrica**. Esto significa que la **energía de entrada** puede ser de **diferente indole** pero la **salida** siempre será una **variable eléctrica**. Como un ejemplo podemos citar al **termopar** que tiene su base en el efecto **Seebeck**, genera una **f.e.m. (variable eléctrica)** teniendo como **entrada una energía calorifica**. A menudo nosotros no consideramos algunos dispositivos que transforman un tipo de energía en otro como **transductores** tal sería el caso de un **motor** por ejemplo. El **motor** transforma una **energía de entrada de tipo eléctrico** en una **energía de tipo mecánico** en la salida, lo cual lo ubica como un **transductor**, sin embargo esta palabra se utiliza en el **campo de la instrumentación** como un **sinonimo de sensor**, o viceversa. Un ejemplo mas, una **bateria**, esta transforma una **energía de tipo químico** en una **energía eléctrica** de salida (**el voltaje**). Esta es un **transductor** pero también es un **sensor** en el sentido estricto de la palabra, siendo entonces los **sensores** un **subconjunto del conjunto de los transductores**.

En muchas ocasiones para sensar una **variable o propiedad física** de la materia se utilizan **los efectos o una combinación de estos**, lo que origina que en ocasiones la forma de detectar o sensar estas variables de cómo resultado **sistemas de sensado**.

Lo anterior se podra ir viendo conforme se conozca mas sobre los principios de medición.

### INTRODUCCION

Por: Walt Kester

Traducción de: Alfonso Pérez García

Este capítulo se refiere a sensores y sus circuitos asociados de acondicionamiento de señal. Este topico es amplio pero el objetivo de este capítulo es concentrarnos en los circuitos y las aplicaciones de procesamiento de señal de sensores mas que el detalle en si de los actuales sensores.

Estrictamente hablando un **sensor** es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde a este con una **señal eléctrica de salida**, mientras que un **transductor** es un convertidor de un **tipo de energía en otro**, en la práctica sin embargo los términos son a menudo intercambiables.

Los sensores y sus circuitos asociados son utilizados para **medir** varias propiedades físicas tales como la temperatura, fuerza, flujo, intensidad de luz, etc. Estas propiedades físicas actúan como el estímulo para el sensor y la salida del sensor es **acondicionada** y **procesada** para proporcionar la correspondiente **medición** de la propiedad física.

No se cubrirán todos los posibles tipos de sensores, solamente los más populares y específicamente aquellos que se prestan por sí mismos para sistemas de control de procesos y de adquisición de datos.

Los sensores no operan por sí mismos, generalmente son parte de un sistema mayor que consiste de varios acondicionadores de señal y circuitos de procesamiento análogo o digital. El sistema puede ser un sistema de medición, de adquisición de datos o de control de procesos, por ejemplo.

Los sensores se pueden clasificar de diferentes maneras

Sensors may be classified in a number of ways. From a signal conditioning viewpoint it is useful to classify sensors as either *active* or *passive*. An *active* sensor requires an external source of excitation. Resistor-based sensors such as thermistors, RTDs (Resistance Temperature Detectors), and strain gages are examples of active sensors, because a current must be passed through them and the corresponding voltage measured in order to determine the resistance value. An alternative would be to place the devices in a bridge circuit, however in either case, an external current or voltage is required.

On the other hand, *passive* (or *self-generating*) sensors generate their own electrical output signal without requiring external voltages or currents. Examples of passive sensors are thermocouples and photodiodes which generate thermoelectric voltages and photocurrents, respectively, which are independent of external circuits.

It should be noted that these definitions (*active* vs. *passive*) refer to the need (or lack thereof) of external active circuitry to produce the electrical output signal from the sensor. It would seem equally logical to consider a thermocouple to be active in the sense that it produces an output voltage with no external circuitry, however the convention in the industry is to classify the sensor with respect to the external circuit requirement as defined above.

## SENSOR OVERVIEW

- **Sensors:**
- **Convert a Signal or Stimulus (Representing a Physical Property) into an Electrical Output**
- **Transducers:**
- **Convert One Type of Energy into Another**
- **The Terms are often Interchanged**
- **Active Sensors Require an External Source of Excitation:**
- **RTDs, Strain-Gages**
- **Passive (Self-Generating) Sensors do not:**
- **Thermocouples, Photodiodes**

Figure 1.1

## TYPICAL SENSORS AND THEIR OUTPUTS

PROPERTY	SENSOR	ACTIVE/ PASSIVE	OUTPUT
Temperature	Thermocouple	Passive	Voltage
	Silicon	Active	Voltage/Current
	RTD	Active	Resistance
	Thermistor	Active	Resistance
Force / Pressure	Strain Gage	Active	Resistance
	Piezoelectric	Passive	Voltage
Acceleration	Accelerometer	Active	Capacitance
Position	LVDT	Active	AC Voltage
Light Intensity	Photodiode	Passive	Current

**Figure 1.2**

A logical way to classify sensors is with respect to the physical property the sensor is designed to measure. Thus we have temperature sensors, force sensors, pressure sensors, motion sensors, etc. However, sensors which measure different properties may have the same type of electrical output. For instance, a Resistance

Temperature Detector (RTD) is a variable resistance, as is a resistive strain gauge. Both RTDs and strain gages are often placed in bridge circuits, and the conditioning circuits are therefore quite similar. In fact, bridges and their conditioning circuits deserve a detailed discussion.

The full-scale outputs of most sensors (passive or active) are relatively small voltages, currents, or resistance changes, and therefore their outputs must be properly conditioned before further analog or digital processing can occur. Because of this, an entire class of circuits have evolved, generally referred to as *signal conditioning* circuits. Amplification, level translation, galvanic isolation, impedance transformation, linearization, and filtering are fundamental signal conditioning functions which may be required.

Whatever form the conditioning takes, however, the circuitry and performance will be governed by the electrical character of the sensor and its output. Accurate characterization of the sensor in terms of parameters appropriate to the application, e.g., sensitivity, voltage and current levels, linearity, impedances, gain, offset, drift, time constants, maximum electrical ratings, and stray impedances and other important considerations can spell the difference between substandard and successful application of the device, especially in cases where high resolution and precision, or low-level measurements are involved.

Higher levels of integration now allow ICs to play a significant role in both analog and digital signal conditioning. ADCs specifically designed for measurement applications often contain on-chip programmable-gain amplifiers (PGAs) and other useful circuits, such as current sources for driving RTDs, thereby minimizing the external conditioning circuit requirements.

Most sensor outputs are non-linear with respect to the stimulus, and their outputs must be linearized in order to yield correct measurements. Analog techniques may be used to perform this function, however the recent introduction of high performance ADCs now allows linearization to be done much more efficiently and accurately in software and eliminates the need for tedious manual calibration using multiple and sometimes interactive trim pots.

The application of sensors in a typical process control system is shown in Figure 1.3.

Assume the physical property to be controlled is the temperature. The output of the temperature sensor is conditioned and then digitized by an ADC. The microcontroller or host computer determines if the temperature is above or below the desired value, and outputs a digital word to the digital-to-analog converter (DAC). The DAC output is conditioned and drives the *actuator*, in this case – a heater. Notice that the interface between the control center and the remote process is via the industry-standard 4-20mA loop.

### TYPICAL INDUSTRIAL PROCESS CONTROL LOOP

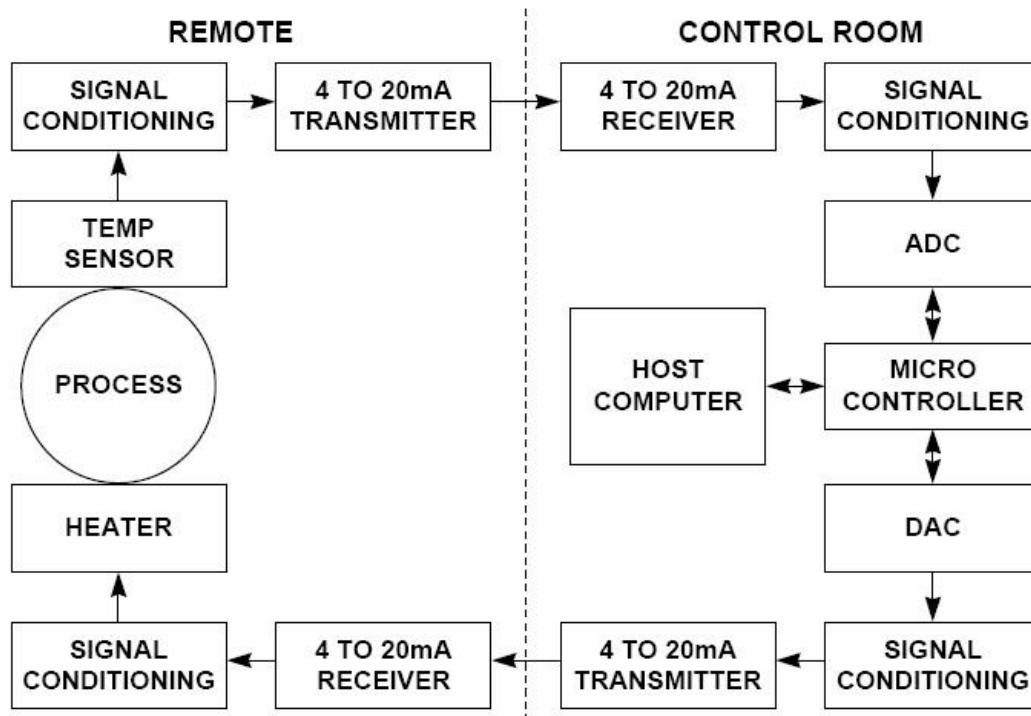


Figure 1.3

Digital techniques are becoming more and more popular in processing sensor outputs in data acquisition, process control, and measurement. 8-bit microcontrollers (8051-based, for example) generally have sufficient speed and processing capability for most applications. By including the A/D conversion and the microcontroller programmability on the sensor itself, a "smart sensor" can be implemented with self contained calibration and linearization features among others. A smart sensor can then interface directly to an industrial network as shown in Figure 1.4.

The basic building blocks of a "smart sensor" are shown in Figure 1.5, constructed with multiple ICs. The Analog Devices MicroConverter™ -series products includes on-chip high performance multiplexers, ADCs, and DACs, coupled with FLASHMemory and an industry-standard 8052 microcontroller core, as well as support circuitry and several standard serial port configurations. These are the first integrated circuits which are truly smart sensor data acquisition systems (highperformance data conversion circuits, microcontroller, FLASH memory) on a single chip (see Figure 1.6).

### STANDARDIZATION AT THE DIGITAL INTERFACE USING SMART SENSORS

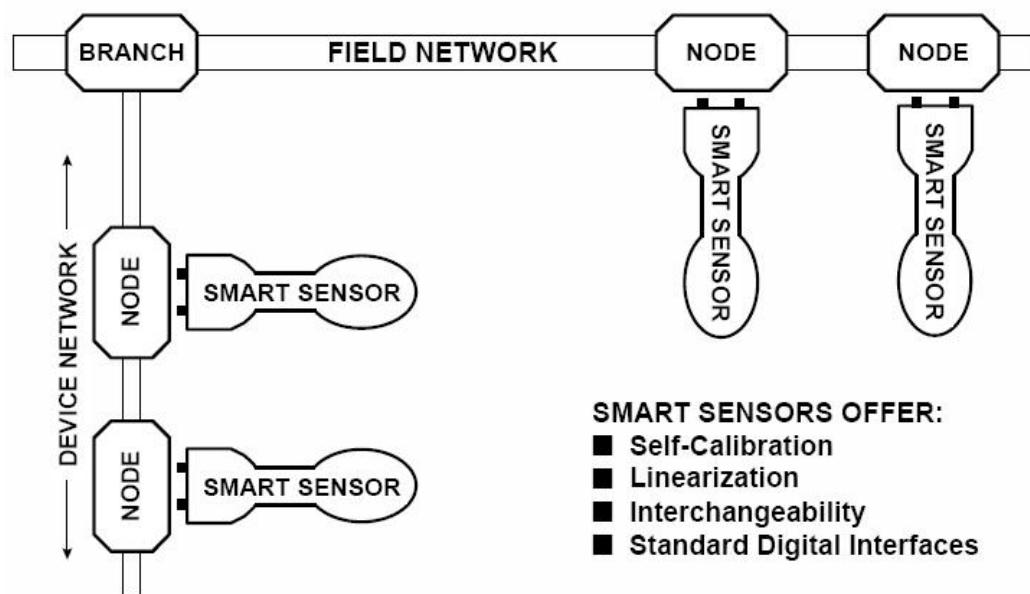


Figure 1.4

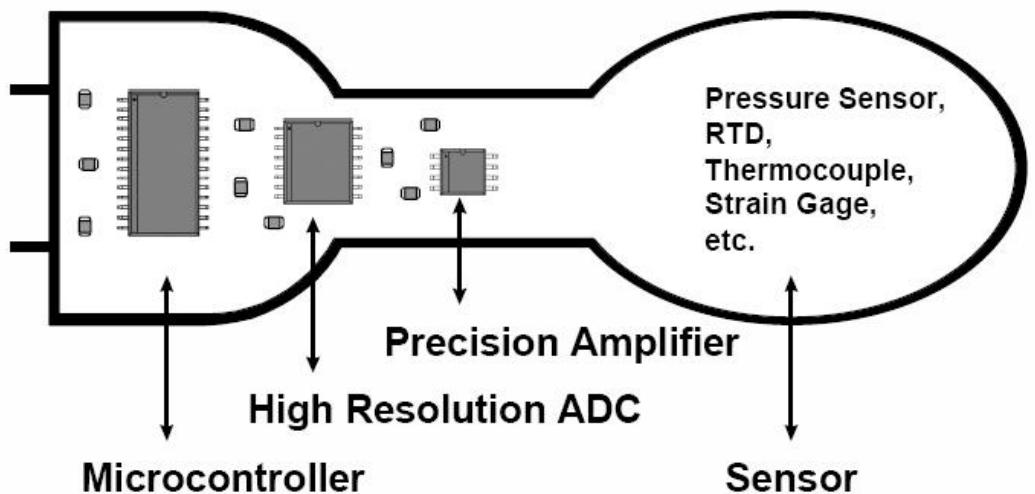
**BASIC ELEMENTS IN A "SMART" SENSOR**

Figure 1.5

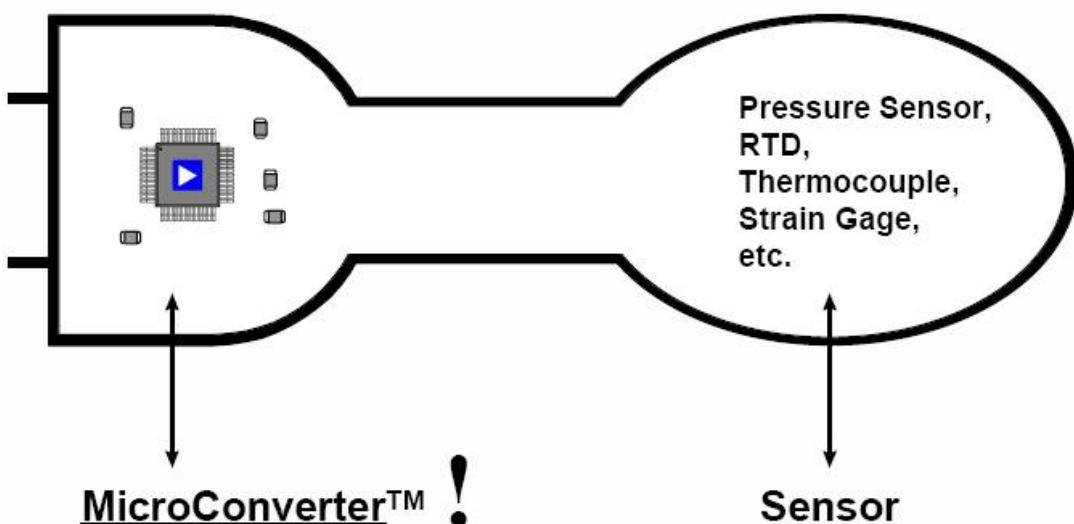
**THE EVEN SMARTER SENSOR**

Figure 1.6

## Sensores de Desplazamiento, localización o posición.

Por: Curtis D. Johnson, Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall PTR  
Traducción de: Ing. Alfonso Pérez García.

La medición de Desplazamiento, Posición o localización, es un tópico importante en las industrias de transformación. Algunos ejemplos de requerimientos industriales de medir estas variables, son muchos y muy variados, y los sensores requeridos son también muchos y de diseños variados. Para dar algunos ejemplos de estas necesidades.

- 1 localización y posición de objetos en una banda transportadora.
- 2 orientación de placas de acero en una prensa.
- 3 medición de nivel de sólidos /líquidos.
- 4 localización y posición de piezas de trabajo en sistemas automáticos de maquinado
- 5 conversión de presión a desplazamientos físicos para indicar la presión.

En las siguientes secciones se daran los principios, fundamentos de algunos sensores comunes de desplazamiento, posicion y localizacion.

### Potenciométrico.

El tipo mas simple de sensor de desplazamiento involucra la acción de desplazamiento moviendo el brazo de un potenciómetro. Este dispositivo convierte entonces un movimiento lineal o movimiento angular en un cambio de resistencia que puede ser convertido directamente a señales de corriente y/o voltaje. A menudo dichos dispositivos sufren de los problemas obvios como el desgaste mecanico, friccion en el brazo deslizante, una resolucion limitada en las vueltas de alambre y un ruido electronico my alto (vease la figura 5.1)

#### Ejemplo 5.1.

Un sensor de desplazamiento potenciometrico se usa para medir el movimiento de una pieza de trabajo de 0 a 10 cm. La resistencia cambia linealmente sobre un rango de 0 a 1KΩ. Desarrolle un circuito de acondicionamiento de señal que nos de una salida lineal de 0 a 10 volts.

Solucion.

El punto clave aqui es no perder la linealidad de la resistencia versus el desplazamiento. No podemos utilizar un divisor de volataje porque la variación de voltaje contra resistencia no es lineal para este circuito, sin embargo podemos usar un circuito de amplificador operacional debido a su ganancia y por tanto el voltaje de salida sera linealmente dependiente de la resistencia de realimentación.

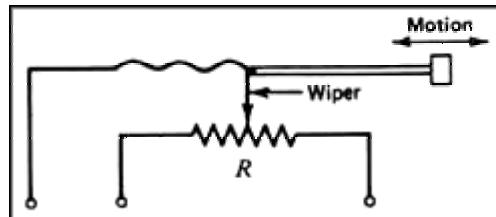
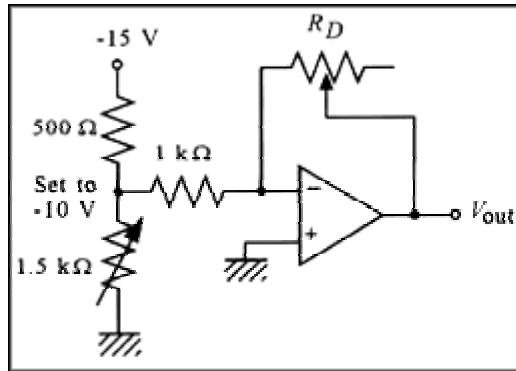


Figura 5.1 Sensor Potenciometrico de desplazamiento.



**Figura 5.2 Circuito para el Ejemplo 5.1.**

Por lo tanto el circuito de la figura 5.2 solucionara este problema. El voltaje de salida es:

$$V_{out} = -(R_D/1k\Omega)(-10V)$$

$$V_{out} = 0.01R_D$$

Conforme  $R_D$  varia de 0 a  $1k\Omega$ , la salida cambiara linealmente de 0 a 10 volts.

### Capacitivo e Inductivo

Una segunda clase de sensores de desplazamiento involucra cambios en la capacitancia o inductancia.

**Capacitivo.** La operación basica de un sensor capacitivo puede ser vista de la conocida y familiar ecuación paera un capacitor de placas paralelas.

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

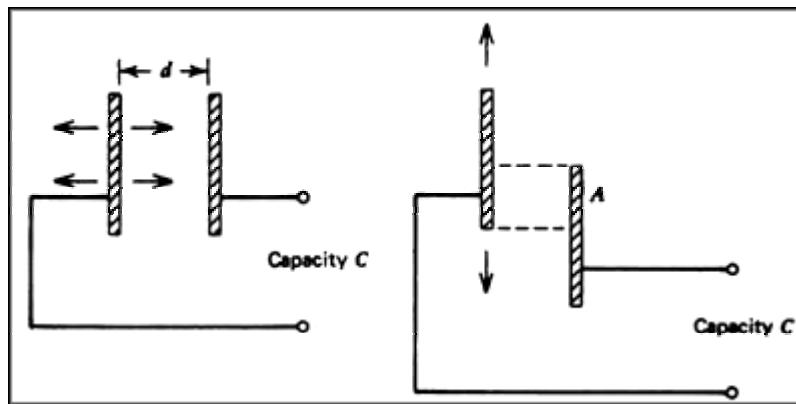
Donde  $K$  = la constante dielectrica

$\epsilon_0$  = la permitividad = 8.85 pF/m

$A$  = area comun de las placas

$d$  = separacion de las placas

There are three ways to change the capacity: variation of the distance between the plates ( $d$ ), variation of the shared area of the plates ( $A$ ), and variation of the dielectric constant ( $K$ ). The former two methods are shown in Figure 5.3. The last method is illustrated later in this chapter. An ac bridge circuit or other active electronic circuit is employed to convert the capacity change to a current or voltage signal.



**Figure 5.3 Capacity varies with the distance between the plates and the common area. Both effects are used in sensors.**

**EXAMPLE 5.2** Figure 5.4 shows a capacitive-displacement sensor designed to monitor small changes in work-piece position. The two metal cylinders are separated by a plastic sheath/bearing of thickness 1 mm and dielectric constant at 1 kHz of 2.5. If the radius is 2.5 cm, find the sensitivity in pF/m as the upper cylinder slides in and out of the lower cylinder. What is the range of capacity if  $h$  varies from 1.0 to 2.0 cm?

Solution

The capacity is given by Equation (5.1). The net area is the area of the shared cylindrical area, which has a radius  $r$  and height  $h$ . Thus,  $A = 2\pi rh$ , so the capacity can be expressed as

$$C = 2\pi K\epsilon_0 \frac{rh}{d}$$

The sensitivity with respect to the height,  $h$ , is defined by how  $C$  changes with  $h$ ; that is, it is given by the derivative,

$$\frac{dC}{dh} = 2\pi K\epsilon_0 \frac{r}{d}$$

Substituting for the given values, we get

$$\frac{dC}{dh} = 2\pi(2.5)(8.85 \text{ pF/m}) \frac{2.5 \times 10^{-2} \text{ m}}{10^{-3} \text{ m}} = 3475 \text{ pF/m}$$

Since the function is linear with respect to  $h$ , we find the capacity range as

$$C_{\min} = (3475 \text{ pF/m}) (10^{-2} \text{ m}) = 34.75 \text{ pF} \quad \text{to} \quad C_{\max} = (3475 \text{ pF/m}) (2 \times 10^{-2} \text{ m}) = 69.50 \text{ pF.}$$

**Inductive** If a permeable core is inserted into an inductor as shown in Figure 5.5, the net inductance is increased. Every new position of the core produces a different inductance. In this fashion, the inductor and movable core assembly may be used as a displacement sensor. An ac bridge or other active electronic circuit sensitive to inductance then may be employed for signal conditioning.

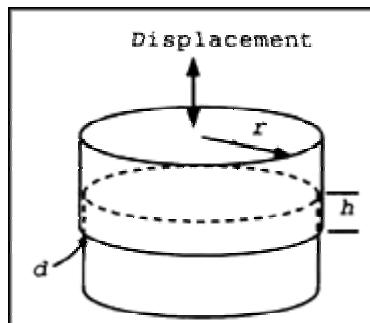


Figure 5.4 Capacitive-displacement sensor for Example 5.2.

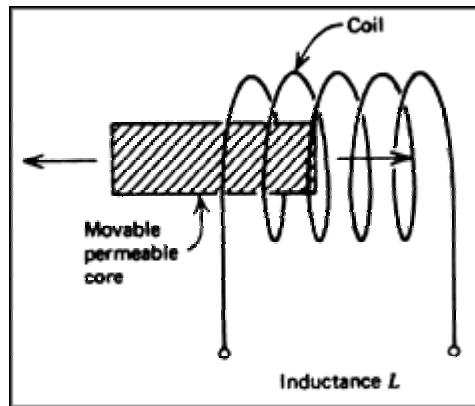


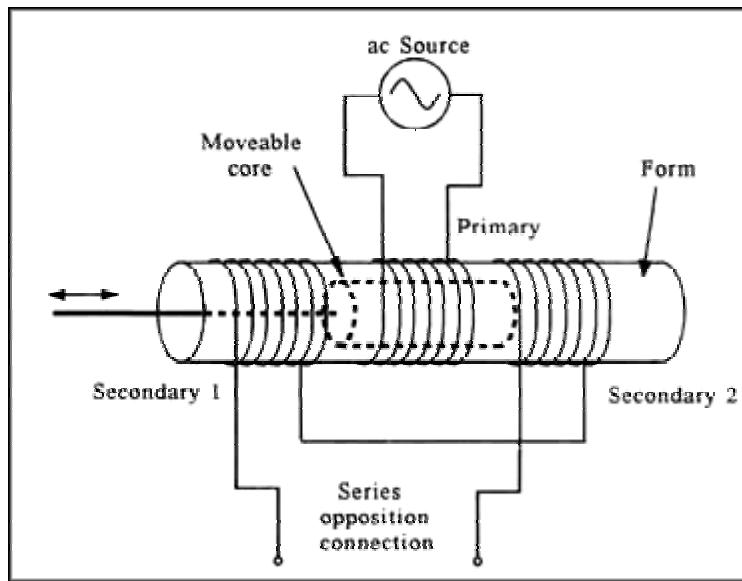
Figure 5.5 This variable-reluctance displacement sensor changes the inductance in a coil in response to core motion.

### Reluctancia Variable.

The class of variable-reluctance displacement sensors differs from the inductive in that a moving core is used to vary the magnetic flux coupling between two or more coils, rather than changing an individual inductance. Such devices find application in many circumstances for the measure of both translational and angular displacements. Many configurations of this device exist, but the most common and extensively used is called a *linear variable differential transformer* (LVDT).

**LVDT** The LVDT is an important and common sensor for displacement in the industrial environment. Figure 5.6 shows that an LVDT consists of three coils of wire wound on a hollow form. A core of permeable material can slide freely through the center of the form. The inner coil is the primary, which is excited by some ac source as shown. Flux formed by the primary is linked to the two secondary coils, inducing an ac voltage in each coil.

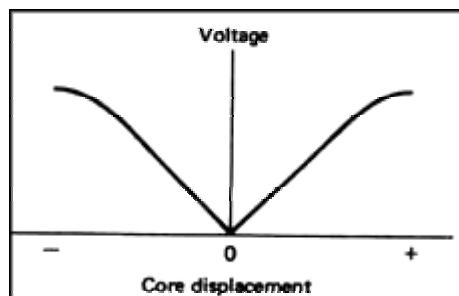
When the core is centrally located in the assembly, the voltage induced in each primary is equal. If the core moves to one side or the other, a larger ac voltage will be induced in one coil and a smaller ac voltage in the other because of changes in the flux linkage associated with the core.



**Figure 5.6 The LVDT has a movable core with the three coils as shown.**

If the two secondary coils are wired in series opposition, as shown in Figure 5.6, then the two voltages will subtract; that is, the differential voltage is formed. When the core is centrally located, the net voltage is zero. When the core is moved to one side, the net voltage amplitude will increase. In addition, there is a change in phase with respect to the source when the core is moved to one side or the other.

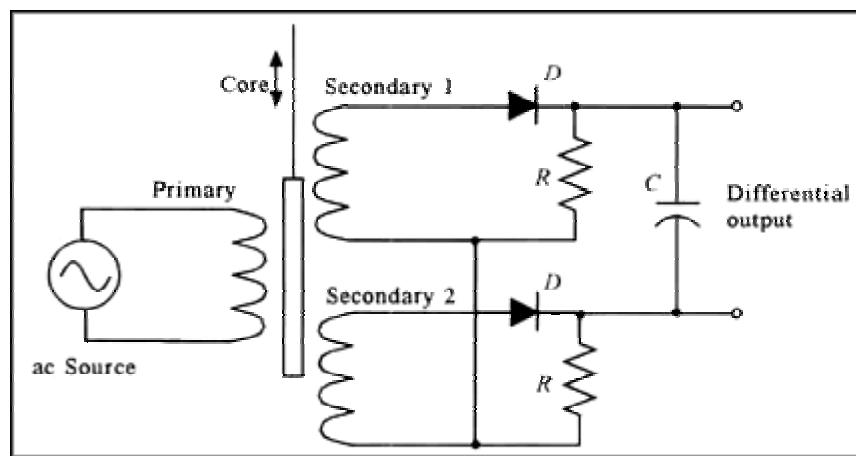
A remarkable result, shown in Figure 5.7, is that the differential amplitude is found to increase linearly as the core is moved to one side or the other. In addition, as noted, there is a phase change as the core moves through the central location. Thus, by measurement of the voltage amplitude and phase, one can determine the direction and extent of the core motion, that is, the displacement.



**Figure 5.7 LVDT net secondary voltage amplitude for a series opposition connection varies linearly with displacement.**

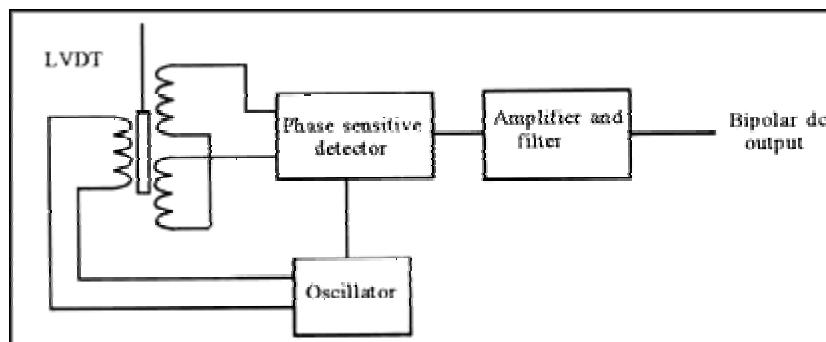
It turns out that a carefully manufactured LVDT can provide an output linear within  $\pm 0.25\%$  over a range of core motion and with a very fine resolution, limited primarily by the ability to measure voltage changes.

The signal conditioning for LVDTs consists primarily of circuits that perform a phase-sensitive detection of the differential secondary voltage. The output is thus a dc voltage whose amplitude relates the extent of the displacement, and the polarity indicates the direction of the displacement. Figure 5.8 shows a simple circuit for providing such an output. An important limitation of this circuit is that the differential secondary voltage must be at least as large as the forward voltage drop of the diodes. The use of op amp detectors can alleviate this problem.



**Figure 5.8 This simple circuit produces a bipolar dc voltage that varies with core displacement.**

Figure 5.9 shows a more practical detection scheme, typically provided as a single integrated circuit (1C) manufactured specifically for LVDTs. The system contains a signal generator for the primary, a phase-sensitive detector (PSD) and amplifier/filter circuitry.



**Figure 5.9 A more sophisticated LVDT signal-conditioning circuit uses phase-sensitive detection to produce a bipolar dc voltage output.**

A broad range of LVDTs is available with linear ranges at least from  $\pm 25$  cm down to  $\pm 1$  mm. The time response is dependent on the equipment to which the core is connected. The static transfer function is typically given in millivolts per millimeter (mV/mm) for a given primary amplitude. Also specified are the range of linearity and the extent of linearity.

### EXAMPLE 5.3

An LVDT has a maximum core motion of  $\pm 1.5$  cm with a linearity of  $\pm 0.3\%$  over that range. The transfer function is 23.8 mV/mm. If used to track work-piece motion from  $-1.2$  to  $+1.4$  cm, what is the expected output voltage? What is the error in position determination due to nonlinearity?

### **Solution**

Using the known transfer function, the output voltages can easily be found,  $V(-1.2 \text{ cm}) = (23.8 \text{ mV/mm}) (-12 \text{ mm}) = -285.6 \text{ mV}$  and  $V(1.4 \text{ cm}) = (23.8 \text{ mV/mm}) (14 \text{ mm}) = 333 \text{ mV}$ . The linearity deviation shows up in deviations of the transfer function. Thus, the transfer function has an uncertainty of  $(\pm 0.003) (23.8 \text{ mV/mm}) = \pm 0.0714 \text{ mV/mm}$ . This means that a measured voltage,  $V_m$  (in mV), could be interpreted as a displacement that ranges from  $V_m/23.73$  to  $V_m/23.87$  mm, which is approximately  $\pm 0.3\%$ , as expected.

### Sensores de nivel.

The measurement of solid or liquid level calls for a special class of displacement sensors. The level measured is most commonly associated with material in a tank or hopper. A great variety of measurement techniques exist, as the following representative examples show.

**Mechanical** One of the most common techniques for level measurement, particularly for liquids, is a float that is allowed to ride up and down with level changes. This float, as shown in Figure 5.10a, is connected by linkages to a secondary displacement measuring system such as a potentiometric device or an LVDT core.

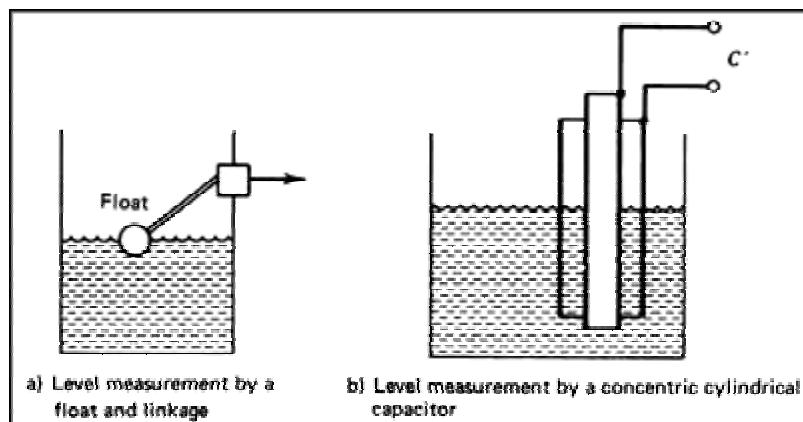
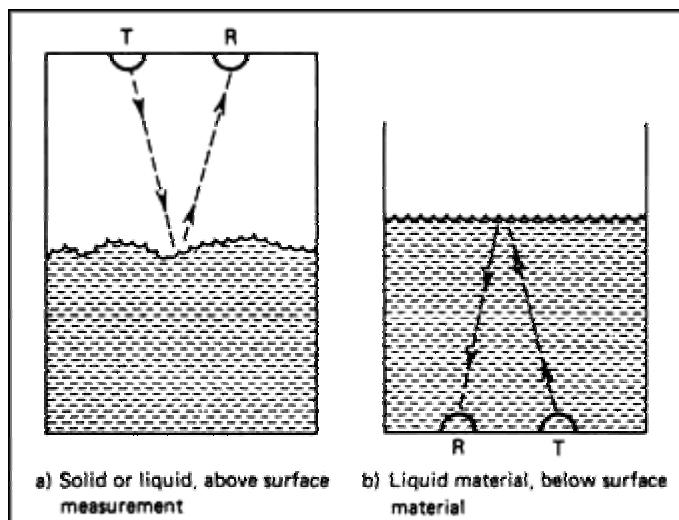


Figure 5.10 There are many level-measurement techniques.

**Electrical** There are several purely electrical methods of measuring level. For example, one may use the inherent conductivity of a liquid or solid to vary the resistance seen by probes inserted into the material. Another common technique is illustrated in Figure 5.10b. In this case, two concentric cylinders are contained in a liquid tank. The level of the liquid partially occupies the space between the cylinders, with air in the remaining part. This device acts like two capacitors in parallel, one with the dielectric constant of air (=1) and the other with that of the liquid. Thus, variation of liquid level causes variation of the electrical capacity measured between the cylinders.



**Figure 5.11 Ultrasonic level measurement needs no physical contact with the material, just a transmitter *T* and receiver *R*.**

**Ultrasonic** The use of ultrasonic reflection to measure level is favored because it is a "noninvasive" technique; that is, it does not involve placing anything in the material. Figure 5.11 shows the external and internal techniques. Obviously, the external technique is better suited to solid-material level measurement. In both cases the measurement depends on the length of time taken for reflections of an ultrasonic pulse from the surface of the material. Ultrasonic techniques based on reflection time also have become popular for ranging measurements.

**Pressure** For liquid measurement, it is also possible to make a noncontact measurement of level if the density of the liquid is known. This method is based on the well-known relationship between pressure at the bottom of a tank, and the height and density of the liquid. This is addressed further in Section 5.5.1.

**EXAMPLE 5.4**

The level of ethyl alcohol is to be measured from 0 to 5 m using a capacitive system such as that shown in Figure 5.10b. The following specifications define the system:

For ethyl alcohol:  $K = 26$  (for air,  $K = 1$ )

Cylinder separation:  $d = 0.5$  cm

Plate area:  $A = \pi r^2$

where

$R = 5.75$  cm = average radius

$L$  = distance along cylinder axis

Find the range of capacity variation as the alcohol level varies from 0 to 5 m.

*Solution*

We saw earlier that the capacity is given by  $C = KE_o(A/d)$ . Therefore, all we need to do is find the capacity for the entire cylinder with *no* alcohol, and then multiply that by 26.

$$A = 2\pi RL = 2\pi(0.0575 \text{ m})(5 \text{ m}) = 1.806 \text{ m}^2$$

Thus, for air

$$C = (1)(8.85 \text{ pF/M})(1.806 \text{ m}^2/0.005 \text{ m})$$

$$C = 3196 \text{ pF} = 0.0032 \text{ mF}$$

With the ethyl alcohol, the capacity becomes

$$C = 26(0.0032 \text{ mF})$$

$$C = \mathbf{0.0832 \text{ mF}}$$

The range is 0.0032 to 0.0832 mF.

Excerpt from the book published by Prentice Hall PTR. Copyright 1997. Available for purchase online in association with Amazon.com. (Also available for purchase in association with Amazon.co.uk and Amazon.co.de.)

## Sensores de posición y movimiento.

Por: Walt Kester.

Traducción de Alfonso Pérez García

Modern linear and digital integrated circuit technology is used throughout the field of position and motion sensing. Fully integrated solutions which combine linear and digital functions have resulted in cost effective solutions to problems which in the past have been solved using expensive electro-mechanical techniques. These systems are used in many applications including robotics, computer-aided manufacturing, factory automation, avionics, and automotive.

This section is an overview of linear and rotary position sensors and their associated conditioning circuits. An interesting application of mixed-signal IC integration is illustrated in the field of AC motor control. A discussion of micromachined accelerometers ends the section.

### POSITION AND MOTION SENSORS

Linear Position: Linear Variable Differential Transformers (LVDT)

Hall Effect Sensors

Proximity Detectors

Linear Output (Magnetic Field Strength)

Rotational Position:

Rotary Variable Differential Transformers (RVDT)

Optical Rotational Encoders

Synchros and Resolvers

Inductosyns (Linear and Rotational Position)

Motor Control Applications

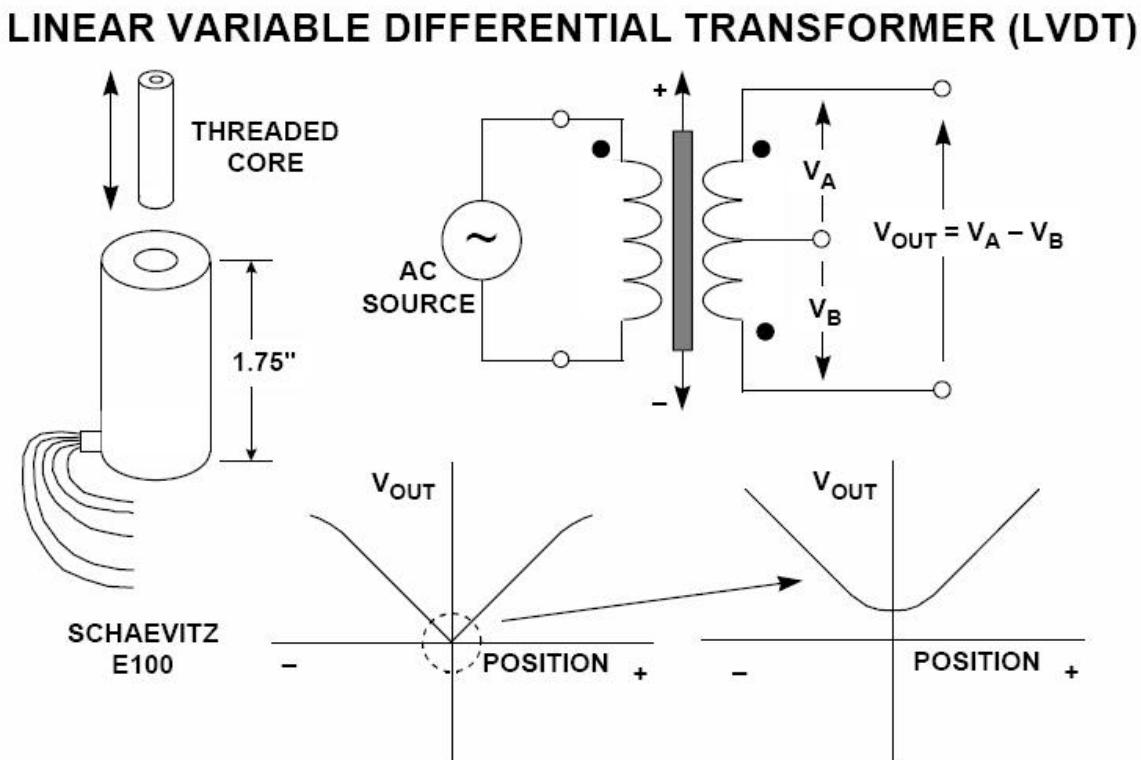
Acceleration and Tilt: Accelerometers

Figure 6.1

### LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMERS (LVDTs)

The linear variable differential transformer (LVDT) is an accurate and reliable method for measuring linear distance. LVDTs find uses in modern machine-tool, robotics, avionics, and computerized manufacturing. By the end of World War II, the LVDT had gained acceptance as a sensor element in the process control industry largely as a result of its use in aircraft, torpedo, and weapons systems. The publication of *The Linear Variable Differential Transformer* by Herman Schaevitz in 1946 (Proceedings of the SASE, Volume IV, No. 2) made the user community at large aware of the applications and features of the LVDT.

The LVDT (see Figure 6.2) is a position-to-electrical sensor whose output is proportional to the position of a movable magnetic core. The core moves linearly inside a transformer consisting of a center primary coil and two outer secondary coils wound on a cylindrical form. The primary winding is excited with an AC voltage source (typically several kHz), inducing secondary voltages which vary with the position of the magnetic core within the assembly. The core is usually threaded in order to facilitate attachment to a nonferromagnetic rod which in turn is attached to the object whose movement or displacement is being measured.

**Figure 6.2**

The secondary windings are wound out of phase with each other, and when the core is centered the voltages in the two secondary windings oppose each other, and the net output voltage is zero. When the core is moved off center, the voltage in the secondary toward which the core is moved increases, while the opposite voltage decreases. The result is a differential voltage output which varies linearly with the core's position. Linearity is excellent over the design range of movement, typically 0.5% or better. The LVDT offers good accuracy, linearity, sensitivity, infinite resolution, as well as frictionless operation and ruggedness.

A wide variety of measurement ranges are available in different LVDTs, typically from  $\pm 100\mu\text{m}$  to  $\pm 25\text{cm}$ . Typical excitation voltages range from 1V to 24V RMS, with frequencies from 50Hz to 20kHz. Key specifications for the Schaevitz E100 LVDT are given in Figure 6.3.

#### SCHAEVITZ E100 LVDT SPECIFICATIONS

- Nominal Linear Range:  $\pm 0.1$  inches ( $\pm 2.54\text{mm}$ )
- Input Voltage: 3V RMS
- Operating Frequency: 50Hz to 10kHz (2.5kHz nominal)
- Linearity: 0.5% Fullscale
- Sensitivity: 2.4mV Output / 0.001in / Volt Excitation
- Primary Impedance: 660W
- Secondary Impedance: 960W

**Figure 6.3**

Note that a true null does not occur when the core is in center position because of mismatches between the two secondary windings and leakage inductance. Also, simply measuring the output voltage  $V_{OUT}$  will not tell on which side of the null position the core resides.

A signal conditioning circuit which removes these difficulties is shown in Figure 6.4 where the absolute values of the two output voltages are subtracted. Using this technique, both positive and negative variations about the center position can be measured. While a diode/capacitor-type rectifier could be used as the absolute value circuit, the precision rectifier shown in Figure 6.5 is more accurate and linear. The input is applied to a V/I converter which in turn drives an analog multiplier. The sign of the differential input is detected by the comparator whose output switches the sign of the V/I output via the analog multiplier. The final output is a precision replica of the absolute value of the input. These circuits are well understood by IC designers and are easy to implement on modern bipolar processes.

The industry-standard **AD598** LVDT signal conditioner shown in Figure 6.6 (simplified form) performs all required LVDT signal processing. The on-chip excitation frequency oscillator can be set from 20Hz to 20kHz with a single external capacitor. Two absolute value circuits followed by two filters are used to detect the amplitude of the A and B channel inputs. Analog circuits are then used to generate the ratiometric function  $[A-B]/[A+B]$ . Note that this function is independent of the amplitude of the primary winding excitation voltage, assuming the sum of the LVDT output voltage amplitudes remains constant over the operating range. This is usually the case for most LVDTs, but the user should always check with the manufacturer if it is not specified on the LVDT data sheet. Note also that this approach requires the use of a 5-wire LVDT.

### IMPROVED LVDT OUTPUT SIGNAL PROCESSING

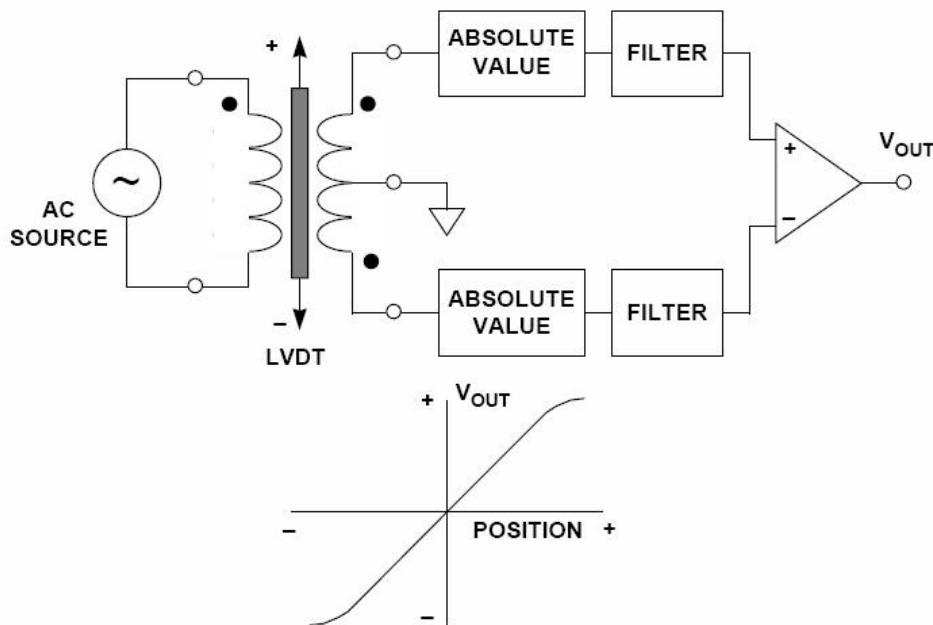
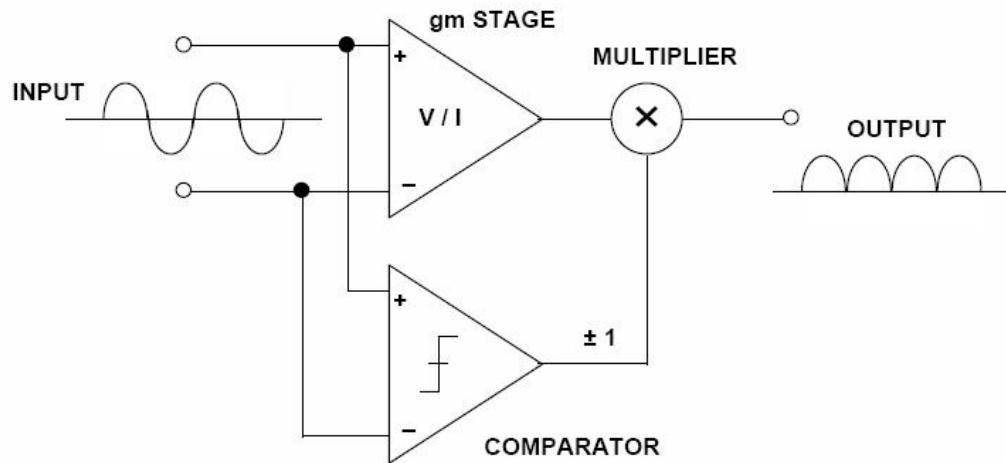


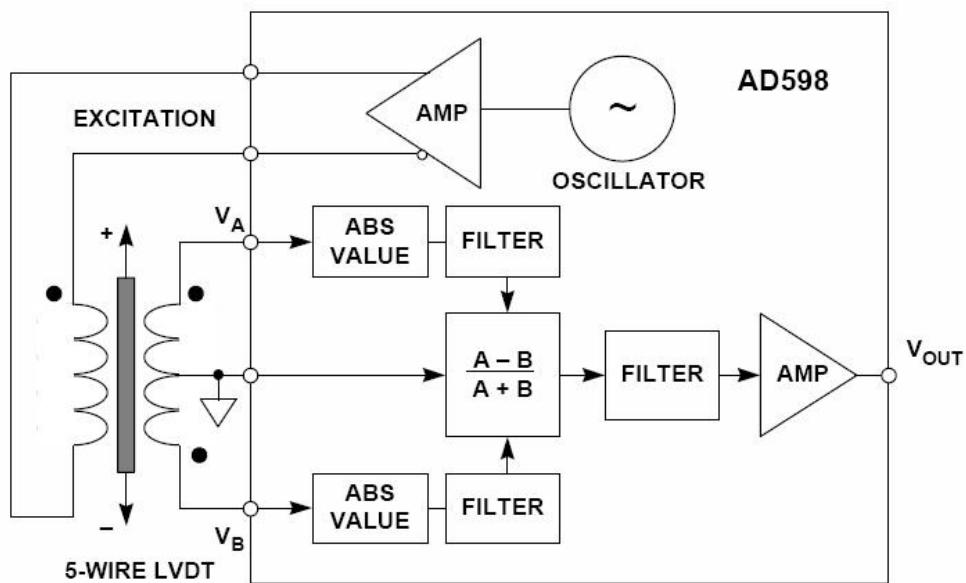
Figure 6.4

## PRECISION ABSOLUTE VALUE CIRCUIT (FULL-WAVE RECTIFIER)



**Figure 6.5**

## AD598 LVDT SIGNAL CONDITIONER (SIMPLIFIED)



**Figure 6.6**

A single external resistor sets the **AD598** excitation voltage from approximately 1V RMS to 24V RMS. Drive capability is 30mA RMS. The **AD598** can drive an LVDT at the end of 300 feet of cable, since the circuit is not affected by phase shifts or absolute signal magnitudes. The position output range of  $V_{OUT}$  is  $\pm 11V$  for a 6mA load and it can drive up to 1000 feet of cable. The VA and VB inputs can be as low as 100mV RMS.

The **AD698** LVDT signal conditioner (see Figure 6.7) has similar specifications as the **AD598** but processes the signals slightly differently. Note that the **AD698** operates from a 4-wire LVDT and uses synchronous demodulation. The A and B signal processors each consist of an absolute value function and a filter. The A output is then divided by the B output to produce a final output which is ratiometric and independent of the excitation voltage amplitude. Note that the sum of the LVDT secondary voltages does not have to remain constant in the **AD698**.

The **AD698** can also be used with a half-bridge (similar to an auto-transformer) LVDT as shown in Figure 6.8. In this arrangement, the entire secondary voltage is applied to the B processor, while the center-tap voltage is applied to the A processor. The half-bridge LVDT does not produce a null voltage, and the A/B ratio represents the range-of-travel of the core.

### AD698 LVDT SIGNAL CONDITIONER (SIMPLIFIED)

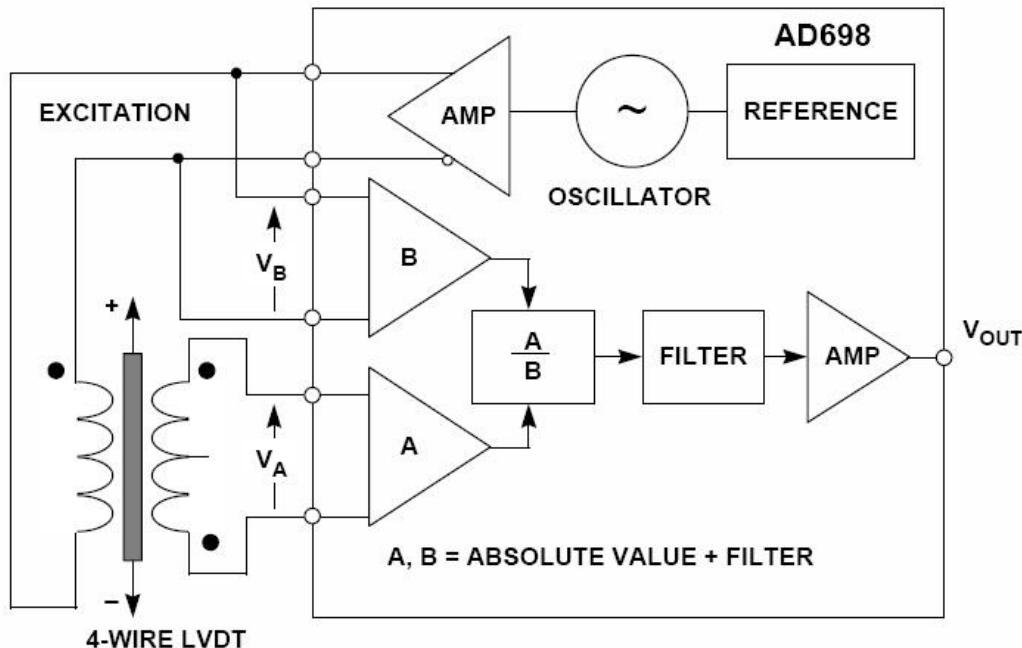


Figure 6.7

## HALF-BRIDGE LVDT CONFIGURATION

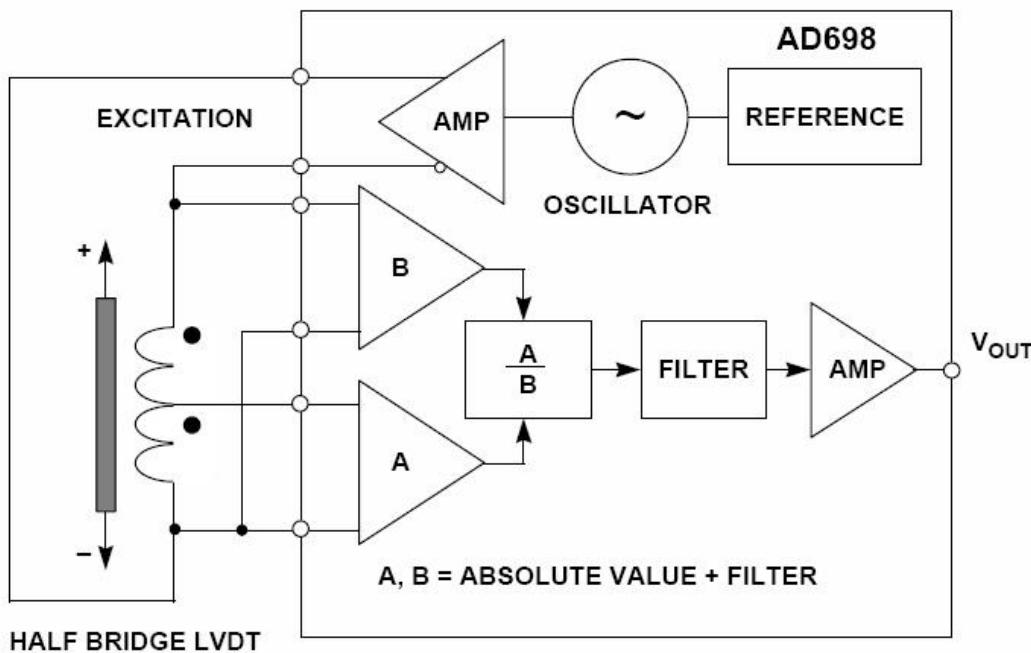


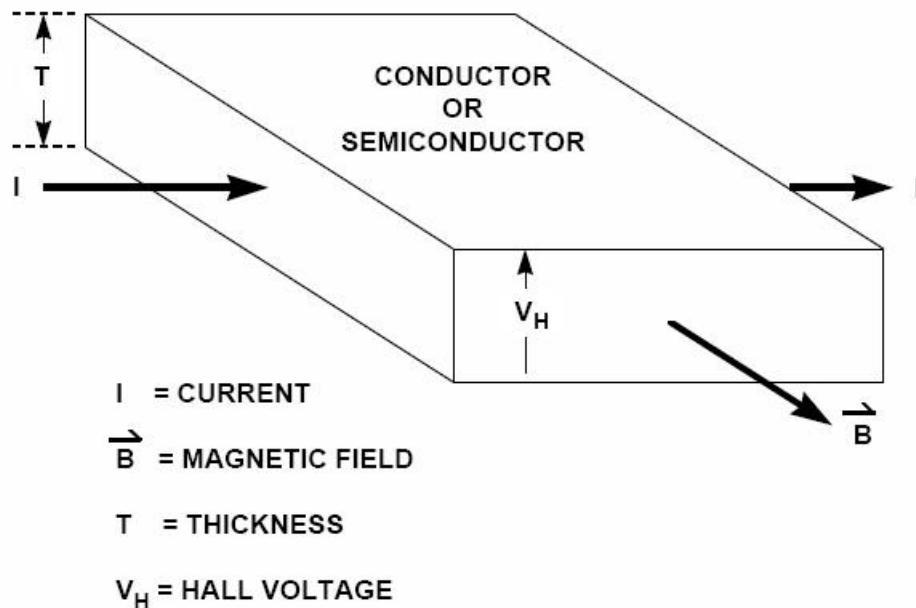
Figure 6.8

It should be noted that the LVDT concept can be implemented in rotary form, in which case the device is called a *rotary variable differential transformer* (RVDT). The shaft is equivalent to the core in an LVDT, and the transformer windings are wound on the stationary part of the assembly. However, the RVDT is linear over a relatively narrow range of rotation and is not capable of measuring a full  $360^\circ$  rotation. Although capable of continuous rotation, typical RVDTs are linear over a range of about  $\pm 40^\circ$  about the null position ( $0^\circ$ ). Typical sensitivity is 2 to 3mV per volt per degree of rotation, with input voltages in the range of 3V RMS at frequencies between 400Hz and 20kHz. The  $0^\circ$  position is marked on the shaft and the body.

## HALL EFFECT MAGNETIC SENSORS

If a current flows in a conductor (or semiconductor) and there is a magnetic field present which is perpendicular to the current flow, then the combination of current and magnetic field will generate a voltage perpendicular to both (see Figure 6.9). This phenomenon is called the *Hall Effect*, was discovered by **E. H. Hall** in 1879. The voltage,  $V_H$ , is known as the *Hall Voltage*.  $V_H$  is a function of the current density, the magnetic field, and the charge density and carrier mobility of the conductor.

## HALL EFFECT SENSORS



**Figure 6.9**

The Hall effect may be used to measure magnetic fields (and hence in contact-free current measurement), but its commonest application is in motion sensors where a fixed Hall sensor and a small magnet attached to a moving part can replace a cam and contacts with a great improvement in reliability. (Cams wear and contacts arc or become fouled, but magnets and Hall sensors are contact free and do neither.) Since  $V_H$  is proportional to magnetic field and not to rate of change of magnetic field like an inductive sensor, the Hall Effect provides a more reliable low speed sensor than an inductive pickup.

Although several materials can be used for Hall effect sensors, silicon has the advantage that signal conditioning circuits can be integrated on the same chip as the sensor. CMOS processes are common for this application. A simple rotational speed detector can be made with a Hall sensor, a gain stage, and a comparator as shown in Figure 6.10. The circuit is designed to detect rotation speed as in automotive applications. It responds to small changes in field, and the comparator has built-in hysteresis to prevent oscillation. Several companies manufacture such Hall switches, and their usage is widespread.

## HALL EFFECT SENSOR USED AS A ROTATION SENSOR

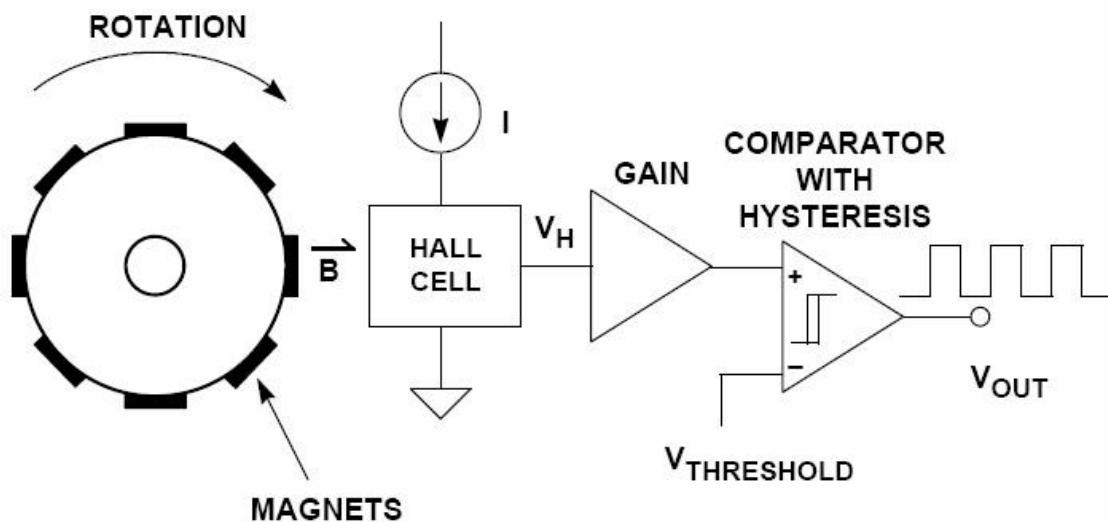


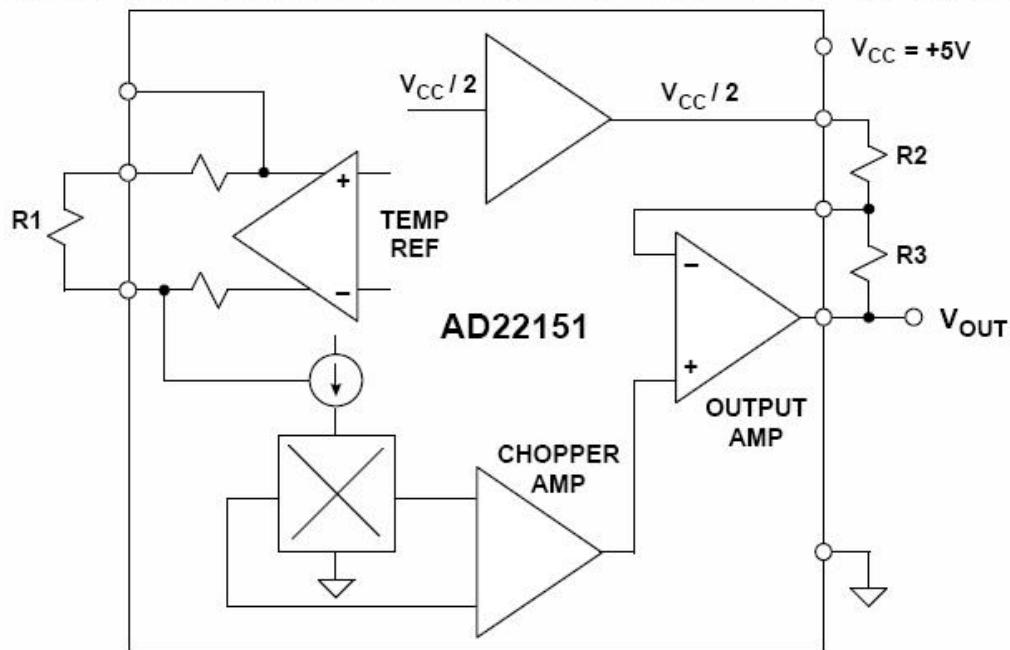
Figure 6.10

There are many other applications, particularly in automotive throttle, pedal, suspension, and valve position sensing, where a linear representation of the magnetic field is desired. The **AD22151** is a linear magnetic field sensor whose output voltage is proportional to a magnetic field applied perpendicularly to the package top surface (see Figure 6.11). The **AD22151** combines integrated bulk Hall cell technology and conditioning circuitry to minimize temperature related drifts associated with silicon Hall cell characteristics.

The architecture maximizes the advantages of a monolithic implementation while allowing sufficient versatility to meet varied application requirements with a minimum number of external components. Principal features include dynamic offset drift cancellation using a chopper-type op amp and a built-in temperature sensor.

Designed for single +5V supply operation, low offset and gain drift allows operation over a -40°C to +150°C range. Temperature compensation (set externally with a resistor R1) can accommodate a number of magnetic materials commonly utilized in position sensors. Output voltage range and gain can be easily set with external resistors. Typical gain range is usually set from 2mV/Gauss to 6mV/Gauss. Output voltage can be adjusted from fully bipolar (reversible) field operation to fully unipolar field sensing. The voltage output achieves near rail-to-rail dynamic range (+0.5V to +4.5V), capable of supplying 1mA into large capacitive loads. The output signal is ratiometric to the positive supply rail in all configurations.

## AD22151 LINEAR OUTPUT MAGNETIC FIELD SENSOR

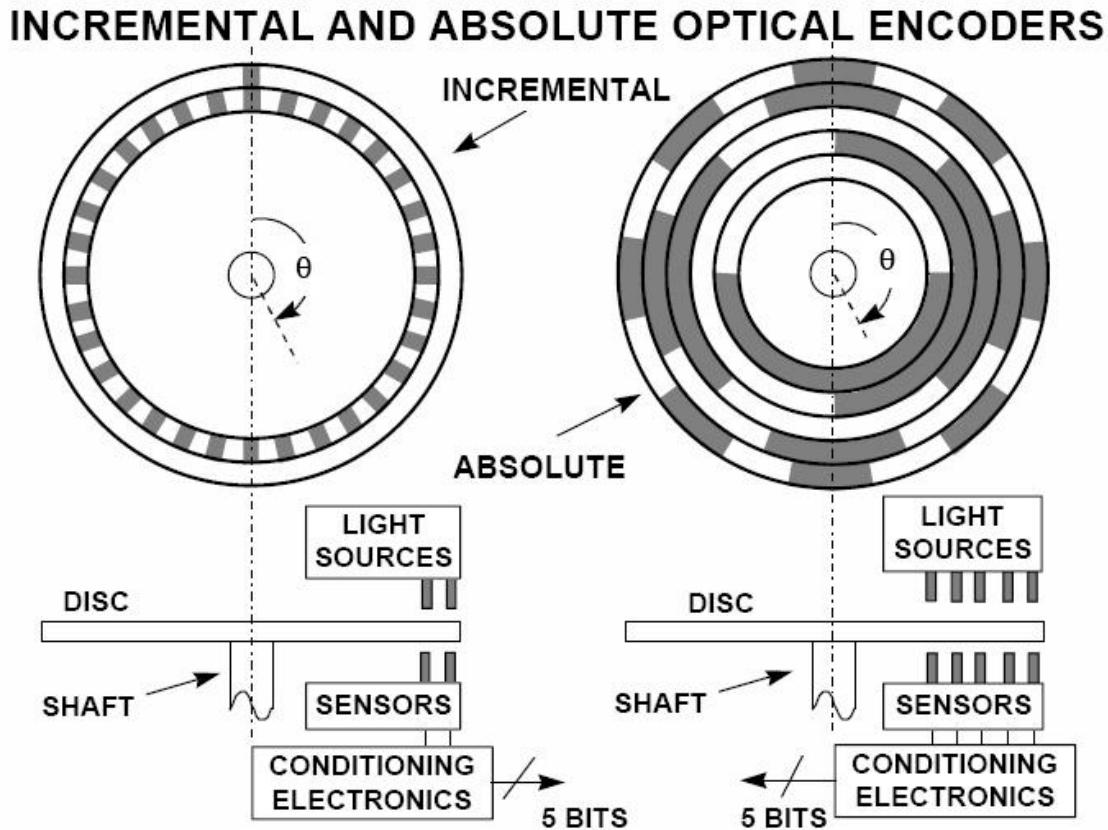


$$V_{OUT} = \left[ 1 + \frac{R_3}{R_2} \right] [0.4mV] / \text{Gauss} \quad \text{NONLINEARITY} = 0.1\% \text{ FS}$$

Figure 6.11

### OPTICAL ENCODERS

Among the most popular position measuring sensors, optical encoders find use in relatively low reliability and low resolution applications. An *incremental* optical encoder (left-hand diagram in Figure 6.12) is a disc divided into sectors that are alternately transparent and opaque. A light source is positioned on one side of the disc, and a light sensor on the other side. As the disc rotates, the output from the detector switches alternately on and off, depending on whether the sector appearing between the light source and the detector is transparent or opaque. Thus, the encoder produces a stream of square wave pulses which, when counted, indicate the angular position of the shaft. Available encoder resolutions (the number of opaque and transparent sectors per disc) range from 100 to 65,000, with absolute accuracies approaching 30 arc-seconds (1/43,200 per rotation). Most incremental encoders feature a second light source and sensor at an angle to the main source and sensor, to indicate the direction of rotation. Many encoders also have a third light source and detector to sense a once-per-revolution marker. Without some form of revolution marker, absolute angles are difficult to determine. A potentially serious disadvantage is that incremental encoders require external counters to determine absolute angles within a given rotation. If the power is momentarily shut off, or if the encoder misses a pulse due to noise or a dirty disc, the resulting angular information will be in error.



**Figure 6.12**

The *absolute* optical encoder (right-hand diagram in Figure 6.12) overcomes these disadvantages but is more expensive. An absolute optical encoder's disc is divided up into  $N$  sectors ( $N = 5$  for example shown), and each sector is further divided radially along its length into opaque and transparent sections, forming a unique  $N$ -bit digital word with a maximum count of  $2N - 1$ . The digital word formed radially by each sector increments in value from one sector to the next, usually employing Gray code.

Binary coding could be used, but can produce large errors if a single bit is incorrectly interpreted by the sensors. Gray code overcomes this defect: the maximum error produced by an error in any single bit of the Gray code is only 1 LSB after the Gray code is converted into binary code. A set of  $N$  light sensors responds to the  $N$ -bit digital word which corresponds to the disc's absolute angular position. Industrial optical encoders achieve up to 16-bit resolution, with absolute accuracies that approach the resolution (20 arc seconds). Both absolute and incremental optical encoders, however, may suffer damage in harsh industrial environments.

## RESOLVERS AND SYNCHROS

Machine-tool and robotics manufacturers have increasingly turned to resolvers and synchros to provide accurate angular and rotational information. These devices excel in demanding factory applications requiring small size, long-term reliability, absolute position measurement, high accuracy, and low-noise operation.

A diagram of a typical synchro and resolver is shown in Figure 6.13. Both synchros and resolvers employ single-winding rotors that revolve inside fixed stators. In the case of a simple synchro, the stator has three windings oriented 120° apart and electrically connected in a Y-connection. Resolvers differ from synchros in that their stators have only two windings oriented at 90°.

## SYNCHROS AND RESOLVERS

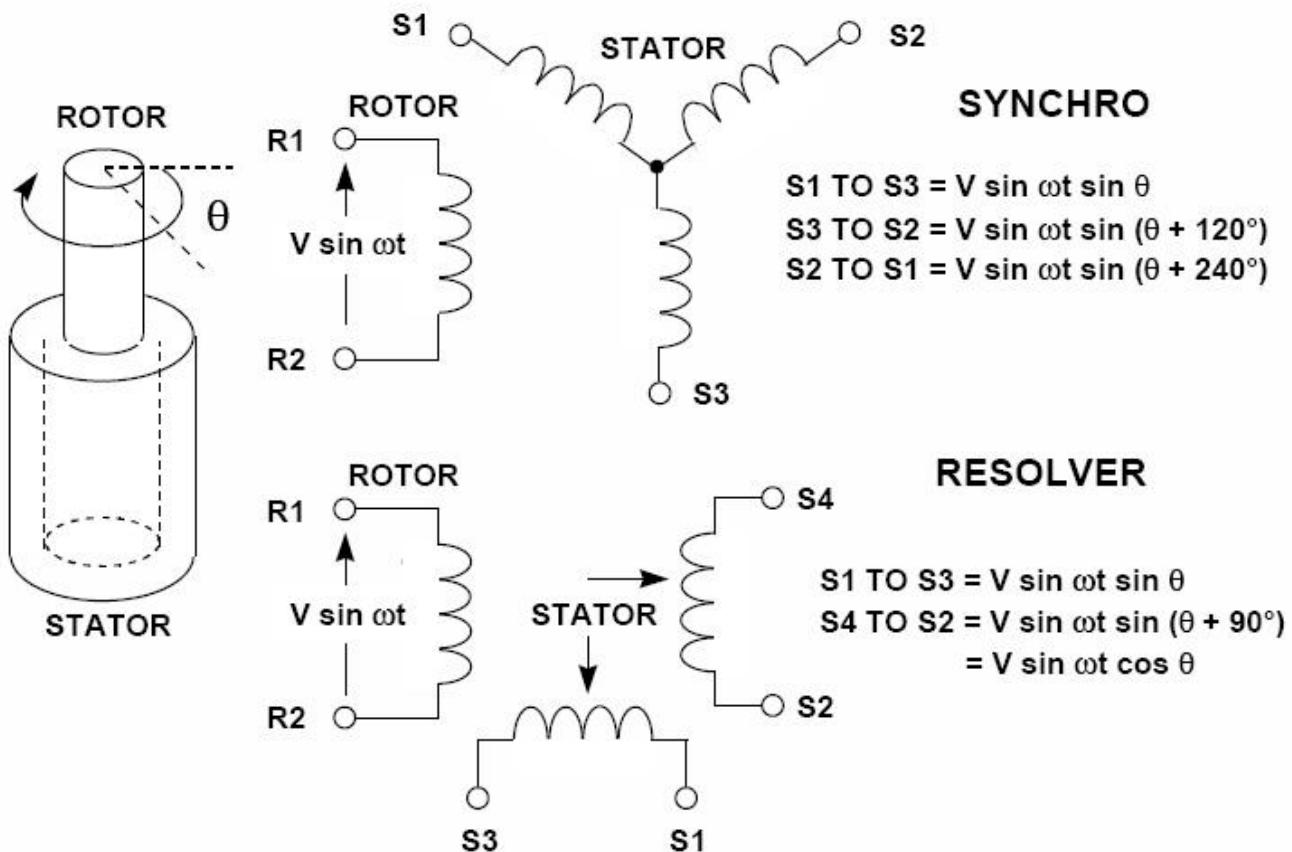


Figure 6.13

Because synchros have three stator coils in a 120° orientation, they are more difficult than resolvers to manufacture and are therefore more costly. Today, synchros find decreasing use, except in certain military and avionic retrofit applications.

Modern resolvers, in contrast, are available in a brushless form that employ a transformer to couple the rotor signals from the stator to the rotor. The primary winding of this transformer resides on the stator, and the secondary on the rotor.

Other resolvers use more traditional brushes or slip rings to couple the signal into the rotor winding. Brushless resolvers are more rugged than synchros because there are no brushes to break or dislodge, and the life of a brushless resolver is limited only by its bearings. Most resolvers are specified to work over 2V to 40V RMS and at frequencies from 400Hz to 10kHz. Angular accuracies range from 5 arc-minutes to 0.5 arc-minutes. (There are 60 arc-minutes in one degree, and 60 arc-seconds in one arc-minute. Hence, one arc-minute is equal to 0.0167 degrees).

In operation, synchros and resolvers resemble rotating transformers. The rotor winding is excited by an AC reference voltage, at frequencies up to a few kHz. The magnitude of the voltage induced in any stator winding is proportional to the sine of the angle,  $\theta$ , between the rotor coil axis and the stator coil axis. In the case of a synchro, the voltage induced across any pair of stator terminals will be the vector sum of the voltages across the two connected coils.

For example, if the rotor of a synchro is excited with a reference voltage,  $V \sin \omega t$ , across its terminals R1 and R2, then the stator's terminal will see voltages in the form:

$$\begin{aligned} S1 \text{ to } S3 &= V \sin \omega t \sin \theta \\ S3 \text{ to } S2 &= V \sin \omega t \sin (\theta + 120^\circ) \\ S2 \text{ to } S1 &= V \sin \omega t \sin (\theta + 240^\circ), \end{aligned}$$

where  $\theta$  is the shaft angle.

In the case of a resolver, with a rotor AC reference voltage of  $V \sin \omega t$ , the stator's terminal voltages will be:

$$\begin{aligned} S1 \text{ to } S3 &= V \sin \omega t \sin \theta \\ S4 \text{ to } S2 &= V \sin \omega t \sin (\theta + 90^\circ) = V \sin \omega t \cos \theta. \end{aligned}$$

It should be noted that the 3-wire synchro output can be easily converted into the resolver-equivalent format using a Scott-T transformer. Therefore, the following signal processing example describes only the resolver configuration.

A typical **Resolver-To-Digital Converter (RDC)** is shown functionally in Figure 6.14. The two outputs of the resolver are applied to cosine and sine multipliers. These multipliers incorporate sine and cosine lookup tables and function as multiplying digital-to-analog converters. Begin by assuming that the current state of the up/down counter is a digital number representing a trial angle,  $\varphi$ . The converter seeks to adjust the digital angle,  $\varphi$ , continuously to become equal to, and to track  $\theta$ , the analog angle being measured.

The resolver's stator output voltages are written as:

$$V_1 = V \sin\omega t \sin\theta$$

$$V_2 = V \sin\omega t \cos\theta$$

where  $\theta$  is the angle of the resolver's rotor. The digital angle  $\varphi$  is applied to the cosine multiplier, and its cosine is multiplied by  $V_1$  to produce the term:

$$V \sin\omega t \sin\varphi \cos\theta.$$

The digital angle  $\varphi$  is also applied to the sine multiplier and multiplied by  $V_2$  to produce the term:

$$V \sin\omega t \cos\theta \sin\varphi.$$

These two signals are subtracted from each other by the error amplifier to yield an AC error signal of the form:

$$V \sin\omega t [\sin\theta \cos\varphi - \cos\theta \sin\varphi].$$

Using a simple trigonometric identity, this reduces to:

$$V \sin\omega t [\sin(\theta - \varphi)].$$

The detector synchronously demodulates this AC error signal, using the resolver's rotor voltage as a reference. This results in a DC error signal proportional to  $\sin(\theta - \varphi)$ .

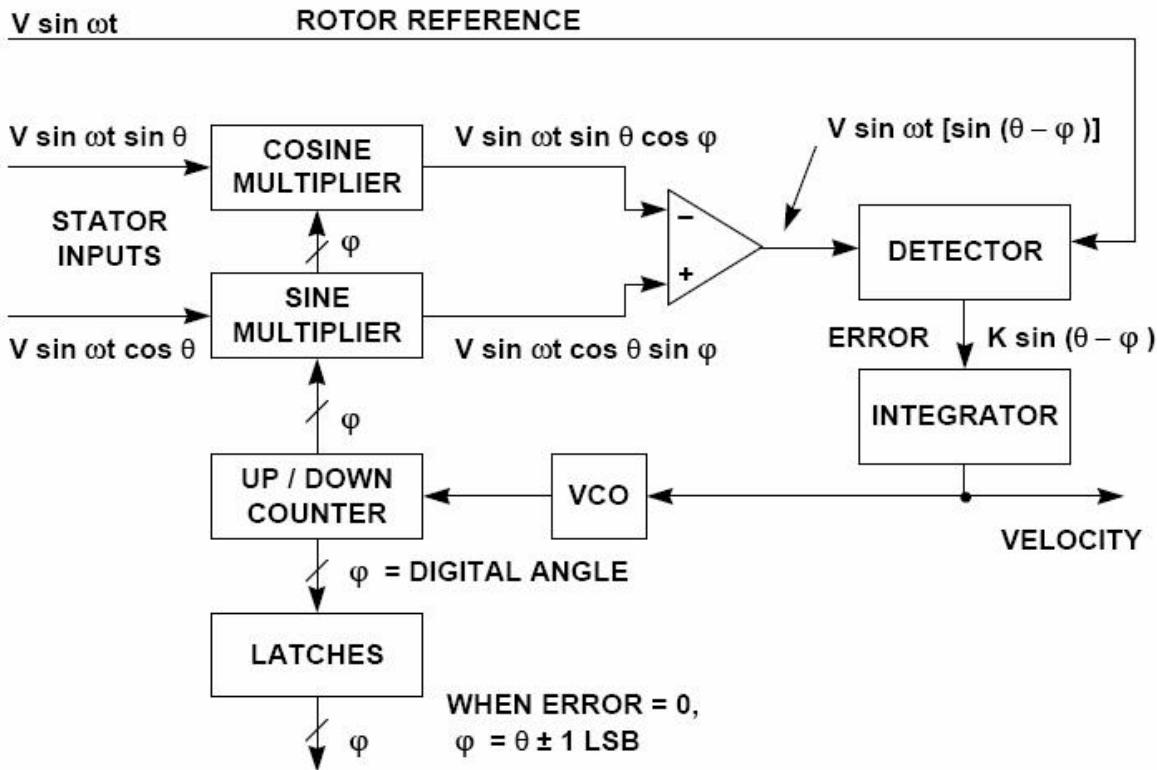
The DC error signal feeds an integrator, the output of which drives a voltagecontrolled-oscillator (**VCO**). The **VCO**, in turn, causes the up/down counter to count in the proper direction to cause:

$$\sin(\theta - \varphi) \rightarrow 0.$$

When this is achieved,  $\theta - \varphi \rightarrow 0$ , and therefore  $\varphi = \theta$  to within one count. Hence, the counter's digital output,  $\varphi$ , represents the angle  $\theta$ .

The latches enable this data to be transferred externally without interrupting the loop's tracking.

## RESOLVER-TO-DIGITAL CONVERTER (RTD)



**Figure 6.14**

This circuit is equivalent to a so-called type-2 servo loop, because it has, in effect, two integrators. One is the counter, which accumulates pulses; the other is the integrator at the output of the detector. In a type-2 servo loop with a constant rotational velocity input, the output digital word continuously follows, or tracks the input, without needing externally derived convert commands, and with no steady state phase lag between the digital output word and actual shaft angle. An error signal appears only during periods of acceleration or deceleration.

As an added bonus, the tracking **RDC** provides an analog DC output voltage directly proportional to the shaft's rotational velocity. This is a useful feature if velocity is to be measured or used as a stabilization term in a servo system, and it makes tachometers unnecessary.

Since the operation of an **RDC** depends only on the ratio between input signal amplitudes, attenuation in the lines connecting them to resolvers doesn't substantially affect performance. For similar reasons, these converters are not greatly susceptible to waveform distortion. In fact, they can operate with as much as 10% harmonic distortion on the input signals; some applications actually use squarewave references with little additional error.

Tracking **ADCs** are therefore ideally suited to **RDCs**. While other **ADC** architectures, such as successive approximation, could be used, the tracking converter is the most accurate and efficient for this application.

Because the tracking converter doubly integrates its error signal, the device offers a high degree of noise immunity (12 dB-per-octave rolloff). The net area under any given noise spike produces an error. However, typical inductively coupled noise spikes have equal positive and negative going waveforms. When integrated, this results in a zero net error signal. The resulting noise immunity, combined with the converter's insensitivity to voltage drops, lets the user locate the converter at a considerable distance from the resolver. Noise rejection is further enhanced by the detector's rejection of any signal not at the reference frequency, such as wideband noise.

The **AD2S90** is one of a number of integrated **RDCs** offered by **Analog Devices**. Key specifications are shown in Figure 6.15. The general architecture is similar to that of Figure 6.14. The input signal level should be 2V RMS  $\pm$  10% in the frequency range from 3kHz to 20kHz.

### PERFORMANCE CHARACTERISTICS FOR AD2S90 RESOLVER-TO-DIGITAL CONVERTER

- **12-Bit Resolution (1 LSB = 0.08° = 5.3 arc min)**
- **Inputs: 2V RMS  $\pm$  10%, 3kHz to 20kHz**
- **Angular Accuracy: 10.6 arc min  $\pm$  1 LSB**
- **Maximum Tracking Rate: 375 revolutions per second**
- **Maximum VCO Clock Rate: 1.536MHz**
- **Settling Time:**
  - **1° Step: 7ms**
  - **179° Step: 20ms**
- **Differential Inputs**
- **Serial Output Interface**
- **$\pm$  5V Supplies, 50mW Power Dissipation**
- **20 Pin PLCC**

Figure 6.15

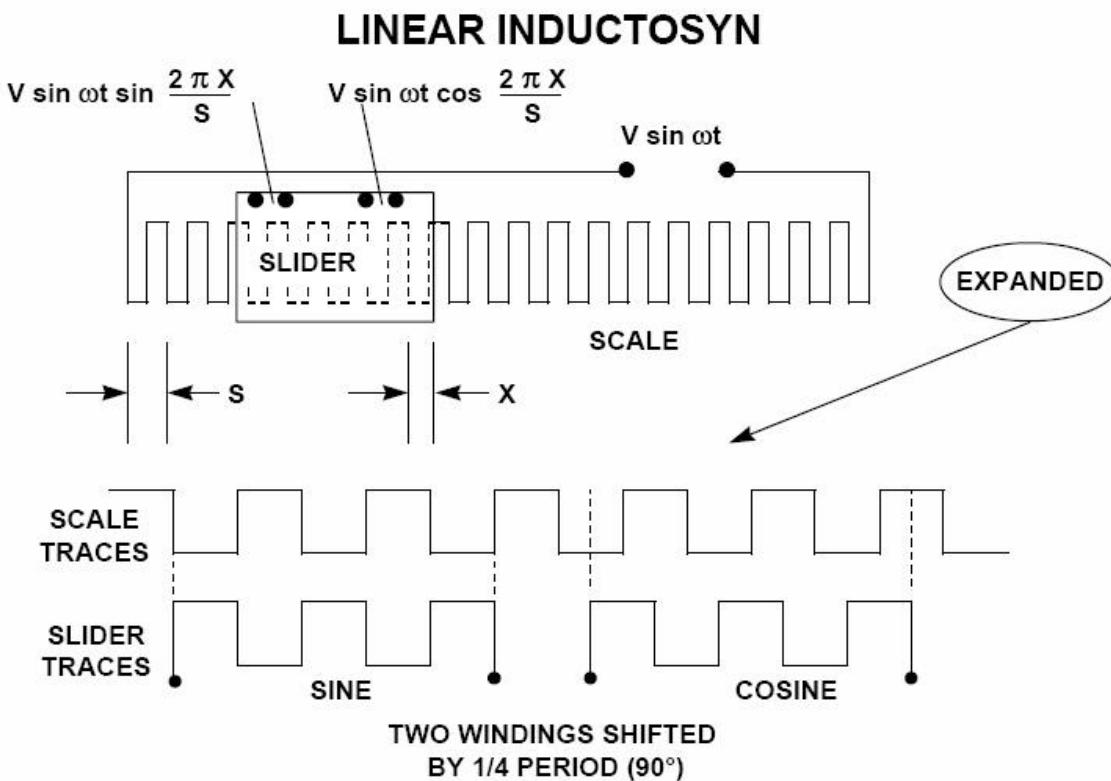
### INDUCTOSYNS

Synchros and resolvers inherently measure rotary position, but they can make linear position measurements when used with lead screws. An alternative, the Inductosyn™ (registered trademark of Farrand Controls, Inc.) measures linear position directly. In addition, Inductosyns are accurate and rugged, well-suited to severe industrial environments, and do not require ohmic contact.

The linear Inductosyn consists of two magnetically coupled parts; it resembles a multipole resolver in its operation (see Figure 6.16). One part, the scale, is fixed (e.g. with epoxy) to one axis, such as a machine tool bed. The other part, the slider, moves along the scale in conjunction with the device to be positioned (for example, the machine tool carrier).

The scale is constructed of a base material such as steel, stainless steel, aluminum, or a tape of spring steel, covered by an insulating layer. Bonded to this is a printed circuit trace, in the

form of a continuous rectangular waveform pattern. The pattern typically has a cyclic pitch of 0.1 inch, 0.2 inch, or 2 millimeters. The slider, about 4 inches long, has two separate but identical printed circuit traces bonded to the surface that faces the scale. These two traces have a waveform pattern with exactly the same cyclic pitch as the waveform on the scale, but one trace is shifted onequarter of a cycle relative to the other. The slider and the scale remain separated by a small air gap of about 0.007 inch.



**Figure 6.16**

Inductosyn operation resembles that of a resolver. When the scale is energized with a sine wave, this voltage couples to the two slider windings, inducing voltages proportional to the sine and cosine of the slider's spacing within the cyclic pitch of the scale. If  $S$  is the distance between pitches, and  $X$  is the slider displacement within a pitch, and the scale is energized with a voltage  $V \sin \omega t$ , then the slider windings will see terminal voltages of:

$$\begin{aligned} V (\text{sine output}) &= V \sin \omega t \sin [2\pi X/S] \\ V (\text{cosine output}) &= V \sin \omega t \cos [2\pi X/S]. \end{aligned}$$

As the slider moves the distance of the scale pitch, the voltages produced by the two slider windings are similar to those produced by a resolver rotating through 360°. The absolute orientation of the Inductosyn is determined by counting successive pitches in either direction from an established starting point. Because the Inductosyn consists of a large number of cycles, some form of coarse control is necessary in order to avoid ambiguity. The usual

method of providing this is to use a resolver or synchro operated through a rack and pinion or a lead screw.

In contrast to a resolver's highly efficient transformation of 1:1 or 2:1, typical Inductosyns operate with transformation ratios of 100:1. This results in a pair of sinusoidal output signals in the millivolt range which generally require amplification.

Since the slider output signals are derived from an average of several spatial cycles, small errors in conductor spacing have minimal effects. This is an important reason for the Inductosyn's very high accuracy. In combination with 12-bit **RDCs**, linear Inductosyns readily achieve 25 microinch resolutions.

Rotary inductosyns can be created by printing the scale on a circular rotor and the slider's track pattern on a circular stator. Such rotary devices can achieve very high resolutions. For instance, a typical rotary Inductosyn may have 360 cyclic pitches per rotation, and might use a 12-bit RDC. The converter effectively divides each pitch into 4096 sectors. Multiplying by 360 pitches, the rotary Inductosyn divides the circle into a total of 1,474,560 sectors. This corresponds to an angular resolution of less than 0.9 arc seconds. As in the case of the linear Inductosyn, a means must be provided for counting the individual pitches as the shaft rotates. This may be done with an additional resolver acting as the coarse measurement.

## ACCELEROMETERS

Accelerometers are widely used to measure tilt, inertial forces, shock, and vibration.

They find wide usage in automotive, medical, industrial control, and other applications. Modern micromachining techniques allow these accelerometers to be manufactured on CMOS processes at low cost with high reliability. **Analog Devices iMEMS® (I**ntegrated **M**icro **E**lectro **M**echanical **S**ystems) accelerometers represent a breakthrough in this technology. A significant advantage of this type of accelerometer over piezoelectric-type charge-output accelerometers is that DC acceleration can be measured (e.g. they can be used in tilt measurements where the acceleration is a constant 1g).

The basic unit cell sensor building block for these accelerometers is shown in Figure 6.19. The surface micromachined sensor element is made by depositing polysilicon on a sacrificial oxide layer that is then etched away leaving the suspended sensor element. The actual sensor has tens of unit cells for sensing acceleration, but the diagram shows only one cell for clarity. The electrical basis of the sensor is the differential capacitor (CS1 and CS2) which is formed by a center plate which is part of the moving beam and two fixed outer plates. The two capacitors are equal at rest (no applied acceleration). When acceleration is applied, the mass of the beam causes it to move closer to one of the fixed plates while moving further from the other. This change in differential capacitance forms the electrical basis for the conditioning electronics shown in Figure 6.20.

## ACCELEROMETER APPLICATIONS

- n Tilt or Inclination
- u Car Alarms
- u Patient Monitors
- n Inertial Forces
- u Laptop Computer Disc Drive Protection
- u Airbag Crash Sensors
- u Car Navigation systems
- u Elevator Controls
- n Shock or Vibration
- u Machine Monitoring
- u Control of Shaker Tables
- n ADI Accelerometer Fullscale g-Range:  $\pm 2g$  to  $\pm 100g$
- n ADI Accelerometer Frequency Range: DC to 1kHz

Figure 6.18

## ADXL-FAMILY MICROMACHINED ACCELEROMETERS (TOP VIEW OF IC)

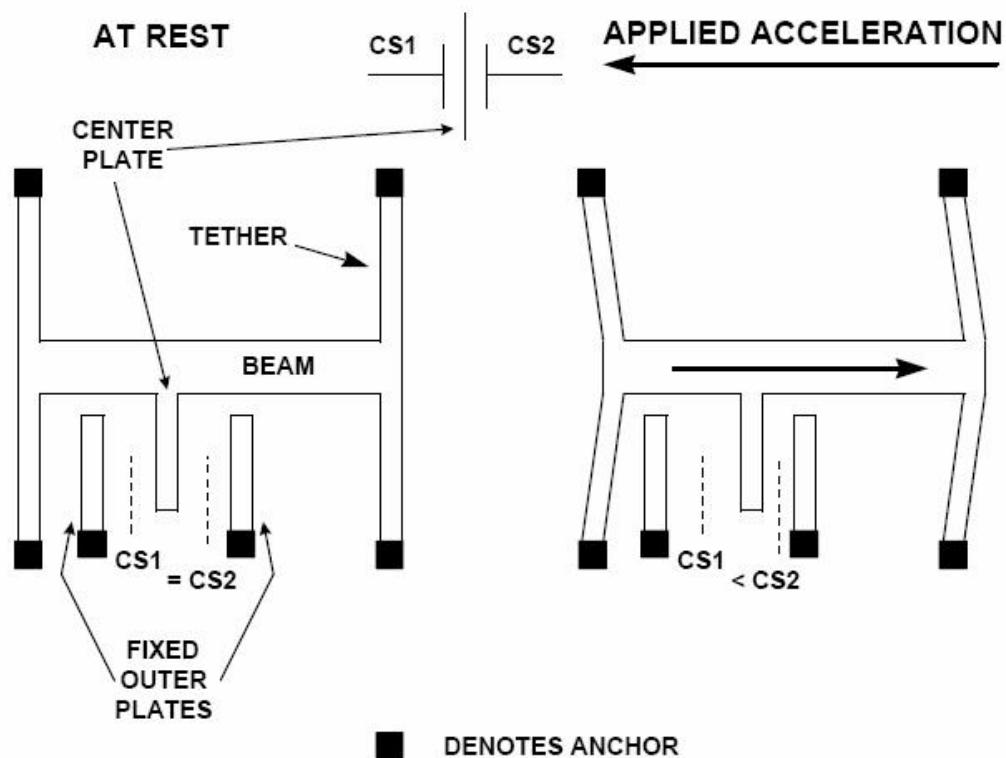
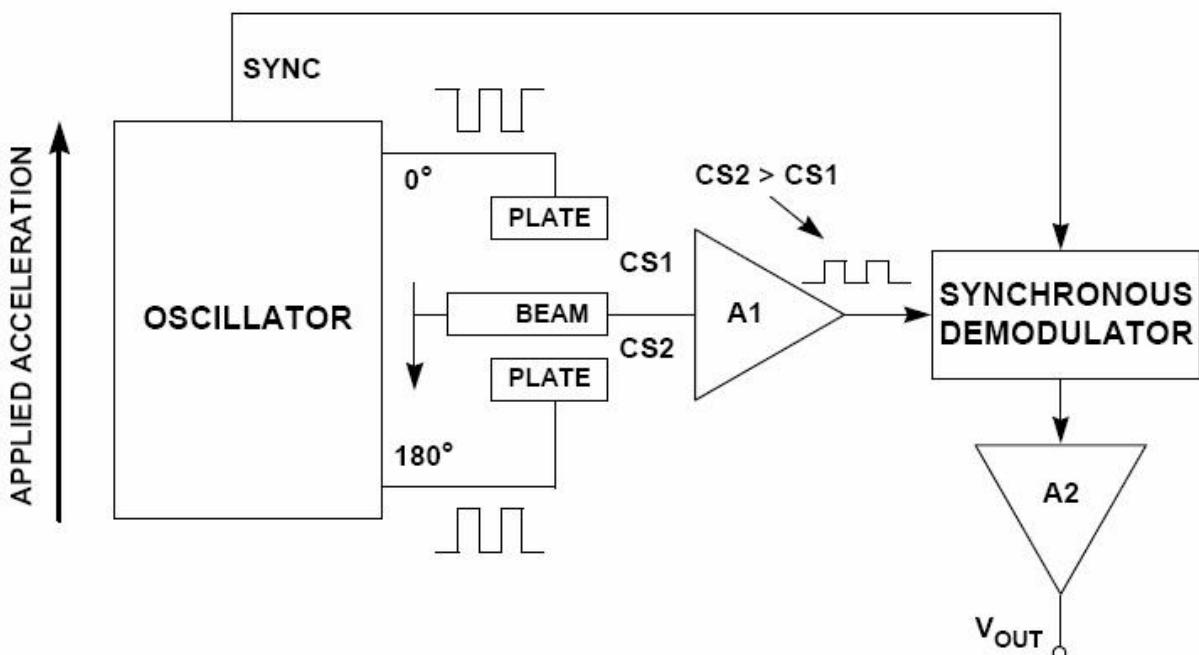


Figure 6.19

## ADXL-FAMILY ACCELEROMETERS INTERNAL SIGNAL CONDITIONING



**Figure 6.20**

The sensor's fixed capacitor plates are driven differentially by a 1MHz square wave: the two square wave amplitudes are equal but are  $180^\circ$  out of phase. When at rest, the values of the two capacitors are the same, and therefore the voltage output at their electrical center (i.e., at the center plate attached to the movable beam) is zero.

When the beam begins to move, a mismatch in the capacitance produces an output signal at the center plate. The output amplitude will increase with the acceleration experienced by the sensor. The center plate is buffered by A1 and applied to a synchronous demodulator. The direction of beam motion affects the phase of the signal, and synchronous demodulation is therefore used to extract the amplitude information. The synchronous demodulator output is amplified by A2 which supplies the acceleration output voltage,  $V_{OUT}$ .

An interesting application of low-g accelerometers is measuring tilt. Figure 6.21 shows the response of an accelerometer to tilt. The accelerometer output on the diagram has been normalized to 1g fullscale. The accelerometer output is proportional to the sine of the tilt angle with respect to the horizon. Note that maximum sensitivity occurs when the accelerometer axis is perpendicular to the acceleration. This scheme allows tilt angles from  $-90^\circ$  to  $+90^\circ$  ( $180^\circ$  of rotation) to be measured. However, in order to measure a full  $360^\circ$  rotation, a dual-axis accelerometer must be used.

## USING AN ACCELEROMETER TO MEASURE TILT

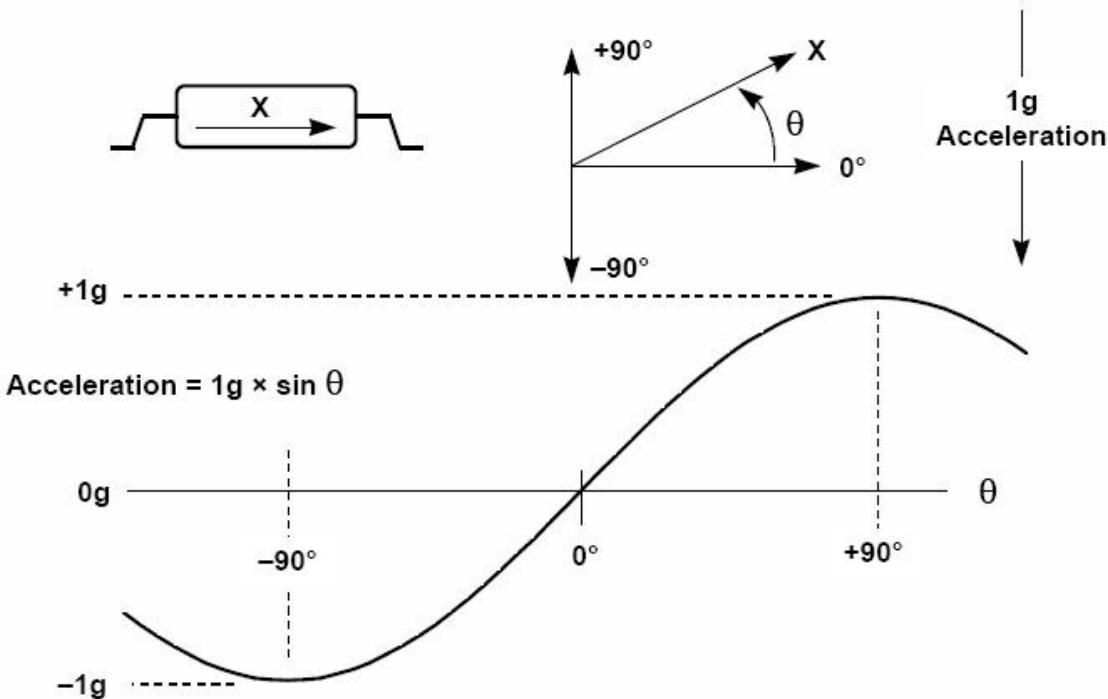


Figure 6.21

Figure 6.22 shows a simplified block diagram of the **ADXL202** dual axis  $\pm 2g$  accelerometer. The output is a pulse whose duty cycle contains the acceleration information. This type of output is extremely useful because of its high noise immunity, and the data is transmitted over a single wire. Standard low cost microcontrollers have timers which can be easily used to measure the T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> intervals. The acceleration in g is then calculated using the formula:  $A(g) = 8 [T_1/T_2 - 0.5]$ .

Note that a duty cycle of 50% ( $T_1 = T_2$ ) yields a 0g output. T<sub>2</sub> does not have to be measured for every measurement cycle. It need only be updated to account for changes due to temperature. Since the T<sub>2</sub> time period is shared by both X and Y channels, it is necessary to only measure it on one channel. The T<sub>2</sub> period can be set from 0.5ms to 10ms with an external resistor.

Analog voltages representing acceleration can be obtained by buffering the signal from the XFILT and YFILT outputs or by passing the duty cycle signal through an RC filter to reconstruct its DC value. A single accelerometer cannot work in all applications. Specifically, there is a need for both low-g and high-g accelerometers. Low-g devices are useful in such applications as tilt measurements, but higher-g accelerometers are needed in applications such as airbag crash sensors. Figure 6.23 summarizes Analog Devices family of **ADXL**

accelerometers to date. Note that dual-axis versions as well as dutycycle output versions are also available for some of the devices.

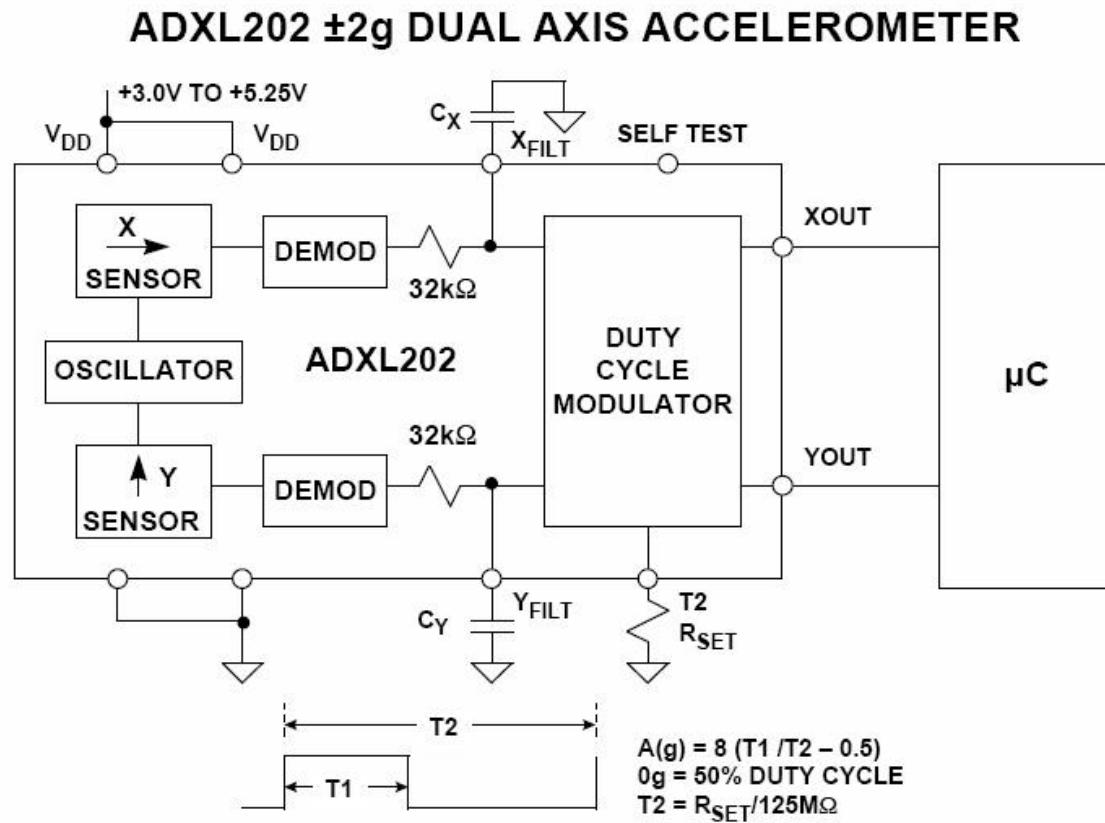


Figure 6.22

## ADXL FAMILY OF ACCELEROMETERS

	g RANGE	NOISE DENSITY	SINGLE/DUAL AXIS	VOLTAGE/DUTY CYCLE OUTPUT
ADXL202	$\pm 2\text{g}$	$0.5\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Dual	Duty Cycle
ADXL05	$\pm 5\text{g}$	$0.5\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Single	Voltage
ADXL105	$\pm 5\text{g}$	$0.175\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Single	Voltage
ADXL210	$\pm 10\text{g}$	$0.5\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Dual	Duty Cycle
ADXL150	$\pm 50\text{g}$	$1\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Single	Voltage
ADXL250	$\pm 50\text{g}$	$1\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Dual	Voltage
ADXL190	$\pm 100\text{g}$	$4\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$	Single	Voltage

**Figure 6.23**

## REFERENCES

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
1. Herman Schaevitz,	<i>The Linear Variable Differential Transformer,</i>	<b>Proceedings of the SASE</b> , Volume IV, No. 2, 1946.
2. Dr. Ernest D.D. Schmidt,	<i>Linear Displacement - Linear Variable Differential Transformers - LVDTs,</i>	Schaevitz Sensors, <a href="http://www.schaevitz.com">http://www.schaevitz.com</a> .
3.	E-Series LVDT Data Sheet,	Schaevitz Sensors, <a href="http://www.schaevitz.com">http://www.schaevitz.com</a> . Schaevitz Sensors is now a division of Lucas Control Systems, 1000 Lucas Way, Hampton, VA 23666.
4. Ramon Pallas-Areny and John G. Webster,	<b>Sensors and Signal Conditioning,</b>	John Wiley, New York, 1991.
5. Harry L. Trietley,	<b>Transducers in Mechanical and Electronic Design,</b>	Marcel Dekker, Inc., 1986.
6.	AD598 and AD698 Data Sheet,	Analog Devices, Inc., <a href="http://www.analog.com">http://www.analog.com</a> .
7. Bill Travis,	<i>Hall-Effect Sensor ICs Sport Magnetic Personalities,</i>	EDN, April 9, 1998, pp. 81-91.
8.	AD22151 Data Sheet,	Analog Devices, Inc., <a href="http://www.analog.com">http://www.analog.com</a> .
9. Dan Sheingold,	<b>Analog-Digital Conversion Handbook, Third Edition,</b>	Prentice-Hall, 1986.
10. F. P. Flett,	<i>Vector Control Using a Single Vector Rotation Semiconductor for Induction and Permanent Magnet Motors,</i>	<b>PCIM Conference, Intelligent Motion, September 1992 Proceedings</b> , Available from Analog Devices.
11. F. P. Flett,	<i>Silicon Control Algorithms for Brushless Permanent Magnet Synchronous Machines,</i>	<b>PCIM Conference, Intelligent Motion, June 1991 Proceedings</b> , Available from Analog Devices.
12. P.J.M. Coussens, et al,	<i>Three Phase Measurements with Vector Rotation Blocks in Mains and Motion Control,</i>	<b>PCIM Conference, Intelligent Motion, April 1992 Proceedings</b> , Available from Analog Devices.
13. Dennis Fu,	<i>Digital to Synchro and Resolver Conversion with the AC Vector Processor AD2S100,</i>	Available from Analog Devices.
14. Dennis Fu,	<i>Circuit Applications of the AD2S90 Resolver-to-Digital Converter, AN-230,</i>	Analog Devices.
15. Aengus Murray and P. Kettle,	<i>Towards a Single Chip DSP Based Motor Control Solution,</i>	<b>Proceedings PCIM - Intelligent Motion</b> , May 1996, Nurnberg Germany, pp. 315-326. Also available at <a href="http://www.analog.com">http://www.analog.com</a> .
16. D. J. Lucey, P. J. Roche, M. B. Harrington, and J. R. Scannell,	<i>Comparison of Various Space Vector Modulation Strategies,</i>	<b>Proceedings Irish DSP and Control Colloquium</b> , July 1994, Dublin, Ireland, pp. 169 175.
17. Niall Lyne,	<i>ADCs Lend Flexibility to Vector Motor Control Applications,</i>	<b>Electronic Design</b> , May 1, 1998, pp. 93-100.
18. Frank Goodenough,	<i>Airbags Boom when IC Accelerometer Sees 50g,</i>	<b>Electronic Design</b> , August 8, 1991.

## Medición de Nivel.(2.1)

### NIVEL.

#### Indicadores locales

#### Transmisores de nivel en líquidos

- Desplazamiento (flotador)
- Presión diferencial
- Burbujeo
- Radioactivo
- Capacitivo
- Ultrasonidos
- Conductivímetro
- Radar
- Servoposicionador

#### Nivel tubular

i Tubo de material transparente y rígido conectado al depósito por dos bridas con dos válvulas manuales de corte.

i El líquido sube por el tubo hasta igualar al nivel del depósito

i Limitaciones:

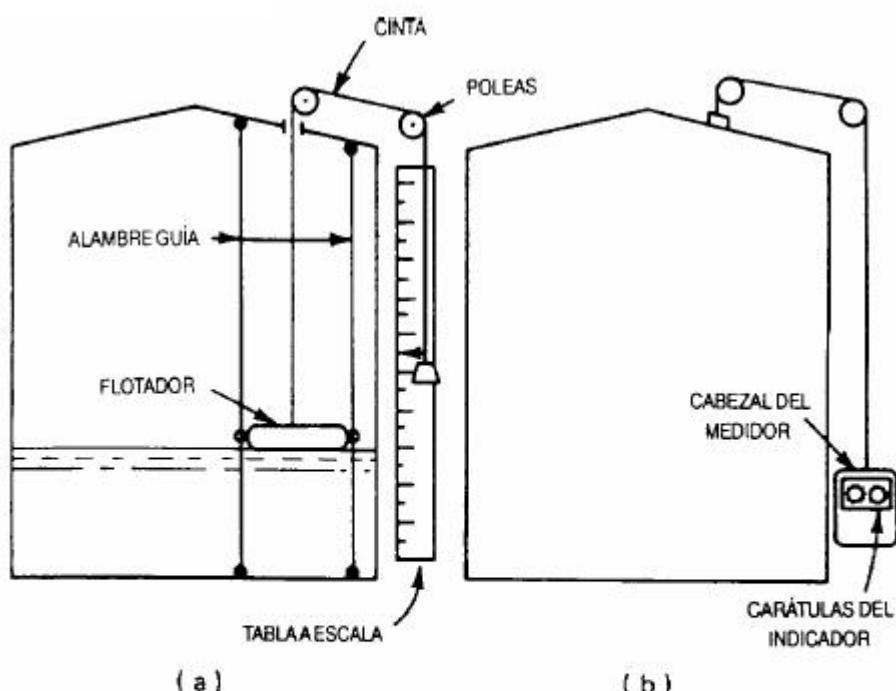
- No soportan mucha presión
- No soportan mucha T<sup>a</sup>
- No son resistentes a los impactos
- No se pueden usar líquidos que manchen el interior del tubo

También los hay de vidrio armado (piezas de vidrio y acero)

- Reflexión
- Refracción

#### Medidor de nivel de flotador

Constituido por un flotador pendiente de un cable, un



Medidores de flotador y cinta.

a) Indicador de tabla a escala.

b) Medidor de lectura en tierra

juego de poleas, y un contrapeso exterior.

Distintos modelos:

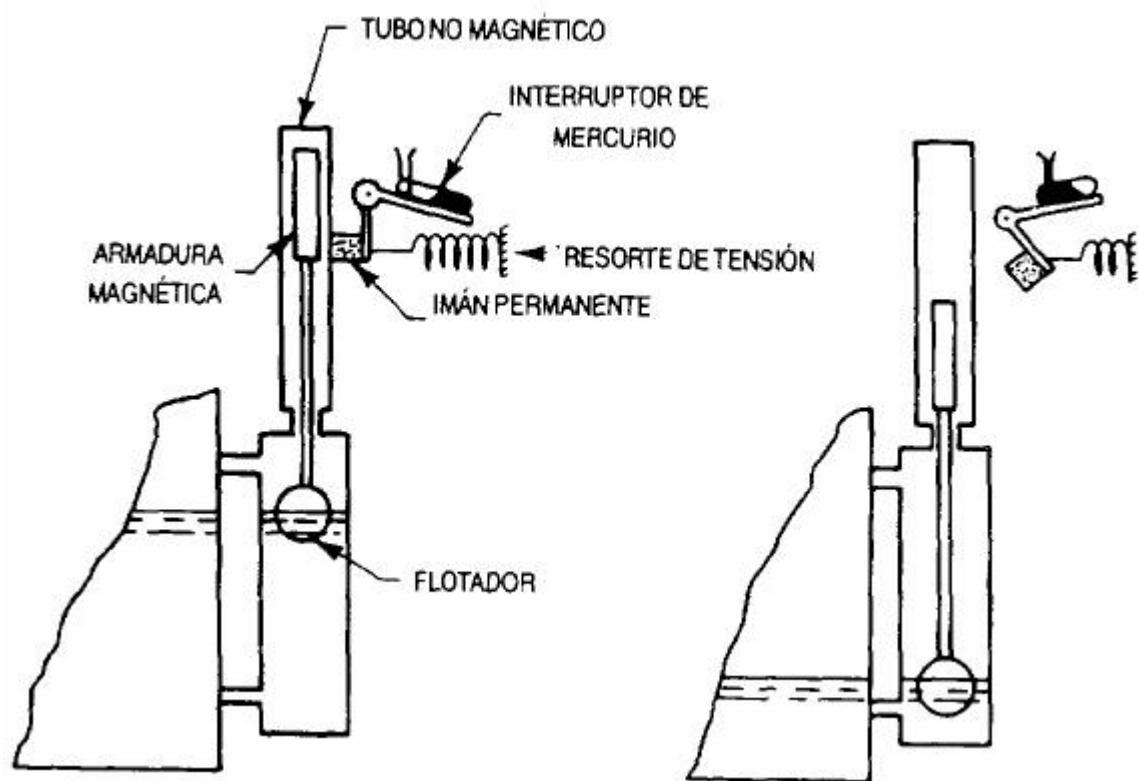
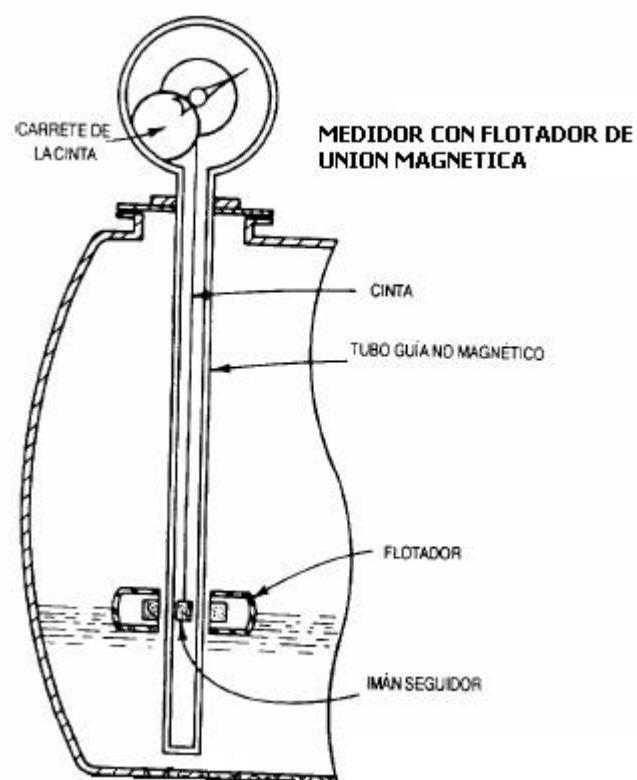
- de regleta: el contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regleta calibrada,
- de unión magnética: el flotador hueco, que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético. El imán seguidor suspendido de una cinta mueve una aguja indicadora. Es fácil instalar contactos a lo largo de la regleta para fijar alarmas de nivel.

### Interruptor de nivel tipo flotador

Consta de un flotador pendiente del techo del depósito por una barra a través de la cual transmite su movimiento a un ampolla de mercurio (la hace bascular) con un interruptor.

Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente, ascendiendo si la fuerza supera al peso del flotador.

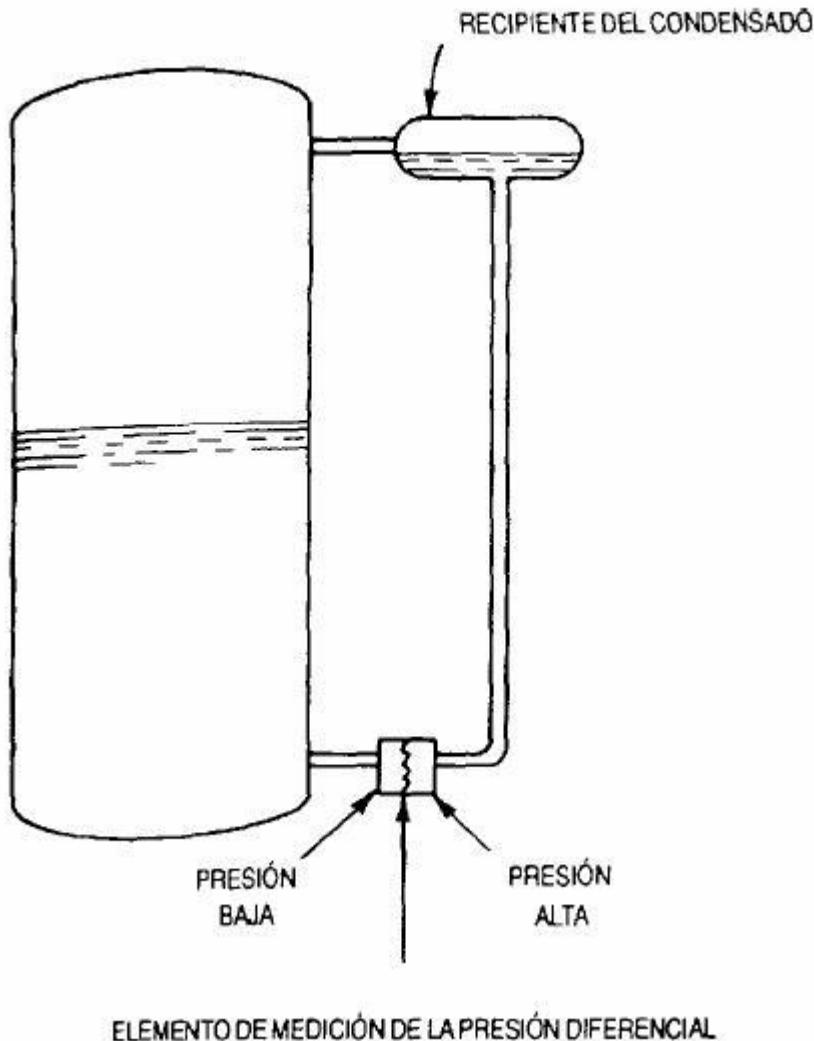
Este movimiento es transmitido por la barra y el interruptor cambia de posición.



**Medidor de presión diferencial**

Tanque abierto: el nivel del líquido es proporcional a la presión en el fondo. Se coloca un medidor de presión.

$$p = \rho gh$$



Tanque cerrado: diferencia de presión ejercida por el líquido en el fondo y la presión que tiene el depósito

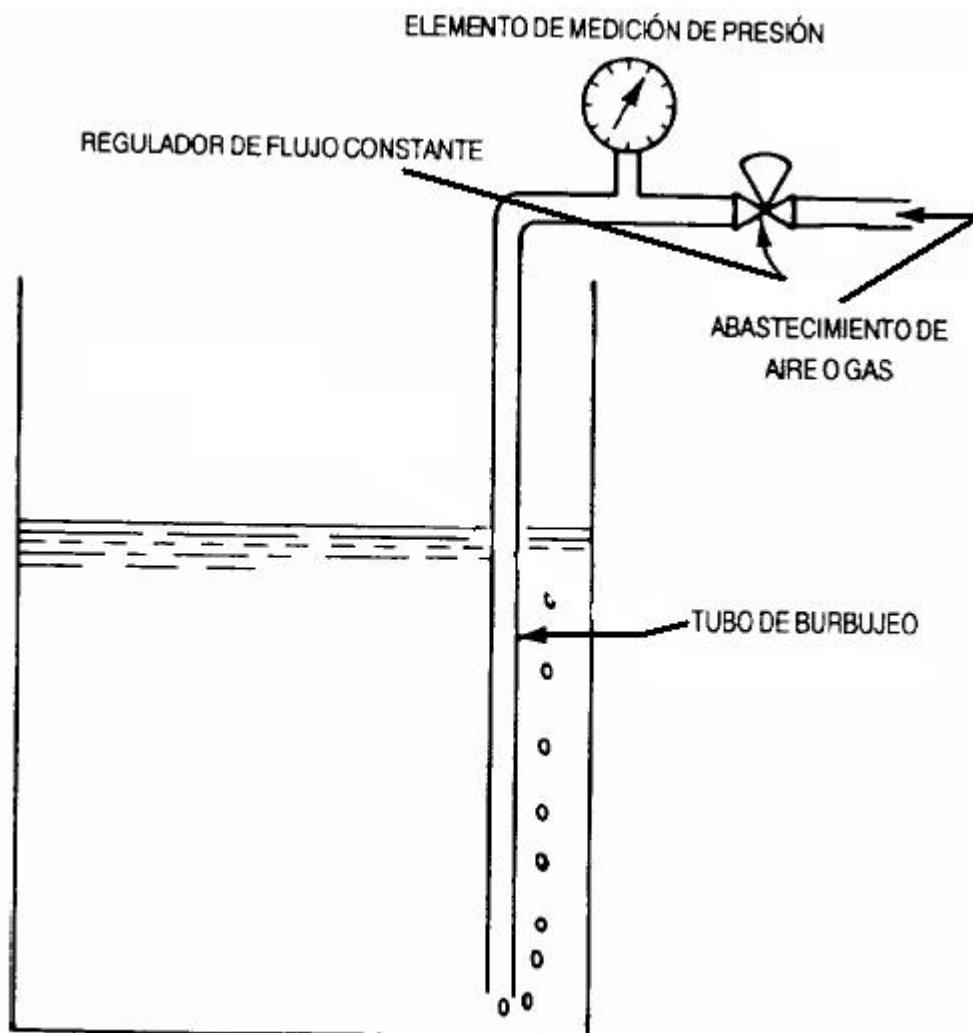
Cuidado con condensados o rebosamiento: montaje en columna mojada.

### Medidor de nivel por burbujeo

Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gasinerte hasta producir una corriente continua de burbujas.

La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.

Sistema muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos o con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).



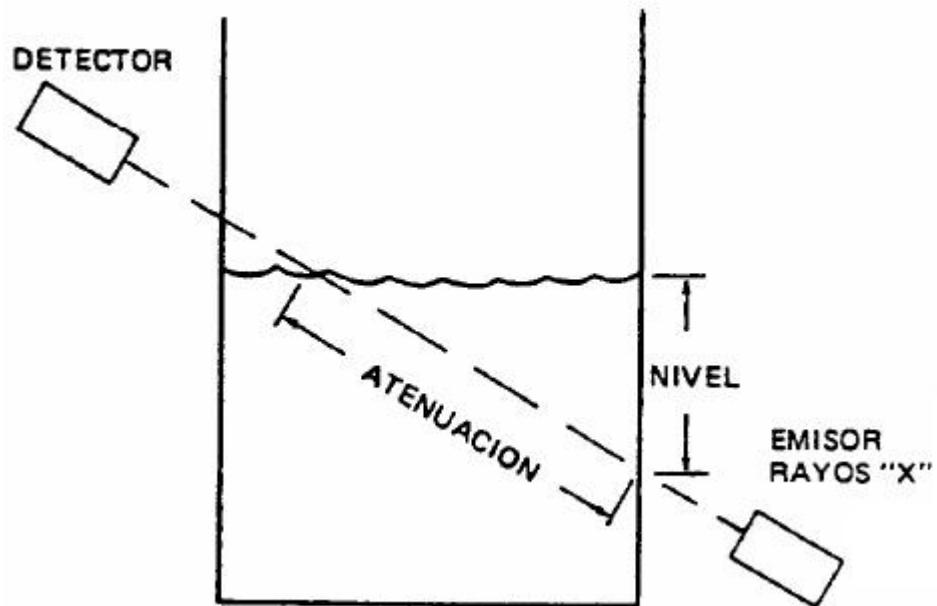
## Medidor radioactivo

Constan de una fuente radioactiva que se instala en un costado del depósito. Al otro lado se coloca un medidor de radiación puntual para medidas todo nado o lineal para medidas continuas.

La potencia emisora de la fuente decrece con el tiempo, por lo que hay que recalibrar estos instrumentos.

Su aplicación se ve limitada por las dificultades técnicas y administrativas que conlleva el manejo de fuentes radioactivas.

Son óptimos para medir fluidos con alta T<sup>a</sup>, líquidos muy corrosivos, reactores de polímeros, ..., porque no existe contacto



## Medidor capacitivo

Se basa en medir la variación de capacitancia de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas.

Con el depósito metálico e introduciendo una sonda metálica sin contacto entre ambos, se forma un condensador.

Al variar el nivel de líquido varía proporcionalmente la capacidad.

Si el depósito no es metálico se introducen dos sondas.

También se usan como interruptores de nivel.

## Medidor por ultrasonidos

Constan de un medidor de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 y 40 kHz) que se propaga por la fase gas hasta que choca con el líquido o sólido, se refleja y alcanza el receptor situado en el mismo punto que el emisor.

El tiempo entre la emisión de la onda y la recepción del eco es inversamente proporcional al nivel.

El tiempo depende de la  $T^a$ , por lo que hay que compensar las medidas.

Hay que evitar que existan obstáculos en el recorrido de las ondas, aunque algunos medidores compensan los ecos fijos debidos al perfil del depósito.

Sensibles al estado de la superficie del líquido (espumas).

## Medidor de tipo conductivímetro

Consta de una sonda con dos electrodos. Cuando estos entran en contacto con el líquido conductor se cierra un circuito eléctrico, que a través de la unidad amplificadora comuta un contacto.

Se usa como **interruptores** de nivel en recipientes de líquidos conductores que no sean ni muy viscoso ni corrosivos, aunque también se usa para medidas continuas.

## Sistemas de radar

No necesitan ningún contacto con el líquido, ni incorporan ningún elemento que se mueva, por lo que su aplicación es ideal en productos muy viscosos (incluso asfaltos), o en sistemas en movimiento (como barcos).

Rango de medida: hasta 40m.

Precisión: 2mm.

### Servoposicionador

Gran precisión: 1mm con alta repetibilidad y sensibilidad.

Mide de forma continua la tensión de un hilo del que pende un contrapeso (en forma de disco).

El sistema está en equilibrio cuando el contrapeso tiene un ligero contacto con el líquido. Al cambiar el nivel del líquido, varía la tensión del hilo lo que es detectado por un servoposicionador. Éste tiende a restituir el equilibrio de tensiones subiendo o bajando el contrapeso.

Hay versiones de estos equipos para tanques atmosféricos, esferas de GLP a presión, y de acero inoxidable para la industria alimenticia.

### Medidores de nivel en sólidos

Problema de definir el nivel. No tiene por qué existir una superficie horizontal

Distinto carga que descarga

Se pueden usar algunos de los de líquidos y otros específicos.

Tipos:

- **Palpador**
- **Paletas rotativas**
- **Vibratorio**
- **Membrana sensitiva**
- **Peso**
- **Ultrasonidos**
- **Radar**

### Medidor por palpador

Análogo al “sondeo”

Miden bajo demanda del operador o de un temporizador.

Constan de un cable de medición o cinta de acero con un peso en su extremo, movido por un motor.

Al chocar el peso con la superficie del material se anula la rigidez del cable, lo que conmuta la dirección de giro del motor ascendiendo el peso.

Durante el descenso se mide el cable desenrollado, lo que nos indica el nivel.

El peso debe tener una sección suficiente para que no se hunda en el material.

Se usa para materiales sólido con granulometría hasta 3mm.

### Paletas rotativas

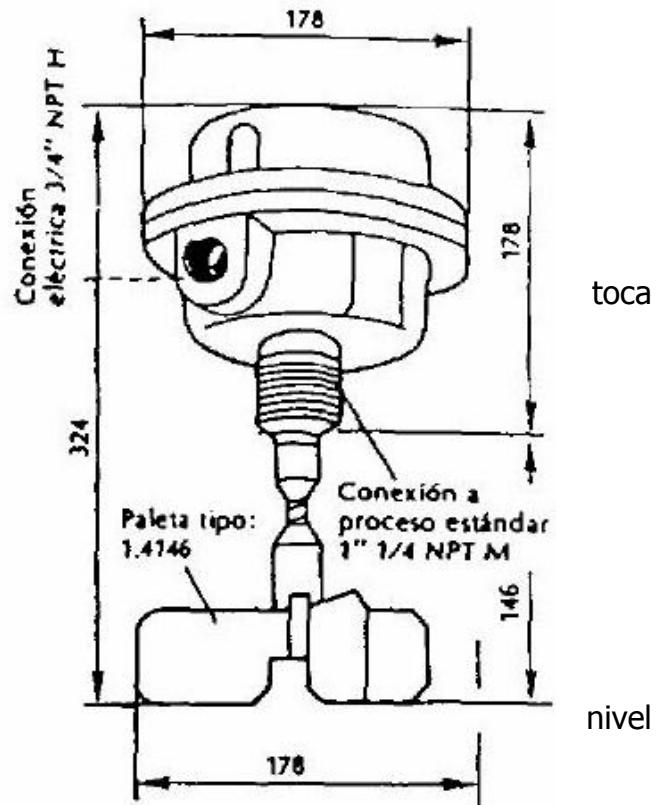
Un motor hace girar unas paletas (9 r.p.m.) a través de un resorte.

Al entrar en contacto el material con las paletas, éstas se paran, pero el motor continua girando hasta que el muelle asociado al motor se expande al máximo y un final de carrera que da un contacto eléctrico.

Cuando el nivel disminuye, el resorte recupera su posición , el motor arranca y el contacto cambia de posición.

Intensidad del motor proporcional a la longitud de paleta en contacto con el sólido

Su principal aplicación es la detección de alta para sólidos granulados.



**Vibratorio**

Se compone de una sonda en forma de diapasón que vibra a unos 80Hz impulsado piezoelectricamente. Cuando el material cubre el diapasón las vibraciones se amortiguan, lo que produce una señal que activa un relé.

La instalación suele ser lateral y roscada a la altura del nivel, pero también podemos encontrar sondas verticales

**Membrana sensitiva**

Consta de una membrana acoplada a la pared del recipiente en el punto en el que se quiere detectar el nivel.

Cuando el material llega a la altura del interruptor, presiona la membrana y actúa un conmutador.

Se usa con sólidos de granulometría media y pequeña.

**Peso**

Se detecta el nivel de sólido mediante el peso

Se detecta el paso de tolva+contenido

Células de carga. Galgas extensiométricas.

## Instrumentos de nivel para líquidos

Medida continua				Interruptores		Interfase		Almacenamiento	
Transmisores		Local							
Recipiente a presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presión diferencial con toma de baja situada en techo.</li> <li>Electromecánico(casos especiales).</li> <li>Desplazador exterior (rangos pequeños).</li> </ul>		Líquido Limpio	Nivel de vidrio armado por reflexión		Flotador interior y exterior	Líquido/líquido	Desplazador	Producto muy viscoso
			Líquido sucio	Nivel de vidrio armado por transparencia		• Capacitivo • Conductivímetro	Espuma líquido /	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presión dif.</li> <li>Flotador</li> <li>Los mismos que para aire/líquido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Palpador</li> <li>Radar</li> </ul>
Depósito atmosférico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presión diferencial con toma de baja a la atmósfera.</li> <li>Electromecánico (casos especiales).</li> <li>Desplazador exterior (rangos pequeños).</li> </ul>		Productos abrasivos	Medidor de flotador unión magnética	Productos sucios	Microondas	Agua limpia/fangos	• Óptico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desplazador</li> <li>Palpador</li> <li>Radar</li> </ul>
			Depósitos altos	Árbol de niveles de vidrio					Pantanos, pozos
Líquido sucio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presión diferencial con diafragma separador.</li> <li>Medidor por barboteo.</li> <li>Ultrasonido.</li> </ul>	Depósitos atmósfericos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel tubular</li> <li>Nivel de vidrio armado</li> </ul>	Plásticos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Radioactivo</li> </ul>			
Depósito enterrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desplazador.</li> <li>Medidor por barboteo.</li> </ul>	Depósitos enter	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medidor de flotador.</li> <li>Presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ópticos</li> </ul>					

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacitivo.</li><li>• Ultrasonido.</li></ul>	rados	diferencial con diafragma y manómetro.			
Industria alimenticia far maceutica. Productos que cristalizan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presión diferencial con diafragma con prolongación.</li><li>• Capacitivo.</li></ul>					
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presión diferencial con diafragma con prolongación. (problemas en las paradas)</li><li>• Radioactivo (problemas de permisos).</li><li>• Capacitivo (con</li></ul>					

## Instrumentos de nivel para sólidos

	<b>POLVO</b>		<b>GRANO MEDIO</b>		<b>GRANO GRUESO</b>
<b>Medida continua</b>	Capacitivo	Puede ser arrastrado por el material	Ultrasonido	Límite de T <sup>a</sup>	Radioactivo Ultrasonido
	Ultrasonido	Límite de T <sup>a</sup>			
	Electromecánico				
<b>Interruptor</b>	Vibratorio	Peligro de arrastre por el material	Vibratorio	Peligro de arrastre por el material	Radioactivo Microondas
	Paletas rotativas	Nivel alto Fallos por elementos móviles	Paletas rotativas	Nivel alto	
	Microondas	Nivel bajo	Microondas	Nivel bajo	
	De membrana		De membrana		
	Basculante		Basculante		
	Capacitivo	Peligro de arrastre por el material Productos con poca adherencia	Capacitivo	Peligro de arrastre por el material Productos con poca adherencia	
	Radioactivo	Problemas administrativos	Radioactivo	Problemas administrativos	
<b>Almacenamiento</b>	Electromecánico	Grandes silos Fallos mecánicos Granulometría inferior a 3mm	Ultrasonidos	Límite de T <sup>a</sup>	
	Ultrasonidos	Límite de T <sup>a</sup>			

## Medición de Temperatura.(2.2)

### Temperatura.

Una cantidad física que es una medida del promedio de la **energía cinética** de las partículas constituyentes de un cuerpo. Determina la dirección a la cual fluirá el **calor** cuando dos cuerpos estén en contacto, el cuerpo con la temperatura más alta perderá calor en tanto que el de menor temperatura lo ganará. La temperatura de un cuerpo puede ser medida usando una escala entre dos o más puntos fijos ejemplo la escala **Celsius** o la escala **Fahrenheit**. Para propósitos científicos, la escala **Práctica Internacional de temperatura**, es la que se utiliza (1990), esta tiene 16 puntos fijos y está diseñada para tener conformidad con la **temperatura termodinámica**, la cual está medida en grados **Kelvin** y está definida por un solo punto fijo, el **punto triple** del agua tomado como **273.16** grados Kelvin. La temperatura termodinámica fue originalmente dividida por Lord **Kelvin** como la escala absoluta basada en el ciclo de **Carnot**.

La temperatura normal del **cuerpo humano** es de 36.9 °C o 98.4 °F. Una temperatura mayor a la normal se reconoce como fiebre y a menudo se deba a infecciones. Una temperatura menor a lo normal da como resultado **hipotermia**. La temperatura del cuerpo humano está controlada por el **hipotálamo** del cerebro.

*The Macmillan Encyclopedia 2001, © Market House Books Ltd 2000* ⓘ

## Sensores de temperatura.

### Termómetros de dilatación

- T. de vidrio
- T. de bulbo
- T. bimetálicos

### Termómetros sensibles a la resistencia

- T. de resistencia metálica
- Termistores

### Termopares

#### Métodos sin contacto

- Pirómetros ópticos
- Pirómetros de radiación total
- Pirómetros de dos colores

## Dilatación

### Termómetros de vidrio

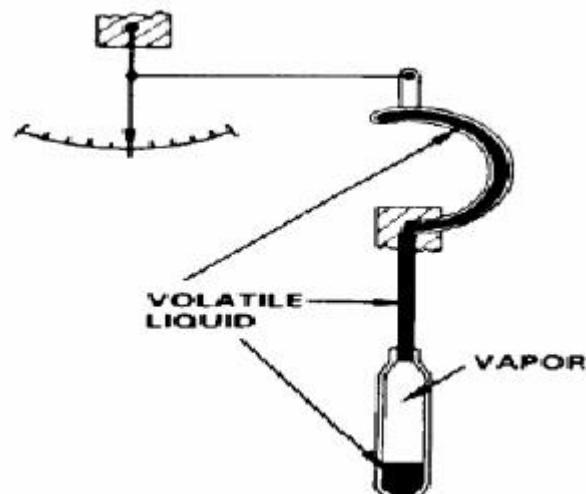
– Indican la T<sup>a</sup> como diferencia entre el coeficiente de dilatación del vidrio y del líquido empleado.

– Los más comunes son: Mercurio: (-37°C, 315°C),

Mercurio con gas inerte (N<sub>2</sub>): (-37°C, 510°C),

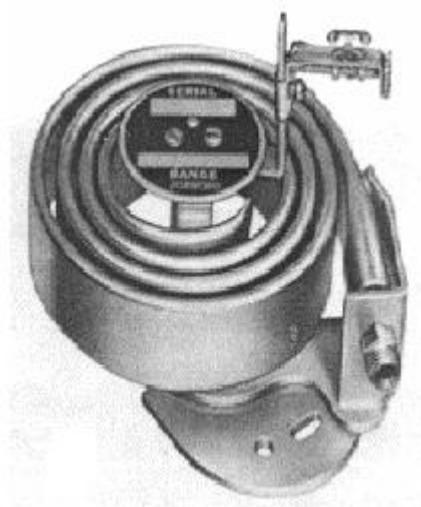
Alcohol: hasta -62°C

– Precisión 1% del rango.



### Termómetros de bulbo

- La variación de  $T^a$  produce la expansión o contracción del fluido lo que deforma el recinto que lo contiene.
- La deformación es apreciada por un muelle **Bourdon** y transmitida a un indicador o transmisor
- Rango: (-40°C a +425°C)
  - Precisión: 1%



### Termómetros bimétalicos

Constan de dos láminas metálicas con diferente coeficiente de dilatación, unidas sólidamente por sus extremos.

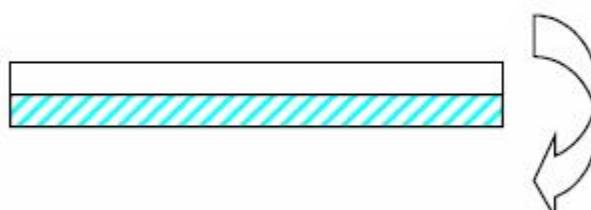
Muy usados como termostatos

Cuando por efecto de la  $T^a$  se dilatan, se deforman produciéndose un desplazamiento mecánico cuya fuerza se emplea para mover una aguja indicadora o activar un mecanismo de control.

Helicoidales

Rango: 0 a 500°C

Precisión: 1%



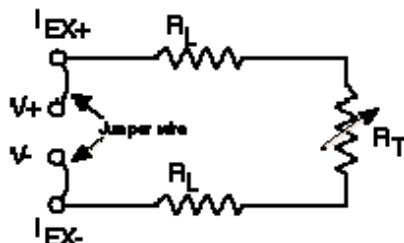
## Sensibles a la resistencia

### RTD Fundamentals

Resistance temperature detectors (RTDs) are made of coils or films of metals (usually platinum). When heated, the resistance of the metal increases; when cooled, the resistance decreases. Passing current through an RTD generates a voltage across the RTD. By measuring this voltage, you determine its resistance, and thus its temperature.

### RTD Basics

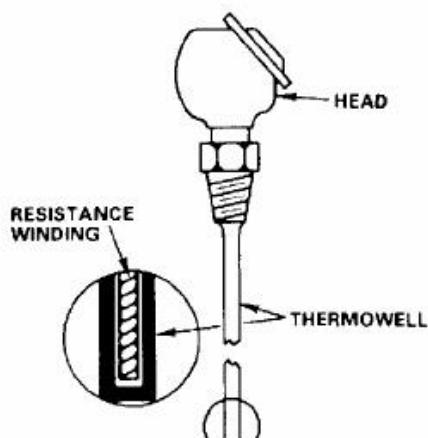
- Resistance varies with Temperature
- Platinum 100 Ohm at 0°C
- Very accurate
- Very stable



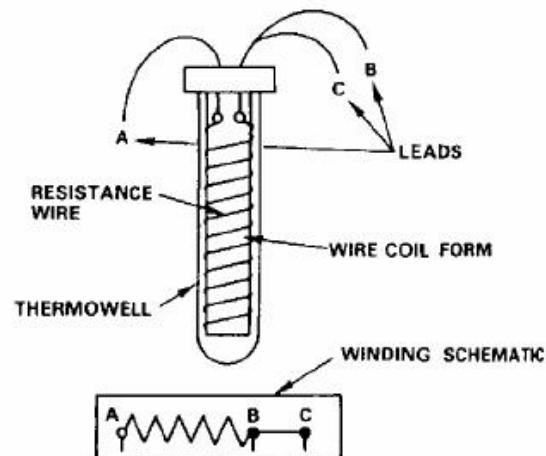
Resistance Temperature Detectors, or **RTDs**, are highly accurate temperature sensors. They are also known for their excellent stability characteristics. They are used to measure temperature from 0°C to 450°C, although some can be used up to 800°C. Due to their low resistance values, you must be careful with the **RTD** lead resistances.

### Summary of RTD Characteristics

<b>Material</b>	Platinum (most common), Gold, Copper, Nickel
<b>Temperature Coefficient</b>	Positive
<b>Resistance</b>	10 Ohm to 1 kOhm
<b>Standards</b>	European and American
<b>SENSIBILIDAD</b>	– alta sensibilidad
<b>MODELO</b>	– comportamiento lineal
<b>PRINCIPIO</b>	Se basan en que la resistencia eléctrica de metales puros aumenta con la temperatura. En algunos de forma casi lineal. Este principio proporciona una forma muy precisa de medir.
<b>OTROS</b>	Resistente a la corrosión y ambientes hostiles Importante la instalación – fáciles de fabricar



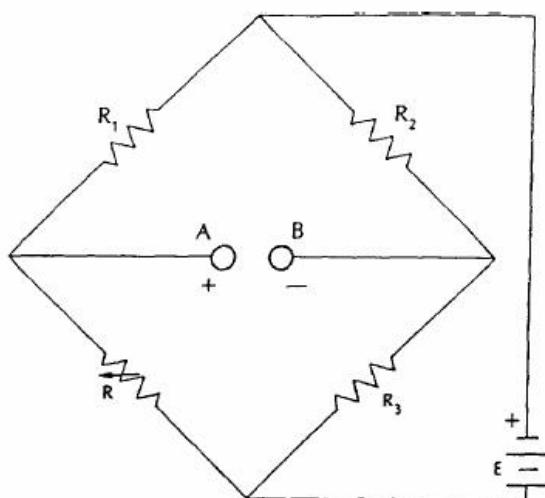
(a)



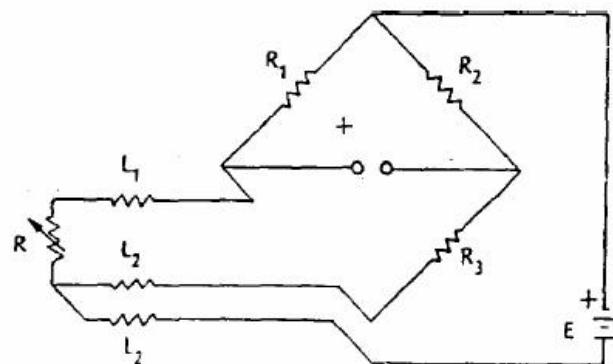
(b)

Schematic of a resistance thermometer device. (a) Assembly. (b) Components. (Courtesy of the Instrument Society of America.)

## Puente de Wheatstone



## Conexión a tres hilos



- Rango: (platino) -200°C a +500°C
- Precisión: **0.2%**
- PT100. Sensibilidad 0.385 ohmios/°C
- Para medir la variación de resistencia en el detector se usan circuitos basados en el puente de Wheatstone

## Thermistor Fundamentals

A thermistor is a piece of semiconductor made from metal oxides, pressed into a small bead, disk, wafer, or other shape, sintered at high temperatures, and finally coated with epoxy or glass.

Like RTDs, by passing a current through a thermistor, you can read the voltage across the thermistor and thus determine its temperature.

Unlike RTDs, thermistors have a higher resistance (anywhere from 2000 Ohm to 10000 Ohm) and a much higher sensitivity ( $\sim 200 \text{ Ohm}/\text{C}$ ). however, thermistors are generally only used up to the 300 °C temperature range.

Because thermistors have high resistance, lead-wire resistance does not affect the accuracy of the measurements, unlike RTDs. 2-wire measurements are adequate.

### Thermistor Basics

- Thermally sensitive resistor
- Resistance varies with temperature
- Semiconductor made from metal oxides
- 2,252 Ohm to 10 k Ohm at 25 °C
- Up to 300 °C
- Very accurate, stable
- Fast response

### Summary of Thermistor Characteristics

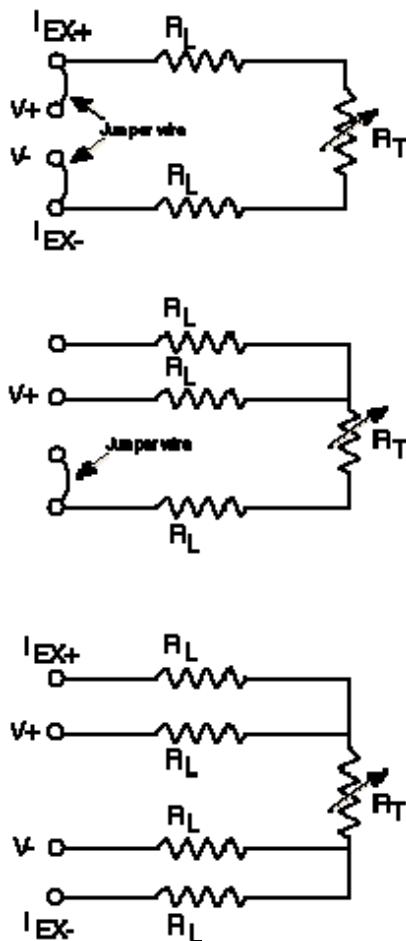
<b>Material</b>	Semiconductor, Semiconductores o cerámicos
<b>Temperature Coefficient</b>	Negative, NTC (Negative Temperature Coefficient)
<b>Resistance</b>	1 k Ohm to M Ohm
<b>Standards</b>	Manufacturer-defined
<b>SENSIBILIDAD</b>	Alta sensibilidad 100 ohmios/grado (la PT100: 0.385 ohmios por grado)
<b>MODELO</b>	No lineal $R(T) = R(T_0) \exp\{-B(1/T-1/T_0)\}$ . Linealizar en torno al punto de trabajo
<b>PRINCIPIO</b>	
<b>OTROS</b>	Muy baratos y pequeños ( $\Rightarrow$ menor cte. de tiempo) Menos precisión (a veces no interesa más) Problemas de estabilidad: hay que "envejecerlos"

Rango de T<sup>a</sup> pequeño. Útil para T<sup>a</sup> ambiente

## Measurement Considerations When Using RTDs and Thermistors

Although RTDs are very accurate sensors for measuring temperature, you should consider several factors that include:

- RTDs are generally more expensive than other temperature transducers
- RTDs have a slow response time because of their larger surface area
- RTDs are prone to self-heating, which can lead to measurement errors. It is best to use a low-current excitation source.
- RTDs have a low sensitivity ( $0.4 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ ). Your system must have the ability to read small changes in voltage.
- RTDs come in 2, 3, and 4-wire configurations. With an RTD's low-resistance value (100 W at  $0^{\circ}\text{C}$ ) and low sensitivity, lead resistance can cause errors in your measurement. An RTD manufacturer has generally taken lead resistance into account for the wires supplied with the RTD. However, you should make sure to use the following configurations when connecting 2, 3, and 4-wire RTDs to your system.



## Considerations When Using Thermistors

- Thermistors are typically less expensive than thermocouples but more expensive than RTDs.
- Thermistors can be quite small, giving them a low thermal mass and resulting in a very fast response time.
- Due to a higher resistance value, thermistors do not suffer from lead resistance effects like RTDs. Therefore, they are typically used in 2-wire configurations.

## Required Signal Conditioning for RTDs and Thermistors

Several types of signal conditioning should be considered when using RTDs and thermistors, as described below.

### Current Excitation

Because RTDs and thermistors are resistive devices, your data acquisition (**DAQ**) system must provide a current excitation source to measure a voltage across the device. This current source must be constant and precise.

### 2, 3, and 4-Wire Configurations (RTDs only)

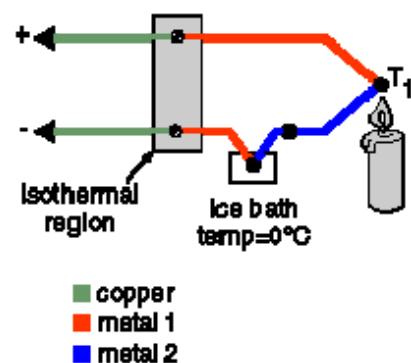
RTDs come in 2, 3, and 4-wire configurations. Therefore, your system must handle support whatever type of RTD you choose. (Thermistors are typically 2-wire devices because they have higher resistance characteristics, thus eliminating lead resistance considerations.)

### Linearization

Both the RTD and thermistor output voltage is not linear with temperature. Therefore, your system must perform linearization either in hardware or software.

## Fundamentos de termopares.

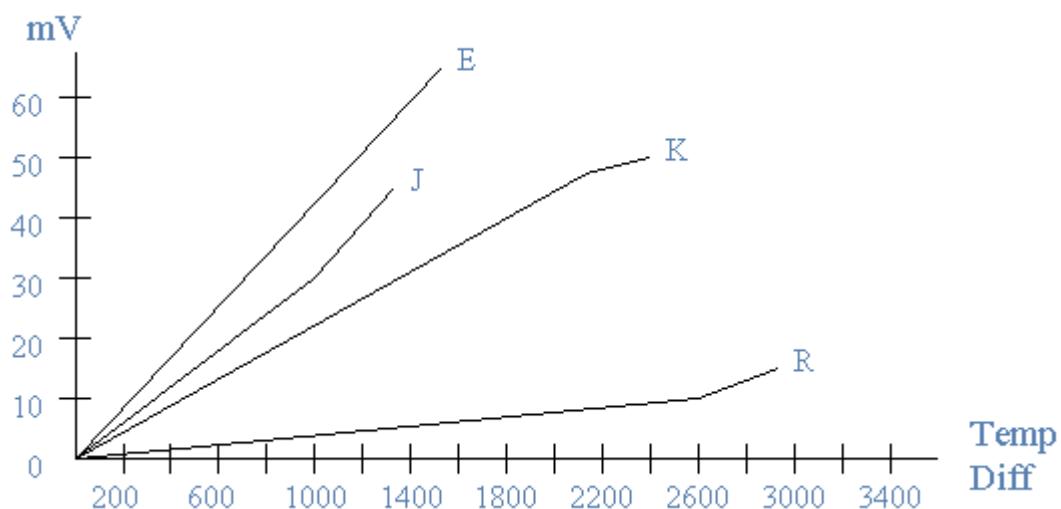
Simply put, a thermocouple converts a temperature reading into a voltage reading. Thermocouple types differ by metallic composition and are designated by a single letter such as J, T, or K. With a known thermocouple type and a measured voltage from DAQ hardware, the temperature can be calculated. Thermocouples are the most commonly used temperature sensors.



A thermocouple is created when two dissimilar metals touch and the contact point produces a small open-circuit voltage as a function of temperature. This thermo-electric voltage is known as Seebeck voltage, named after Thomas Seebeck, who discovered the phenomenon in 1821.

An ice bath is sometimes used as a known temperature for calibration. The metal-metal junction at the DAQ hardware acts much like the metal-metal junction on the thermocouple and thus produces a voltage. This extraneous voltage is accounted for when some source of compensation is used, such as the ice bath. This is known as cold-junction compensation, which may be provided internally in thermocouple specific National Instruments products.

Below is a chart that relates the voltage output of the thermocouple to the temperature. It is not a linear relationship, however may be approximated as one. This voltage is amplified by [signal conditioning](#) equipment and then input to the computer through the DAQ card, thus turning a real life temperature measurement into a digital value on a computer that can be analyzed and presented.



The voltage is non-linear with respect to temperature; however for small changes,

$$\Delta V = S * \Delta T$$

where  $S$  is the Seebeck coefficient. However,  $S$  changes with temperature, causing the output voltages to be nonlinear over the operating range. By measuring a thermocouple's voltage, you can calculate temperature.

Thermocouples are designated by capital letters that indicate their composition according to American National Standards Institute (**ANSI**) conventions. For example, J-type thermocouple is made from iron as one conductor and constantan (copper-nickel alloy) as another.

### Tipos de Termopares

TIPO	MATERIAL	CARAC. IMPORT.	RANGO	PRECISION
Termopar J	Hierro y Constantan (Cu-Ni).	Afectado por corrosión	Rango: 0°C a +750°C	Precisión: 0.5%
Termopar K	Cromo y Alumel (Al-Ni).	Buena resistencia a la oxidación	Rango: 0°C a +1.300°C y 600°C a 1.000°C en atm. Oxidantes	Precisión: 1%
Termopar R Termopar S	Platino y Platino-13% Rodio; Platino y Platino-10% Rodio.		Rango de medida más amplio (0°C a +1.600°C), pero más caros.	Precisión: 0.5%
Termopar W	Volframio-5% Renio y Volframio-26% Renio.		Rango: 0°C a +2.800°C en atm. inertes o vacío.	Precisión: 1%

### Termopares

Sensores activos. Usan el efecto Seebeck: circula una corriente cuando dos hilos de metales distintos se unen y se calienta uno de los extremos

Se puede medir el voltaje, que es proporcional a la diferencia de temperaturas

Señal de salida muy baja: milivoltios. Necesita acondicionamiento de la señal.

Sensibilidad baja: microvoltios por grado

Aguantan altas temperaturas (p.e. calderas)

Bastante lineales

## Required Signal Conditioning for Thermocouples

Several types of signal conditioning should be considered when using thermocouples, as described below.

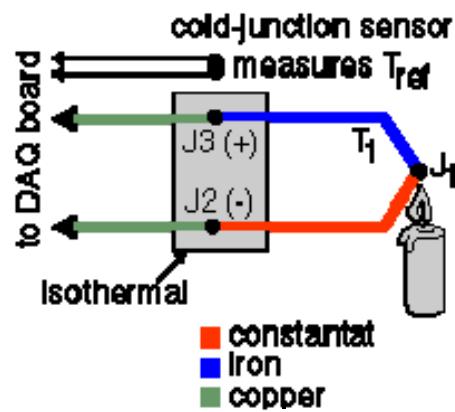
### Amplification for High-Resolution A/D Converter

Thermocouples generate very low-voltage signals (mV). To acquire these signals with a data acquisition (DAQ) board, you must amplify thermocouple signal to measure it accurately with a standard 12-bit DAQ device.

Alternatively, you can use a DAQ device with a high-resolution A/D converter. A board with 16 bits of resolution and amplification capabilities or a board with 24 bits of resolution is recommended.

### Cold-Junction Compensation

Thermocouples require some form of temperature reference to compensate for unwanted parasitic thermocouples. Traditionally, junctions AC and BC were held at 0 °C in an ice bath. The National Institute of Standards and Technology (NIST) thermocouple reference tables are created using this setup. Although an ice bath reference is quite accurate, it is not always practical. A more practical approach is to measure the temperature of the reference junction with a direct-reading temperature sensor, such as a thermistor or an IC sensor, and then subtract the parasitic thermocouple thermoelectric contributions. This process is called cold-junction compensation.



### Filtering

A thermocouple can act very much like an antenna, making it very susceptible to noise from nearby 50/60 Hz power sources. Therefore, it is recommended to apply a 2 Hz or 4 Hz low-pass filter to your thermocouple signal to remove this noise.

### Linearization

A thermocouple's output voltage is not linear with temperature. Therefore, your system must perform linearization either through hardware or software.

### Quick Tips:

It is best to apply gain to your thermocouple signal as close to the thermocouple as possible. This will increase your system signal-to-noise ratio (SNR).

Although you can use hardware compensation, software compensation is more convenient.

## Measurement Considerations When Using Thermocouples

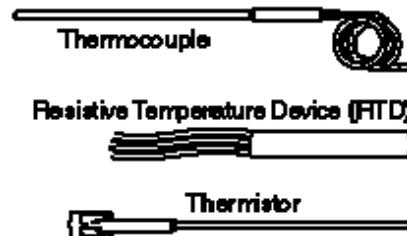
Thermocouples are the most popular of all temperature sensors. Unlike some other temperature sensors, they are:

- Self-powered
- Inexpensive
- Rugged
- Cater to a wide temperature ranges

Other factors to consider when using thermocouples for temperature measurements:

- Thermocouples generate extremely low voltages, making them susceptible to noise.
- A thermocouple's temperature sensitivity is small, requiring accurate instrumentation.
- A cold-junction compensation sensor is required when using thermocouples.
- Thermocouples are not as stable as other available temperature sensors.
- Typical thermocouple accuracy is  $\sim 1^{\circ}\text{C}$ .

## Options for Making Temperature Measurements



Pictured above are the three most commonly used transducers for temperature measurements, thermocouples, RTDs and thermistors.

Below is a table that illustrates some of the capabilities and limitations of thermocouples, RTDs, and thermistors. Use this table as a reference for choosing the right sensor for your temperature measurement application.

	<u>Capabilities</u>	<u>Limitations</u>
<u>Thermocouples</u>	Wide range Fast response Passive Inexpensive	• CJC • Non-linear
<u>RTDs</u>	• Very rugged • Accurate	• Slow response • Require excitation • Lead resistance • Non-linear
<u>Thermistor</u>	• Very repeatable • Fine resolution • Low current • Fast response	• Require excitation • Narrow range • Non-linear

**Medida con termopares**

Consideración de la *unión fría*

$$V_m = V(T) - V(T_0)$$

Establecer una rutina de medida

Usar cables de compensación cuando sea necesario

## Métodos sin contacto

### Pirómetros de radiación

Se basan en la ley de Stefan-Boltzmann: todas las sustancias a cualquier  $T^a$  por encima del cero absoluto, radian energía como resultado de la agitación atómica asociada con su  $T^a$ . La intensidad de la energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la  $T^a$  absoluta del cuerpo,  $W = K T^4$ .

Consisten en un sistema óptico que recoge la energía radiada y la concentra en un detector, el cual genera una señal proporcional a la  $T^a$ .

La energía radiada por un cuerpo es menor que la correspondiente a su  $T^a$ , debido a que refleja energía como consecuencia del estado de su superficie.

Por ello es necesario definir un cuerpo radiador ideal que no refleje nada (emite el máximo de energía por unidad de superficie): "cuerpo negro".

Para corregir la medida se define el factor de emisividad: relación entre la energía emitida por un cuerpo y la emitida por el cuerpo negro.

Los pirómetros son usados:

Cuando no se pueden utilizar termopares (rango, ambiente agresivo).

Cuando el área a medir se mueve o tiene difícil acceso.

### Pirómetros ópticos

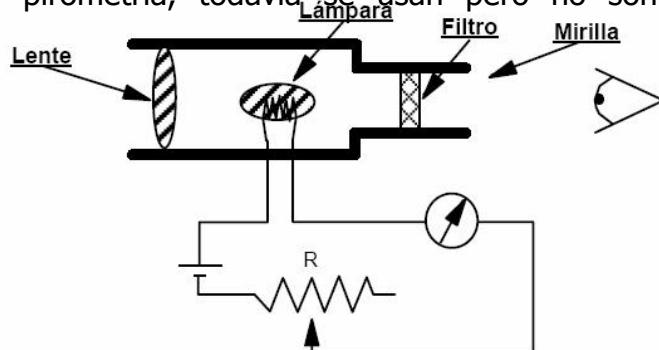
Se basan en el hecho de comparar visualmente la luminosidad del objeto radiante con el filamento de una lámpara incandescente.

Para ello se superponen ambas ondas luminosas y se varía la corriente eléctrica de la lámpara hasta que deja de ser apreciable a la vista.

La variación de la corriente nos da un valor de la  $T^a$ , pero hay que calibrar la luminosidad de la lámpara previamente.

Trabajan en la banda de ondas visibles: 0,45 micras (violeta)-0,75 micras (rojo).

Fueron los primeros aparatos de pirometría, todavía se usan pero no son elementos convencionales.



Pirómetro óptico

## Pirómetro de Radiación Total

Tienen unos detectores que captan simultáneamente todas las radiaciones emitidas en la zona del espectro entre 0,3 y 20 micras.

Los detectores son de tipo térmico: "termopilas" (formados por varios termopares Pt/Pt-Rd montados en serie).

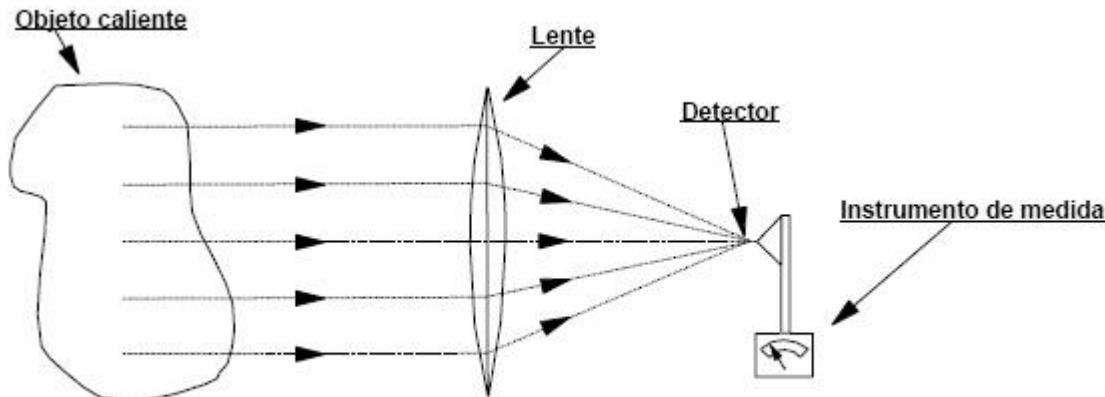
La energía radiante que reciben les eleva la  $T^a$  y generan una tensión en milivoltios.

Las variaciones de  $T^a$  de la caja del pirómetro son compensadas por una resistencia montada en paralelo con la termopila.

Inconvenientes:

Lentitud de respuesta.

Para eliminar radiaciones perturbadoras (energía radiada o absorbida por otros elementos presentes) se usan lentes y filtros que también reducen la energía útil.



Pirómetro de radiación

## Pirómetros de dos colores

Es un pirómetro con dos detectores similares, pero cada uno recibe la radiación en una longitud de onda diferente debido a que tienen distintos filtros.

La relación entre las dos señales permite calcular la  $T^a$  del objeto sin necesidad de introducir el factor de emisividad.

## Características de los medidores de T<sup>a</sup>

Elemento sensor	Campo de Aplicación	Precisión	Ventajas	Inconvenientes
T. de vidrio	-196°C a +500°C	1%	Bajo precio, Simplicidad Larga vida	Frágil, Medida local (no control automático ni almacenamiento de valores)
T. de bulbo	-40°C a 425°C	1%	Sin alimentación de energía Compacto	Voluminoso Montaje delicado Medida local
T. bimétálicos	0°C a 500°C	1%	Precio Robustez	Medida local
T. de resistencia de platino	-200°C a +500°C	0.2%	Sensibilidad Precisión Respuesta rápida	Frágil Más caro que el termopar El propio calentamiento
Termistores	0°C a +40°C	0,01%	Gran sensibilidad y precisión Respuesta rápida Pequeño tamaño Estable	No lineal Rango de aplicación limitado
Termopares T Termopares J Termopares K Termopares R o S Termopares W	-200°C a +250°C 0°C a +750°C 0°C a +1.300°C 0°C a +1.600°C 0°C a +2.800°C	2% 0.5% 1% 0.5% 1%	Pequeño tamaño Respuesta rápida Precio razonable	Afectados por corrosión Necesaria compensación de soldadura fría
Pirómetros ópticos	+50°C a +6.000°C	0.5%	No contacto Buena repetibilidad	Elevado precio Difícil determinar T <sup>a</sup> exacta
Pirómetros de radiación total	+50°C a +6.000°C	0.5%	No contacto Buena repetibilidad	Elevado precio Difícil determinar T <sup>a</sup> exacta Lentitud de respuesta

## Medición de Presión.(2.3)

### PRESIÓN.

¿QUE ES LA PRESION?

### **Understanding Pressure and pressure Measurement**

Prepared by: David Heeley

Systems and Applications Engineering

Motorola Semiconductor Products Sector

Sensor Products Division

Phoenix, Arizona

### Introduction

Fluid systems, pressure and pressure measurements are extremely complex. The typical college curriculum for Mechanical

Engineers includes at least two semesters in fluid mechanics. This paper will define and explain the basic concepts of fluid

mechanics in terms that are easily understood while maintaining the necessary technical accuracy and level of detail.

### Pressure and Pressure Measurement

What is fluid pressure? Fluid pressure can be defined as the measure of force per-unit-area exerted by a fluid, acting perpendicularly to any surface it contacts (a fluid can be either a gas or a liquid, fluid and liquid are not synonymous). The standard SI unit for pressure measurement is the Pascal (Pa) which is equivalent to one Newton per square meter (N/m<sup>2</sup>) or the KiloPascal (kPa) where 1 kPa = 1000 Pa. In the English system, pressure is usually expressed in pounds per square inch (psi). Pressure can be expressed in many different units including in terms of a height of a column of liquid. The table below lists commonly used units of pressure measurement and the conversion between the units.

	<b>kPa</b>	<b>mm Hg</b>	<b>millibar</b>	<b>in H<sub>2</sub>O</b>	<b>PSI</b>
1 atm	101.325	760.000	1013.25	406.795	14.6960
1 kPa	1.000	7.50062	10.000	4.01475	0.145038
1 mm Hg	0.133322	1.000	1.33322	0.535257	0.0193368
1 millibar	0.1000	0.750062	1.000	0.401475	0.0145038
1 in H <sub>2</sub> O	0.249081	1.86826	2.49081	1.000	0.0361
1 PSI	6.89473	51.7148	68.9473	27.6807	1.000
1 mm H <sub>2</sub> O	0.009806	0.07355	9.8 x 10 <sup>-8</sup>	0.03937	0.0014223

**Figure 1. Conversion Table for Common Units of Pressure**

Pressure measurements can be divided into three different categories: absolute pressure, gage pressure and differential pressure. Absolute pressure refers to the absolute value of the force per-unit-area exerted on a surface by a fluid. Therefore the absolute pressure is the

difference between the pressure at a given point in a fluid and the absolute zero of pressure or a perfect vacuum. Gage pressure is the measurement of the difference between the absolute pressure and the local atmospheric pressure.

Local atmospheric pressure can vary depending on ambient temperature, altitude and local weather conditions. The U.S. standard atmospheric pressure at sea level and 59°F (20°C) is 14.696 pounds per square inch absolute (psia) or 101.325 kPa absolute (abs).

When referring to pressure measurement, it is critical to specify what reference the pressure is related to. In the English system of units, measurement relating the pressure to a reference is accomplished by specifying pressure in terms of pounds per square inch absolute (psia) or pounds per square inch gage (psig). For other units of measure it is important to specify gage or absolute. The abbreviation 'abs' refers to an absolute measurement. A gage pressure by convention is always positive. A 'negative' gage pressure is defined as vacuum. Vacuum is the measurement of the amount by which the local atmospheric pressure exceeds the absolute pressure. A perfect vacuum is zero absolute pressure. Figure 2 shows the relationship between absolute, gage pressure and vacuum. Differential pressure is simply the measurement of one unknown pressure with reference to another unknown pressure. The pressure measured is the difference between the two unknown pressures. This type of pressure measurement is commonly used to measure the pressure drop in a fluid system. Since a differential pressure is a measure of one pressure referenced to another, it is not necessary to specify a pressure reference. For the English system of units this could simply be psi and for the SI system it could be kPa.

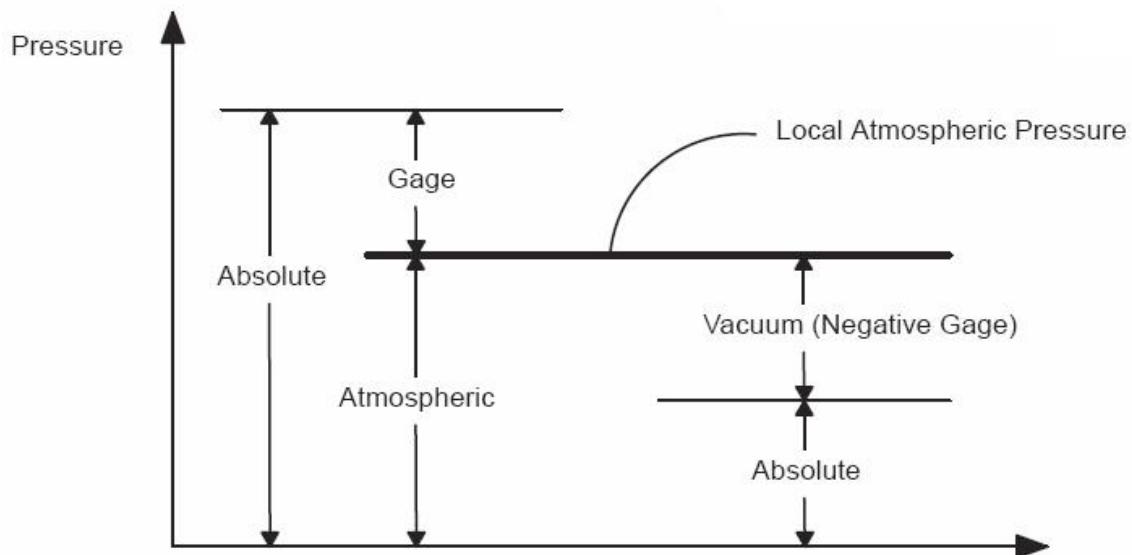


Figure 2. Pressure Term Relationships

#### Figure 2. Pressure Term Relationships

In addition to the three types of pressure measurement, there are different types of fluid systems and fluid pressures. There are two types of fluid systems; static systems and dynamic systems. As the names imply, a static system is one in which the fluid is at rest and a dynamic system is one in which the fluid is moving.

## Static Pressure Systems

The pressure measured in a static system is static pressure. In the pressure system shown in Figure 3, a uniform static fluid is continuously distributed with the pressure varying only with vertical distance. The pressure is the same at all points along the same horizontal plane in the fluid and is independent of the shape of the container. The pressure increases with depth in the fluid and acts equally in all directions. The increase in pressure at a deeper depth is essentially the effect of the weight of the fluid above that depth. Figure 4 shows two containers with the same fluid exposed to the same external pressure –  $P$ . At any equal depth within either tank the pressure will be the same. Note that the sides of the large tank are not vertical. The pressure is dependent only on depth and has nothing to do with the shape of the container. If the working fluid is a gas, the pressure increase in the fluid due to the height of the fluid is in most cases negligible since the density and therefore the weight of the fluid is much smaller than the pressure being applied to the system. However, this may not remain true if the system is large enough or the pressures low enough.

One example considers how atmospheric pressure changes with altitude. At sea level the standard U.S. atmospheric pressure is 14.696 psia (101.325 kPa). At an altitude of 10,000 ft (3048 m) above sea level the standard U.S. atmospheric pressure is 10.106 psia (69.698 kPa) and at 30,000 ft (9144 m), the standard U.S. atmospheric pressure is 4.365 psia (30.101 kPa).

The pressure in a static liquid can be easily calculated if the density of the liquid is known. The absolute pressure at a depth  $H$  in a liquid is defined as:

$$P_{abs} = P + (\rho \times g \times H)$$

Where :

$P_{abs}$  is the absolute pressure at depth  $H$ .

$P$  is the external pressure at the top of the liquid. For most open systems this will be atmospheric pressure.

$\rho$  is the density of the fluid.

$g$  is the acceleration due to gravity ( $g = 32.174 \text{ ft/sec}^2$  ( $9.81 \text{ m/sec}^2$ )).

$H$  is the depth at which the pressure is desired.

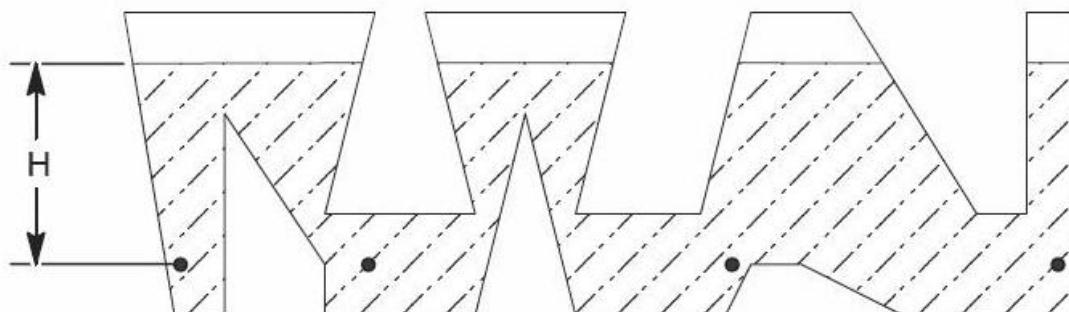


Figure 3. Continuous Fluid System

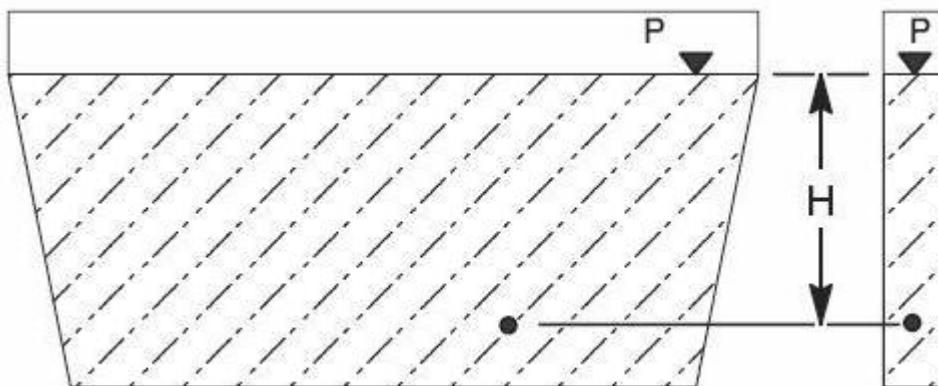


Figure 4. Pressure Measurement at a Depth in a Liquid

## Dynamic Pressure Systems

Dynamic pressure systems are more complex than static systems and can be more difficult to measure. In a dynamic system, pressure typically is defined using three different terms. The first pressure we can measure is static pressure. This pressure is the same as the static pressure that is measured in a static system. Static pressure is independent of the fluid movement or flow. As with a static system the static pressure acts equally in all directions. The second type of pressure is what is referred to as the dynamic pressure. This pressure term is associated with the velocity or the flow of the fluid. The third pressure is total pressure and is simply the static pressure plus the dynamic pressure.

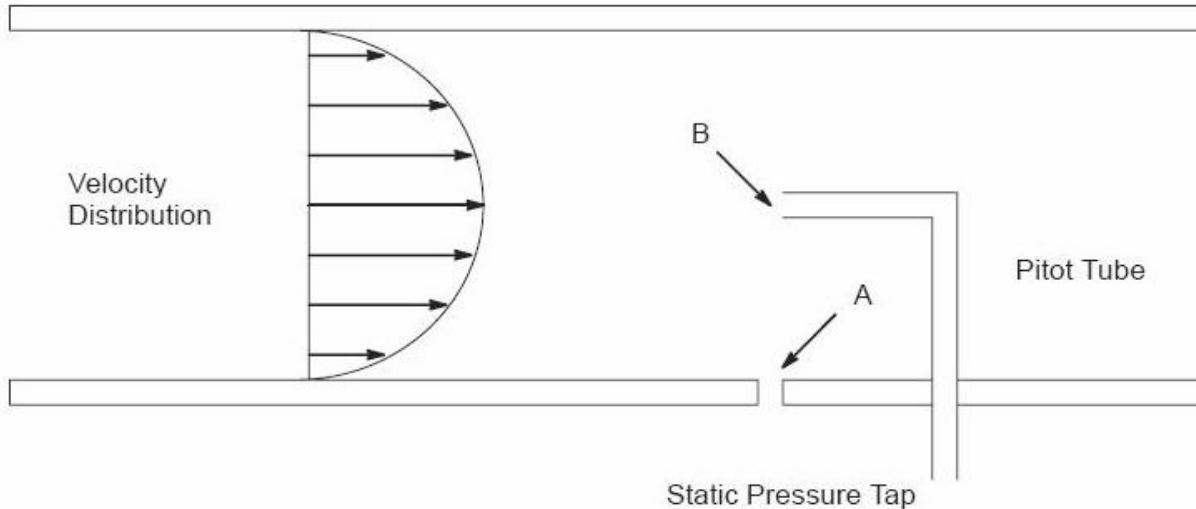
## Steady-State Dynamic Systems

Care must be taken when measuring dynamic system pressures. For a dynamic system, under steady-state conditions, accurate static pressures may be measured by tapping into the fluid stream perpendicular to the fluid flow. For a dynamic system, steady-state conditions are defined as no change in the system flow conditions: pressure, flow rate, etc. Figure 5 illustrates a dynamic system with a fluid flowing through a pipe or duct. In this example a static pressure tap is located in the duct wall at point

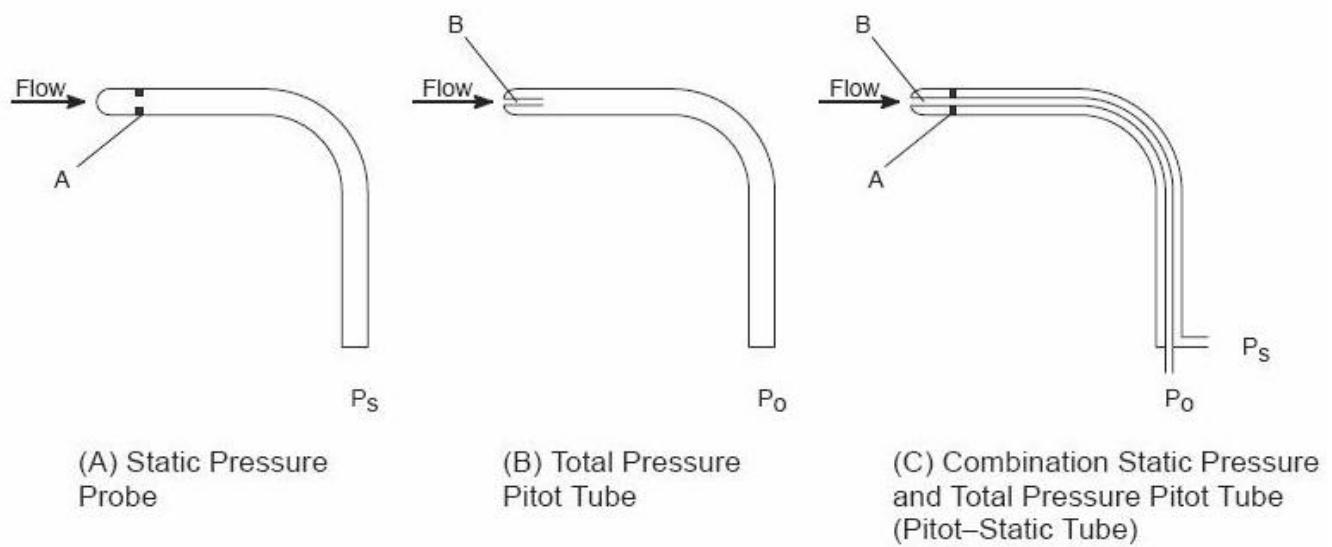
A. The tube inserted into the flow is called a Pitot tube. The Pitot tube measures the total pressure at point B in the system. The total pressure measured at this point is referred to as the stagnation pressure. The stagnation pressure is the value obtained when a flowing fluid is decelerated to zero velocity in an isentropic (frictionless) process. This process converts all of the energy from the flowing fluid into a pressure that can be measured. The stagnation or total pressure is the static pressure plus the dynamic pressure. It is very difficult to accurately measure dynamic pressures. When dynamic pressure measurement is desired, the total and static pressures are measured and then subtracted to obtain the dynamic pressure. Dynamic pressures can be used to determine the fluid velocities and flow rates in dynamic systems.

When measuring dynamic system pressures, care must be taken to ensure accuracy. For static pressure measurements, the pressure tap location should be chosen so that the measurement is not influenced by the fluid flow. Typically, taps are located perpendicular to the flow field. In Figure 5, the static pressure tap at point A is in the wall of the duct and perpendicular to the flow field. In Figures 6a and 6c the static taps (point A) in the pressure probes are also perpendicular to the flow field. These examples show the most common type of static pressure taps, however there are many different static pressure tap options. For total or stagnation pressure measurements, it is important that the Pitot or impact tube be aligned parallel to the flow field with the tip of the tube pointing directly into the flow. In Figures 6b and 6c, the Pitot tube is aligned parallel with the flow, with the tube opening pointing directly into the flow. Although the static pressure is independent of direction, the dynamic pressure is a vector quantity which depends on both magnitude and direction for the total measured value. If the Pitot tube is misaligned with the flow, accuracy of the total pressure measurement may suffer. In addition, for accurate pressure measurements the pressure tap holes and probes must be smooth and free from any burrs or obstructions that could cause disturbances in the flow. The location of the pressure taps and probes, static and total, must also be selected carefully. Any location in the system where the flow field may be disturbed should be avoided, both upstream and downstream.

These locations include any obstruction or change such as valves, elbows, flow splits, pumps, fans, etc. To increase the accuracy of pressure measurement in a dynamic system, allow at least 10 pipe / duct diameters downstream of any change or obstruction and at least 2 pipe / duct diameters upstream. In addition the pipe / duct diameter should be much larger than the diameter of the Pitot tube. The pipe / duct diameter should be at least 30 times the Pitot tube diameter. Flow straighteners can also be used to minimize any variations in the direction of the flow. Also, when using a Pitot tube, it is recommended that the static pressure tap be aligned in the same plane as the total pressure tap. On the Pitot–static tube, the difference in location is assumed to be negligible. Flow-through pipes and ducts will result in a velocity field and dynamic pressure field that are non-uniform. At the wall of any duct or pipe there exists a no-slip boundary due to friction. This means that at the wall itself the velocity of the fluid is zero. Figure 5 shows an imaginary velocity distribution in a duct. The shape of the distribution will depend on the fluid conditions, system flow and pressure. In order to accurately determine the average dynamic pressure across a duct section, a series of total pressure readings must be taken across the duct. These pressure measurements should be taken at different radii and clock positions across the cross section of a round duct or at various width and height locations for a rectangular duct. Once this characterization has been performed for the duct , a correlation can be easily made between the total pressure measurement at the center of the duct relative to the average duct total pressure. This technique is also used to determine the velocity profile within the duct.



**Figure 5. Static and Total Pressure Measurements Within a Dynamic Fluid System.**



**Figure 6. Types of Pressure Probes**

## Transient Systems

Transient systems are systems with changing conditions such as pressures, flow rates, etc. Measurements in transient systems are the most difficult to accurately obtain. If the measurement system being used to measure the pressure has a faster response time than the rate of change in the system, then the system can be treated as quasi-steady-state. That is, the measurements will be about as accurate as those taken in the steady-state system. If the measurement of the system is assumed to be a snap shot of what is happening in the system, then you want to be able to take the picture faster than the rate of change in the

system or the picture will be blurred. In other words, the measurement results will not be accurate. In a pressure measurement system, there are two factors that determine the overall measurement response: (1) the response of the transducer element that senses the pressure, and (2) the response of the interface between the transducer and the pressure system such as the pressure transmitting fluid and the connecting tube, etc. For Motorola pressure sensors, the second factor usually determines the overall frequency response of the pressure measurement system. The vast majority of pressure systems that require measurements today are quasi-steady-state systems where system conditions are changing relatively slowly compared to the response rate of the measurement system or the change happens instantaneously and then stabilizes.

Two transient system examples include washing machines and ventilation ducts in buildings. In a washing machine, the height of the water in the tub is measured indirectly by measuring the pressure at the bottom of the tub. As the tub fills the pressure changes. The rate at which the tub fills and the pressure changes is much slower than the response rate of the measurement system. In a ventilation duct, the pressure changes as the duct registers are opened and closed, adjusting the air movement within the building. As more registers are opened and closed, the system pressure changes. The pressure changes are virtually instantaneous. In this case, pressure changes are essentially incremental and therefore easy to measure accurately except at the instant of the change. For most industrial and building control applications, the lag in the pressure measurement system is negligible. As the control or measurement system becomes more precise, the frequency response of the measurement system must be considered.

## Motorola Pressure Sensors

This application note has covered various types of pressures that are measured and how to tap into a system to measure the desired pressures. How are the actual pressure measurements made? There are many types of pressure measurement systems ranging from simple liquid tube manometers to bourdon-tube type gages to piezo-electric silicon based transducers. Today, as electronic control and measurement systems are replacing mechanical systems, silicon-based pressure transducers and sensors are becoming the sensors of choice. Silicon micromachined sensors offer very high accuracies at very low cost and provide an interface between the mechanical world and the electrical system. Motorola carries a complete line of silicon based pressure sensors which feature a wide range of pressures with various levels of integration on a single chip. These levels of integration start with the basic uncompensated, uncalibrated pressure sensor all the way to the fully integrated, temperature compensated, calibrated and signal conditioned pressure sensors. The response time of Motorola's MPX series silicon pressure sensors is typically 1 millisecond or less. For static or dynamic systems, Motorola's pressure sensors are an excellent solution for pressure measurement systems.

## Conclusion

Pressures and pressure measurements can be extremely complex and complicated. However, for most systems it is relatively easy to obtain accurate pressure measurements if the proper techniques are used.

## Sensores de Presión

Presión absoluta, relativa o diferencial

Indicador local: Bourdon o manómetro en U

Sensores mecánicos

- Tubo Bourdon
  - Tipo C
  - Espiral
  - Hélice
- Fuelle
- Diafragma

Sensores electromecánicos

- Sensor capacitivo
- Sensor de galgas extensiométricas
- Sensor inductivo
- Sensor piezoelectrónico

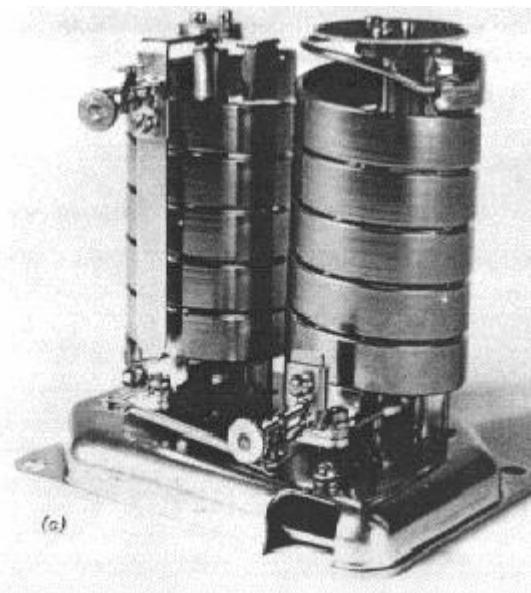
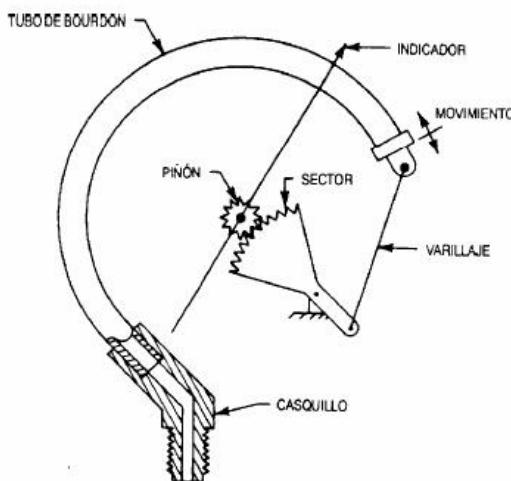
### Tubo Bourdon Tipo C

Tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo cerrado por un extremo y conectado a la fuente de presión por el otro.

Al aumentar la presión en el interior del tubo éste se endereza, provocando un movimiento que es captado por una aguja indicadora o un transmisor (colocados en el extremo cerrado del tubo).

### De hélice y espiral

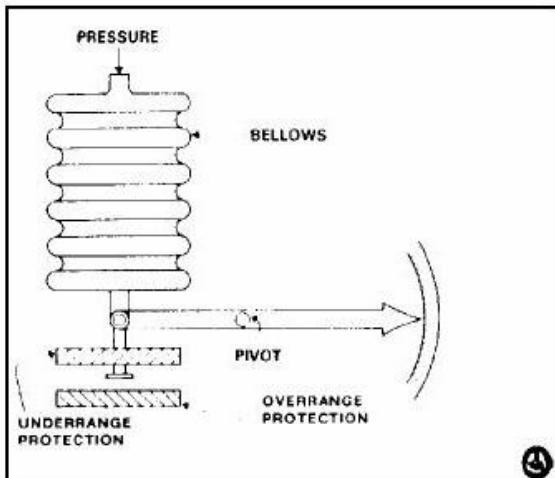
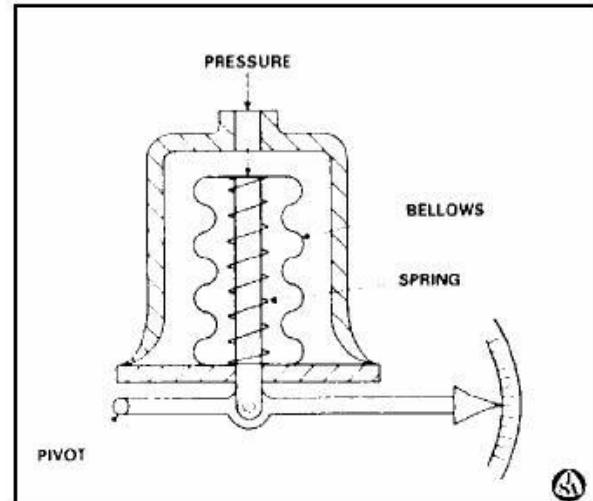
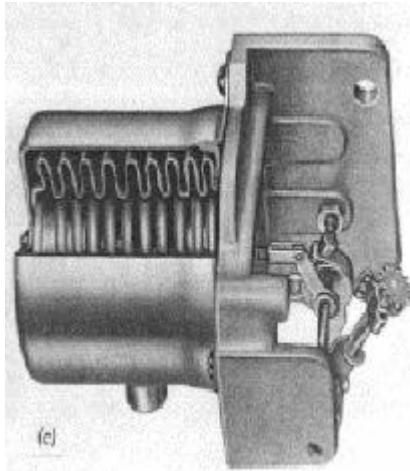
Miden presiones con una mayor precisión ya que el movimiento de sus extremos cerrados es mayor.



**Fuelle**

Es un tubo fino sin soldadura, ondulado, de acero inoxidable o latón, que por efecto de la presión se estira o contrae con un desplazamiento considerable.

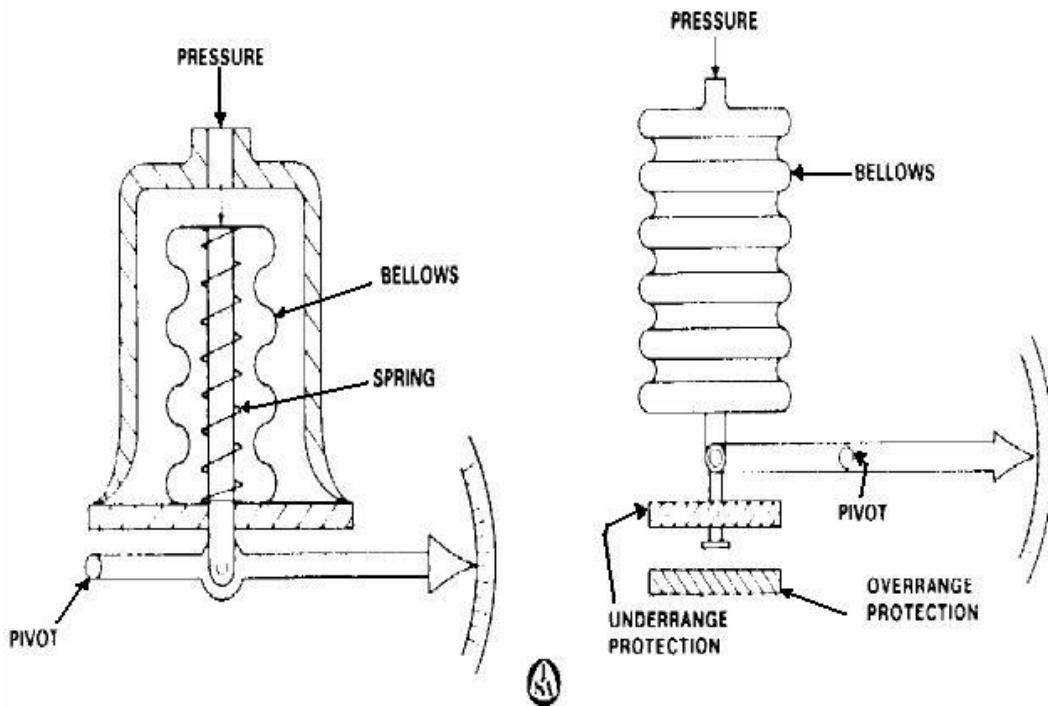
Para conseguir una mayor duración el y precisión el movimiento está contrarrestado por un muelle.



## Diafragma

Es similar al fuelle en concepto

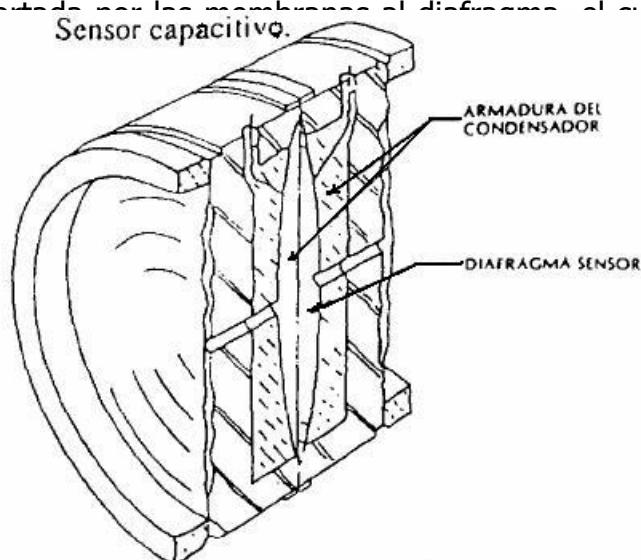
Está formado por un disco metálico flexible con la superficie plana o con ondulaciones concéntricas.



## Sensor capacitivo

Consta de dos membranas exteriores y un fluido en contacto con un diafragma sensor, situado entre las dos armaduras de un condensador.

El fluido transmite la presión sensor capacitive hacia un lado o hacia otro proporcionalmente al se desplace que varíe la constante dieléctrica entre las pl



### Sensor de galgas extensiométricas

Al someter una galga a presión, varía su longitud y su diámetro y en consecuencia su resistencia eléctrica.

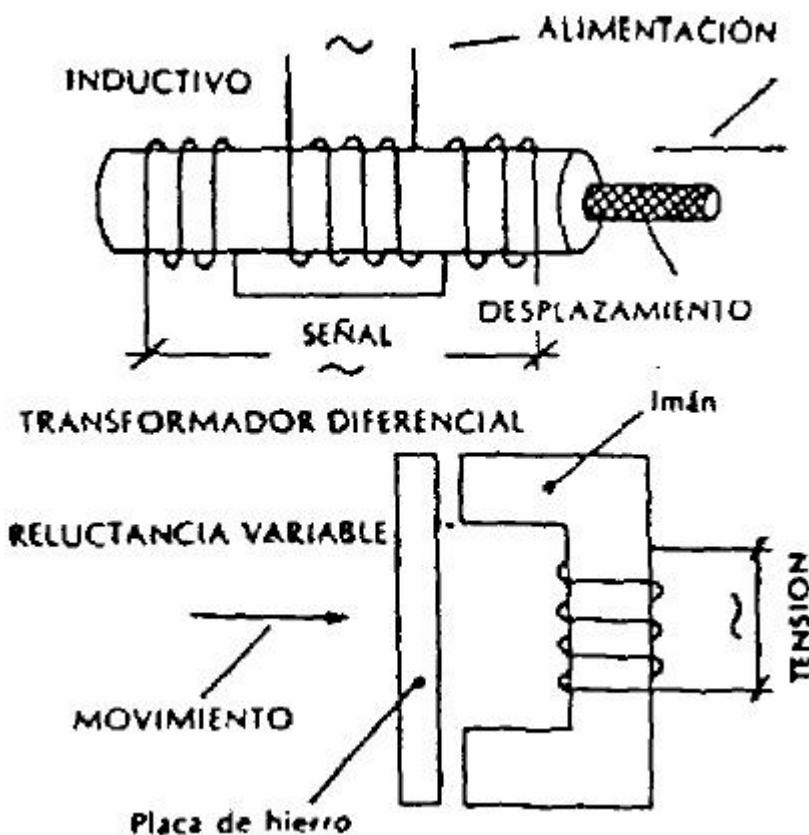
Para medir dicha resistencia se conecta la galga a un puente de Wheatstone.

Se suelen conectar 4 (2 a tensión y 2 a compresión) y además a la misma temperatura, para evitar cambios en R que no se deban a la deformación

**Sensor inductivo.** Se basa en que al desplazar un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la tensión inducida en el arrollamiento secundario.

**Sensor piezoelectrónico.**

Se basa en el hecho de que al recibir una presión un material piezoelectrónico (como el cuarzo o el titanio de bario), y deformarse físicamente, genera una señal eléctrica.



## Medición de Flujo.(2.4)

### FLUJO.

**Flow Rate:** Actual speed or velocity of fluid movement .

**Flow:** Travel of liquids or gases in response to a force (i.e. pressure or gravity).

**Flowmeter:** A device used for measuring the flow or quantity of a moving fluid.

#### Medidores de presión diferencial

- Placa orificio
- Tubo Venturi
- Tubo Pitot
- Medidores de impacto

#### Medidores de velocidad

- Medidor de turbina
- Medidor electromagnético
- Medidor Vortex
- Rotámetro
- Medidor de ultrasonidos

#### Medidores másicos

- Medidor másico térmico
- Medidor de Coriolis

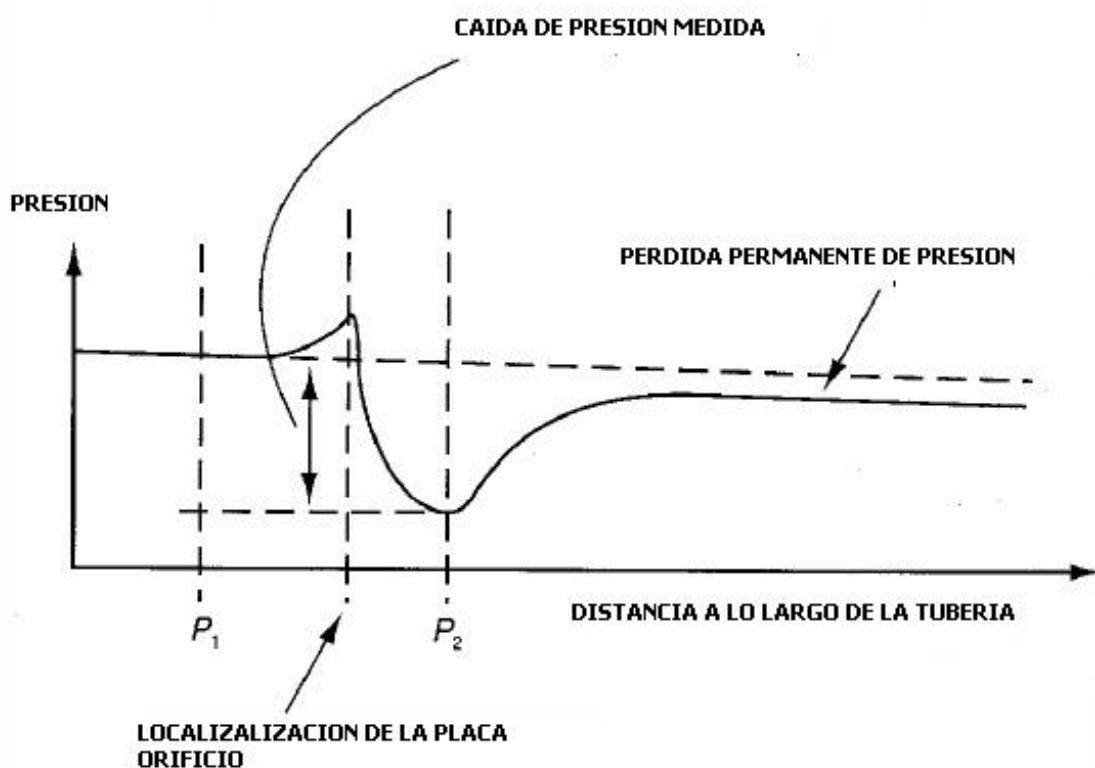
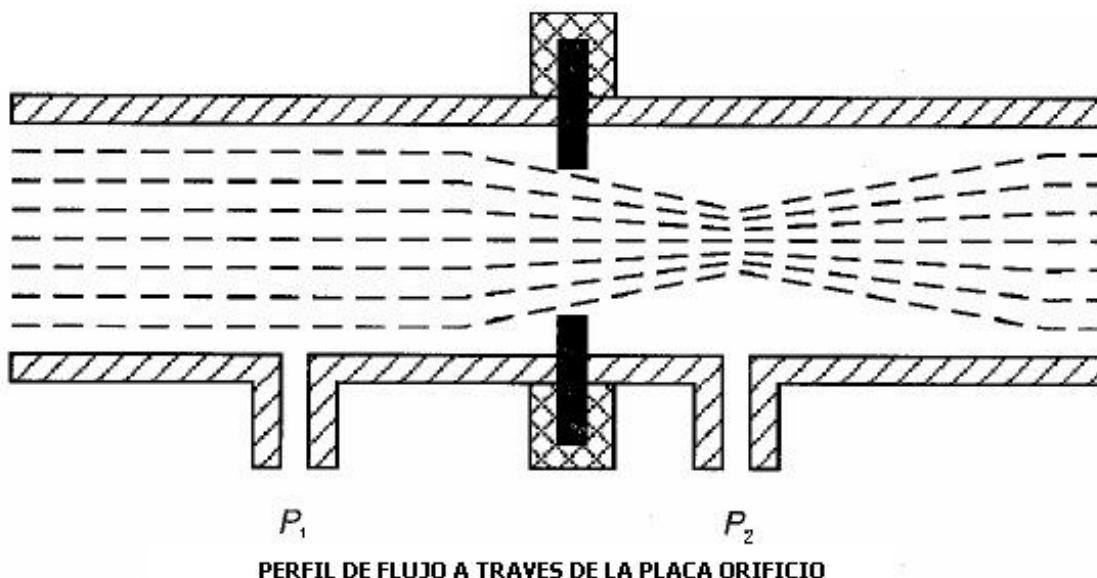
#### Medidores volumétricos

- Medidor de desplazamiento positivo

## Medidores de presión diferencial

Al restringir el paso de fluido se produce una caída de presión estática.

$$Q = K \sqrt{(\Delta p / \rho)}$$



### Placa orificio

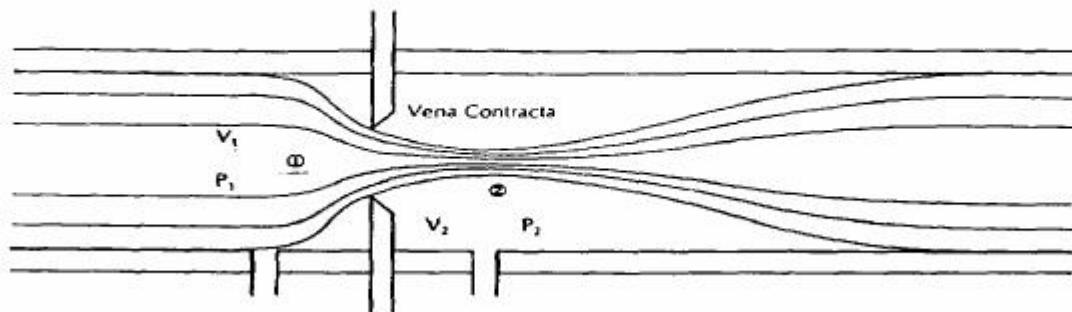
Es una placa con un orificio (generalmente afilado aguas arriba y biselado aguas abajo). Se usa con líquido limpios y gases.

Los fluidos sucios producen erosión del filo de la placa.

Se usan orificios excéntricos:

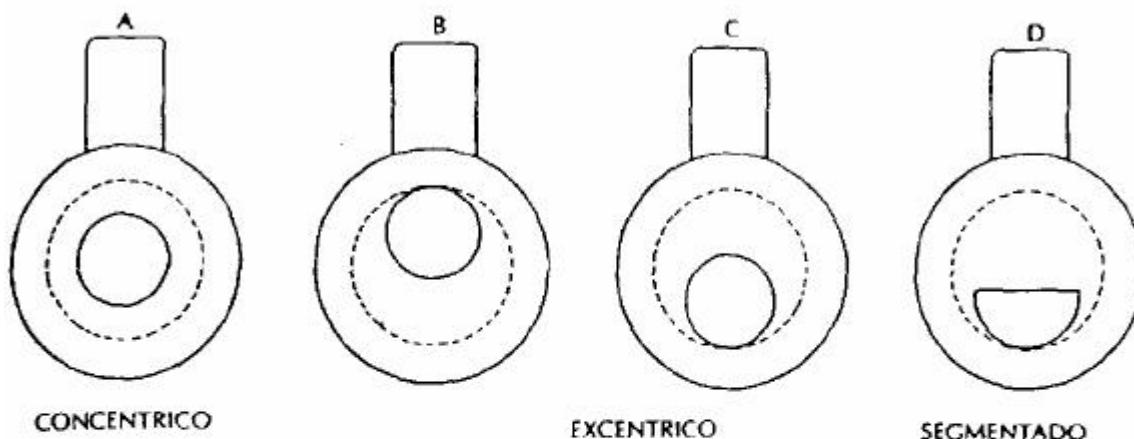
- en la parte alta, para permitir el paso de gases al medir líquidos.
- en la parte baja, para dejar pasar sólidos suspendidos.

**Contracción de la vena del fluido debido a un elemento estrangulador.**



### Tipos de diafragmas.

ORIFICIOS



CONCENTRICO

EXCENTRICO

SEGMENTADO

*Tipo*

*Aplicación*

- |   |   |
|---|---|
| A | Gases o líquidos limpios. Pequeños orificios de drenaje o venteo para eliminar pequeñas cantidades de líquidos o gas. |
| B | Líquidos con considerables cantidades de gas.   |
| C | Gases con considerable cantidad de líquido condensado.<br>Líquidos con arrastre de sólidos.                           |
| D | Líquidos con posible sedimentación de sólidos.  |

### Tubo Venturi

Se utiliza cuando es importante limitar la caída de presión.

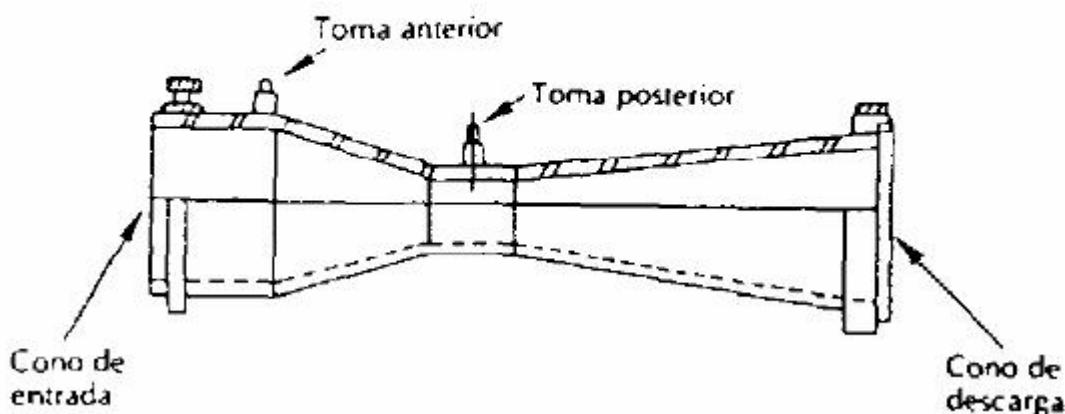
Consiste en un estrechamiento gradual cónico y una descarga con salida también suave.

Se usa para fluidos sucios y ligeramente contaminados.

Se utiliza para tasas de "turn down" (relación entre el máximo y el mínimo caudal, ej. 4:1 ) altas, como la de las líneas de vapor.

El alto coste restringe su utilización.

### Tubo venturi.

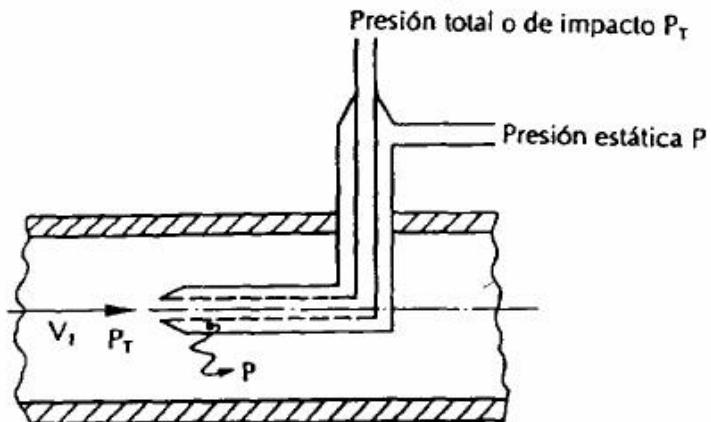


### Tubo Pitot

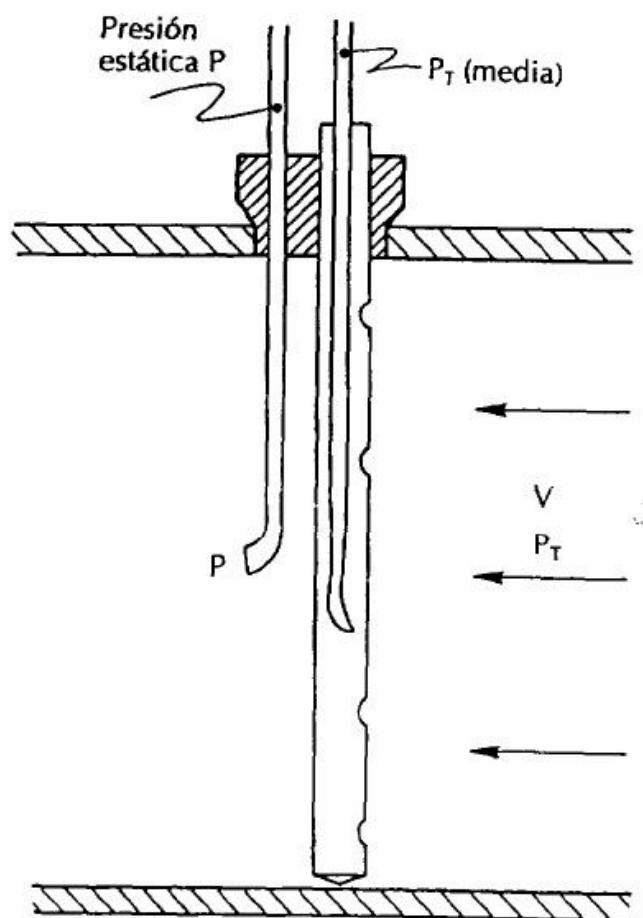
Mide la velocidad en un punto.

Consiste en un tubo de pequeño diámetro que se opone al flujo, con lo que la velocidad en su extremo mojado es nula. Midiendo la altura de la columna de líquido tenemos la presión total del punto. Si medimos la presión estática con otro tubo, podemos calcular la velocidad como función de la diferencia de presiones

### Tubo Pitot.



### Annubar.



Sus ventajas son la escasa caída de presión y bajo precio, siendo por ello una buena elección para tuberías de gran diámetro y para gases limpios.

El tubo Annubar es una variante del tubo de Pitot que dispone de varias tomas, a lo largo de la sección transversal, con lo que se mide la presión total en varios puntos, obteniendo la media de estos valores y evitando el error que produce el tubo de Pitot.

### Medidores de impacto:

Miden la fuerza sobre una placa (generalmente un disco circular) que se coloca en contra del flujo.

Tienen baja precisión (0.5 - 5%), pero son adecuados para fluidos sucios, de alta viscosidad y contaminados.

## Medidores de velocidad

### Turbina

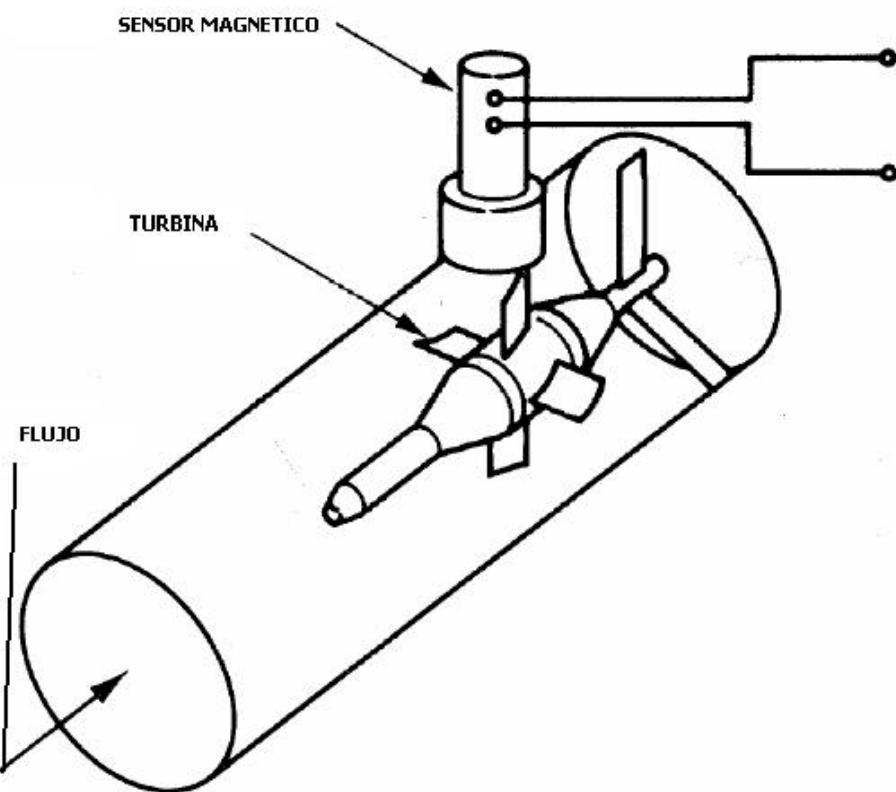
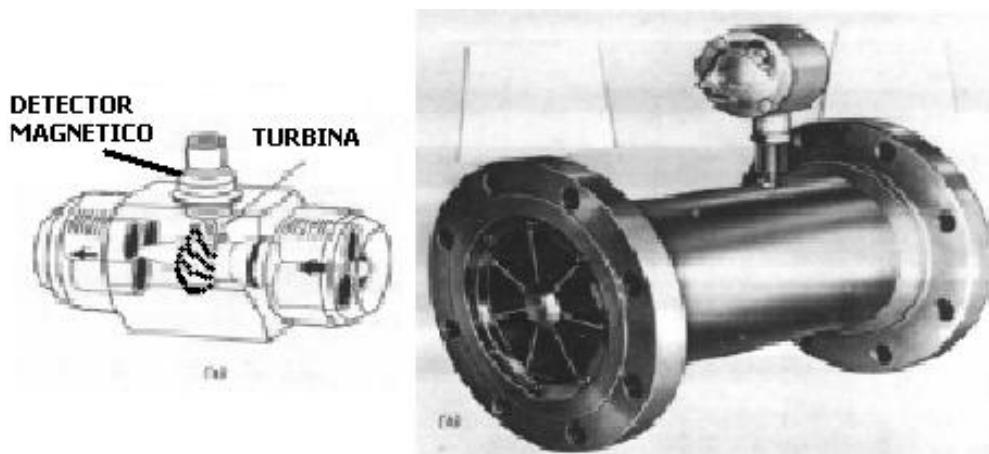
El fluido entra en el medidor y hace girar un rotor a una velocidad que es proporcional a la del fluido, y por tanto al caudal instantáneo.

La velocidad de giro del rotor se mide por conexión mecánica (un sensor registra el número de vueltas) o por pulsos electrónicos generados por cada giro.

Son los más precisos (Precisión 0.15 - 1 %).

Son aplicables a gases y líquidos limpios de baja viscosidad.

Problemas: Pérdida de carga y partes móviles



### Medidor electromagnético

Se basan en la Ley de inducción electromagnética de Faraday: "el voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor, y fuerza del campo magnético" ( $E=K(V D B)$ ).

El medidor consta de:

– Tubo de caudal:

- \_ el propio tubo (de material no magnético) recubierto de material no conductor (para no cortocircuitar el voltaje inducido),
- \_ bobinas generadoras del campo magnético,
- \_ electrodos detectores del voltaje inducido en el fluido.

– Transmisor:

\_ Alimenta eléctricamente (C.A. o C.C.) a las bobinas.

\_ Elimina el ruido del voltaje inducido.

\_ Convierte la señal (mV) a la adecuada a los equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales).

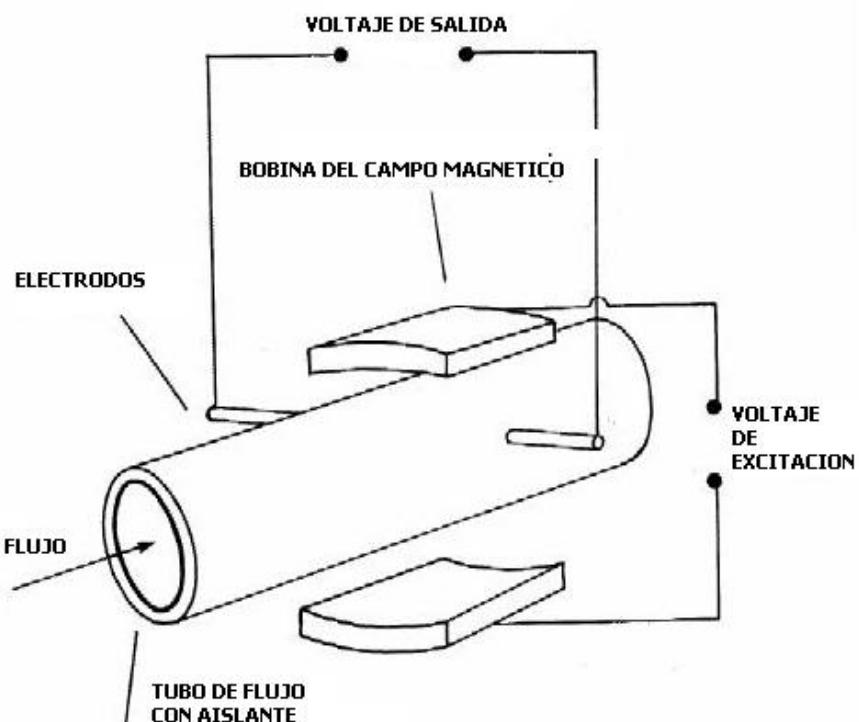
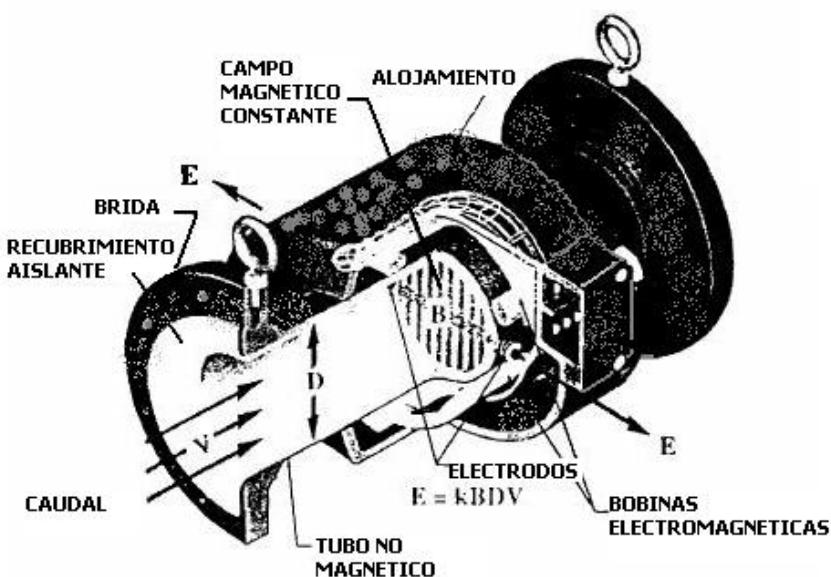
Es poco sensible a los perfiles de velocidad y exigen conductividad de  $5\mu\Omega/cm$ .

No originan caída de presión

· Se usan para líquido sucios, viscosos. y contaminados.

Precisión: 0.25 - 1%

Tubo de caudal.



### Medidor Vortex

La introducción de un cuerpo romo en la corriente de un fluido provoca un fenómeno de la mecánica de fluidos conocido como vórtice o torbellino (efecto de Van Karman).

Los vórtices son áreas de movimiento circular con alta velocidad local.

La frecuencia de aparición de los vórtices es proporcional a la velocidad del fluido.

Los vórtices causan áreas de presión fluctuante que se detectan con sensores.

Para poder usar este medidor es necesario que el fluido tenga un valor mínimo del número de Reynolds ( $Re = \rho v D / \mu$ ).

Indicado para gases y líquidos limpios.

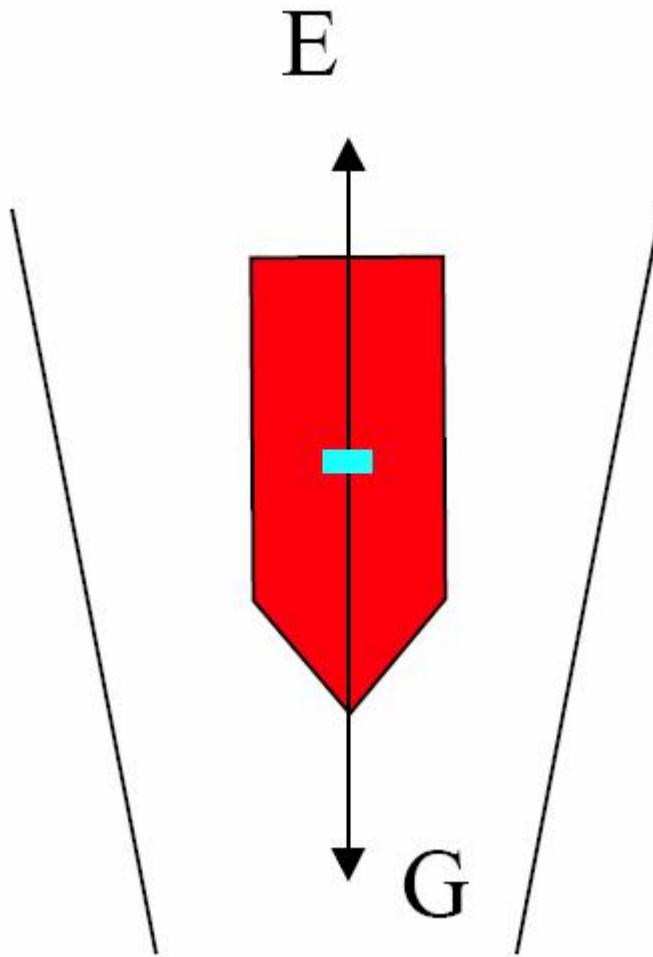
Precisión: 1%

### Rotámetros

Medidores de área variable en los que un flotador cambia su posición de forma proporcional al caudal

Como indicador visual. Se le puede hacer acoplamiento magnético

Instalación en vertical



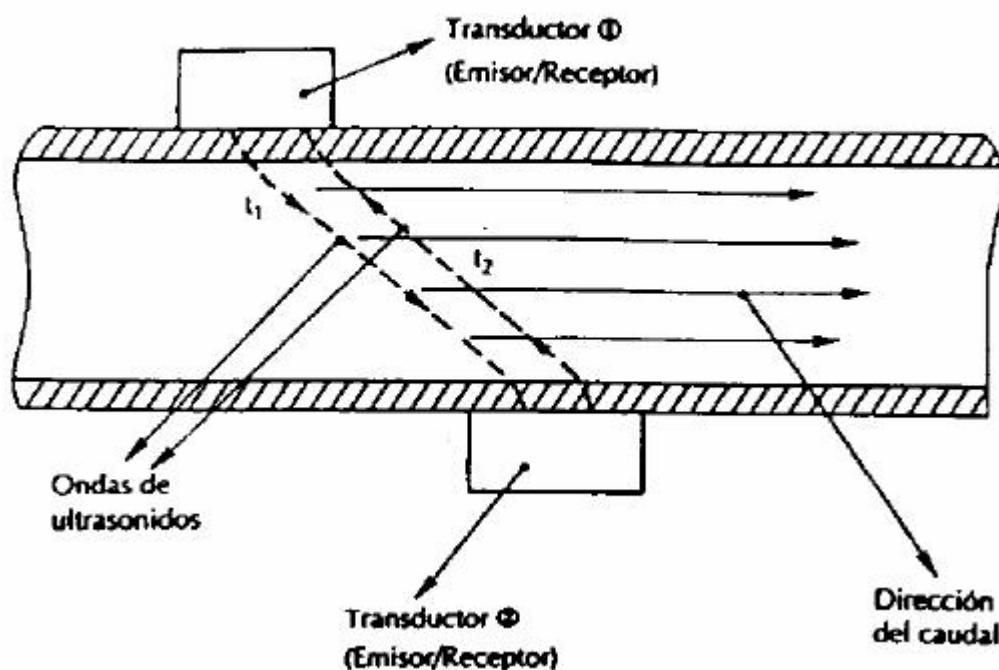
### Medidores de ultrasonidos

Emplean ondas ultrasónicas para determinar el caudal.

Son buenos para medir líquidos altamente contaminados o corrosivos, porque se instalan exteriormente a la tubería.

Precisión: 2 - 5%

### Medidor de caudal por ultrasonidos.



### Medidor a pulsos

Se introducen dos pulsos inclinados y simultáneamente, mediante dos transmisores emisor-receptor, que reflejan en la tubería. La diferencia de tiempo para el mismo camino recorrido depende de la velocidad del flujo.

### Medidor Doppler

Emite ondas de frecuencia fija que reflejan en el fluido.

Como el fluido posee velocidad se produce una variación de la frecuencia de la onda reflejada

### Medidores másicos

#### Medidor másico térmico

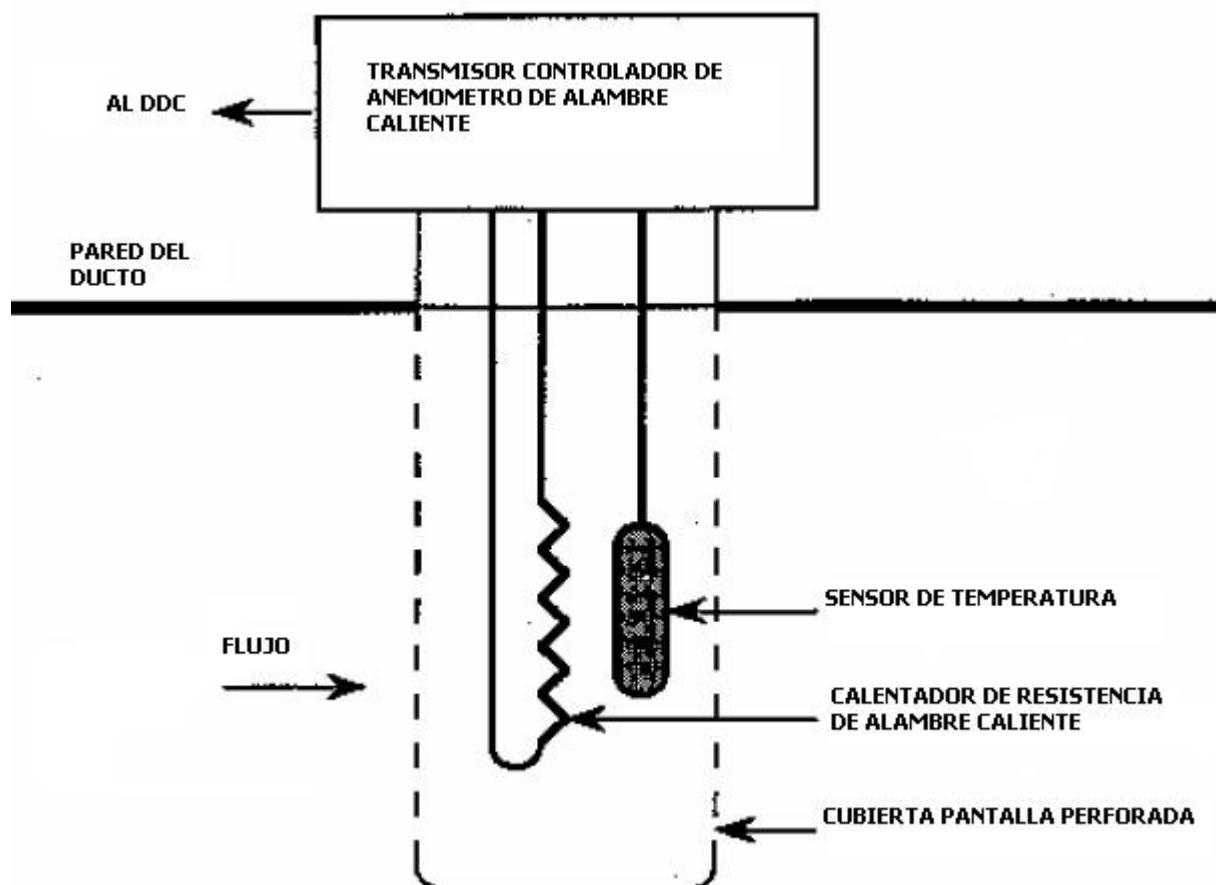
#### Medidor de incremento de $T^a$

Consiste en aportar calor en un punto de la corriente y medir la  $T^a$  aguas arriba y aguas abajo.

Si la velocidad del fluido fuese nula no habría diferencia de  $T^a$ , pero al existir velocidad la diferencia de  $T^a$  es proporcional al flujo másico existente.

Lo más común es el diseño en bypass.

Precisión: 1%



### Medidor de Coriolis

Medidor másico. Se basa en que la aceleración absoluta de un móvil es la resultante de la relativa, la de arrastre y la de Coriolis

Tres bobinas electromagnéticas forman el sensor:

La bobina impulsora hace vibrar los (dos) tubos, sometiéndolos a un movimiento oscilatorio de rotación alrededor del eje OO'. Vibran a la frecuencia de resonancia (menos energía), 600-2000 Hz.

Los 2 detectores electromagnéticos inducen corrientes eléctricas de forma senoidal, que están en fase si no circula fluido.

El flujo atraviesa (dos) tubos en forma de U, estando sometido a una velocidad lineal "v" y una velocidad angular " $\omega$ " de rotación alrededor de O-O', por lo que sufre una aceleración de Coriolis de valor  $a=2 \omega \times v$

La fuerza ejercida sobre el fluido como consecuencia de la aceleración cambia de signo con "v", por lo que se genera un par de fuerzas que produce una torsión de los tubos alrededor del eje RR'.

La torsión alrededor del eje R-R' produce un desfase de tiempo  $\Delta t$ , entre las corrientes inducidas por los detectores electromagnéticos, que es proporcional al par de fuerzas ejercido sobre los tubos, y por tanto a la masa que circula por ellos.

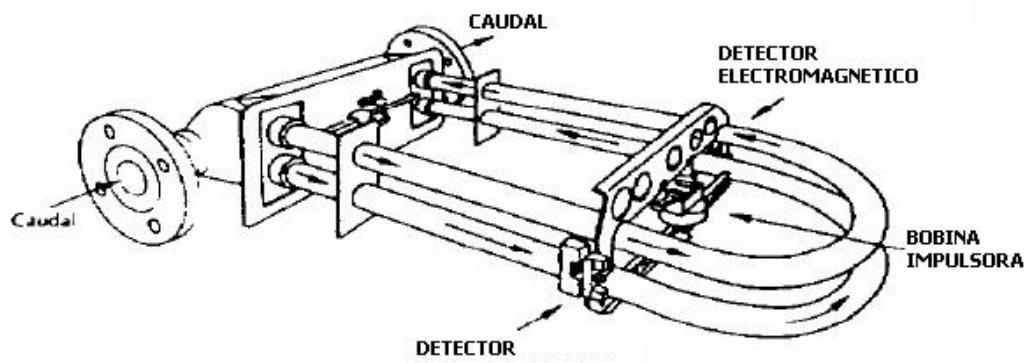
Alta precisión: (0.2 - 0.5%)

La medida es independiente de la temperatura, presión, densidad, viscosidad y perfil de velocidades.

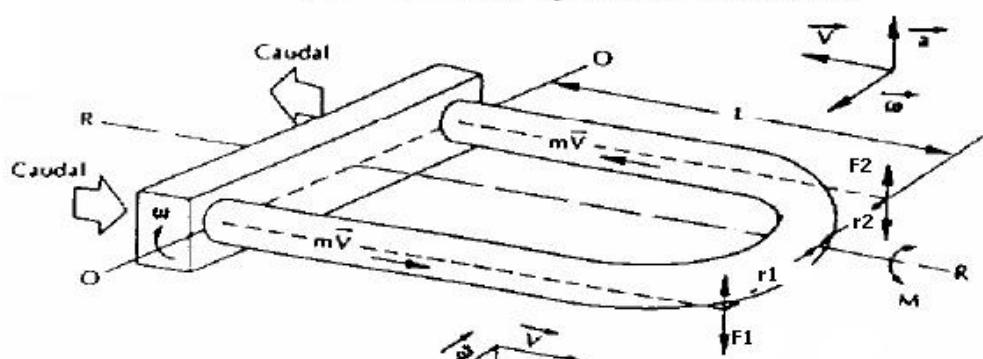
Mantenimiento casi nulo, lo que abarata su coste.

Se aplica a fluidos viscosos, sucios, corrosivos con  $T^{\circ}$  extrema alta o baja, y con altas presiones.

**Tubo sensor mostrando posición de los detectores y bobina impulsora.**



**Tubo sensor con los ejes de rotación.**



## Medidores volumétricos

### Medidor de desplazamiento positivo

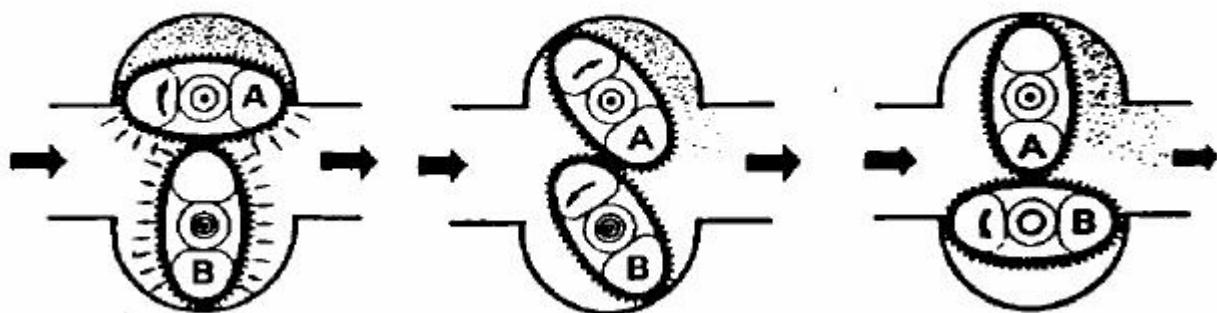
El flujo se divide en segmentos de volumen conocido, contando el número de segmentos en un intervalo de tiempo.

Se usa en aplicaciones de fluidos de alta viscosidad, y fluidos de menos de 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (no se pueden usar el medidor magnético).

No se recomienda con fluidos sucios al existir partes móviles.

Precisión: (0.2 - 0.5%)

### Caudalímetro de desplazamiento positivo.



## UNIDAD 3. Controladores

Por principio de cuentas es menester definir los conceptos que vamos a manejar. Uno de estos y el principal en este caso es “**control**”. Cuando hablamos de controlar se nos viene a la mente la idea de tener el **poder para decidir, marcar reglas, límites**. Como por ejemplo un padre que controla a sus hijos, este lo hace definiendo **límites**; estos pueden ser horarios para comer desayunar y cenar así como para ver la tv o jugar con los amigos. Otro ejemplo podría ser el de un líder político que **controla** sus huestes, **mantiene los bajo sus reglas** a través de premios y castigos, intimidación, chantaje, corrupción; esto por supuesto en los países corruptos claro está, no en el nuestro. Un último ejemplo sería el control de **flujo de dinero** en un país, ¿cuánto efectivo circula? **Cuánto** debe de circular para no rebasar ciertos **límites** que provocan **inflación** (situación económica descontrolada)

Si tomáramos este último ejemplo y respondieramos las siguientes preguntas ¿cuáles serían nuestras respuestas?

- |                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| ¿Qué se controla?     | ¿La inflación o el flujo de dinero?   |
| ¿Cómo se controla?    | ¿Con dinero o limitando este?         |
| ¿Por qué se controla? | ¿Para evitar la inflación?            |
| ¿Cuándo se controla?  | ¿Siempre o solo cuando hay inflación? |

Recordando nuestras lecciones de Teoría del control y el esquema clásico de control de lazo cerrado, nosotros sabemos que existen: la variable controlada o variable del proceso (**PV**), el punto de control o consigna que es el valor que se desea mantener en la variable controlada (**SP**), y el sistema que lleva a cabo esta tarea (**controlador**)

Continuando con el ejemplo anterior podríamos decir que la variable del proceso es el flujo de dinero.

$$PV = \text{flujo de dinero}$$

El punto de consigna **SP** es un valor que permite una estabilidad de precios en la canasta básica.

$$SP = F(\text{precios en la canasta básica})$$

El controlador es la Secretaría de Economía del país.

$$\text{Controlador} = \text{Secretaría de Economía}$$

Así podríamos contestar las preguntas, y decir que se controla el flujo de dinero, el cómo; sería agregando o quitando dinero circulante en función del índice de precios de la canasta básica, el porque sería para evitar la inflación y el cuando sería siempre dado que el proceso de flujo de dinero es constante no se detiene.

Después de haber discutido esto podríamos concluir que el **control** es un proceso en el cual se trata de **mantener una variable** dentro de ciertos límites para **evitar** situaciones adversas o negativas que trastornen el **proceso** haciendo uso de **mecanismos de control y medición** para ello.

Recordando los esquemas básicos de control, el diagrama de bloques más comúnmente usado para un controlador en un proceso de lazo cerrado es como se muestra en la figura.

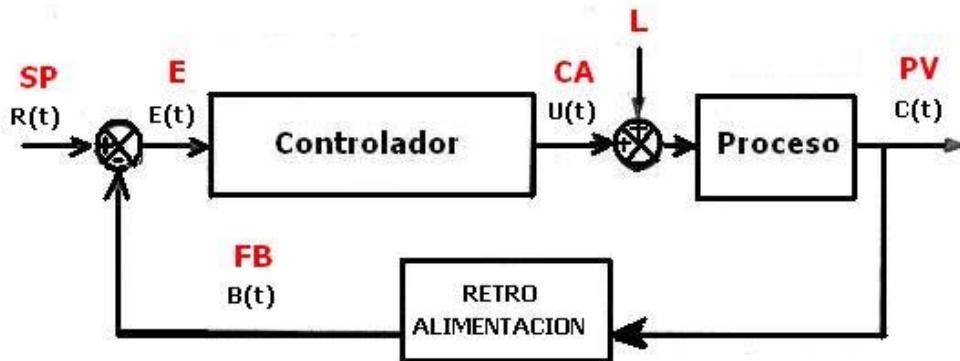


Figura 1 diagrama de bloques de un controlador de lazo cerrado en serie o cascada.

Haciendo las equivalencias de términos para poder darle un enfoque más práctico y de acuerdo al lenguaje que se utiliza en instrumentación y control tendríamos la siguiente tabla:

Concepto.	Nomenclatura teórica.	Término práctico
Referencia.	R(t) o R(s)	SP, Setpoint
Error.	E(t) o E(s)	E, Error.
Salida de control	U(t) o U(s)	CA, Acción Correctiva
Proceso.	C(t) o C(s)	PV, Variable de Proceso
Realimentación.	B(t) o B(s)	FB, Sensor de PV

En instrumentación y control, la acción correctiva es una de las partes más importantes y básicamente existen tres **tipos de acción correctiva o modos de control**.

- Proporcional.
- Integral.
- Derivativo.

La inicial de cada una de estas palabras da origen a la abreviatura PID, que se aplica a un controlador que ejecuta los tres tipos de acción correctiva, es decir un controlador PID.

En la práctica existen controladores Proporcionales (P), Proporcionales Integrales (PI), y Proporcionales Integrales Derivativos (PID) estos se dicutirán en la siguiente sección.

Por ultimo es importante destacar que la ecuación para un controlador PID como se puede obtener del desarrollo matemático del diagrama de bloques del controlador en serie o cascada de la figura 1 es:

$$U(t) = K_p E(t) + K_i \int E(t) dt + K_d dE(t)/dt, \text{ donde :}$$

$K_p$  es la constante de la acción proporcional.

$K_i$  es la constante de acción integral

$K_d$  es la constante de acción derivativa.

$E(t)$  es el error en el tiempo, diferencia entre  $R(t)$  y  $C(t)$  o **SP** y **PV**

Cuando se analiza en el dominio del tiempo, y cuando está en el dominio de la frecuencia ( $s$ ) queda como sigue.

$$U(s) = K_p E(s) + K_i E(s)/s + K_d E(s) s, \text{ donde :}$$

$K_p$  es la constante de la acción proporcional.

$K_i$  es la constante de acción integral

$K_d$  es la constante de acción derivativa.

$E(s)$  es el error en la frecuencia, diferencia entre  $R(s)$  y  $C(s)$  o **SP** y **PV**

Estas ecuaciones serán base de nuestras siguientes secciones a estudiar.

## Modos de Control.(3.1)

Como vimos en secciones anteriores un controlador tiene como función principal realizar una **accion correctiva**, la cual puede formarse de una acción **proporcional**, o proporcional **integral** o por último proporcional integral y **derivativa**.

¿Qué significan este tipo de acciones? ¿Cómo se entienden? Para seguir con nuestro estudio de controladores analizemos un caso simple, la puerta del salón de clase.

Imaginemos que queremos controlar el **angulo de apertura** de la puerta (**PV**), medido a partir de la pared donde tiene su pivote, y deseamos que este sea de 45 grados (**SP**).

Suponiendo que medimos el angulo de apertura y resulta ser de 60 grados, por supuesto que de inmediato sabemos que existe un **error (E)** en lo que queremos, al hacer la **diferencia** entre lo que **deseamos** y lo que es en la **realidad** obtenemos el valor del **error**, para nuestro caso es de 60 menos 45 lo cual nos da como resultado – 15 grados, un **error negativo** nos indica que la **realidad esta por encima de lo requerido**, si hubiese sido el **error positivo** entonces sucederia lo contrario la **realidad estaria por debajo de lo requerido**.

Si el angulo en cuestión hubiese sido de 50 grados al medirlo, el error entonces seria de –5 grados, negativo aun pero **mas pequeño** que en el primer caso.

Es de sentido comun pensar que en el primer caso la corrección que tenemos que hacer es **mayor** que cuando el error fue de 5 grados, en este ultimo caso la **accion correctiva** deberá ser **mas pequeña**.

### Accion correctiva de tipo proporcional.

Es así como se manifiesta una **accion correctiva de tipo proporcional**, esta se da en la medida que exista el error, **mayor error** significa una **accion proporcional mas energica**, **menor error** significa una **accion proporcional menos energica**.

Como se puede observar la acción proporcional no depende mas que de la magnitud del error y no de su comportamiento en el tiempo.

Continuando con el ejemplo tomemos el primer caso donde el error es de 15 grados, sabemos que la acción correctiva proporcional es de magnitud 15, vamos a suponer que la manera en que se llegó a este error fue de tres maneras por tanto tenemos tres casos, primero se llegó al error de manera lenta, segundo se llegó de manera regular en tiempo y por último se llegó de manera muy rápida, la acción proporcional en los tres casos es de 15, como ya se menciono anteriormente esta no depende de cómo se comporte el error en el tiempo. ¿qué pasaria si tuvieramos una acción correctiva que actuara en función de la rapidez del error? Es lógico pensar que esta acción sea grande (**accion rápida**) si el error es rápido y pequeña (**accion lenta**) si el error es lento para que nuestra acción de control sea efectiva.

## Accion correctiva de tipo derivativo.

Es así como se manifiesta la **accion correctiva de tipo derivativa**, esta sera mayor cuanto **mayor es la velocidad del error** y menor conforme sea **menor la velocidad del error**.

Continuando con el ejemplo, para definir la **acción correctiva integral** es necesario conocer el **tiempo**, cuando analizamos tres casos en donde el error era lento, regular y rápido, es lógico pensar que el tiempo es mayor cuando el error fue lento y menor cuando el error fue rápido, la acción de **corrección integral se manifiesta durante todo este tiempo**, es decir esta siempre presente durante la corrección y después de ella.

¿Por qué después de ella? Como sabemos las cosas tienen un grado de incertidumbre siempre, y esto significa que la **PV** o variable del proceso también lo tiene, por lo tanto solo podremos acercarnos al valor de consigna o **SP** de manera muy cercana, y tal vez oscilar alrededor de este con un rango muy cerrado (tolerancia) de manera que siempre tendremos un error, a este error se le denomina **error de estado estable ( $e_{ss}$ )**.

## Accion correctiva de tipo integral.

Podemos concluir entonces que la **accion correctiva integral**, sin tomar en cuenta el periodo de estado estable, se manifiesta en proporcion al tiempo que dura el error, a **mayor tiempo del error mayor sera la accion correctiva integral** y viceversa.

## Sintonización de Controladores.(3.2)

En esta sección estudiaremos como obtener los valores de las constantes K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, y K<sub>d</sub> de forma que estas tengan el valor apropiado para tener un buen desempeño de control.

El valor de estas constantes son función de el entorno donde esta el proceso a controlar así como de los parámetros de este, es decir es una función F( PV, ambiente).

Actualmente existe mucha información sobre los métodos para entonar controladores, la cual esta disponible en textos de la materia y en el internet, a continuación estudiaremos acerca del método de Ziegler Nichols.

### Método de entonamiento PID de Ziegler-Nichols.

Material cortesía de ACT.



Ziegler y Nichols desarrollaron métodos de entonamiento de controladores PID en los primeros años de la década de los cuarenta basados en pruebas de lazo abierto (menos conocidas que por ejemplo las fórmulas de Cohen Coon) y también en pruebas de lazo cerrado, el cual pudo ser su mayor logro conocido.

El **método de lazo abierto** permite calcular los parámetros PID, partiendo de los parámetros del proceso. El procedimiento:

**Paso 1**, se hace una prueba de la planta en lazo abierto

**Paso 2**, determine los parámetros del proceso: ganancia del proceso, tiempo muerto, constante de tiempo (véase abajo, dibuje una tangente a través del punto de inflexión y mida L y T como se muestra, por cierto en la actualidad existen mejores y más fáciles métodos)

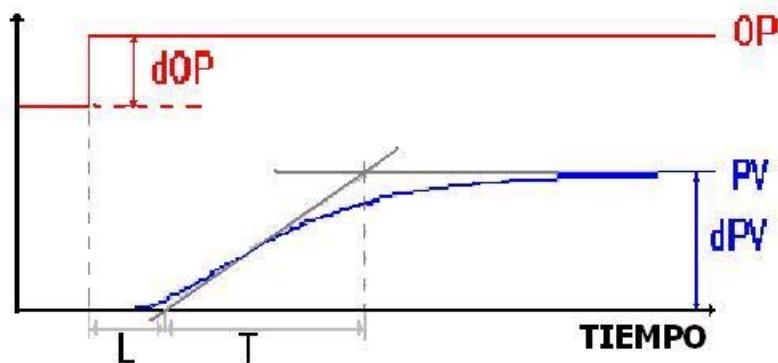
**Paso 3**, calcule los parámetros de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$K = \text{constante de tiempo} / (\text{ganancia del proceso} * \text{tiempo muerto})$$

$$\text{PI: Ganancia proporcional} = 0.9K, \text{tiempo integral} = 3.3 * \text{tiempo muerto}$$

$$\text{PID: ganancia proporcional} = 1.2K, \text{tiempo integral} = 2 * \text{tiempo muerto}, \text{tiempo derivativo} = 0.5 * \text{tiempo muerto}.$$

OP: Salida del controlador.



Ganancia de proceso =  $dPV / dOP$ , tiempo muerto = L, constante de tiempo = T

El **metodo de lazo cerrado** receta lo siguiente:

**Paso 1**, desabilite cualquier acción derivativa e integral del controlador (pura acción proporcional)

**Paso 2**, haga un paso unitario de punto de consigna (setpoint step) y observe la respuesta.

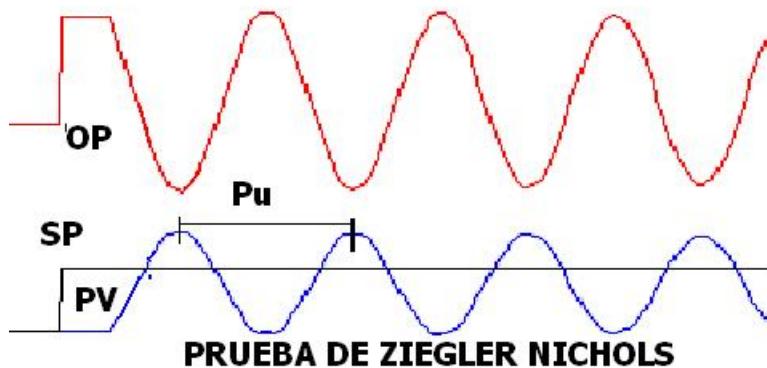
**Paso 3**, repita la prueba de paso unitario de punta de consigna con incrementos o decrementos de ganancia hasta que se logre una oscilación estable, esta ganancia se denomina "la ultima ganancia" Ku

**Paso 4**, lea el periodo de oscilación Pu.

**Paso 5**, calcule los parámetros de acuerdo a las siguientes formulas:

PI: ganancia proporcional =  $0.45 * Ku$ , timepo integral =  $Pu / 1.2$

PID: ganancia proporcional =  $0.6 * Ku$ , tiempo integral  $Pu / 2$ , tiempo derivativo =  $Tu / 8$



### Caracterización:

Ambos métodos dan un buen punto de inicio pero requieren de un ajuste fino posterior

El **método de lazo abierto** esta basado en la medición del rango de 0 a 100 y control continuo, esto requiere ajustes para otros rangos de medición y del intervalo de control en sistemas digitales (este método fue desarrollado en la época en que solo existía control análogo)

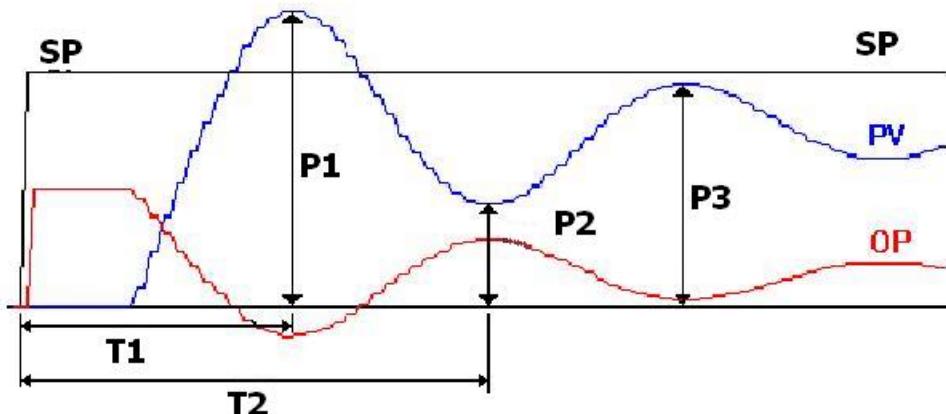
El **método de lazo cerrado** no requiere de ajuste, una gran ventaja, dado que tanto el controlador como el proceso son parte de la prueba pero sufre de una desventaja grande; traer al proceso a una oscilación estable y sostenida esta simplemente fuera de discusión en procesos industriales.

En ambos métodos no se distingue entre **punto de consigna** y **entonamiento de carga** y son para procesos autorregulados solamente, no para procesos integrativos como el nivel de líquidos.

### La tecnología de hoy:

En nuestras herramientas **ACT-TOP** y **TOPAS** se utiliza un método Z-N mas refinado.

a) Prueba de lazo cerrado: el método básico es el mismo que el original Z-N pero con una mejora sustancial: la oscilación estable ya no se requiere, y la herramienta no solo calcula las constantes **PID** sino que también los parámetros del proceso con solo correr una prueba de **punto de consigna** y con tan solo 5 puntos de datos.



**Prueba de punto de consigna de lazo cerrado para la estimación de parámetros de entonamiento del controlador PID y el proceso**

b) Prueba de lazo abierto: **ACT-TOP** y **TOPAS** te proporcionan varios métodos para calcular los parámetros del proceso de una prueba de paso unitario o relé. Una vez que los parámetros del proceso se conocen se puede calcular de manera mas fina las constantes del **PID** (menos sobre impulso, mas suavidad que en el Z-N) tanto para **punto de consigna** como para **entonamiento de carga** (acción P sobre el error o PV) utilizando los métodos propios de **ACT**. De esta forma se pueden calcular las constantes de entonamiento para un control mas justo a tu especificación.

Para mas información, dado que conoces los parámetros del proceso puedes comparar (y medir el rendimiento) del PID con el control basado en el modelo de forma inmediata sin ningún conocimiento previo.

Consulte:<http://ourworld.compuserve.com/homepages/ACTGMBH/tools.htm>

## Entonación simple de un PID y simulación de lazo cerrado.

Por: D.M. Bain, C.D. Martin, Setpoint, Inc. 950 threatneedle Suite 200 Houston, Tx. 77079

Traducción de: Alfonso Pérez García

### Introducción.

Por mucho la aplicación mas común de control de procesos, es el controlador PID, este algoritmo clásico ha perdurado durante décadas aun en plantas petroleras o de refinación uno se puede encontrar un gran porcentaje de controladores PID en "manual", mal entonados o ambas cosas. Nuestra experiencia nos indica que hay dos razones para esto:

Primero un método sencillo para seleccionar los parámetros de entonamiento del PID que arroje un rendimiento bueno del lazo cerrado de control no se ha difundido lo suficiente especialmente para procesos con un tiempo muerto significativo y la segunda razón es que los ingenieros y no ingenieros que entonan estos controladores PID en el campo, han tenido una experiencia limitada y no aprecian la sensibilidad de los parámetros de entonación.

Este articulo presenta una serie de relaciones simples para entonamiento de controladores PID tanto continuos (análogos o micro procesados) como discretos (con computador) y que han probado ser muy efectivos con procesos de tiempos muertos grandes. También describe un paquete de simulador dinámico que ha sido usado efectivamente para experimentar con la entonación de controladores PID así como la verificación y entrenamiento de ingenieros.

### Entonamiento del PID.

Para el diagrama de control mostrado en la figura 1 las variables se identifican como sigue:

SP = punto de control de la variable procesada.

E = error de la variable controlada.

U = salida del controlador PID, variable manipulada.

L = carga de entrada.

Kc = ganancia PID

Ti = tiempo de restablecimiento PID

TD = tiempo derivativo PID

Kp = ganancia del proceso

Td = tiempo muerto del proceso

T = constante de tiempo del proceso

S = variable de Laplace.

Note que el proceso ha sido aproximado por el bien conocido modelo de primer orden mas tiempo muerto, Kp, Td y T han sido estimados o derivados de un simple proceso de prueba

Dados Kp, Td, T en [3], [1] se dan procedimientos para la selección de Kc, Ti, y TD, cada uno esta dado gráficamente y representa el lugar de los parámetros de entonamiento que optimizan algo la medida del rendimiento del lazo cerrado , basados en técnicas de minimización numérica y simulaciones de computo, Martin[3] proporciona resultados para porcentajes específicos de sobre impulso de Y a cambios de paso unitario en SP, Fertik [1] da

resultados para el IAE mínimo (Integrated Absolute Error) E responde a un cambio de paso unitario en SP o en L.

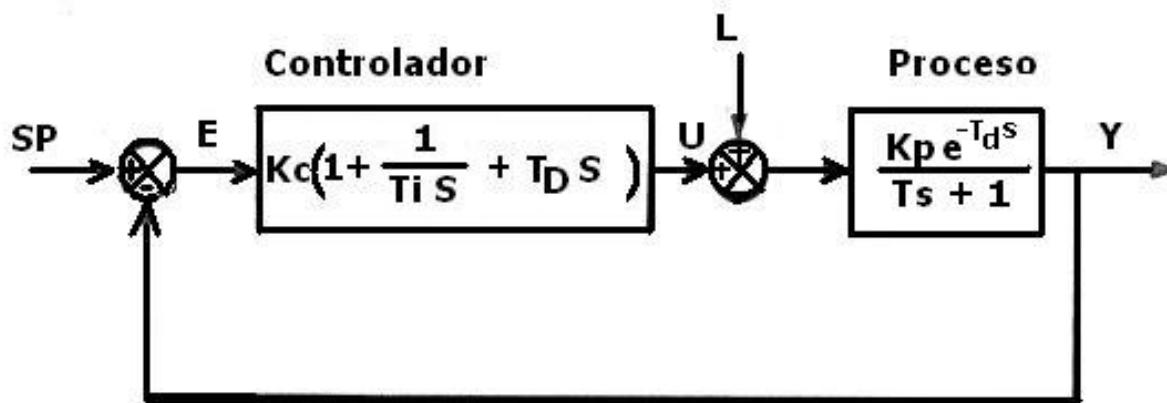
Los métodos de entonamiento del controlador PID \*\* discutidos anteriormente se pueden consolidar de manera simple en la forma:

$$K_c K_p = A + B (T/T_d); T_d > T/5$$

$$T_i = T + C(T_d),$$

$$T_d = 0$$

\*\* estos usan el resultado de Fertik [1] para SP, dado que el entonamiento de SP es mas conservativo (robusto) que el entonamiento de L.



**Figura 1 Diagrama de bloques de control de lazo cerrado.**

Los valores de A, B, y C están dados en la tabla siguiente:

OBJETIVO	REFERENCIA	A	B	C
5% de sobre impulso	3	0	13/25	0
1% de sobre impulso	3	0	3/7	0
IAE Min.	1	3/10	3/10	4/10

Para controladores discretos use  $T_d = T_d + \Delta T/2$  donde  $\Delta T$  es el intervalo de control. Un entonamiento conservador para tiempos muertos pequeños se da por el entonamiento "estandar" donde la senda de ganancia en adelanto  $K_c K_p = 1.0$  y el restablecimiento  $T_i = T$  o  $A = 1, B = 0, C = 0$ .

**Referencias.**

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
1 Fertik, H. A.	"Tunning Controller for Noisy Processes"	ISA Transactions Vol. 14, No. 4, 1975.
Tambien en Despande & Ash	"Elements of Computer Process Control"	ISA, 1981, Sect 10.3.
2 Krouse, C. L. y E. D. Ward	"Improved Linear Systems Simulation By Matrix Exponentiation with Generalized Order Hold"	Simulation, October, 1971, pp 141-146.
3 Martin J., A. B. Corripio y C. L. Smith	" How to Select Controller Modes and Tunning Parameters from simple process models"	ISA Transactions, Vol. 15, No. 4, 1979, pp 314-319.

## Aplicaciones de Control.(3.3)

### Introducción a la implementación de controladores PID análogos

Por: Juan Antonio Contreras Montes

Armada República de Colombia, Escuela Naval Almirante Padilla, Cartagena

[epcontrerasj@control-automatico.net](mailto:epcontrerasj@control-automatico.net)

[epcontrerasj@yahoo.com](mailto:epcontrerasj@yahoo.com)

[epcontrerasj@ctgred.net.co](mailto:epcontrerasj@ctgred.net.co)

**Resumen:** este documento presenta los pasos a seguir para diseñar el control de posición de un servomecanismo de corriente directa (cd) y construirlo empleando amplificadores operacionales y elementos electrónicos de fácil manejo y bajo costo. Se ha elaborado asumiendo que el lector tiene muy pocos conocimientos en electrónica pero tiene conocimientos básicos de Control Automático. El **controlador PID** que se construirá al final del documento es aplicable a cualquier proceso de una entrada / una salida, cuya señal de salida esté en el rango de 0 a 5 voltios de cd y la señal de entrada al proceso pueda ser una señal de -12 a +12 voltios de cd, 4 amperios.

**Palabras claves:** control PID, Lugar de las Raíces, polos, ceros, error en estado estacionario, amplificador operacional.

#### 1. Introducción

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc.

Como el control automático va ligado a, prácticamente, todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.), este documento ha sido desarrollado sin preferencia hacia alguna disciplina determinada, de tal manera que permita al lector construir un controlador PID análogo sin que sea necesario tener conocimientos previos en electrónica.

El lector construirá un servosistema de posición con elementos de fácil consecución en el mercado local. Posteriormente, luego de familiarizarse con el funcionamiento del sistema, hallará el modelo matemático del mismo por métodos experimentales. Con la ayuda del software MATLAB hallará el Lugar de las Raíces del sistema, el cual le dará información importante sobre la dinámica del mismo. El conocimiento del funcionamiento del sistema junto con el análisis de la función de transferencia de lazo abierto y del Lugar de las Raíces darán las bases necesarias para seleccionar el controlador, el cual se construirá con elementos igualmente de fácil consecución en el mercado local y de muy bajo costo.

Se requiere, sin embargo, que el lector tenga conocimientos básicos en Control Automático.

Para continuar con el tema es necesario definir ciertos términos básicos.

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

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

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

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

**Señal análoga:** es una señal continua en el tiempo.

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

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

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

**Planta:** es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

**Proceso:** operación que conduce a un resultado determinado.

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

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

**Sensor:** es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado **transductor**. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

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

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

## 2. Planteamiento del problema

Se requiere diseñar y construir un controlador PID para regular la posición de un servomotor de corriente directa. La figura 1 muestra el diagrama de bloques del sistema controlado, en donde:

- La señal de salida,  $y$ , corresponde a la salida del terminal móvil del potenciómetro. Si éste se alimenta con 5 voltios en sus terminales fijos (a y b), producirá un voltaje en su terminal móvil (c) equivalente a su posición. Podemos decir entonces que cuando produce 0 voltios esta en la posición equivalente a 0 grados, 1.25 voltios corresponderá a 90 grados, 2.5 voltios a 180 grados, etc.
- La señal de referencia,  $r$ , corresponde a la posición deseada. Es decir, si queremos que el motor alcance la posición 180 grados debemos colocar una referencia de 2.5 voltios, si queremos 270 grados colocamos referencia de 3.75 voltios, etc.
- La señal de error,  $e$ , corresponde a la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida. Por ejemplo, si queremos que el motor alcance la posición de 90 grados colocamos una señal de referencia de 1.25 voltios y esperamos dónde se ubica exactamente. Si se posiciona en 67.5 grados el potenciómetro entregará una señal de salida de 0.9375 voltios y la señal de error,  $e$ , será de 0.3125 voltios (22.5 grados).
- La señal de control,  $u$ , corresponde al voltaje producido por el controlador para disminuir o anular el error. Si la señal de error es positiva indica que la referencia es mayor que la salida real, entonces el controlador coloca un voltaje positivo al motor para que continúe girando hasta minimizar o anular el error. Si por el contrario la señal de error resulta negativa indica que la salida sobrepasó la referencia entonces el controlador debe poner un voltaje negativo para que el motor gire en sentido contrario hasta minimizar o anular el error.

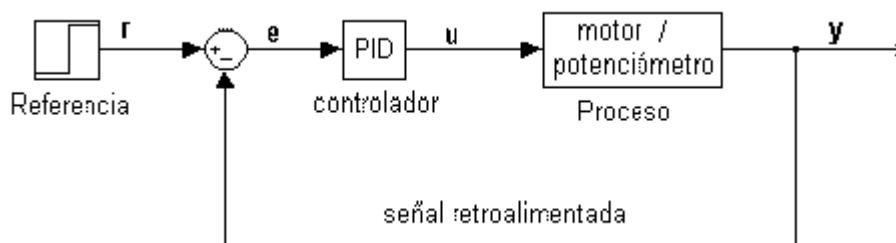


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema controlado

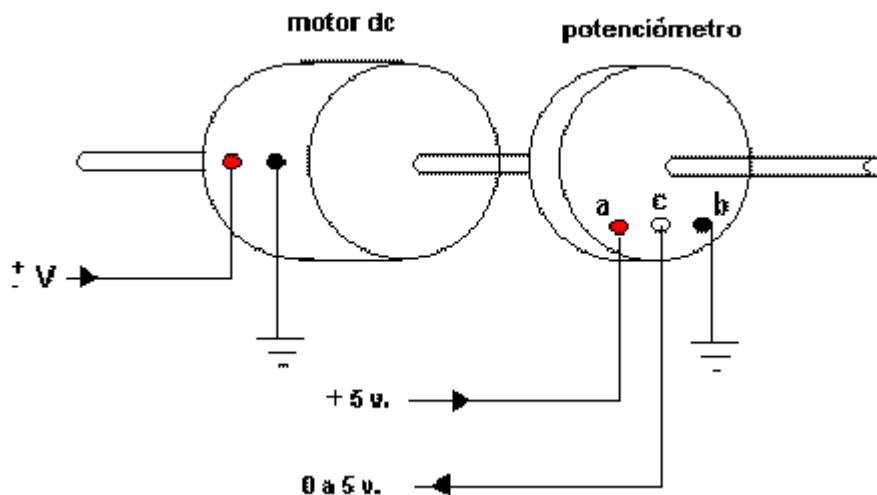
### 3. Construcción del prototipo

La figura No. 2 muestra el sistema de posición al cual se le implementará el controlador y consta, básicamente, de un motor de corriente directa (cd) de imán permanente, al cual se le ha acoplado en el eje un potenciómetro lineal de 0 a 10 KW . El potenciómetro es alimentado con 5 voltios de cd en sus terminales fijos para obtener, de su terminal móvil, una señal que varía de 0 a 5 voltios durante todo el recorrido en sentido dextrógiro (asumamos 360 grados).

#### 3.1 Elementos

- Un motor de cd de imán permanente de 3,6 9 o 12 voltios que no consuma más de 1 amperio con el potenciómetro acoplado. Los motores de cd de imán permanente comerciales normalmente no giran a la misma velocidad en sentido dextrógiro que en sentido levógiro por lo que el controlador no tendrá la misma respuesta en ambos sentidos. Si requiere un mejor funcionamiento del controlador se recomienda conseguir de aquellos motores empleados en robótica, aunque seguramente no será necesario teniendo en cuenta que se persigue un fin académico.
- Potenciómetro lineal de 10 KW , una sola vuelta. Se recomienda que sea estrictamente lineal para un mejor desempeño.
- Acople mecánico entre el eje del motor y el eje del potenciómetro.
- Fuente de 5 voltios de corriente directa para alimentar los terminales fijos del potenciómetro.
- Fuente dual con voltajes de 0 a 15 voltios de cd, 1 amperio mínimo.

Esta última fuente se empleará para alimentar el amplificador operacional y el circuito de potencia (transistores) con voltajes +V y -V, de tal manera que el motor pueda girar en ambos sentidos.



**Figura No.1 Servosistema de posición de cd.**

### 3.2 Estudio de los elementos constitutivos

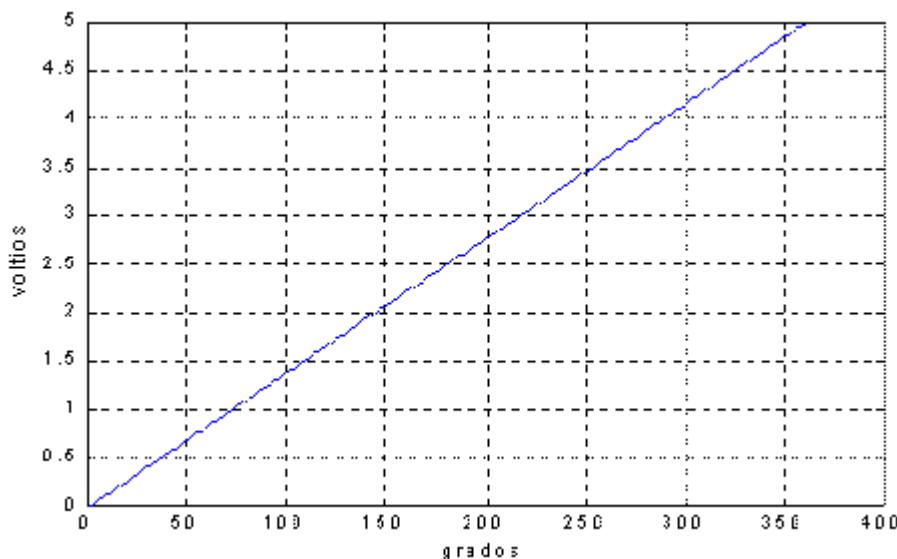
Antes de iniciar con el diseño de un controlador es necesario que el ingeniero conozca muy bien la dinámica del proceso a controlar. A continuación haremos un estudio de los componentes del sistema.

#### 3.2.1 Motor de corriente directa de imán permanente.

Los motores de cd de imán permanente tienen, en teoría, un comportamiento lineal, es decir que la velocidad desarrollada será proporcional al voltaje aplicado lo cual no es completamente cierto en todo el rango de voltajes. Por ejemplo, si el motor que se empleará en esta experiencia gira a 500 r.p.m. cuando se le aplican 5 voltios muy posiblemente girará a 250 r.p.m. si se le aplican 2.5 voltios. Pero, si se le aplican 0.5 voltios seguramente ni siquiera alcanaría a arrancar (debido a que con ese voltaje no logra vencer la inercia) cuando debería girar a 50 r.p.m., aplicando el principio de Superposición, si fuese lineal en todo su rango. Es recomendable que se verifique el rango de voltajes en que el motor tiene un comportamiento lineal aplicándole voltajes (con el potenciómetro desacoplado) desde 0 voltios y midiendo la velocidad desarrollada para cada voltaje. Si no dispone de medidores para sensar la velocidad del motor puede solamente medir la magnitud del voltaje mínimo que necesita para arrancar el motor en ambos sentidos y asumir que a partir de ahí su comportamiento es lineal. Esta asunción es válida teniendo en cuenta que perseguimos un fin netamente académico.

#### 3.2.2 Potenciómetro lineal

Se debe aplicar 5 voltios de corriente directa entre sus terminales fijos a y b que se muestran en la figura 2. En forma manual y gradual comience a girar, desde la posición inicial, en sentido dextrógiro (o levógiro) y mida el voltaje en el terminal c para cada incremento de la posición. El incremento (o decremento) del voltaje debe ser proporcional al incremento o decremento de la posición del potenciómetro. Si se toman los datos de voltaje para cada posición del potenciómetro la graficación de éstos sería similar a la mostrada en la figura 3.



**Figura 3. Curva característica de un potenciómetro lineal.**

### 3.2.3 Acople mecánico

Del acople mecánico entre el eje del motor y el eje del potenciómetro se debe verificar que no exista deslizamiento.

### Modelamiento matemático

Para obtener un buen modelo matemático empleando técnicas de identificación, se debe alimentar el sistema con una señal de entrada de frecuencia variable que lo excite en todo su ancho de banda y, posteriormente, con la ayuda de herramientas computacionales (por ej.: System Identification Toolbox de MATLAB), se procesan las señales entrada y salida hasta obtener el modelo que represente en mejor forma la dinámica del sistema.

Sin embargo, no siempre el interesado dispone de las herramientas computacionales ni de tarjetas de adquisición de datos indispensable para la toma de las variables de entrada y salida, por lo que recurriremos a formas manuales no muy precisas pero válidas para lograr un modelo aceptable.

La función de transferencia de un sistema se define como la relación entre la salida y la entrada del sistema en el dominio de Laplace asumiendo condiciones iniciales nulas. Basándonos en la definición de la función de transferencia, aplicaremos una señal escalón al sistema, graficaremos la salida, hallaremos las ecuaciones de cada variable en el dominio del tiempo, las llevamos al dominio de Laplace, y la relación salida-entrada será el modelo matemático del mismo.

Si el interesado no dispone de tarjeta de adquisición de datos para monitorear y almacenar en medios magnéticos las señales de entrada y salida de manera tal que se puedan analizar posteriormente con la ayuda de un PC, que sería lo más recomendable, puede montar la experiencia enunciada a continuación para lo cual necesita los siguientes elementos:

- Conjunto motor-potenciómetro
- Fuente de voltaje variable de cd para alimentación del motor
- Fuente de 5 voltios de cd para alimentar el potenciómetro.
- Voltímetro digital
- Cronómetro digital
- Cables y conectores

La experiencia consiste básicamente en aplicar un voltaje de cd (señal escalón) al motor, detenerlo antes de dar el giro completo y medir el tiempo y el voltaje final del potenciómetro, así:

- Alimente el potenciómetro con 5 voltios de cd entre los terminales a y b. Conecte un voltímetro con su terminal positivo al terminal c del potenciómetro y el negativo a tierra (referencia).
- Coloque el potenciómetro en la posición inicial (0 voltios).
- Ponga el cronómetro en cero.
- Aplique un voltaje de cd (señal escalón) al motor y simultáneamente active el cronómetro.
- Detenga el cronómetro cuando el voltímetro marque un voltaje cercano a 3 voltios (o cualquier voltaje entre 0 y 5 voltios).

- Desenergice el motor.
- Con la información obtenida haga una gráfica (recta) del voltaje medido en el terminal c del potenciómetro contra el tiempo de duración de la prueba, tomando como punto de partida el origen.

La señal de salida corresponderá a una señal rampa con pendiente m

$$y \approx m \times t$$

cuya transformada de Laplace será

$$Y(s) \approx \frac{m}{s^2}$$

La señal de entrada corresponde a una señal escalón de amplitud igual a la del voltaje de cd aplicado

$$u(t) \approx V$$

cuya transformada de Laplace es

$$U(s) \approx \frac{V}{s}$$

El modelo matemático será la función de transferencia del sistema, es decir

$$G(s) \approx \frac{Y(s)}{U(s)} \approx \frac{m/V}{s}$$

Realice la prueba con diferentes voltajes aplicados al motor, para un mismo tiempo de duración de la experiencia, y verifique que la relación m/V permanezca aproximadamente constante.

## 5 Análisis del modelo matemático del sistema

Antes de iniciar con el diseño del controlador es necesario hacer un análisis del modelo matemático obtenido.

### 5.1 polos y ceros

El modelo obtenido no tiene ceros y tiene un polo en el origen. Un polo en el origen representa un sistema tipo 1.

La figura 4 muestra nuestro sistema en lazo cerrado sin controlador, donde  $G(s)$  es la función de trasferencia del conjunto motor-potenciómetro y  $H(s)$  es la función de transferencia del lazo de retroalimentación, que en nuestro caso es unitaria. La salida del sistema,  $y(t)$ , es la señal de voltaje del potenciómetro y, por lo tanto, la señal de referencia debe ser una señal de voltaje de 0 a 5 voltios. Así, si se desea un giro desde 0 a 180 grados se debe aplicar una referencia de 2.5 voltios.

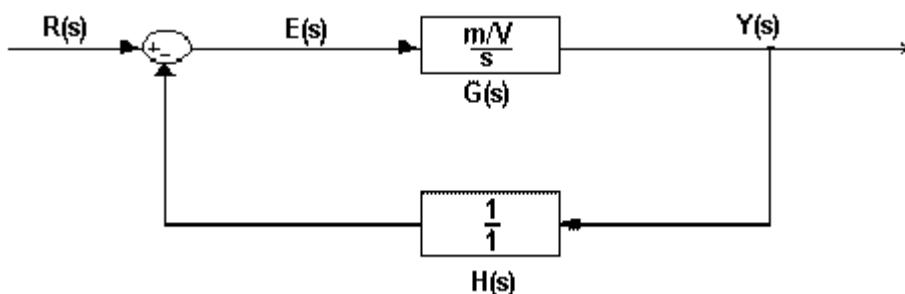


Figura 4. Diagrama de bloque del sistema en lazo cerrado sin controlador

La ecuación de error es:

$$E(s) \approx \frac{1}{[1 + G(s)H(s)]} R(s)$$

Donde

$$G(s) \approx \frac{m/V}{s}$$

y

$$H(s) \approx 1$$

Por lo tanto

$$E(s) \approx \frac{1}{1 + \frac{m/V}{s}} R(s)$$

Aplicando el teorema del valor final hallamos que el error en estado estacionario tiene la forma

$$e_{ss} \approx \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$$

Es decir, si la entrada es un escalón de amplitud V (la transformada de Laplace de la función escalón es V / s), el error en estado estacionario será

$$e_{ss} \approx \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + \frac{m/V}{s}} \frac{V}{s}$$

o sea,

$$e_{ss} \approx 0$$

Lo anterior quiere decir que nuestro sistema en lazo cerrado respondería ante una orden de ubicación en cualquier posición angular, con gran exactitud. En la práctica no sería así por lo siguiente: imaginemos que queremos cambiar la posición del potenciómetro, que está en 0 grados, a la posición correspondiente a 180 grados; aplicamos entonces un voltaje de referencia de 2.5 voltios. El sumador resta de 2.5 voltios, de la señal de referencia, la señal de voltaje de salida, proveniente del potenciómetro, produciendo la señal de error que será el voltaje que se aplicará al motor. La tabla 1 muestra la forma como varía el error (y por lo tanto el voltaje aplicado al motor) a medida que el potenciómetro se mueve hacia la posición de 180 grados.

Referencia (voltios)	Posición angular del potenciómetro (grados)	Voltaje producido por el potenciómetro y(t)	Señal de error Voltaje aplicado al motor
2.5	20	0.278	2.22
2.5	40	0.556	1.944
2.5	60	0.833	1.667
2.5	80	1.111	1.389
2.5	100	1.389	1.111
2.5	120	1.667	0.833
2.5	140	1.944	0.556
2.5	160	2.222	0.278
2.5	180	2.500	0.000

Tabla 1. Variación de la señal de error en el sistema en lazo cerrado sin controlador

Como sabemos que existe un voltaje mínimo, superior a cero, al cual el motor no continuará girando porque no es capaz de vencer su propia inercia, éste se detendrá sin lograr alcanzar el objetivo deseado, es decir sin lograr un error nulo.

Tampoco podemos decir que el sistema de posición no es un sistema tipo 1 sino un sistema tipo 0, ya que en este último el error en ante una señal de referencia escalón, es igual a

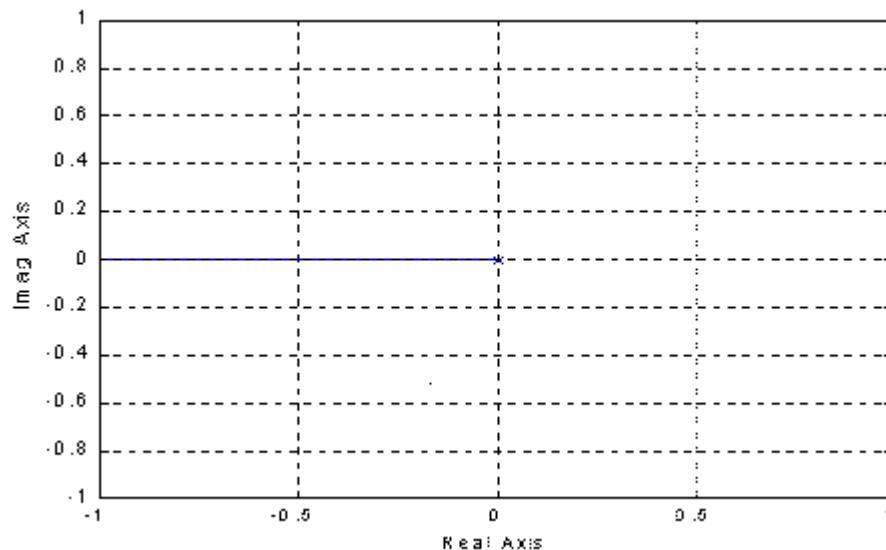
$$E(s) \approx \frac{1}{1+K} R(s)$$

donde K es la ganancia del sistema en lazo abierto, lo que significa que el error en estado estacionario sería un porcentaje constante de la señal de referencia. Apoyándonos en la tabla 1 podemos apreciar que en nuestro sistema esto no ocurre ya que si la señal de referencia es alta el voltaje inicial aplicado al motor también será alto (asumiendo error inicial alto) de tal manera que podría desarrollar una gran velocidad inicial y, cuando alcance valores de error cercanos a cero (y por lo tanto valores de voltajes, aplicados al motor, muy bajos), no se detendría inmediatamente, alcanzando valores de error menores a lo esperado o valores de error negativos. Lo mismo no ocurriría a valores de referencia de magnitud media o baja.

## 5.2 Lugar de las Raíces

Con la ayuda del software MATLAB podemos hallar rápidamente el Lugar de las Raíces de nuestro sistema en lazo cerrado, conociendo el modelo matemático del proceso, con las siguientes instrucciones:

```
num = [m/V];
den = [1 0];
rlocus (num,den)
grid
```



**Figura 5. Lugar de las Raíces del sistema en lazo cerrado**

La figura 6 nos muestra el Lugar de las Raíces, donde podemos apreciar que el polo del sistema en lazo cerrado se traslada desde el origen hasta  $-a$ , sobre el eje real negativo, a medida que se aumenta la ganancia del sistema. Esto quiere decir que el sistema responde más rápido a ganancias altas lo cual es correcto ya que la velocidad del motor de cd de imán permanente es proporcional al voltaje aplicado.

## 6. Diseño del controlador

Un controlador PID dispone de un componente proporcional ( $K_p$ ), un componente integrativo ( $T_i$ ) y un componente derivativo ( $T_d$ ), de tal manera que produce una señal de control igual a

$$u \approx K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) e$$

donde la acción integrativa del controlador tiene su mayor efecto sobre la respuesta estacionaria del sistema (tratando de minimizar el valor de  $e_{ss}$ ) y la acción derivativa tiene su mayor efecto sobre la parte transitoria de la respuesta.

De la información obtenida de la ubicación de los polos y ceros del sistema y del Lugar de las Raíces del mismo podemos concluir:

- Por ser un sistema tipo 1, que equivale a decir que el modelo matemático del sistema incluye un integrador, el error en estado estacionario ante una señal escalón será nulo por lo que no necesitará la parte integrativa del controlador. Esta conclusión se tomará como un punto de partida en el diseño del controlador ya que se mencionó que en la práctica este error no será completamente nulo.
- El Lugar de las Raíces nos muestra que con solo un controlador proporcional nosotros podemos variar la rapidez de la respuesta del sistema, por lo cual la parte derivativa tampoco será indispensable.

Podemos entonces decir que con un controlador proporcional será suficiente para obtener la respuesta deseada en el sistema controlado, por lo que procederemos inicialmente a la implementación del mismo.

## 7. Implementación del controlador

Iniciaremos con la implementación de un controlador proporcional análogo para lo cual nos guaremos del diagrama de bloques mostrado en la figura 6.

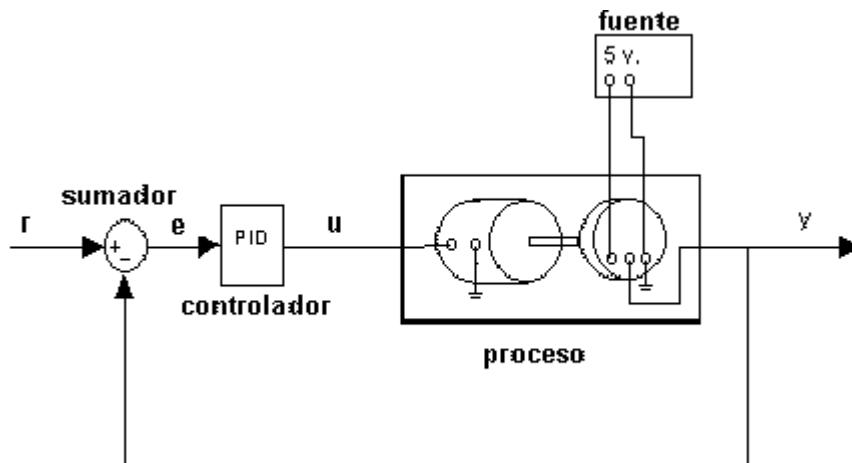


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de posición en lazo cerrado

El primer elemento que debemos construir es el sumador, el cual estará compuesto por un amplificador operacional y resistencias eléctricas, elementos de fácil consecución y bajo costo. Como este documento se ha elaborado pensado en que el lector tiene muy poco o ningún conocimiento de electrónica, describiremos en forma muy sencilla cada elemento constitutivo.

### 7.1 Amplificador operacional

Se utilizará el amplificador operacional LM741 por su bajo costo y facilidad de consecución en el mercado local. La figura 7 muestra el diagrama de conexiónado de este integrado.

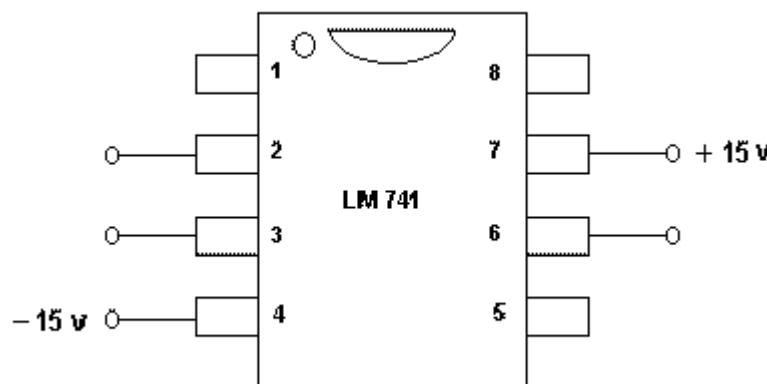


Figura 7. Amplificador Operacional LM 741

Los terminales de los circuitos integrados se enumeran, vistos desde la parte superior, en sentido antihorario. El integrado LM741, amplificador operacional, se debe alimentar, para su funcionamiento, a los terminales 4 y 7 con voltajes que no superen los  $-18$  y  $+18$  voltios de cd respectivamente. Los terminales 1, 5 y 8 no serán utilizados.

#### 7.1.1 Sumador

El sumador, o comparador, se puede construir con el amplificador operacional LM741 conectado como muestra la figura 8, en la cual se puede apreciar que el voltaje de salida (terminal 6) es igual a la diferencia de los voltajes de entradas (aplicados a los terminales 3 y 2), que en nuestro caso serán la referencia,  $r$ , y la salida del potenciómetro  $y$ .

Conecte y pruebe el circuito del sumador aplicando diferentes voltajes de cd (entre 0 y 5 voltios) a los terminales 3 y 2 y verificando que el voltaje de salida, terminal 6, es igual a la diferencia entre los voltajes aplicados. Emplee resistencias,  $R$ , de 270 KW .

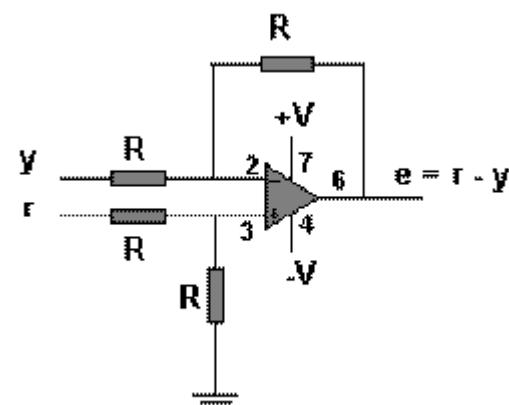


Figura 8. Amplificador LM741 conectado como sumador

### 7.1.2 Amplificador (control proporcional)

El circuito mostrado en la figura 9 muestra el LM741 conectado como amplificador inversor.

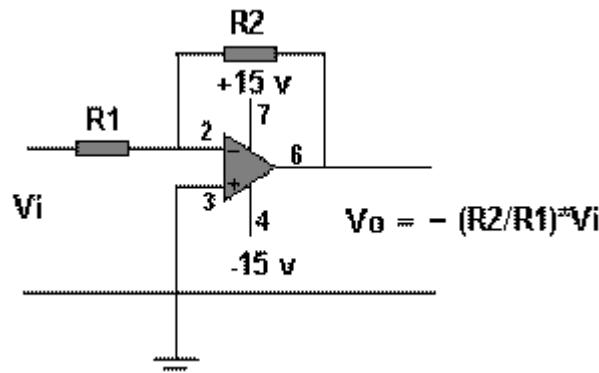
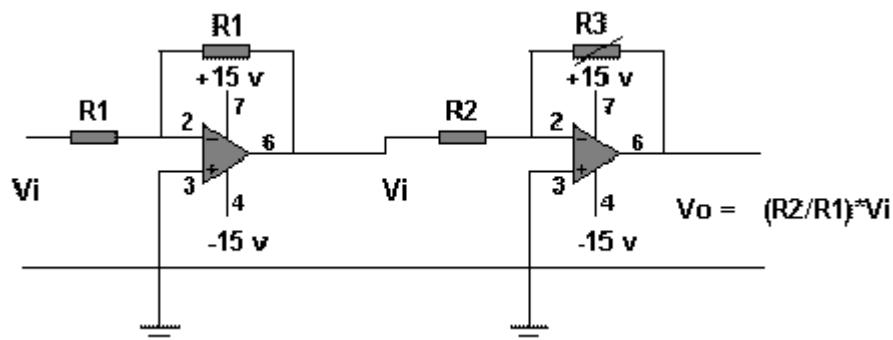


Figura 9. El LM741 como amplificador inversor

Se puede apreciar que el voltaje de salida,  $V_o$ , es igual al voltaje de entrada,  $V_i$ , amplificado  $R_2/R_1$  veces, pero con polaridad inversa. Para corregir la polaridad se debe emplear otro amplificador inversor, en cascada, con ganancia igual a 1, es decir, con  $R_2 = R_1$ , como muestra la figura 10. Se recomienda utilizar para  $R_1$  resistencias de valor 39 KW , para  $R_2$  de 1KW y para  $R_3$  una resistencia variable (potenciómetro) linealmente de 0 a 100 KW , para conseguir variar la ganancia del controlador desde 0 hasta 100 aproximadamente.



**Figura 10. Controlador proporcional análogo con amplificadores LM741  
Amplificador de potencia**

El controlador proporcional análogo, basado en amplificadores proporcionales, genera un voltaje proporcional al error,  $e$ , en la relación

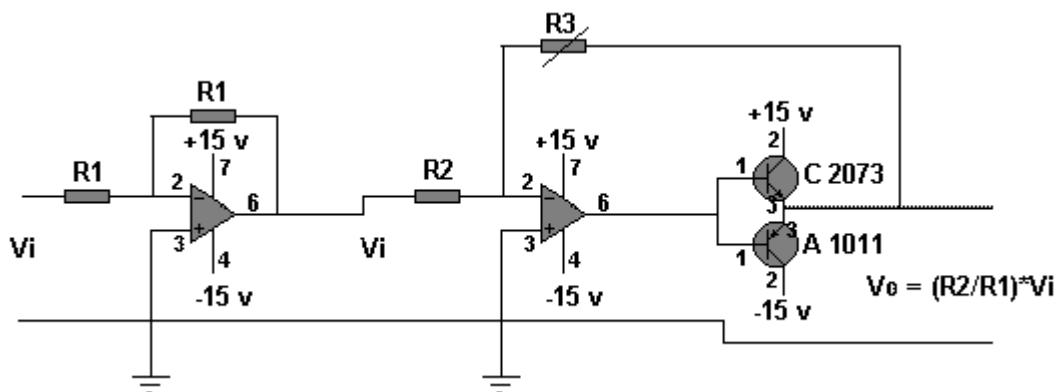
$$u \approx (K_p)e \approx \frac{R_3}{R_2}e$$

donde, la ganancia del controlador es

$$K_p \approx \frac{R3}{R2}$$

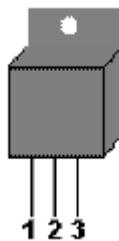
Esta señal de control generada,  $u$ , será una señal de voltaje que puede variar entre  $-V$  y  $+V$  dependiendo de la magnitud y polaridad del error. Sin embargo, esta señal no tendrá la potencia necesaria para mover el motor de cd por lo que se hace necesario colocar un amplificador de potencia, que en nuestro caso se implementará con dos transistores PNP y NPN. Vale la pena aclarar también que la salida de voltaje del amplificador operacional no podrá ser mayor que el de la fuente que los alimenta.

La figura 11 muestra el circuito amplificador de potencia conectado a la salida del conjunto de amplificadores operacionales, y se detalla la numeración de los terminales de los integrados y transistores. Los transistores empleados son el C2073 y el A1011 (o equivalentes), cuya numeración de terminales se muestra en la figura 12.



**Figura 11. Controlador proporcional análogo**

La salida de voltaje del amplificador será, en realidad, ligeramente inferior a  $(R3/R2)*Vi$ , debido a las características de funcionamiento de los transistores en su región activa.



**Figura 12. Numeración de terminales de los transistores C2073 y A1011  
Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional**

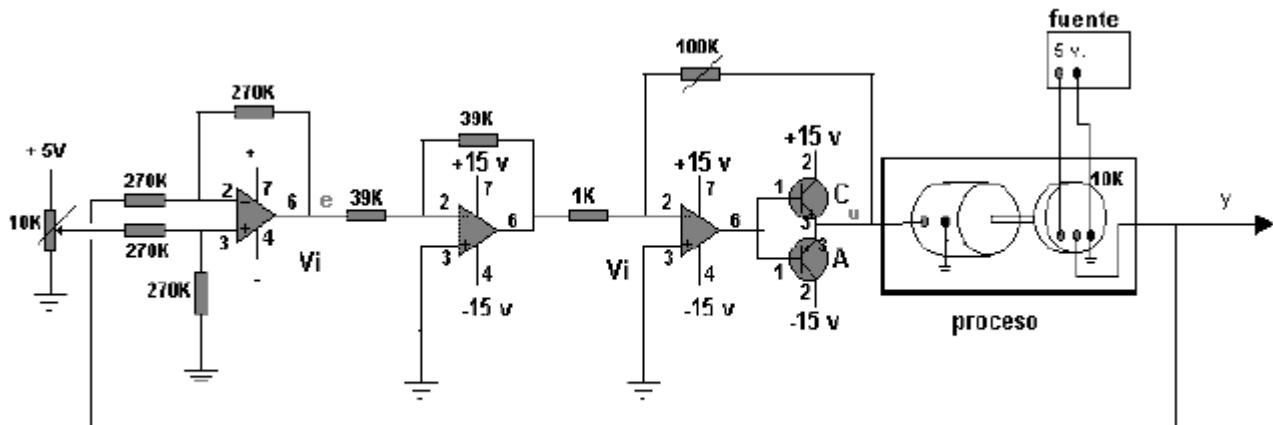
Teniendo el sumador, el controlador proporcional y el sistema de posición (proceso) solo debemos proceder a conectarlos entre sí como muestra el diagrama de bloques de la figura 6. Para poder variar la referencia se debe emplear otro potenciómetro lineal, el cual se alimenta con 5 voltios en sus terminales fijos (a y b) y el terminal c producirá el voltaje de

referencia. De esta forma, el sistema motor-potenciómetro debe seguir fielmente el movimiento del otro potenciómetro empleado para generar la referencia. A continuación se entrega una lista de elementos indispensables para el montaje del controlador proporcional y el proceso

### Lista de elementos

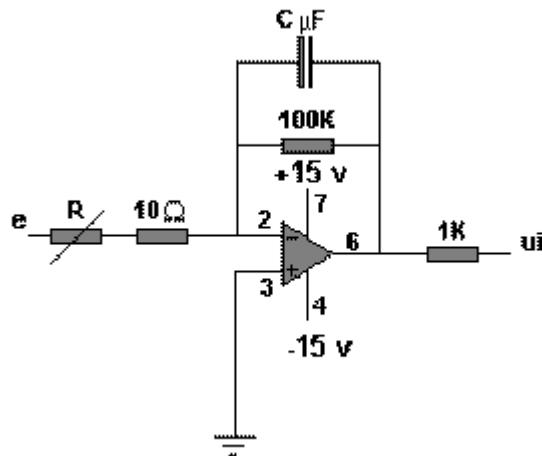
- **Un (1) Motor de cd de imán permanente de 3,6,9 o 12 voltios, 2 amperios max.**
- **Dos (2) potenciómetros lineales de 10 KW , 1 vuelta.**
- **Un (1) acople mecánico para acoplar el eje del motor con el eje de un potenciómetro.**
- **Una (1) tabla de conexionado o protoboard**
- **Tres (3) amplificadores operacionales LM741**
- **Cuatro (4) resistencias de 270 KW**
- **Dos (2) resistencias de 39 KW**
- **Una (1) resistencia de 1 KW Un (1) potenciómetro lineal de 100 KW Un (1) transistor C2073 Un (1) transistor A1011 Cables de conexión**

La figura 13 muestra el circuito completo del proceso con controlador proporcional. Si desea implementar un controlador PID debe adicionar el control integral ( $ui$ ) y el control derivativo ( $ud$ ) mostrado en las figuras 14 y 15 respectivamente. Estos circuitos deben conectarse entre el terminal izquierdo de la resistencia de 39KW y el terminal derecho de la resistencia de 1 KW .

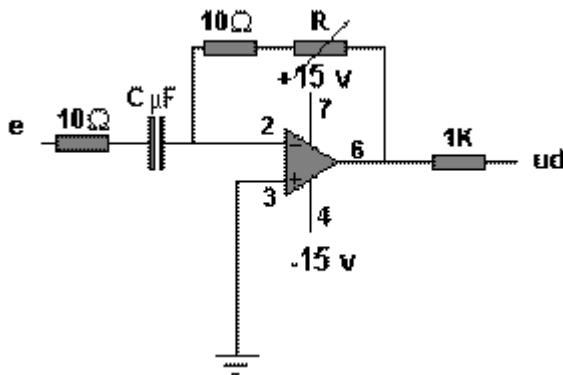


**Figura 13. Control proporcional análogo para regular sistema de posición**

Los valores de R y C para el control integral y el control derivativo dependerán de los parámetros Ti y Td calculados por el alumno. Para el circuito mostrado en la figura 14, el valor de Ti es aproximadamente igual a R\*C y para el circuito mostrado en la figura 15, el valor de Td es también aproximadamente igual a R\*C.



**Figura 14. Control integral**



**Figura 15. Control derivativo**

Este controlador PID análogo construido con amplificadores operacionales, resistencias y transistores no solo es aplicable al sistema de posición tratado en este documento sino a cualquier sistema cuyos valores de entrada y salida se encuentren dentro de las magnitudes de voltaje y corriente "nominales" del controlador. Es decir, se puede aplicar a cualquier sistema cuya variable de salida sea sensada por un elemento que transmita una señal entre 0 y 5 voltios (señal muy común en los procesos industriales o fácilmente transformable desde una señal de 4 a 20 mA) y cuyo actuador trabaje con voltajes entre -12 y +12 voltios de cd y 4 amperios.

El objetivo de este documento es despertar el interés en el estudiante de manera tal que construya y controle procesos creados por el mismo que le permitan enriquecer o aclarar los conceptos que sobre teoría de Control Automático ha adquirido, o está adquiriendo, en el aula de clases. Es así como el alumno podría construir sistemas o procesos como:

Control de velocidad de un motor de cd: para esto solo necesitaría desacoplar el potenciómetro y acoplar otro motor de cd de imán permanente que haga las veces de tacómetro.

Control de nivel de líquidos: para esto necesita, además de un recipiente de acumulación de líquido, un sensor de nivel, que el alumno puede construir con un potenciómetro lineal acoplado a un flotador, y una electroválvula proporcional. Esta electroválvula podría ser un inconveniente debido a su alto costo (una electroválvula proporcional de 0 a 12 voltios de cd,  $\frac{1}{2}$ " cuesta alrededor de \$ US 600.0), pero si el alumno es recursivo la puede construir con el controlador PID de posición acoplado a una válvula manual.

etc.

## Bibliografía

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
Smith, Carlos A. Corripio (1996).	Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica.	Limusa Noriega Editores.
Ogata, Katsuhiko (1998).	Ingeniería de Control Moderna. Tercera Edición.	Prentice-Hall hispanoamericana, S.A.
Franklin, Gene. Powell, David. Emami-Naeine, Abbas (1991).	Control de Sistemas Dinámicos con Retroalimentación.	Addison-Wesley Iberoamericana.
Chen,Chi-Tsong (1993).	Analog & Digital. Control System Design.	Saunders College Publishing. Hartcourt Brace Jovanovich College Publishers.

## Agradecimientos

A mis padres por su invaluable y constante sacrificio en pos de mi formación y educación.  
A mi esposa y a mi hija por el apoyo brindado y por el tiempo que les he robado.

# Sistema de Control Analogo de Flujo Y Nivel de Liquido

Javier Ballén, Marcela González, Alexander Rojas.

Ingeniería Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Cra 7 No 40-48 - Santa Fé de Bogotá, Colombia

jballen@starmedia.com

dmgonzalez79@hotmail.com

joxander@usa.net

**Abstracto:** Dentro del campo de la automatización electrónica, existen diversos tipos de control, uno de los más empleados es el esquema de control PID, el cual posee varios criterios para la estimación de los parámetros del sistema y una adecuada implementación. A continuación se describen las consideraciones de diseño de un esquema PID, el cual permite el control de las variables flujo y nivel en una planta, de igual manera se describirán los actuadores, sensores y demás componentes del sistema.

Keywords: Flujo, nivel, controlador, parámetros, caracterización y optimización

## 1. INTRODUCCION

Dentro de los procesos industriales la medición y el control de las variables de nivel y flujo se hace necesario cuando se pretende tener una producción continua, cuando se desea mantener una presión hidrostática, cuando un proceso requiere de control y medición de volúmenes de líquidos ó; bien en el caso más simple, para evitar que un líquido se derrame, la medición de estos parámetros en los líquidos, dentro de un recipiente parece sencilla, pero puede convertirse en un problema más ó menos difícil, sobre todo cuando el material es corrosivo ó abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radioactivo ó cuando se encuentra en un recipiente sellado en el que no conviene tener partes móviles ó cuando es prácticamente imposible mantenerlas, el control de nivel entre dos puntos, uno alto y otro bajo, es una de las aplicaciones más comunes de los instrumentos para controlar y medir el nivel, los niveles se pueden medir y mantener mediante dispositivos mecánicos de caída de presión, eléctricos y electrónicos.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manejo de las variables, comprende la utilización de señales análogas, en cada señal del proceso o sea tanto en actuadores, sensores como controladores. El control de nivel, trabaja midiendo directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia en este caso opera según el desplazamiento por un flotador producido por el propio líquido. Los instrumentos de flotador consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. Para el control de flujo se parte de la toma de una medida de la variable indirectamente, este se realiza midiendo la resistencia formada por dos electrodos posicionados en forma perpendicular a la sección transversal del ducto de salida del líquido.

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación se realizará una descripción de cada parte del sistema.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las variables de medida, trabajan bajo los siguientes rangos de medida: Nivel: se maneja la medida de altura del líquido en el tanque en un rango de 0-16 cm Flujo: se maneja de un rango que oscila entre 58.80 cm<sup>3</sup>/s y 6.33 cm<sup>3</sup>/s

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta consta básicamente de un tanque alimentador que será el encargado de suministrar el líquido a un segundo tanque, en el cual se hará el control de nivel del líquido, dependiendo del set point<SP> del sistema. El abastecimiento del líquido al tanque secundario se realizar por medio de una electrobomba y el suministro de flujo constante se establece mediante el posicionamiento de una llave ubicada como salida del tanque secundario.

Para esta aplicación, la alimentación del tanque primario es por método manual.

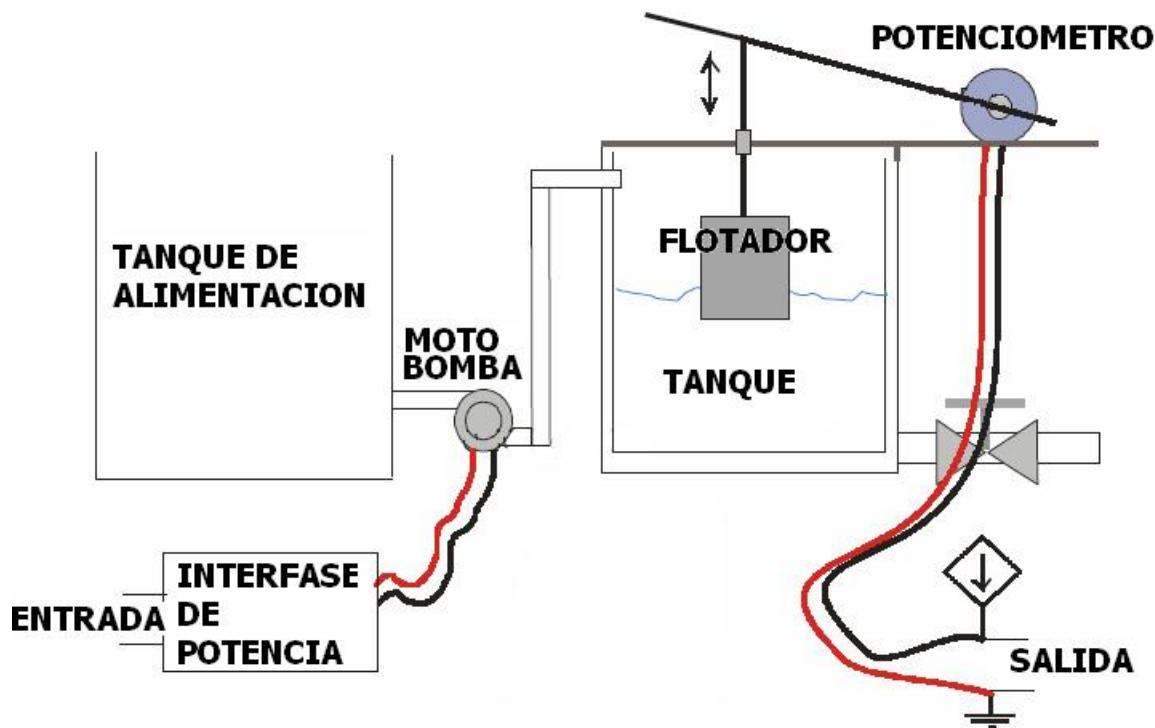


Fig.1. Planta del sistema de control de nivel y flujo

### 3.3 DESCRIPCION DE LOS SENSORES

#### 3.3.1 Sensor de nivel

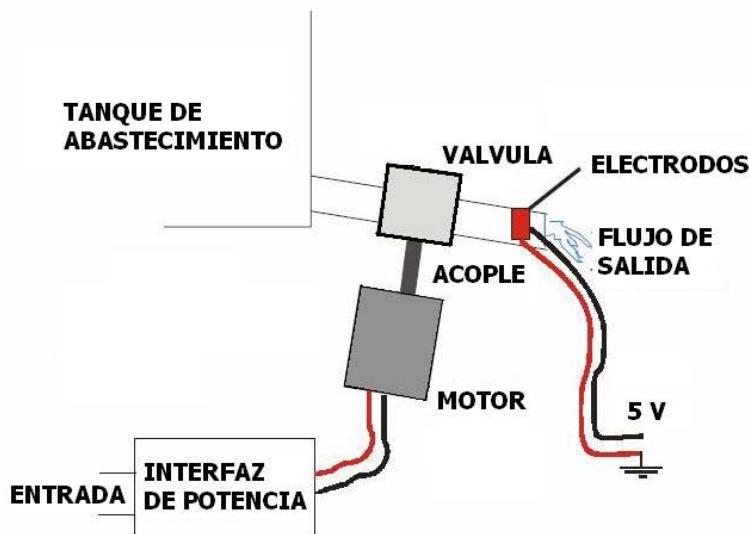


**Fig.2. Esbozo sensor de nivel**

Este medidor de nivel es tipo desplazamiento consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión quien trasmite el movimiento de giro a un transmisor exterior el cual es un potenciómetro. El flotador se construye de tal forma que flote dentro del líquido a medir, esto significa que la densidad del flotador se maneja menor a la del líquido que lo sostiene. Conforme el flotador se eleva ó desciende con el nivel del medio, la rotación del eje se transforma en indicaciones por medio eléctrico (potenciómetro), para usarse en un circuito remoto, para convertir el movimiento angular en una señal medible.

#### 3.3.2 Sensor de flujo

En este busca controlar el flujo saliente manipulando la apertura de la válvula.



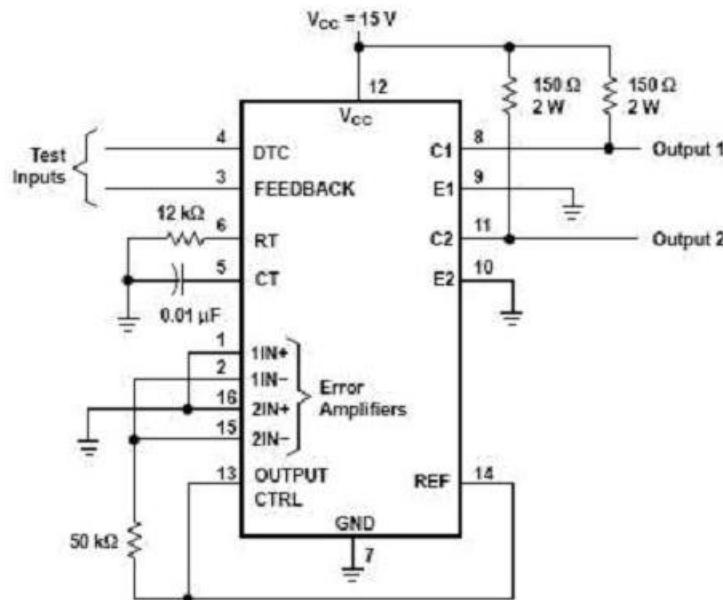
**Fig.3. Sensor de flujo**

Como se explico anteriormente, esta medida se realiza indirectamente, mediante un medidor de nivel por conductividad. Este consiste en dos electrodos que son excitados cuando el liquido hace contacto con ellos. La impedancia mínima es del orden de  $10\text{k}\Omega$  y la máxima es de  $200\text{k}\Omega$ . La relación presente entre la resistencia y el nivel es inversamente proporcional. Es decir, la resistencia decrece a medida que el nivel aumenta. Debido a que el ducto en el cual se encuentran los electrodos no se desocupa totalmente, se presenta un flujo remanente el cual genera un valor offset en el sensor de aproximadamente 1.4V. Además, se presenta un punto de saturación, esto es que aunque el ducto se encuentre completamente lleno, se puede obtener una cantidad mayor de flujo sin que el sensor lo note. De esto radica en rango de medida para flujo que se dio anteriormente.

### 3.4 DESCRIPCION DE LOS ACTUADORES

#### 3.4.1 Actuador del sensor de nivel

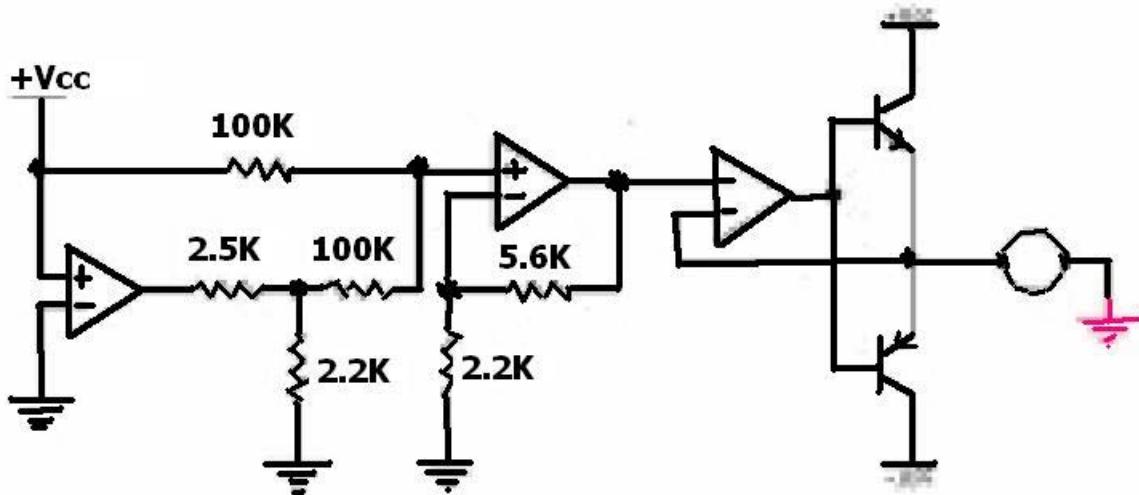
Se utilizo el un circuito de modulación de pulso PWM, el cual se basa en el criterio que el ancho del pulso(la porción activa del ciclo de trabajo) es proporcional a la amplitud de la señal analógica.



**Fig. 4. Diagrama de PWM (TL 494)**

#### 3.4.2 Actuador del sensor de flujo.

Es un interfaz de potencia cuya salida trabaja en régimen complementario con transistores tipo PNP y NPN, para permitir el cambio de polaridad en el motor. Además, se utilizo un circuito de compensación, para el umbral de voltaje del motor, con ello se logra que el conjunto motor-actuador reacciona  $\pm 0.1\text{V}$  en lugar del voltaje mínimo de operación que es  $\pm 4$ .

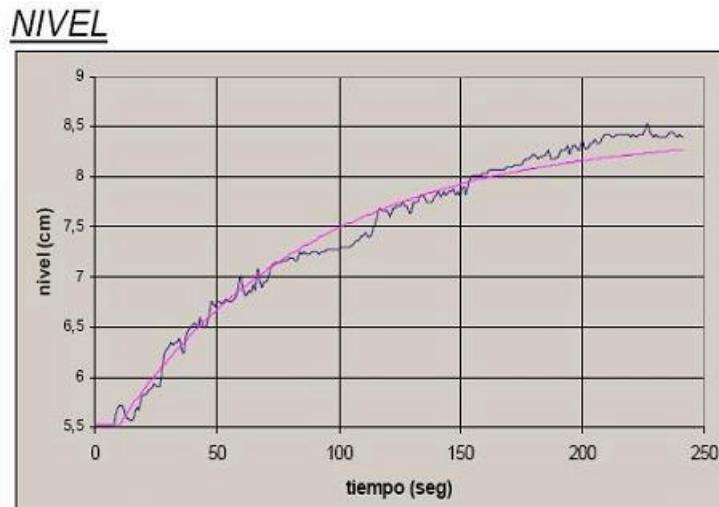


**Fig. Actuador del sensor de flujo**

El motor se encuentra acoplado a una caja reductora (tren de engranajes), con el cual se logra una reducción en el numero de revoluciones por minuto y un mayor torque en la carga con un menor consumo en corriente. Este se encuentra acoplado a la válvula de salida de flujo.

#### 4. DISEÑO DEL CONTROLADOR

A partir de las curvas de reacción de proceso se realiza una estimación de parámetros con una aproximación First Order Lag Plus Dead Time <FOLPDT> se obtuvieron los siguientes resultados:



$\tau = 94$  segundos

$T_0 = 3.5$  segundos

**Fig.5. Gráfica de nivel en el tiempo aplicando un paso de voltaje de 5 voltios al actuador.**

$$K = \Delta \text{salida} / \Delta \text{entrada} = 0.58 \text{ V/cm}$$

Con ellos y teniendo en cuenta que para un sistema FOLPDT la función de transferencia se caracteriza por ser de la forma:

$$G(s) = (Ke^{-T_0/s}) / (\tau s + 1)$$

entonces la función de transferencia para el sistema de nivel será:

$$G(s) = (0.58e^{-3.5/s}) / (94s + 1); \text{ V/cm}$$

## FLUJO

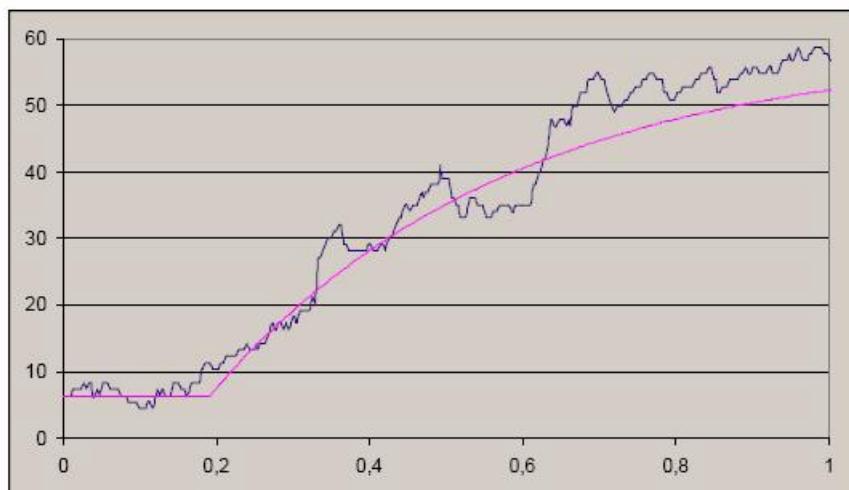


Fig.6. Gráfica de flujo en el tiempo aplicando un paso de voltaje de 4 voltios al actuador.

$$\tau = 0.387 \text{ segundos} \quad T_0 = 0.191 \text{ segundos}$$

$$K = \frac{\Delta \text{sal}}{\Delta \text{ent}} = \frac{(58.80 - 6.33) \text{ cm}^3/\text{s}}{(5 - 1)V} = 13.1175 \frac{\text{cm}^3}{\text{sV}}$$

$$K = \Delta \text{sal} / \Delta \text{ent} = 58.80 - 6.33 \text{ cm}^3/\text{s}$$

De nuevo con estos valores la función de transferencia para el sistema de flujo será:

$$G(s) = \frac{13.1175e^{-0.191/s}}{0.387s+1} \frac{cm^3}{sV}$$

La correspondiente sintonía de los controladores se realiza según el siguiente criterio Ziegler-Nichols en la respuesta escalón de la planta:

	Proportional Gain K <sub>p'</sub>	Integral Time T <sub>i'</sub>	Derivative Time T <sub>d'</sub>
PID	$\frac{1.2}{K} \left( \frac{T_0}{\tau} \right)^{-1}$	2.0T <sub>0</sub>	0.5T <sub>0</sub>

Con esto se obtienen los resultados para una configuración PID serie, por tal motivo se hace necesario la conversión de serie a paralelo, para poder utilizar cada control independiente. De lo anterior, los valores de las constantes para cada controlador de los sensores son:

NIVEL :

$$K_p' = 69.55$$

$$T_i' = 70.1252 \text{ spr}$$

$$T_d' = 2.004 \times 10^{-2} \text{ s}$$

FLUJO :

$$K_p'' = 0.23168$$

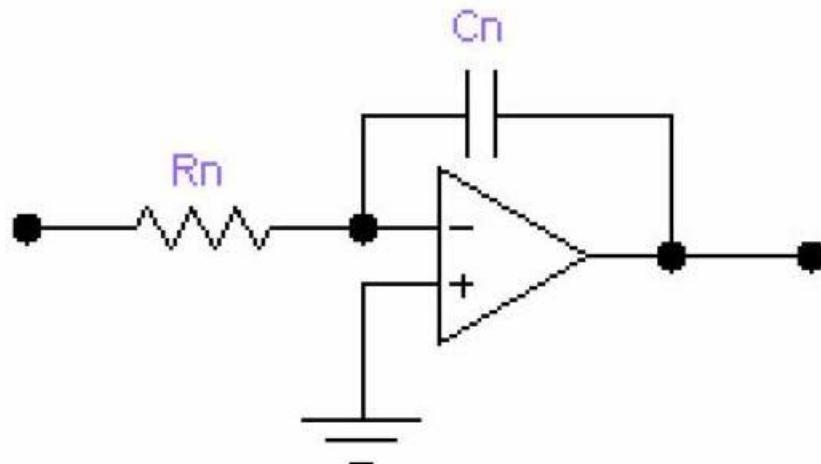
$$T_i'' = 2.06090 \text{ spr}$$

$$T_d'' = 0.01770 \text{ s}$$

Como se escogió la configuración PID paralelo se tiene:

$$CO(t) = K_p'' e(t) + \frac{1}{T_i''} \int e(t) dt + T_d'' \frac{de(t)}{dt}$$

de aquí se observa como cada circuito trabaja de manera independiente.  
Circuito Integrador



**Fig.7. Implementación con circuitos operacionales de la etapa integradora del controlador**

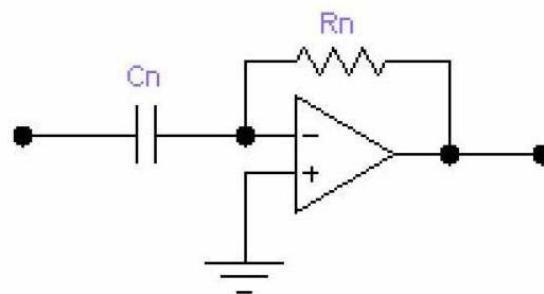
$$Z_n = \left( \frac{-1}{R_n C_n} \right) \frac{1}{s}$$

entonces

$$K_p'' = \left( \frac{-1}{R_n C_n} \right)$$

$$C_n = 330 \mu F, R_n = 75.75 K\Omega \approx 78 K\Omega$$

Circuito Derivador



**Fig.7. Implementación con circuitos operacionales de la etapa derivativa del controlador**

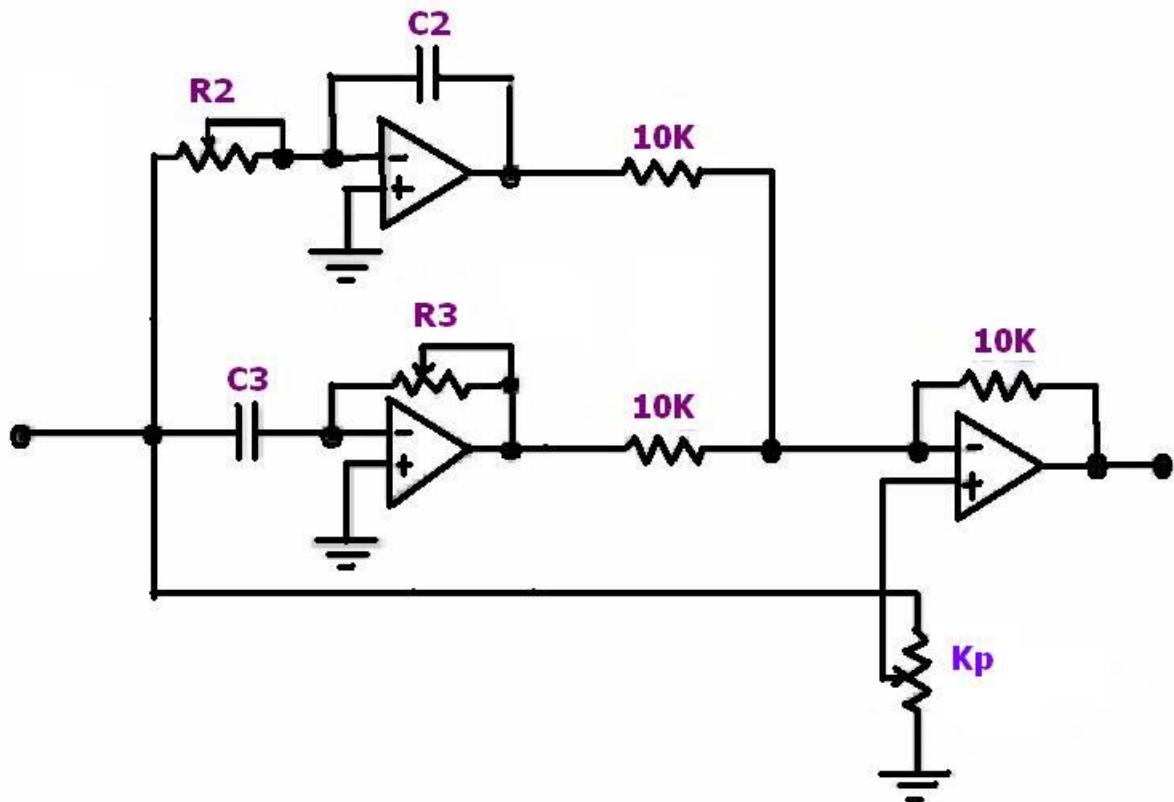
$$Z_n = (-R_n C_n) s$$

entonces

$$\frac{1}{T_i''} = R_n C_n \quad C_n = 22\mu F, \quad R_n = 45.45 K\Omega$$

### Círculo Proporcional

Con este circuito se busca ahorrar un amplificador operacional, al dar la ganancia directamente en el sumador que reúne los circuitos independientes. El circuito general es:



**Fig.9. Esquema general de el Circuito Controlador PID.**

para el circuito del controlador del sistema de flujo se toman las mismas consideraciones que se utilizaron para el sistema de nivel, de esta manera los valores que arrojaron los cálculos son:

Circuito Integrador:

$$Cn = 47\mu F, Rn = 43.84K\Omega$$

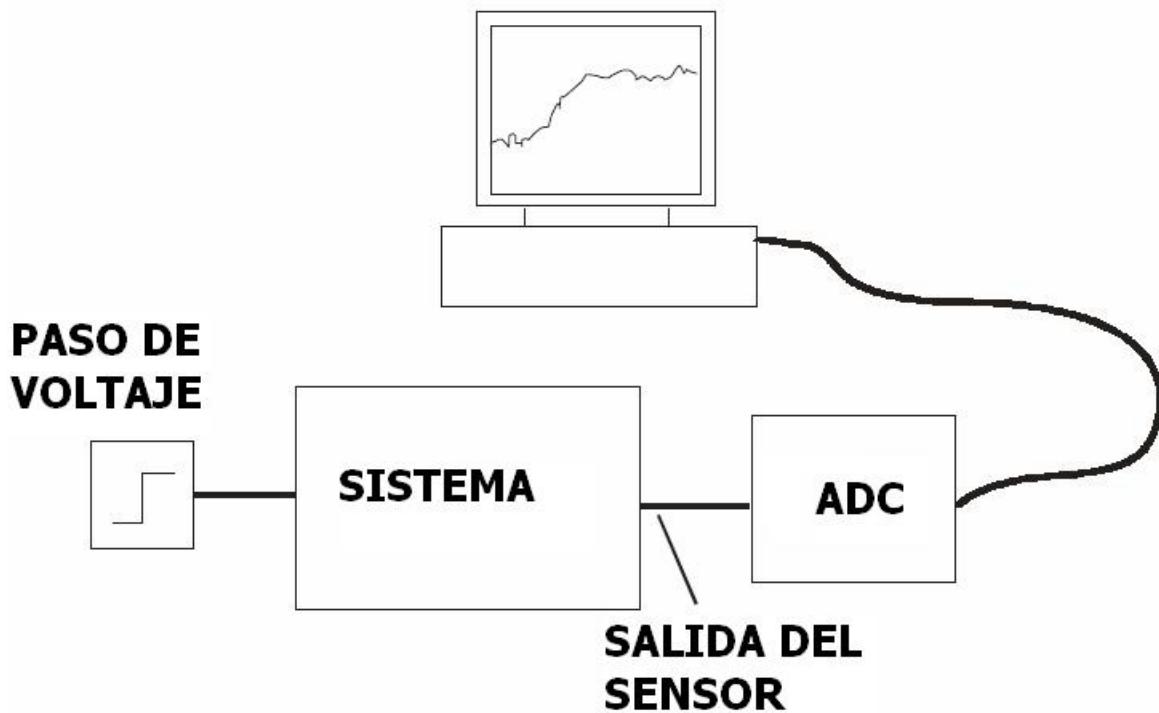
Circuito Derivador

$$Cn = 10\mu F, Rn = 1.770K\Omega$$

Es importante tener en cuenta que los valores de R y C ya se ajustaron a los valores obtenidos en simulación, que en varios casos, dista bastante de los calculos realizados.

## 5. SISTEMA DE MUESTREO

Para el muestreo se implemento un sistema integrado por un conversor analógico digital, un computador, una interfaz de puerto paralelo y el software de control en plataforma LabVIEW.



**Fig.10. Diagrama de Bloques del sistema de muestreo**

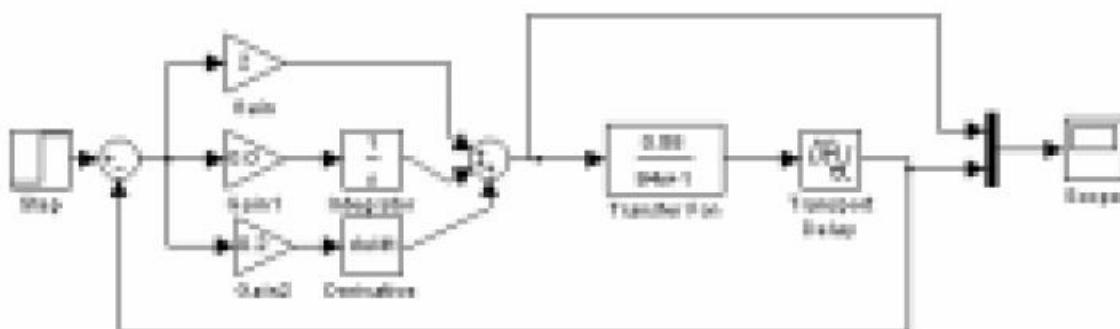
El sistema toma muestras del voltaje que recibe con intervalos de tiempo graduables entre 3ms y 1min, facilitando la recopilación de los datos de caracterización. Así se aplicó un paso a la entrada del sistema y se registró su evolución en el tiempo.

## 6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA CON CONTROL PID

A través de las simulaciones se busca evaluar el comportamiento de los sistemas descritos empleando controladores P, PI y PID, además de prestar gran atención a los niveles de voltaje requeridos por la salida de los controladores se ajusten a la ventana real.

### 6.1 SISTEMA DE NIVEL

El sistema de nivel se simula con la ganancia proporcional  $K_p=2$  debido a que con el valor encontrado anteriormente la energía requerida por el controlador sobrepasa ampliamente el nivel disponible en la práctica.



## 6.2 SISTEMA DE FLUJO

De forma similar al caso anterior, se ajustan las ganancias para obtener una buena respuesta sin requerir niveles de voltaje excesivos en el controlador.

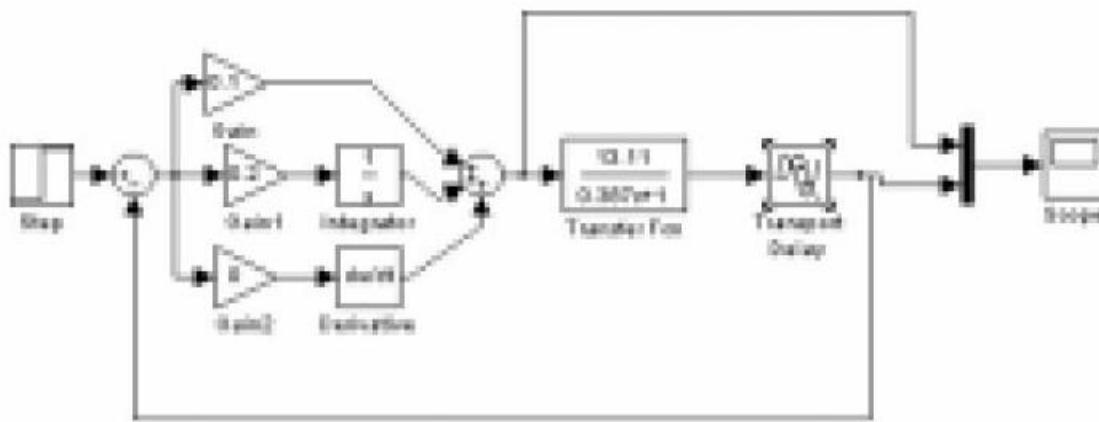


Fig.13. Esquema del modelo en simulink de MATLAB.

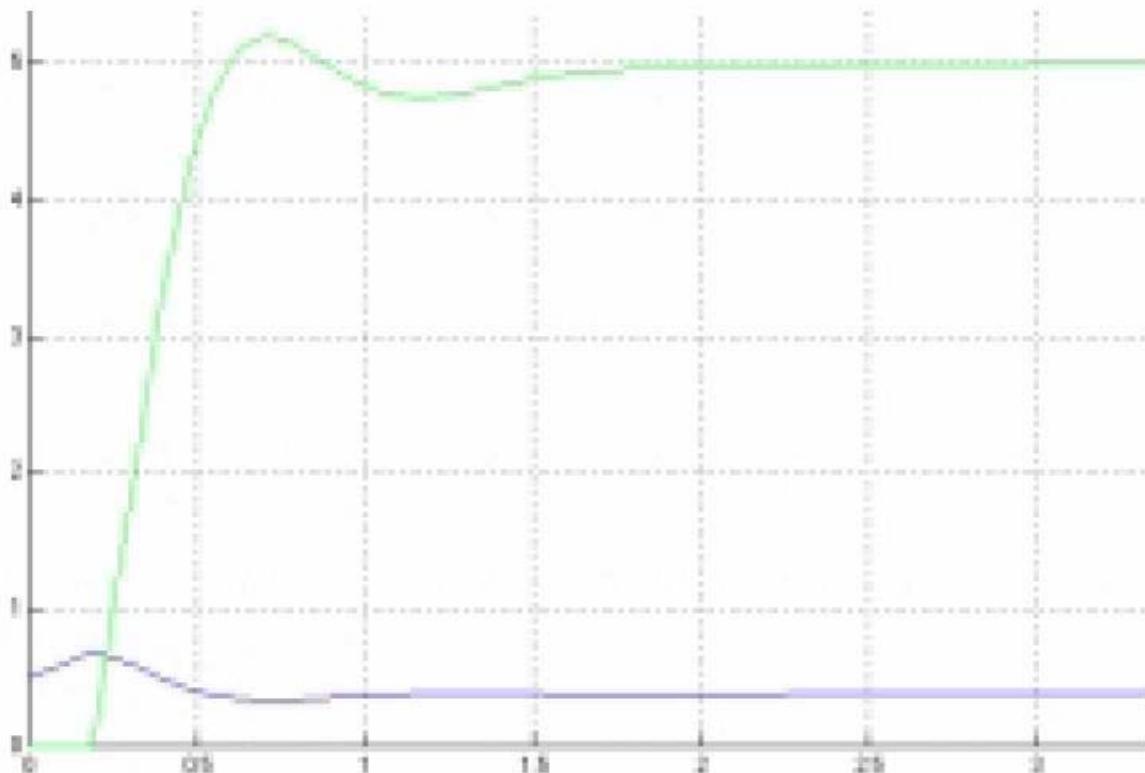


Fig.14. Gráficas resultado de la simulación.

## CONCLUSIONES

El sistema logrado es una interesante aplicación de control análogo por sus alcances en el afianzamiento de este tema y en el contraste que se logra entre la teoría y las aproximaciones matemáticas con el comportamiento físico que se presenta en la realidad. Además, el trabajo conjunto de las pruebas de la planta y su contraste con simulaciones de modelos simplificados deja en evidencia los alcances de estos modelos y los compromisos que se manejan, tal como los problemas con la respuesta no lineal de la planta en algunos casos y los niveles de saturación de los controladores entre otros. Es importante evidenciar la dificultad que se tiene para caracterizar de una forma óptima una planta, aún a pequeña escala, puesto que buscar un punto de operación para una variable supone tratar de controlar el comportamiento de otras. En nuestro caso este aspecto es importante dado que los dos sistemas trabajados (nivel y flujo) interactúan de forma directa.

## REFERENCIAS

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
<b>KUO, Benjamin.</b>	Sistemas de control automático.	Ed. Prentice Hall. 1996
<b>OGATA, Katsuhiko.</b>	Ingeniería de control moderna.	Ed. Prentice Hall. 1997
<b>NATIONAL INSTRUMENT.</b>	Labview basics course manual. April 1998 Edition.	

## UNIDAD 4. Elementos finales de control.

### Introducción.(4.1)

Cuando consideramos un diagrama de bloques de control Serie o Cascada aplicado en un proceso cualquiera, consideramos que el **elemento que aplica U (t)** ( $U(s)$  en el dominio de la frecuencia, accion de control) al proceso será denominado como el **elemento final de control**. Este elemento es el que resume de **manera directa** cualquier **accion correctiva** sobre el proceso controlado, esto significa por **ejemplo** que, en un **control de temperatura**, el **elemento final** de control es aquel que le **aplica calor** al proceso controlado y de acuerdo con lo que dicté **U(t)**. Como ejemplo de ello podriamos mencionar una resistencia calefactora (efecto Joule), un intercambiador de calor, un sistema de refrigeración etcétera.

Existen una gran variedad de **elementos finales de control**, interruptores, válvulas, diafragmas, motores, pistones, cajas de engranes (reductores), mecanismos y algunos otros. Pero existen dos tipos que son recurrentemente usados en muchas operaciones y procesos de la vida diaria y de la industria asi como en el comercio y el sector servicios. Las **válvulas** y los **pistones**, quien no ha visto un brazito en la parte superior de algunas puertas, el cual tiene como función cerrar la puerta paulatinamente después de que la abrieron, o los cilindros en las puertas de los autobuses urbanos, los cuales le permiten al operador abrir y cerrar las mismas, o quien no ha usado las “**llaves**” de la regadera en su casa, o el lavamanos. Estos no son otra cosa sino **pistones y válvulas**. En las siguientes secciones nos enfocaremos a estos dispositivos dada su importancia y frecuencia de uso en la **instrumentación de control**.

## Definiciones de válvula y piston.

Para poder abordar el tema de la forma correcta, debemos de tener claros los conceptos relativos al mismo, por lo tanto es necesario saber, ¿Qué es una válvula? ¿Qué es un piston?

Comenzando por el primer termino, una **válvula** es un **elemento** o **dispositivo** cuya **función** es la de **controlar** el **flujo** de un fluido en una **canalización** o **tubería**, y debemos de entender que el control de un fluido en una tubería incluye: **cantidad de flujo y dirección**. Es importante entonces para las características de una válvula el tipo de fluido, así como las condiciones del mismo, de lo cual podemos listar algunas características de una válvula que serán importantes y que posteriormente se estudiaran con mas detalle.

- Tipo de accionamiento.
- Presión de trabajo.
- Corrosividad del fluido.
- Temperatura de trabajo
- Cantidad de flujo.

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica o almacenado en un depósito. En **lenguaje internacional**, el término "**válvula**" o distribuidor., es el término general de todos los tipos tales como válvulas de corredera, de bola, de asiento, grifos, etc.

Esta es la definición de la norma DIN/ISO 1219 conforme a una recomendación del CETOP (Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques).

Según su función las válvulas se subdividen en 5 grupos:

1. Válvulas de vías o distribuidoras
4. Válvulas de caudal
2. Válvulas de bloqueo
5. Válvulas de cierre
3. Válvulas de presión

Las valvulas son uno de los elementos principales en cuanto a los actuadores, dentro de los procesos que involucren algún tipo de control. Así, las válvulas realizan la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable.

Una vez definida la **Válvula** pasemos al termino **Piston**, en la mayoría de los casos cuando hablamos de pistones, se nos viene a la mente el piston del motor de un automóvil, para nuestro caso el **piston** será menos complejo, y lo podemos definir como un **elemento** o **dispositivo** que nos permite **transformar** un tipo de **energía mecánico** como lo es la **presión de un fluido** en una tubería o canalización en un tipo de energía también mecánica pero del tipo de **movimiento rectilíneo**. Es decir que un **Piston** o **Cilindro** como también

se le conoce, es un dispositivo capaz de entregar una **fuerza** en una dirección rectilínea durante un determinado espacio. De aquí podemos entonces deducir algunas de las características que le serán propias e importantes.

Carrera o distancia de trabajo.

Presión de trabajo.

Tipo de fluido.

Fuerza entregada.

Velocidad de operación.

## Válvulas.(4.2)

A continuación se mencionan algunas de las características más importantes de las válvulas, así como detalles que se deben de conocer de las mismas.

### Cuerpo de la válvula.

El cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producidas por el fluido.

El cuerpo y las conexiones a la tubería (bridadas o roscadas) están normalizados de acuerdo con las presiones y temperaturas de trabajo en las normas DIN y ANSI, entre otras.

Cabe señalar los puntos siguientes:

Las conexiones roscadas se utilizan hasta 2";

Las bridas pueden ser planas, con resalte, mac-hihembradas, machihembradas con junta de anillo.

Las conexiones soldadas pueden ser con encaje o con soldadura a tope.

### Tapa de la válvula

La tapa de la válvula de control tiene por objeto unir el cuerpo al servomotor. A su través desliza el vástago del obturador accionado por el motor. Este vástago dispone generalmente de un índice que señala en una escala la posición de apertura o de cierre de la válvula. Para que el fluido no se escape a través de la tapa es necesario disponer una caja de empaquetadura entre la tapa y el vástago. La empaquetadura ideal debe ser elástica, tener un bajo coeficiente de rozamiento, ser químicamente inerte y ser un aislante eléctrico, con el fin de no formar un puente galvánico con el vástago que dé lugar a una corrosión de partes de la válvula. La empaquetadura que se utiliza normalmente es de teflón cuya temperatura máxima de servicio es de 2200 C.

A temperaturas superiores o inferiores a este valor es necesario o bien emplear otro material o bien alejar la empaquetadura del cuerpo de la válvula para que se establezca así un gradiente de temperaturas entre el fluido y la estopada y esta última pueda trabajar satisfactoriamente.

La empaquetadura normal no proporciona un sello perfecto para el fluido. En el caso de fluidos corrosivos, tóxicos, radiactivos, o muy valiosos hay que asegurar un cierre total en la estopada. Los fuelles de estanqueidad lo proporcionan al estar unidos por un lado al vástago y por el otro a la tapa. La estanqueidad lograda es tan perfecta que las posibles fugas sólo pueden detectarse mediante ensayos realizados con un espectrómetro de masas.

### Parte internas de una válvula

Como parte s internas de una válvula se consideran generalmente las piezas metálicas internas desmontables que están en contacto directo con el fluido. Estas piezas son el vástago, la empaquetadura, el collarín de lubricación, los anillos de guía, el obturador y el

asiento o los asientos. Hay que señalar que el obturador y el asiento constituyen el «corazón de la válvula» al controlar el caudal gracias al orificio de paso variable que forman al variar su posición relativa, y que además tienen la misión de cerrar el paso del fluido.

Para el obturador y los asientos su selección intervienen tres puntos principales:

- a) Materiales normales y los especiales aptos para contrarrestar la corrosión, la erosión y el desgaste producidos por el fluido.
- b) Características de caudal en función de la carrera.
- c) Tamaño normal o reducido que permite obtener varias capacidades de caudal
- e) de la válvula con el mismo tamaño del cuerpo.

## Tipos de válvulas

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.

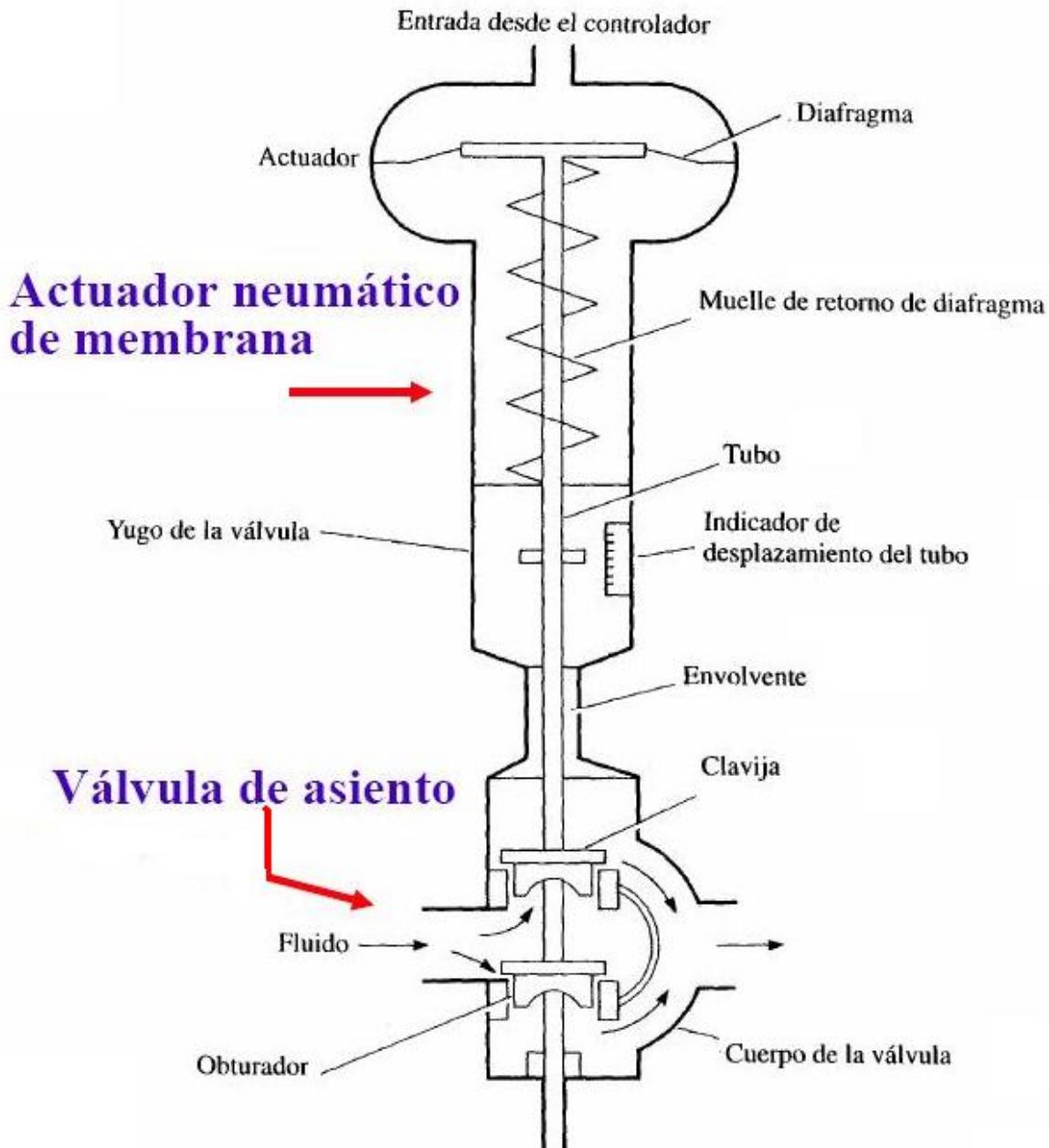
## Válvulas de control

Elemento final de lazo de control

Interrumpe o deja pasar el fluido según la señal correctora que le llegue desde el controlador  
Elementos:

- Cuerpo y partes internas: regulan el paso del fluido
- Actuador o servomotor: actúa sobre el obturador de la válvula modificando su apertura, en función de la señal que le llega

## Válvula neumática de control



## Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo

### Válvula de mariposa

El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular (fig. 8.2 o). La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta (en control todo-nada se consideran 900 y en control continuo 60°, a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

#### **Mariposa:**

Ventajas:

- Alta capacidad con baja caída de presión a través de la válvula.
- Apta para un gran rango de temperaturas, dependiendo del tipo de cierre.
- Mínimo espacio para instalación.
- Económica, especialmente en grandes ampaños.
- Su menor peso le hace más manejable n su mantenimiento.

Desventajas:

- Necesita actuadores potentes o de ran recorrido si el tamaño de la válvula es grande o la presión diferencial es alta.
- No adecuada para “fluidos cavitantes” o aplicaciones de ruido.

VALVULA MARIPOSA. CORTESIA DE FISHER CONTROLS



## Válvula en ángulo .

El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

## Válvula de tres vías.

Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos –válvulas mezcladoras -o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida -. Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

## Válvula de jaula

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula (fig. 8.2 g). Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque éste puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

## Válvula de compuerta

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total.

## Válvula en Y

Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de autodrenaje cuando está instalada inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

## Válvula de cuerpo partido

Esta válvula es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

## Válvula Saunders

En la válvula Saunders, el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido.

La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos. Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

### Válvula de compresión

Esta válvula funciona mediante el pinzamiento lento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión.

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento circular se clasifican como se detalla a continuación.

### Válvula de obturador excéntrico rotativo

Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles. El eje de giro sale al exterior del cuerpo y es accionado por el vástago de un servomotor. El par de éste es reducido gracias al movimiento excéntrico de la cara esférica del obturador.

La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuestos en el asiento y se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas mariposa y a las de bola y por su elevada pérdida de carga admisible.

### Válvula de obturador cilíndrico excéntrico

Esta válvula tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo coste y tiene una capacidad relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o conteniendo sólidos en suspensión.

### Válvula de orificio ajustable

El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizar dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo.

La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente

o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

### Válvula de flujo axial

Las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases.

### Válvula inteligente

Aparecida gracias al desarrollo de los microprocesadores, contiene un controlador digital, y sensores de medición de temperatura, caudal y presión montados en la propia válvula. El controlador digital controla la presión manométrica antes o después del orificio de la válvula, y la temperatura o el caudal, y envía la señal de salida al módulo del posicionador electroneumático acoplado al actuador. Cada válvula tiene grabada en una memoria ROM la variación del Cv correspondiente al intervalo 0 al 100 % de apertura de la válvula y el valor del factor de recuperación Cc, lo que permite conocer y controlar el caudal que está pasando a través de la válvula, gracias al microprocesador que calcula el caudal utilizando las fórmulas correspondientes.

El software permite seleccionar la característica deseada de la válvula: lineal, igual porcentaje, apertura rápida y la que pueda especificar el usuario. La válvula inteligente acepta la entrada del valor externo del punto de consigna y la comunicación digital a través de la interfaz **RS-485** con el protocolo adecuado para comunicarse con los sistemas de control distribuido. De este modo, accede a los valores de la variable de proceso, el punto de consigna y las alarmas.

La válvula inteligente puede efectuar un diagnóstico de sí misma al medir la carrera del vástago y las presiones del actuador. Puede captar el excesivo rozamiento del vástago o el pegado de las partes internas. Además permite llevar el proceso a una condición de seguridad en el caso de problemas graves. Por ejemplo, si se pierde la comunicación con el control distribuido, el sistema puede ser programado para conducir la válvula a una posición de seguridad que impide la pérdida del material o para prevenir una condición de peligro para el operador de la planta.

### Válvulas distribuidoras

Estas válvulas son los componentes que determinan el camino que ha de tomar la corriente de aire, a saber, principalmente puesta en marcha y paro (Start-Stop).

## Válvula de bola

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula de bola típica es la válvula de macho que consiste en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en el control manual todonada de líquidos o gases y en regulación de caudal.

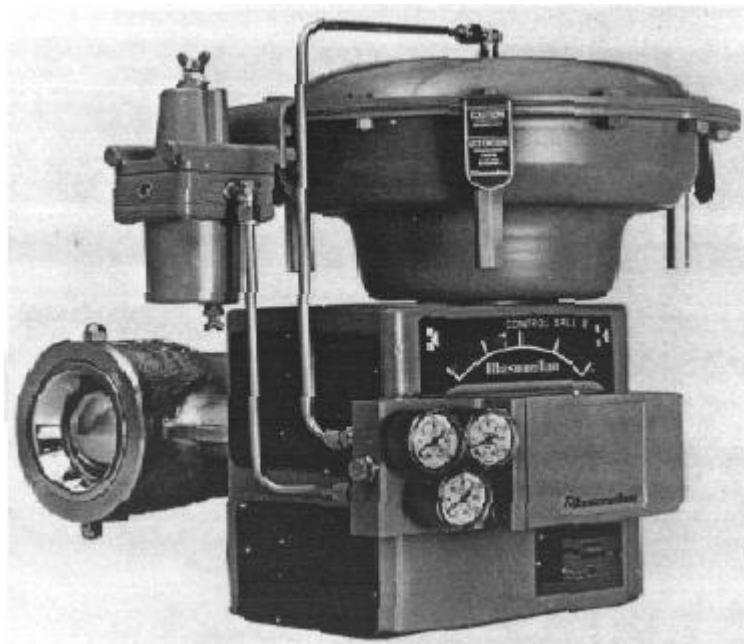
### Bola:

Ventajas:

- Excelente control ante fluidos viscosos, erosivos, fibrosos o con sólidos en suspensión.
- Alta rangeabilidad de control (aprox.: 300:1).
- Mayor capacidad que las válvulas de globo.

Desventajas:

- Precio elevado.
- No adecuada para “líquidos cavitantes”.
  - Puede provocar ruido con caídas de presión altas.



VALVULA DE BOLA CON POSICIONADOR  
CORTESIA DE MASONEILAN DIVISION

## Válvula de globo

Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

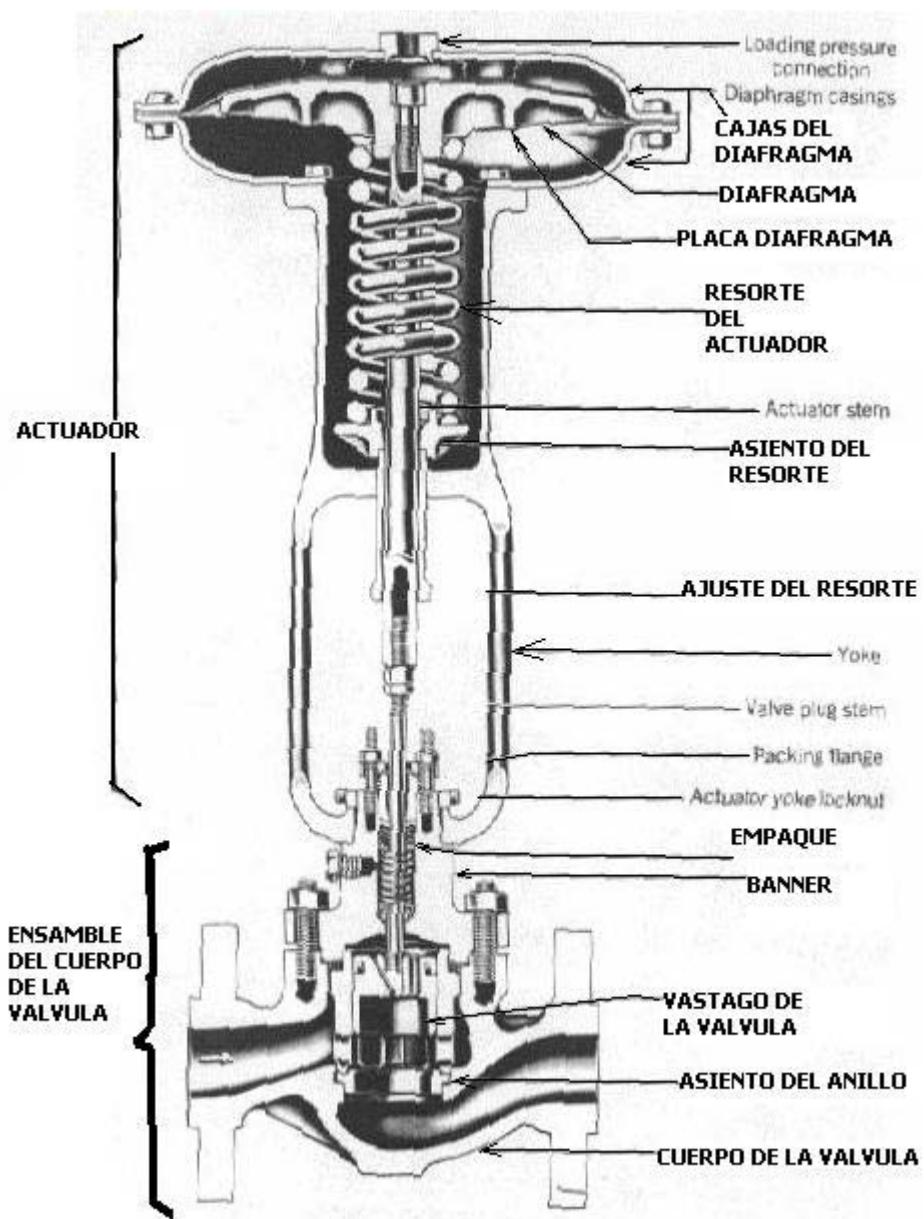
Como dato orientativo puede señalarse que según la norma ANSI B 16.1041976, las fugas admisibles son de 0,1 % del caudal máximo en la válvula de simple asiento y de 0,5 % en la válvula de doble asiento. Asimismo, las válvulas con obturador dotado de anillo de teflón para cierre hermético admiten un caudal de fuga de 1 a 40 burbujas de aire o NZ por minuto.

El flujo lo restringe un obturador que se desplaza perpendicularmente al asunto de la válvula.

### Ventajas:

- Disponibles en todos los “ratings”.
- Amplia selección de materiales constructivos.
- Posibilidad de diversas características de caudal.

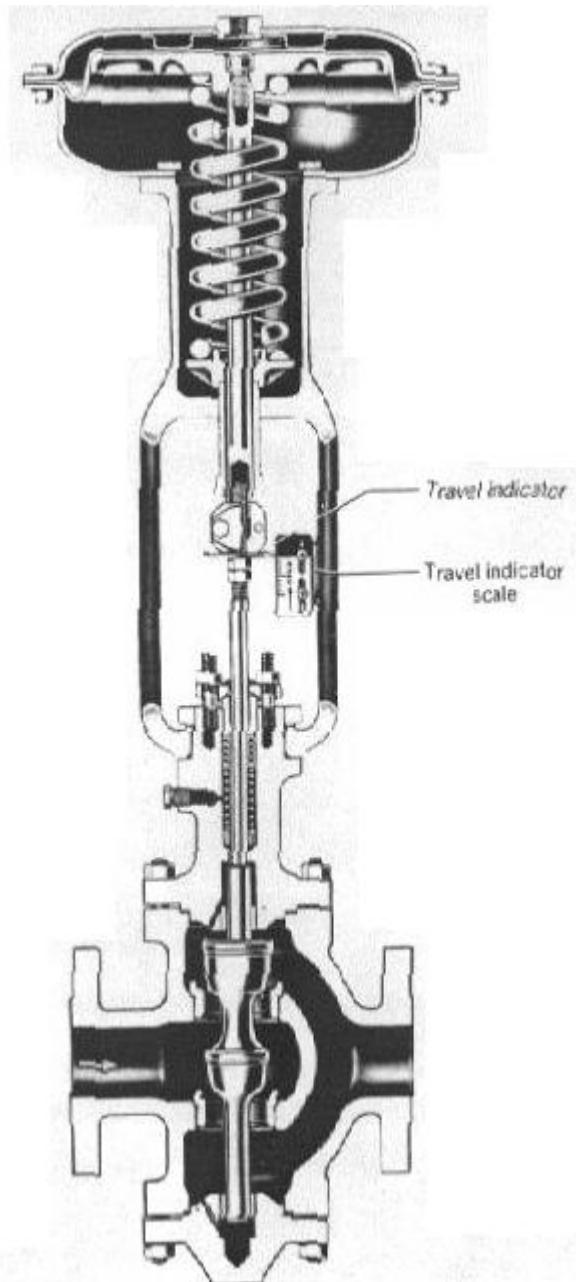
Partes internas aptas para el tipo de estanqueidad requerida.



VALVULA GLOBO DE ASIENTO SIMPLE, CORTESIA DE FISHER CONTROLS

Desventajas:

- Considerables pérdidas de carga a grandes caudales.
- Precios más elevados que las válvulas de mariposa en servicios de baja presión y temperatura.



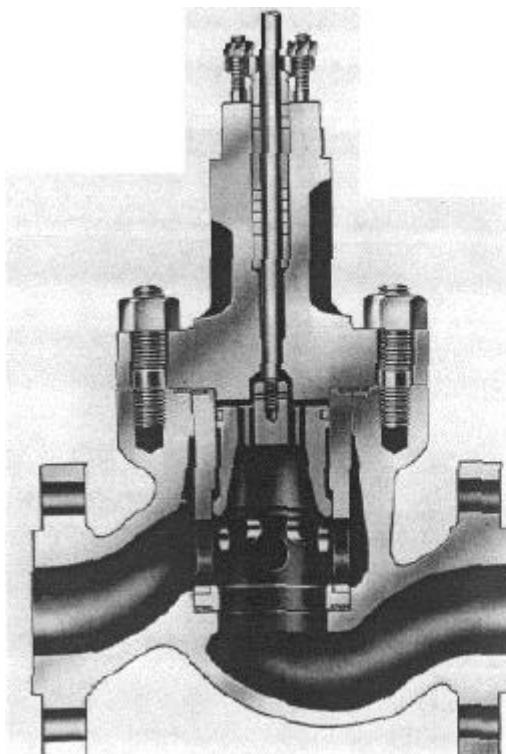
VALVULA GLOBO DE DOBLE ASIENTO CORTESIA DE FISHER CONTROLS

Formas constructivas:

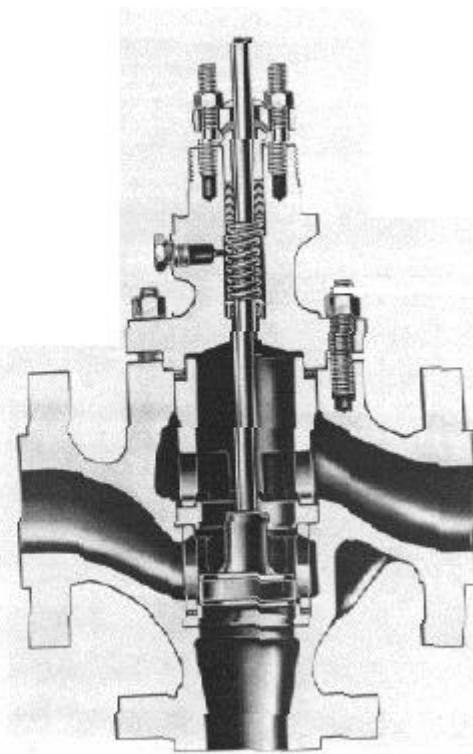
- **Simple asiento:** Óptimos cuando queremos alto nivel de estanqueidad.
- **Doble asiento:** Permiten trabajar con fluidos a alta presión, con un actuador standard.

Formas constructivas:

- Caja: El asiento de la válvula esta agujereado.
- Membrana: Se usa para fluidos muy corrosivos, de alta viscosidad, en la industria alimentaria.
- Tres vías: Se usa para partir una corriente en dos o unir dos corrientes en una.



VALVULA "CAPE"

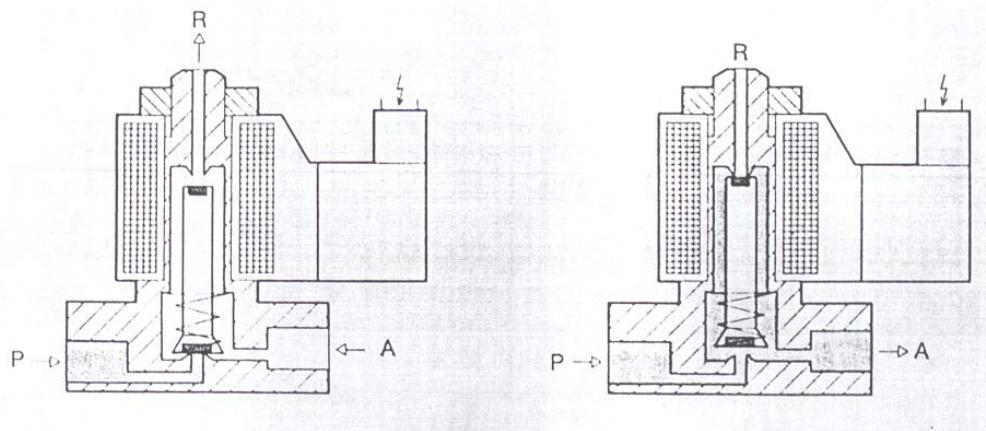


VALVULA DE TRES VIAS

## Electroválvulas (válvulas electromagnéticas):

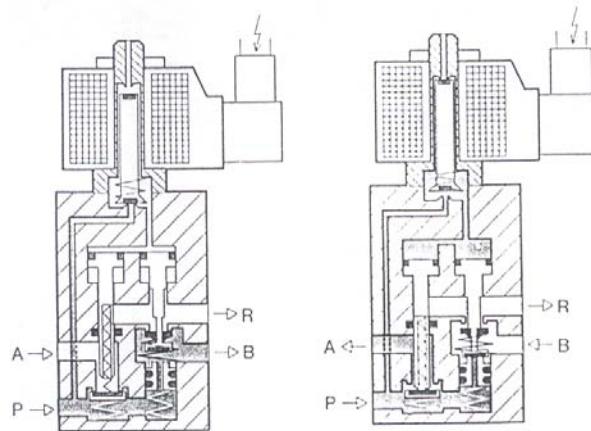
Estas válvulas se utilizan cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presostatos o mandos electrónicos. En general, se elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión.

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo solamente se utilizan para un diámetro luz pequeño, puesto que para diámetros mayores los electroimanes necesarios resultarían demasiado grandes.



Al conectar el imán, el núcleo (inducido) es atraído hacia arriba venciendo la resistencia del muelle. Se unen los empalmes P y A. El núcleo obtura, con su parte trasera, la salida R. Al desconectar el electroimán, el muelle empuja al núcleo hasta su asiento inferior y cierra el paso de P hacia A. El aire de la tubería de trabajo A puede escapar entonces hacia R. Esta válvula tiene solapo; el tiempo de conexión es muy corto.

Para reducir al mínimo el tamaño de los electroimanes, se utilizan válvulas de mando indirecto, que se componen de dos válvulas: Una válvula electromagnética de servopilotaje (3/2. de diámetro nominal pequeño) y una válvula principal, de mando neumático.



**Funcionamiento:**

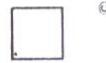
El conducto de alimentación P de la válvula principal tiene una derivación interna hacia el asiento de la válvula de mando indirecto. Un muelle empuja el núcleo contra el asiento de esta válvula. Al excitar el electroimán, el núcleo es atraído, y el aire fluye hacia el émbolo de mando de la válvula principal, empujándolo hacia abajo y levantando los discos de válvula de su asiento. Primeramente se cierra la unión entre P y R (la válvula no tiene solapo). Entonces, el aire puede fluir de P hacia A y escapar de B hacia R.

Al desconectar el electroimán, el muelle empuja el núcleo hasta su asiento y corta el paso del aire de mando. Los émbolos de mando en la válvula principal son empujados a su posición inicial por los muelles.

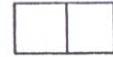
## Representación esquemática de las válvulas

Para representar las válvulas distribuidoras en los esquemas de circuito se utilizan símbolos; éstos no dan ninguna orientación sobre el método constructivo de la válvula; solamente indican su función.

Las posiciones de las válvulas distribuidoras se representan por medio de cuadrados.



La cantidad de cuadrados yuxtapuestos indica la cantidad de posiciones de la válvula distribuidora.



El funcionamiento se representa esquemáticamente en el interior de las casillas (cuadros).

Las líneas representan tuberías o conductos. Las flechas, el sentido de circulación del fluido.



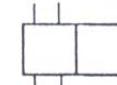
Las posiciones de cierre dentro de las casillas se representan mediante líneas transversales.



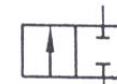
La unión de conductos o tuberías se representa mediante un punto.



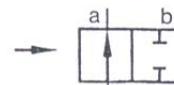
Las conexiones (entradas y salidas) se representan por medio de trazos unidos a la casilla que esquematiza la posición de reposo o inicial.



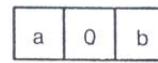
La otra posición se obtiene desplazando lateralmente los cuadrados, hasta que las conexiones coincidan.



Las posiciones pueden distinguirse por medio de letras minúsculas a, b, c . . . y 0.



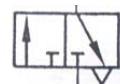
Válvula de 3 posiciones. Posición intermedia = Posición de reposo.



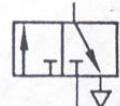
Por posición de reposo se entiende, en el caso de válvulas con dispositivo de reposición, p. ej., un muelle, aquella posición que las piezas móviles ocupan cuando la válvula no está conectada.

La posición inicial es la que tienen las piezas móviles de la válvula después del montaje de ésta, establecimiento de la presión y, en caso dado conexión de la tensión eléctrica. Es la posición por medio de la cual comienza el programa preestablecido.

Conductos de escape sin empalme de tubo (aire evacuado a la atmósfera).  
Triángulo directamente junto al símbolo.



Conductos de escape con empalme de tubo (aire evacuado a un punto de reunión).  
Triángulo ligeramente separado del símbolo.



Para evitar errores durante el montaje, los empalmes se identifican por medio de letras mayúsculas:

Rige lo siguiente:

Tuberías o conductos de trabajo	A, B, C .....
Empalme de energía	P .....
Salida de escape	R, S, T .....
Tuberías o conductos de pilotaje	Z, Y, X .....

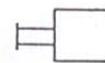
## Actuadores

### Modos de accionamiento de Válvulas.

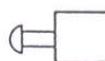
Según su utilización, las válvulas distribuidoras pueden accionarse de diferentes modos. Los símbolos de los elementos de accionamiento se colocan horizontalmente a los lados de los cuadrados.

#### Accionamientos musculares

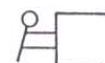
general



pulsador



palanca



pedal



#### Accionamientos mecánicos

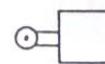
leva



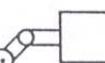
muelle



rodillo

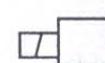


rodillo escamoteable

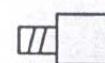


#### Accionamientos eléctricos

electroimán  
con un solo arrollamiento



electroimán  
con dos arrollamientos de acción en un mismo sentido



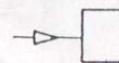
con dos arrollamientos de acción  
recíproca



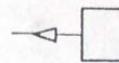
Accionamientos neumáticos

Accionamientos directos

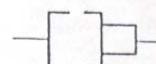
por presión



por depresión



por presión diferencial



Accionamientos indirectos (servopilotaje)

por presión en la válvula de mando principal,  
a través de la válvula de servopilotaje

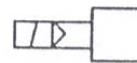


por depresión en la válvula de mando principal,  
a través de la válvula de servopilotaje

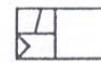


Accionamiento combinado

electroimán y servopilotaje  
neumático



electroimán  
o neumático (válvula de servopilotaje)



Según ,el tipo de accionamiento que se le da a la valvula, se distingue entre los siguientes tipos:

### *1. Accionamiento permanente, señal continua*

La válvula es accionada manualmente o por medios mecánicos, neumáticos o eléctricos durante todo el tiempo hasta que tiene lugar el reposicionamiento. Este es manual o mecánico por medio de un muelle.

### *2. Accionamiento momentáneo, impulso*

La válvula es invertida por una señal breve (impulso) y permanece indefinidamente en esa posición hasta que otra señal la coloca en su posición anterior

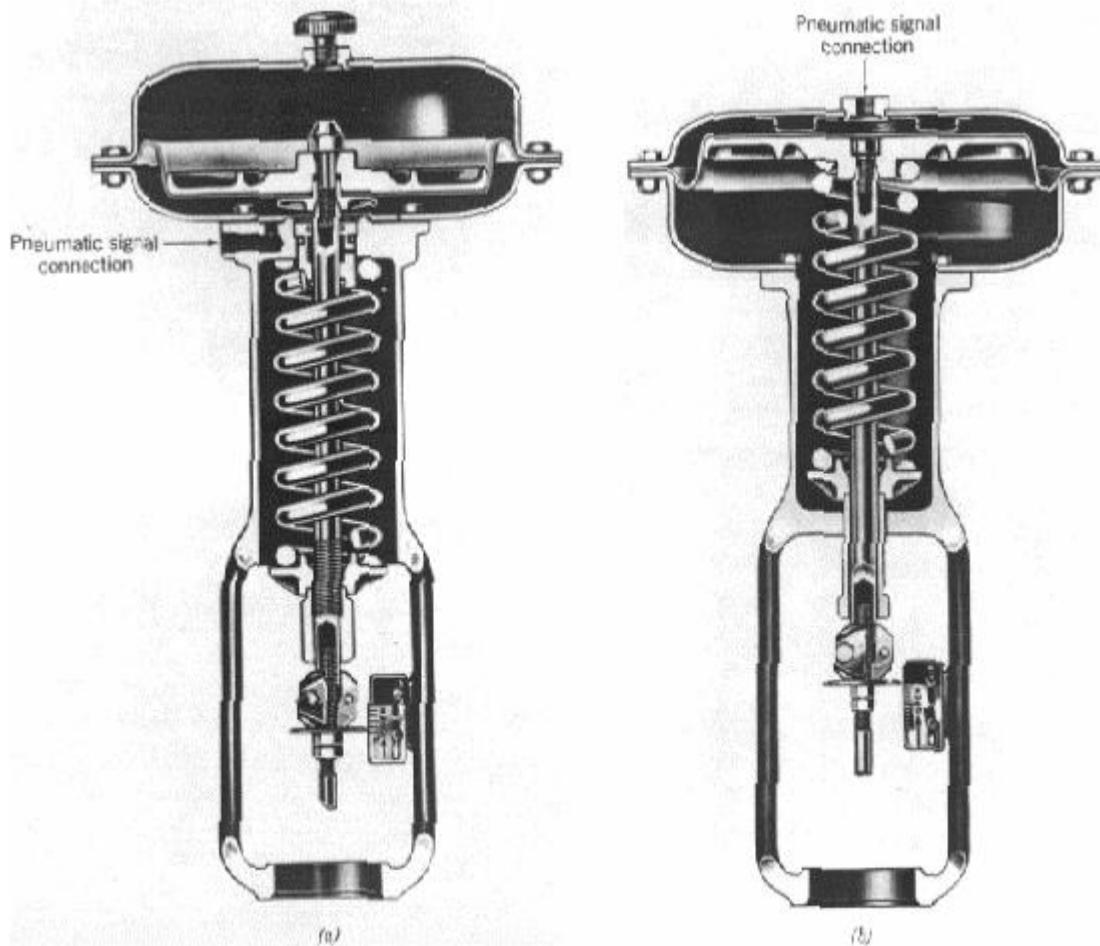
**A. Neumático de diafragma:**

Son las más usados en la industria.

La señal de presión que llega al actuador desplaza el diafragma venciendo la fuerza del muelle y el movimiento del diafragma es transmitido al obturador a través de un vástago.

Dos tipos:

- **Fallo de aire cierra**
- **Fallo de aire abre.**



Diaphragm actuator: fail closed, air-to-open.

Diaphragm actuator: fail open, air-to-close.

### A. Neumático de diafragma:

Ventajas:

- Fiabilidad y simplicidad de diseño.
- Usados donde no son requeridos grandes fuerzas.
- Económicos.
  - No necesitan posicionadores.

Desventajas.

- No pueden suministrar grandes fuerzas.
- No pueden ser aplicados a válvulas con grandes recorridos.

### B. Neumático de pistón:

Consta de un pistón en lugar de un diafragma.

Ventajas:

- Capaces de suministrar grandes fuerzas.
- Rápida respuesta.
  - Validos para grandes recorridos.

Desventajas:

- Generalmente necesitan sistema de enclavamiento en caso de fallo de alimentación.
- Para control necesitan posicionador.

## Eléctricos (electrohidráulicos o electromecánicos)

Ventajas:

- No necesitan instalación neumática.
- Mínimo consumo eléctrico.
- Menores costes de instalación y mantenimiento.
- Trabajan directamente con señales eléctricas (no necesitan convertidor)

Desventajas:

- Precio muy elevado.
- Protección eléctrica necesaria.
- Riesgos de explosión.
- Para control necesitan posicionador.
- Menor potencia específica.
- Más lentos que los neumáticos.
- \_Posición de seguridad.

## Características de construcción de válvulas distribuidoras

Las características de construcción de las valvulas determinan su duración, fuerza de accionamiento, racionamiento y tamaño. Según la construcción, se distinguen los tipos siguientes:

Válvulas de asiento: esferico

disco plano

Válvulas de corredera: embalo.

émbolo y cursor.

disco giratorio.

### Válvulas de asiento

En estas válvulas, los empalmes se abren y cierran por medio de bolas, discos, placas o conos. La estanqueidad se asegura de una manera muy simple, generalmente por juntas elásticas. Los elementos de desgaste son muy pocos y, por tanto, estas válvulas tienen gran duración. Son insensibles a la suciedad y muy robustas.

La fuerza de accionamiento es relativamente elevada, puesto que es necesario vencer la resistencia del muelle incorporado de reposicionamiento y la presión del aire.

### Válvulas de asiento esférico

Estás válvulas son de concepción muy simple y, por tanto, muy económicas. Se distinguen por sus dimensiones muy pequeñas. Un muelle mantiene apretada la bola contra el asiento; el aire comprimido no puede fluir del empalme P hacia la tubería de trabajo A. Al accionar el taqué, la bola se separa del asiento. Es necesario vencer al efecto la resistencia del muelle de reposicionamiento y la fuerza del aire comprimido. Estas válvulas son distribuidoras 2/2, porque tienen dos posiciones (abierta y cerrada) y dos orificios activos (P y A).

Con escape a través del taqué de accionamiento. se utilizan también como válvulas distribuidoras 3/2. El accionamiento puede ser manual o mecánico.

### Válvulas de asiento plano

Las válvulas representadas en la figura 90 tienen una junta simple que asegura la estanqueidad necesaria. El tiempo de respuesta es muy pequeño, puesto que un desplazamiento corto determina un gran caudal de paso. También estas válvulas son insensibles a la suciedad y tienen, por eso, una duración muy larga.

Al accionar el taqué, en un margen breve se unen los tres empalmes P, A y R. Como consecuencia, en movimientos lentos una cantidad grande de aire comprimido escapa de P hacia R. a la atmósfera, sin haber rendido antes trabajo. Estas son válvulas que no tienen escape exento de solape.

## Elementos accesorios a las válvulas:

- **Posicionador:** Compara la señal del controlador con la apertura real de la válvula (carrera del vástago), si no coinciden transmite una señal eléctrica o neumática al actuador.
- **Filtro manoreductor de aire:** Es un regulador de presión con filtro incorporado. Se utiliza para alimentar al posicionador o convertidor neumático.
- **Transmisor de posición:** Emite una señal de salida proporcional al recorrido de la válvula. Puede ser neumático o eléctrico.
- **Convertidor electroneumático I/P.** Convierte la señal eléctrica en neumática.
- **Interruptor final de carrera:** Es utilizado para indicar eléctricamente la posición de la válvula, así como para operar sobre otros elementos como las válvulas de solenoide.

## Selección de válvulas de control

Datos primarios: necesarios para el cálculo de la sección de paso de la válvula:

- Propiedades de fluido.
- Presión antes de la válvula
- Caída de presión en la válvula.
- Teoría del fluido: afecta al material de la válvula.
  - Caudal del fluido.

Datos secundarios:

- Nivel de estanqueidad
- Característica de caudal: relación estructural a presión constante, entre el caudal que atraviesa la válvula y su apertura .

## Característica de caudal:

- Características **isoporcentual**: incrementos iguales en el recorrido de la válvula producen cambios en igual porcentaje en el caudal existente.
- Características **lineal**: de capacidad de la válvula varia lineal por con la carrera.
- Característica **todo nada**: El cambio de caudal es máximo a bajos recorridos, siendo luego muy pequeño.



## Dimensionamiento

**K<sub>v</sub>**, coeficiente de caudal o de dimensionamiento de la válvula. Se define como caudal de agua en metros cúbicos por hora a 15°C que pasa a través de la válvula para una apertura dada cuando la presión diferencial es de un bar.

Cuando está totalmente abierta: **K<sub>vs</sub>**. Su valor mínimo es **K<sub>vo</sub>**. Rangeability **K<sub>vs</sub>/K<sub>vo</sub>**, relación de caudales que la válvula puede controlar sin perder sus características. Para una isoporcentual suele ser de 50 a 1.

C<sub>v</sub>, y es el número de galones USA por minuto de agua a 60° F que pasa a través de una válvula totalmente abierta cuando la presión diferencia es de 1 psi.

$$K_{vs} = 0.86 C_v$$

Dan una idea de la “capacidad” de la válvula

Otros factores: Cavitación, Ruidos

## Resumen de Válvulas.

Una vez que sabemos lo que es una válvula y conocemos las características principales, podemos decir que existen válvulas de pequeño, mediano y gran caudal; de baja, mediana y gran presión; para fluidos corrosivos y no corrosivos y finalmente de accionamiento mecánico y eléctrico.

Existe una diversidad de clasificaciones de válvulas, una buena referencia la cita **Antonio Creus en su obra "Instrumentación Industrial"**.

## SISTEMA NEUMATICO

### Transmisión de Potencia

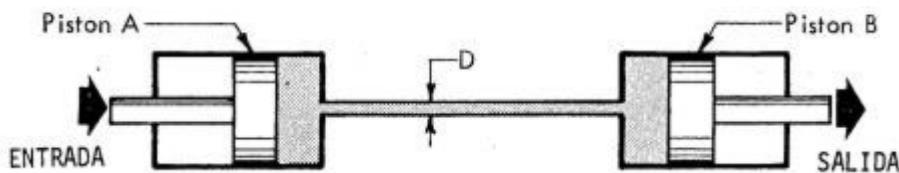
La figura 1-7 muestra el principio en el cual esta basada la transmisión de potencia en los sistemas neumáticos e hidráulicos. Una fuerza mecánica, trabajo o potencia es aplicada en el pistón A. La presión interna desarrollada en el fluido ejerciendo una fuerza de empuje en el pistón B.

Según la ley de Pascal la presión desarrollada en el fluido es igual en todos los puntos por lo que la fuerza desarrollada en el pistón B es igual a la fuerza ejercida en el fluido por el pistón A, asumiendo que los diámetros de A y B son iguales.

Fig. 1-7



Fig. 1-8

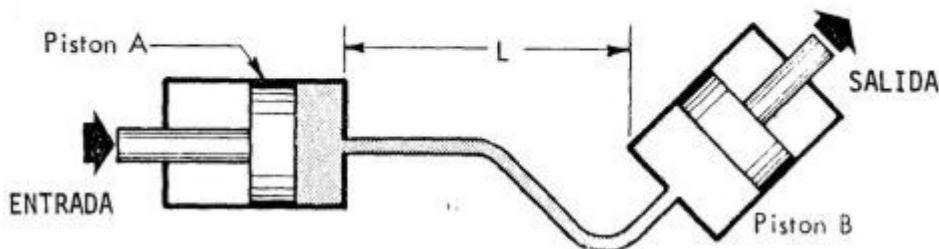


### Transmisión de Potencia a Través de una Tubería.

El largo cilindro de la figura 1-7, puede ser dividido en dos cilindros individuales del mismo diámetro y colocados a distancia uno de otro conectados entre si por una cañería. El mismo principio de transmisión de la fuerza puede ser aplicado, y la fuerza desarrollada en el pistón B va ser igual a la fuerza ejercida por el pistón A.

La ley de Pascal no requiere que los dos pistones de la figura 1-8 sean iguales. La figura 1-9 ilustra la versatilidad de los sistemas hidráulicos y/o neumáticos al poder ubicarse los componentes aislantes no de otro, y transmitir las fuerzas en forma inmediata a través de distancias considerables con escasas perdidas. Las transmisiones pueden llevarse a cualquier posición .

Fig. 1-9



aun doblando esquinas, pueden transmitirse a través de tuberías relativamente pequeñas con pequeñas perdidas de potencia.

La distancia  $L$  que separa la generación, pistón A, del punto de utilización pistón B, es usualmente de 1,5 a 6 metros en los sistemas hidráulicos, y de 30 a 60 metros en aire comprimido. Distancias mayores son superadas con sistemas especialmente diseñados.

### Presión Hidráulica.

La presión ejercida por un fluido es medida en unidades de presión. Las unidades comúnmente utilizadas son :

- La libra por pulgada cuadrada = PSI
- El Kilogramo por centímetro cuadrado =  $\text{Kg}/\text{cm}^2$
- El Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado =  $\text{Kp}/\text{cm}^2$
- El bar = bar

Existiendo la siguiente relación aproximada :

$$\text{Kg}/\text{cm}^2 \sim \text{Kp}/\text{cm}^2 \sim \text{bar}$$

En la figura 1-10A se muestra que la fuerza total aplicada al vástago de un pistón se distribuye sobre toda la superficie de este. Por ello para encontrar la presión que se desarrollará en el seno de un fluido deberemos dividir el empuje total por la superficie del pistón

Fig.1-10A

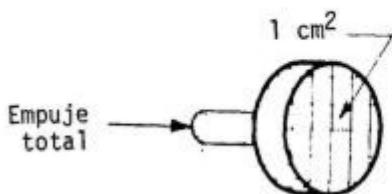
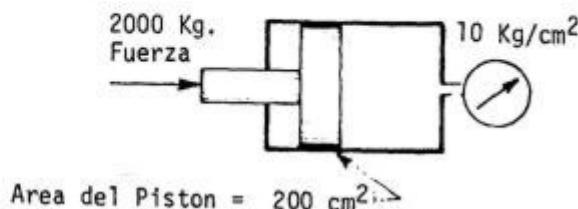
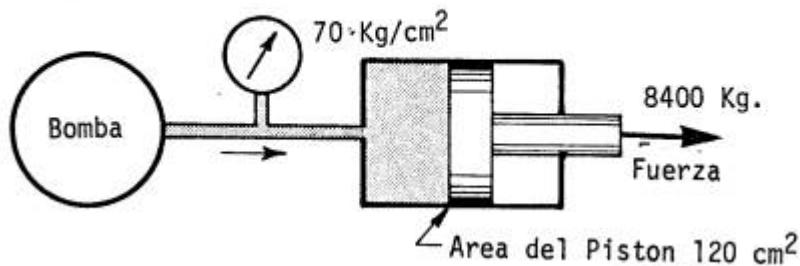


Fig.1-10B



La figura 1-10B, una fuerza de 2200 Kg. ejercida en el extremo del vástago es distribuida sobre 200 cm<sup>2</sup> por lo que la fuerza por cm<sup>2</sup> será de 10 Kg. y esto lo indica el manómetro. Este principio tiene carácter reversible, en la figura 1-11 la presión interna del fluido actuando sobre el área del pistón produce una fuerza de empuje en el extremo del vástago.

Fig. 1-11



La presión interna indicada por el manómetro 70Kg/cm<sup>2</sup> actúa sobre 120 cm<sup>2</sup> de área de pistón produciendo un empuje de 8400 Kg.

No olvidemos que para hallar la superficie de un pistón debemos aplicar la formula:

$$\text{ÁREA} = \pi * R^2$$

### Sistemas Neumático-Hidráulicos

Los accionamientos neumáticos para herramientas se aplican cuando se exige un movimiento rápido y la fuerza no sobrepasa 30.000 N (3.000 kp). Para esfuerzos superiores a los 30.000 N, no conviene aplicar cilindros neumáticos.

El accionamiento neumático sufre otra limitación cuando se trata de movimientos lentos y constantes. En tal caso no puede emplearse un accionamiento puramente neumático. La compresibilidad del aire, que muchas veces es una ventaja, resulta ser en este caso una desventaja,

Para trabajos lentos y constantes se busca la ayuda de la hidráulica y se reúnen las ventajas de ésta con las de la neumática:

Elementos simples de mando neumático, velocidades regulables y en algunos casos fuerzas grandes con cilindros de pequeño diámetro. El mando se efectúa a través del cilindro neumático. La regulación de la velocidad de trabajo se realiza por medio de un cilindro hidráulico.

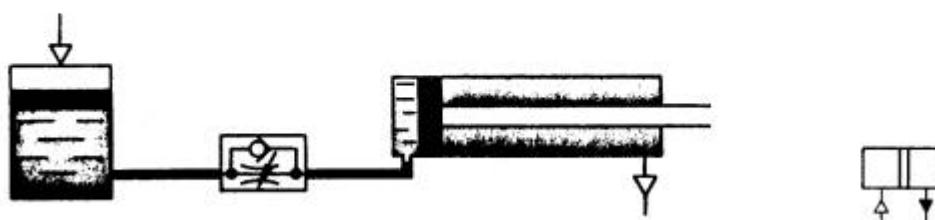
Este sistema se emplea con gran frecuencia en procedimientos de trabajo con arranque de virutas, como en el taladrado, fresado y torneado, así como en dispositivos de amplificación de la presión, prensas y dispositivos de sujeción.

## Convertidores de Presión

Este es un elemento que trabaja con aceite y aire comprimido. Aplicando aire comprimido directamente en un depósito sobre el nivel de aceite se impulsa éste.

El aceite entra entonces, por una válvula antirretorno y de estrangulación regulable en el cilindro de trabajo. El vástago sale a una velocidad uniforme y regresa al aplicar aire comprimido al lado M émbolo que va al vástago. El depósito de aceite se purga de aire y el aceite puede regresar con rapidez. En la conversión de los medios de presión, la presión se mantiene constante.

Figura 78: Convertidor de presión



## Multiplicador de Presión

El multiplicador está compuesto de dos cámaras de superficies de distinto tamaño. El aire comprimido llega por el racor 1 al interior del cilindro neumático, empuja el émbolo hacia abajo y hace pasar el aceite a la segunda cámara. Por el racor 2, el aceite llega hasta una válvula antirretorno y de estrangulación regulable, y de ésta hasta el elemento de trabajo.

Por la diferencia de superficies de los dos émbolos se produce un aumento de la presión hidráulica. Son relaciones de multiplicación normales: 4 :1, 8 :1, 16 :1, 32 : 1.

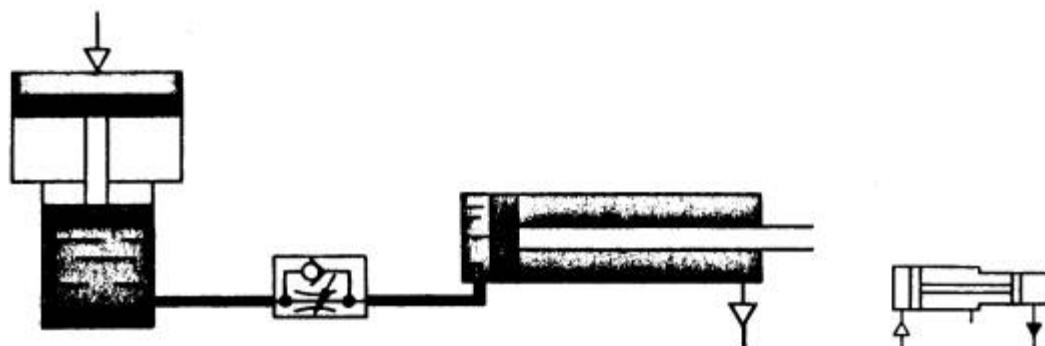
La presión neumática aplicada debe ser de 1.000 kPa (10 bar), como máximo.

La presión hidráulica varía según la multiplicación; por eso, al objeto de obtener una fuerza determinada se puede emplear un cilindro pequeño.

Las fugas de aceite, frecuentes en los sistemas hidráulicos, pueden exigir que se realice un mantenimiento regular, p. ej., rellenado de aceite y purga de aire.

Además, por el volumen de aceite existente en los elementos, no es posible emplear éstos en instalaciones de diversa estructuración. Para cada mando y para cada accionamiento de cilindro hay que calcular el volumen de aceite necesario y elegir correspondientemente el elemento.

Figura 79: Multiplicador de presión

**Ejemplo de cálculo:**

$$A_1 = 100 \text{ cm}^2, A_2 = 10 \text{ cm}^2, p_1 = 600 \text{ kPa (6 bar)}$$

Fuerza en el lado de aire

$$F_1 = p_1 \cdot A_1$$

$$F_1 = 6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \cdot 100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6.000 \text{ N}$$

Fuerza directamente en el lado de aceite

$$F_1 = F_2$$

Lo que supone

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{6.000 \text{ N}}{10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 60 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 = 6.000 \text{ kPa (60 bar)}$$

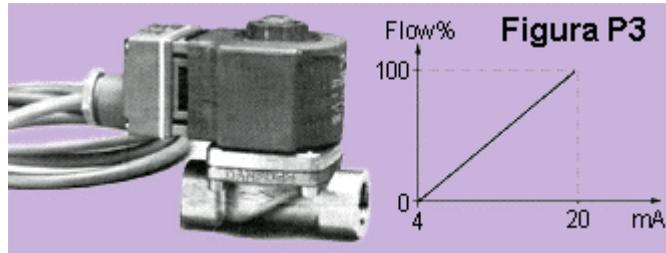
**FRL (filtro regulador lubricador, )**

FRL (filtro regulador lubricador, ), un dispositivo fundamental para el tratamiento del aire comprimido, en el cual las impurezas del aire son minimizadas, la presión que trae el aire comprimido es regulada para disminuir las pulsaciones y homogeneizar el flujo, y además, el aire es lubricado con pequeñas gotas de aceite especial para evitar el óxido de los componentes neumáticos (Figura P2).



Figura P2

A continuación, se ubica una válvula proporcional acción por solenoide cumpliendo la función de actuador, para aumentar o disminuir el caudal de aire comprimido según corresponda a un mayor o menor consumo respectivamente (Figura P3).



Luego de la válvula proporcional, el aire comprimido es almacenado en un acumulador o estanque, sobre este, se conecta un manómetro y un transductor para leer su presión y convertirla a una señal eléctrica correspondientemente. Esta señal es realimentada a un controlador 1 para gobernar la válvula proporcional. Además del manómetro y del transductor, el acumulador lleva incorporado un purgador para evacuar el agua contenida en el aire comprimido, y una válvula de seguridad para limitar su presión máxima.



Continuando con el proceso de funcionamiento del cilindro neumático, inmediatamente después del acumulador, se ubican un rotámetro y un manómetro, para medir el caudal de aire comprimido y la presión de este, paralelamente.

## Pistones.(4.3)

En los sistemas hidráulicos y neumáticos la energía es transmitida a través de tuberías. Esta energía es función del caudal y presión del aire o aceite que circula en el sistema.

El **cilindro** es el dispositivo mas comúnmente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica.

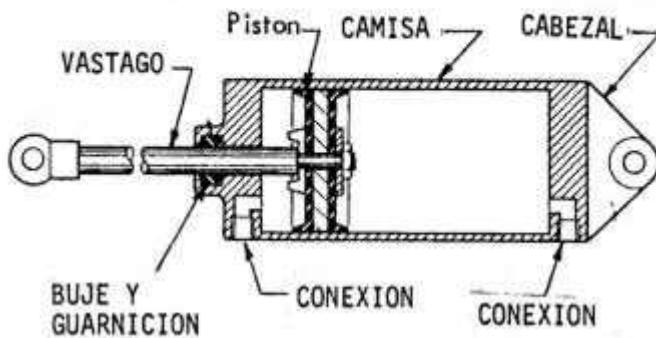
La **presión del fluido** determina la **fuerza de empuje** de un cilindro, **el caudal** de ese fluido es quien establece la **velocidad de desplazamiento** del mismo. La combinación de **fuerza y recorrido** produce **trabajo**, y cuando este **trabajo** es realizado en un **determinado tiempo** produce **potencia**. Ocasionalmente a los cilindros se los llama "motores lineales".

En la figura 6-1, vemos un corte esquemático de un cilindro típico. Este es denominado de doble efecto por que realiza ambas carreras por la acción del fluido.

Las partes de trabajo esenciales son:

- 1) La camisa cilíndrica encerrada entre dos cabezales,
- 2) El pistón con sus guarniciones,
- 3) El vástago con su buje y guarnición.

FIG. 6-1



## Cilindros neumáticos.

### Actuadores Neumáticos. ¿Qué son?

Los actuadores neumáticos consisten tanto en cilindros lineales como en actuadores rotatorios proveedores del movimiento. Los actuadores neumáticos son menos costosos y más seguros que otros sistemas, sin embargo, es difícil controlar la velocidad o la posición debido a la compresibilidad del aire que se utiliza.

En los actuadores neumáticos se comprime el aire abastecido por un compresor, el cual viaja a través de mangueras. Los robots pequeños están diseñados para funcionar por medio de actuadores neumáticos. Los robots que funcionan con actuadores neumáticos están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos. La exactitud se puede

incrementar mediante paros mecánicos y los robots accionados en forma neumática son útiles para la aplicaciones ligera que involucran las operaciones de recoger-colocar.

Se consideran elementos neumáticos a todos aquellos dispositivos que tienen la cualidad de convertir la energía portencial de los gase neumáticos en trabajo. Así entre los mismos, podemos distinguir tres tipos diferentes de actuadores neumáticos, y estos son:

- Cilindros, o actuadores que entregan Fuerza y Carrera.
- Actuadores de giro que nos entregan un Par y ángulo.
- Motores Rotativos que nos entregan un Par y Revoluciones.

## **Los cilindros como elementos neumáticos de movimiento rectilíneo.**

A menudo, la generación de un movimiento rectilíneo con elementos mecánicos combinados con accionamientos eléctricos supone un gasto considerable. Es por eso, que se presentan los cilindros como un elemento neumático, que aproveche las propiedades del aire comprimidor, para generar un trabajo o una fuerza, claro, esto de forma lineal.

## **Características principales de los cilindros Neumáticos.**

Constitución de los cilindros

El cilindro de émbolo se compone de: tubo, tapa posterior (fondo) y tapa anterior con cojinete (manguito doble de copa), vástago, casquillo de cojinete y aro rascador; además, de piezas de unión y juntas.

El tubo cilíndrico (1) se fabrica en la mayoría de los casos de tubo de acero embutido sin costura. Para prolongar la duración de las juntas, la superficie interior del tubo debe someterse a un mecanizado de precisión (bruñido).

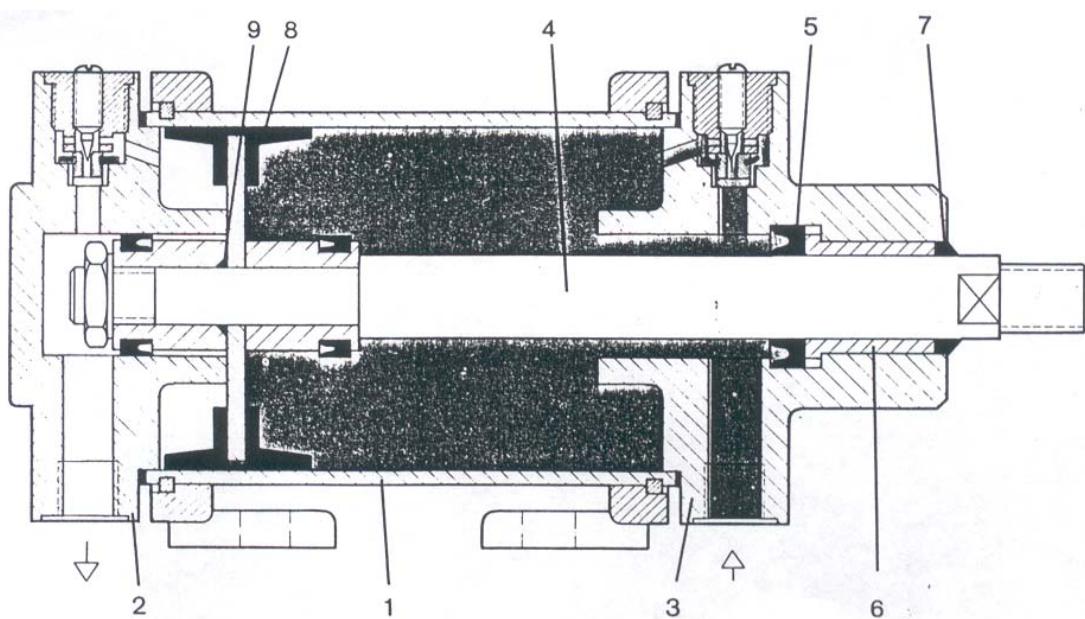
Para aplicaciones especiales, el tubo se construye de aluminio, latón o de tubo de acero con superficie de rodadura cromada. Estas ejecuciones especial~ se emplean cuando los cilindros no se accionan con frecuencia o para protegerlos de influencias corrosivas.

Para las tapas posterior fondo (2) y anterior (3) se emplea preferentemente material de fundición (de aluminio o maleable). La fijación de ambas tapas en el tubo puede realizarse mediante tirantes, roscas o bridas.

El vástago (4) se fabrica preferentemente de acero bonificado. Este acero contiene un determinado porcentaje de cromo que lo protege de la corrosión. A deseo, el émbolo se somete a un tratamiento de temple. Su superficie se comprime en un proceso de rodado entre discos planos. La profundidad de asperezas del vástago es de 111m. En general, las roscas se laminan al objeto de prevenir el riesgo de roturas.

En cilindros hidráulicos debe emplearse un vástago cromado (con cromo duro) o templado. Para hermetizar el vástago se monta en la tapa anterior un collarín obturador (5). De la guía de vástago se hace cargo un casquillo de cojinete (6), que puede ser de bronce sinterizado o un casquillo metálico con revestimiento de plástico.

Delante del casquillo de cojinete se encuentra un aro rascador (7). Este impide que entren partículas de polvo y suciedad en el interior del cilindro. Por eso, no se necesita emplear un fuelle. El manguito doble de copa (8) hermetiza la cámara del cilindro.



Y los materiales con los que por lo general se fabrican son:

Perbunano para temperaturas entre -20 °C y +80 °C

Vitón para temperaturas entre -20 °C y +190 °C

Teflón para temperaturas entre -80 °C y +200 °C

las juntas tóricas o anillos toroidales (9) se emplean para la obturación estática, porque deben pretensarse, y esto causa pérdidas elevadas por fricción en aplicaciones dinámicas.

### **Cálculos, y relaciones importantes, tanto para el uso como para el diseño de cilindros.**

Las figuras 6-2A y 6-2B son vistas en corte de un pistón y vástago trabajando dentro de la camisa de un cilindro. El fluido actuando sobre la cara anterior o posterior del pistón provoca el desplazamiento de este a largo de la camisa y transmite su movimiento hacia afuera a través del vástago.

El desplazamiento hacia adelante y atrás del cilindro se llama "carrera". La carrera de empuje se observa en la , Fig.6-2A y la de tracción o retracción en la Fig. 6-2B.

La presión ejercida por el aire comprimido o el fluido hidráulico sobre el pistón se manifiesta sobre cada unidad de superficie del mismo como se ilustra en la figura 6-3.

FIG. 6-2A

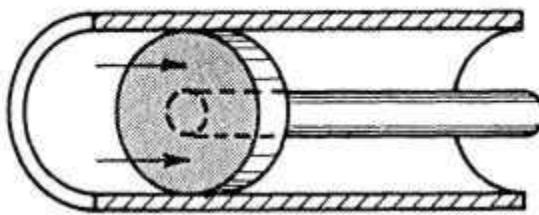
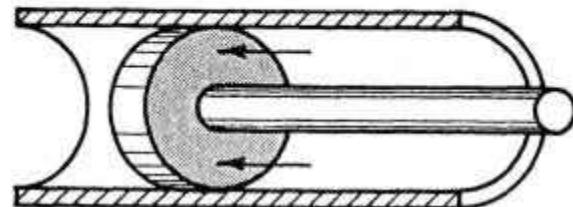
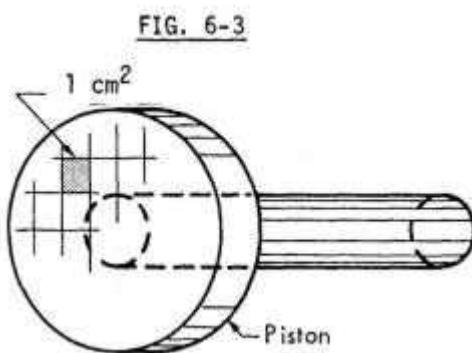


FIG. 6-2B



Si nuestro manómetro indica en Kg./cm<sup>2</sup>, la regla para hallar la fuerza total de empuje de un determinado cilindro es: "El empuje es igual a la presión manométrica multiplicada por la superficie total del pistón", o:

$$F (\text{Kg.}) = P (\text{Kg./cm}^2) \times A (\text{cm}^2)$$



Importante: La fuerza de retracción del pistón de la figura 6-2B está dada por la presión multiplicada por el área "neta" del pistón. El área neta es el área total del pistón menos el área del vástago .

### Fuerza del émbolo

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{\text{teó.}} = A \cdot p$$

$F_{\text{teó.}}$  = Fuerza teórica del émbolo (N)

$A$  = Superficie útil del émbolo ( $\text{cm}^2$ )

$p$  = Presión de trabajo (kPa,  $10^5 \text{ N/m}^2$ , bar)

En la práctica es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (presiones de 400 a 800 kPa/4 a 8 bar) se puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan de un 3 a un 20% de la fuerza calculada.

## Cilindro de doble efecto (en el avance)

$$\begin{aligned}
 F_n &= A \cdot p - F_R \\
 F_n &= \text{Fuerza efectiva o real del émbolo} \\
 A &= \text{Superficie útil del émbolo} \\
 &= \left( \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \right) \\
 A' &= \text{Superficie útil del anillo de émbolo} \\
 &= (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \text{Presión de trabajo} \\
 F_R &= \text{Fuerza de rozamiento (3-20\%)} \\
 F_F &= \text{Fuerza del muelle de recuperación} \\
 D &= \text{Diámetro del émbolo} \\
 d &= \text{Diámetro de vástago}
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 &\text{(kPa, } 10^5 \text{ N/m}^2, \text{ bar)} \\
 &\text{(N)} \\
 &\text{(N)} \\
 &\text{(mm)} \\
 &\text{(mm)}
 \end{aligned}$$

## Cilindro de doble efecto (en el retorno)

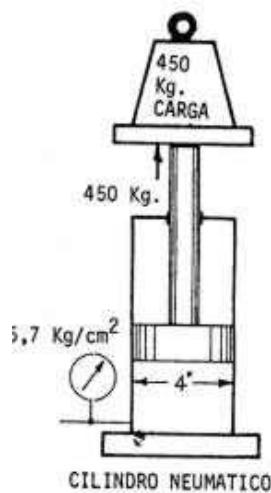
$$\begin{aligned}
 F_n &= A' \cdot p - F_R \\
 &= \text{(cm}^2\text{)} \\
 &\quad \text{(N)} \\
 &\quad \text{(cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Un cilindro neumático debe ser dimensionado para tener un empuje MAYOR que el requerido para contrarrestar la carga.

El monto de sobredimensionamiento, esta gobernado por la velocidad deseada para ese movimiento; cuando mayor es la sobredimensi6n mas rápida va a realizarse la carrera bajo carga.

En la figura 6-4 el cilindro neumático soporta una carga con un peso de 450 Kg., su diámetro es de 4", y la presión de línea es de 5,7 Kg./cm<sup>2</sup>. El cilindro en es tas condiciones ejerce un empuje exactamente igual a 450 Kg., en estas circunstancias el cilindro permanecerá estacionario soportando la carga, pero sin moverla.

FIG. 6-4



Sobredimensionamiento Necesario

Esto depende de muchos factores, se sugiere aplicar la siguiente regla para usos generales: Cuando la velocidad de desplazamiento no es importante, seleccione un cilindro con una fuerza de empuje en 25% superior a lo necesario para altas velocidades sobredimensione en un 100%.

### Longitud de carrera

La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm. Con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire.

Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía es demasiado grande. Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal. Además, al prolongar la carrera la distancia entre cojinetes aumenta y, con ello, mejora la guía del vástago.

### Velocidad de un Cilíndro.

La velocidad de desplazamiento de un cilindro hidráulico es fácil de calcular si se emplea una bomba de desplazamiento positivo.

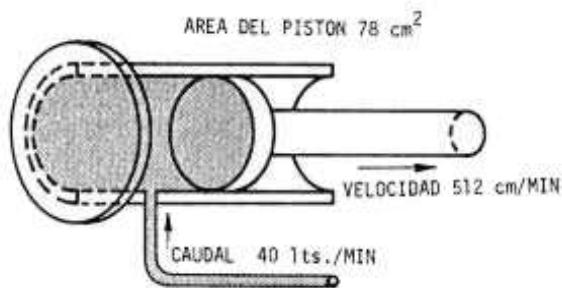
En la figura 6-5 mostramos un ejemplo típico, con un caudal de 40 litros por minuto ingresando al cilindro.

El área del pistón es de  $78 \text{ cm}^2$ , para encontrar la velocidad de desplazamiento primero convertiremos los litros en  $\text{cm}^3$  por minuto es decir:  $40 \times 1000 = 40.000 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

Luego dividimos este valor por el área del pistón obteniendo la velocidad:

$$\frac{40.000}{78} = 512 \text{ cm. / minuto}$$

FIG. 6-5



### Velocidad del émbolo..

La velocidad del émbolo en cilindros neumáticos depende de la fuerza antagonista de la presión del aire, de la longitud de la tubería, de la sección entre los elementos de mando y trabajo y del caudal que circula por el elemento de mando. Además, influye en la velocidad la amortiguación de final de carrera.

Cuando el émbolo abandona la zona de amortiguación, el aire entra por una válvula antirretorno y de estrangulación y produce una reducción de la velocidad. La velocidad media del émbolo, en cilindros standard, está comprendida entre 0,1 y 1,5 mis. Con cilindros

especiales (cilindros de impacto) se alcanzan velocidades de hasta 10 mis. La velocidad del émbolo puede regularse con válvulas especiales. Las válvulas de estrangulación, las antirretorno y de estrangulación, y las de escape rápido proporcionan velocidades mayores o menores

### Consumo de aire

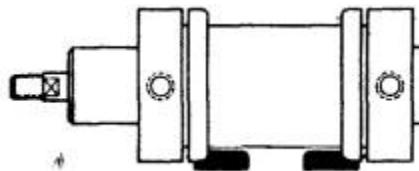
Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación. Para una presión de trabajo, un diámetro y una carrera de émbolo determinados.

### Fijaciones

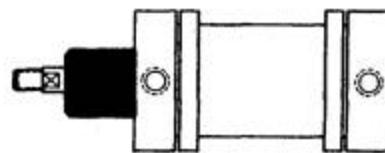
El tipo de fijación depende del modo en que los cilindros se coloquen en dispositivos y máquinas. Si el tipo de fijación es definitivo, el cilindro puede ir equipado de los accesorios de montaje necesarios. De lo contrario, como dichos accesorios se construyen según el sistema de piezas estandarizadas, también más tarde puede efectuarse la transformación de un tipo de fijación a otro. Este sistema de montaje facilita el almacenamiento en empresas que utilizan a menudo el aire comprimido, puesto que basta combinar el cilindro básico con las correspondientes piezas de fijación.

Figura 66: Tipos de fijación

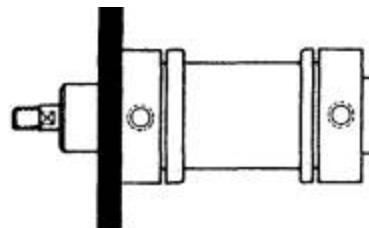
Fijación por pies



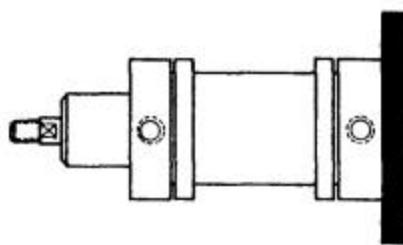
Fijación por rosca



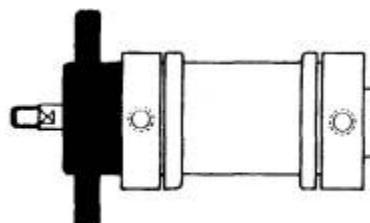
Brida anterior



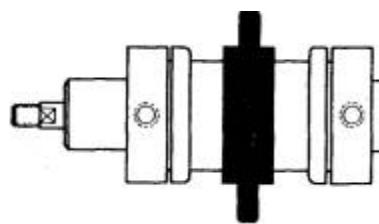
Brida posterior



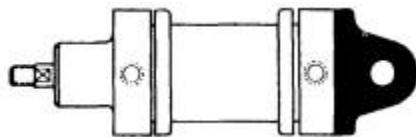
Brida anterior oscilante



Brida central oscilante



Brida posterior oscilante



## Constitución de los Cilindros

El cilindro de émbolo se compone de: tubo, tapa posterior (fondo) y tapa anterior con cojinete (manguito doble de copa), vástago, casquillo de cojinete y aro rascador; además, de piezas de unión y juntas.

El tubo cilíndrico (1) se fabrica en la mayoría de los casos de tubo de acero embutido sin costura. Para prolongar la duración de las juntas, la superficie interior del tubo debe someterse a un mecanizado de precisión (bruñido).

Para aplicaciones especiales, el tubo se construye de aluminio, latón o de tubo de acero con superficie de rodadura cromada. Estas ejecuciones especiales se emplean cuando los cilindros no se accionan con frecuencia o para protegerlos de influencias corrosivas.

Para las tapas posterior fondo (2) y anterior (3) se emplea preferentemente material de fundición (de aluminio o maleable). La fijación de ambas tapas en el tubo puede realizarse mediante tirantes, roscas o bridas.

El vástago (4) se fabrica preferentemente de acero bonificado. Este acero contiene un determinado porcentaje de cromo que lo protege de la corrosión. A deseo, el émbolo se somete a un tratamiento de temple. Su superficie se comprime en un proceso de rodado entre discos planos. La profundidad de asperezas del vástago es de 1 mm. En general, las roscas se laminan al objeto de prevenir el riesgo de roturas.

En cilindros hidráulicos debe emplearse un vástago cromado (con cromo duro) o templado.

Para normalizar el vástago se monta en la tapa anterior un collarín obturador (5). De la guía de vástago se hace cargo un casquillo de cojinete (6), que puede ser de bronce sinterizado o un casquillo metálico con revestimiento de plástico.

Delante del casquillo de cojinete se encuentra un aro rascador (7). Este impide que entren partículas de polvo y suciedad en el interior del cilindro. Por eso, no se necesita emplear un fuelle.

El manguito (cople) doble de copa (8) hermetiza la cámara del cilindro.

### Material:

Perbunano para temperaturas entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $+80^{\circ}\text{C}$

Vitón para temperaturas entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $+190^{\circ}\text{C}$

Teflón para temperaturas entre  $-80^{\circ}\text{C}$  y  $+200^{\circ}\text{C}$

Las juntas tóricas o anillos toroidales (9) se emplean para la obturación estática, porque deben pretensarse, y esto causa pérdidas elevadas por fricción en aplicaciones dinámicas.

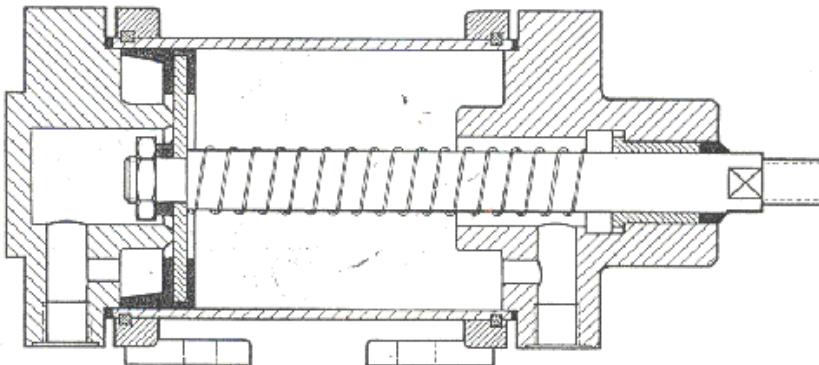
## Tipos Principales de Cilindros.

Los cilindros que se presentan a continuación, tienen una clasificación en base a la forma en como se encuentran constituidos, así como la forma que presentan de trabajar; y esta es la siguiente:

### Cilindros de simple efecto

Estos cilindros 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 que por lo general se le incorpora para buscar su correcto funcionamiento.

El resorte incorporado se calcula de modo que haga regresar el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente grande cuando se le quite la alimentación del aire comprimido. Los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100 mm. Se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc. A continuación se muestra una figura, con un corte transversal de uno de estos dispositivos.



### Cilindro de Embolo

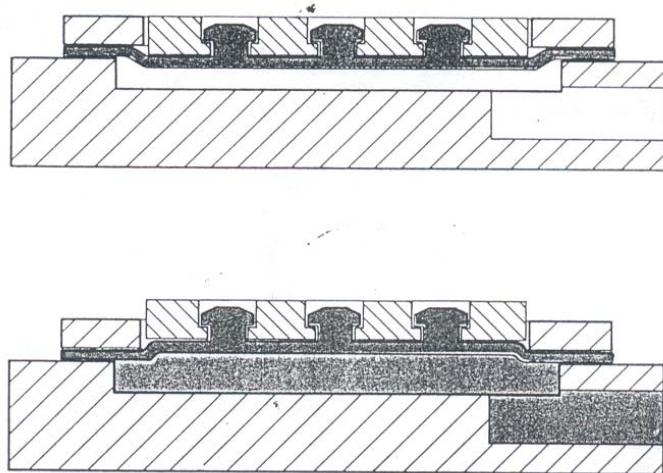
La estanqueidad se logra con un material flexible (perbunano), que recubre el pistón metálico o de material plástico. Durante el movimiento del embolo, los labios de junta se deslizan sobre la pared interna del cilindro.

En la segunda ejecución aquí mostrada, el muelle realiza la carrera de trabajo; aire comprimido hace retornar el vástago a su posición inicial. Así, este tipo de circuitos encuentran una aplicación en frenos de camiones y trenes. Y la ventaja que los lleva a esto es el hecho de que presentan un frenado instantáneo en cuanto falla la energía.

## Cilindros de membrana

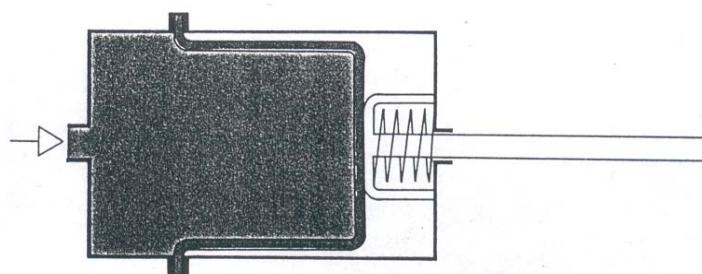
Una membrana de goma, plástico o metal reemplaza aquí al émbolo. El vástago está fijado en el centro de la membrana y no hay piezas estan queizantes que se deslicen; así en este cilindro se produce un rozamiento únicamente por la dilatación del material.

Entonces, la aplicación principal de este tipo de cilindros es en la construcción de dispositivos y herramientas, así como para estampar, remachar y fijar en prensas. Y en la siguiente figura, podemos observar como estan compuestos estos cilindros.



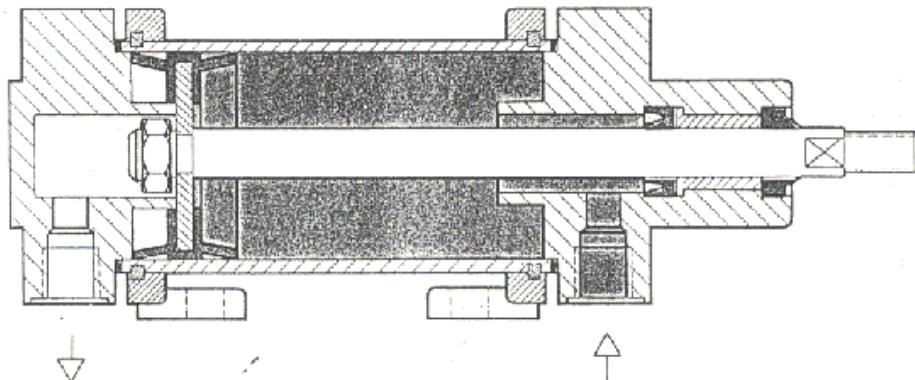
## Cilindros de membrana arrollable.

La construcción de estos cilindros es similar a la de los anteriores. También se emplea una membrana que, cuando está sometida a la presión del aire, se desarrolla a lo largo de la pared interior del cilindro y hace salir el vástago. Las carreras son mucho más importantes que en los cilindros de membrana (aprox. 50:-80 mm). Y son mejores en el hecho de que el rozamiento es mucho menor.



## Cilindros de doble efecto

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno.

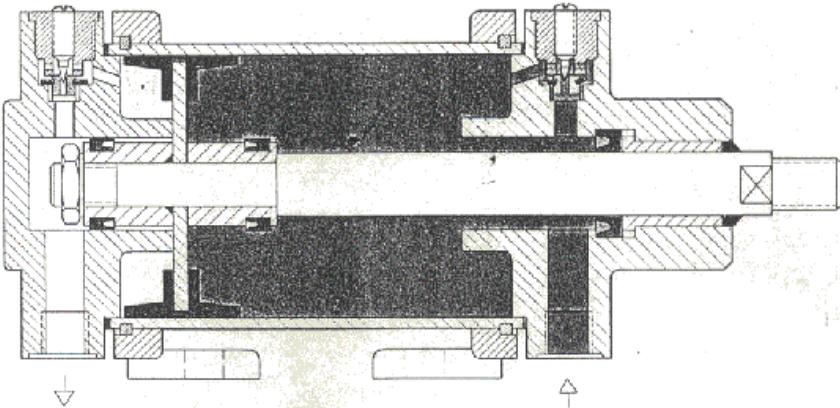


Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. Así, en este cilindro también sirven de empaquetadura los labios y émbolos de las membranas.

## Cilindros con amortiguación interna .

Cuando las masas que traslada un cilindro son grandes, al objeto de evitar un choque brusco y daños se utiliza un sistema de amortiguación que entra en acción momentos antes de alcanzar el final de la carrera. Antes de alcanzar la posición final, un émbolo amortiguador corta la salida directa del aire al exterior. En cambio, se dispone de una sección de escape muy pequeña, a menudo ajustable.

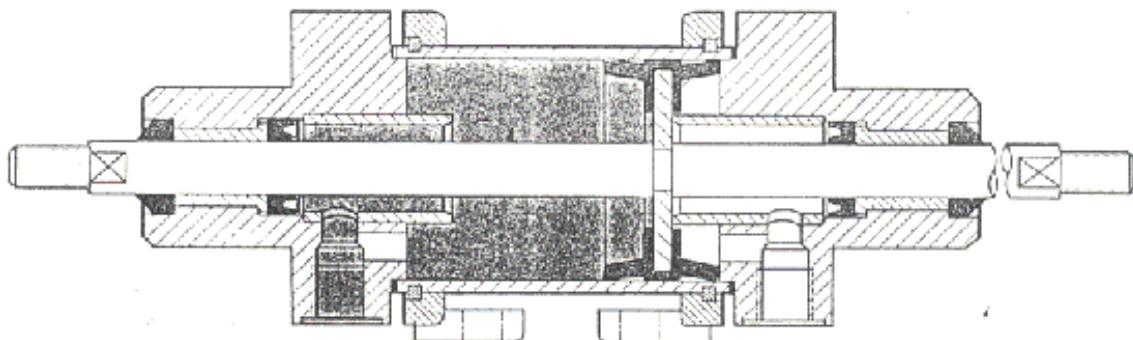
El aire comprimido se comprime más en la última parte de la cámara del cilindro. La sobrepresión producida disminuye con el escape de aire a través, de las válvulas antirretorno y de estrangulación montadas (sección de escape pequeña). El émbolo se desliza lentamente hasta su posición final. En el cambio de dirección del émbolo, el aire entra sin obstáculos en la cámara del cilindro por la válvula antirretorno.



## Cilindros de doble efecto, en ejecución especial.

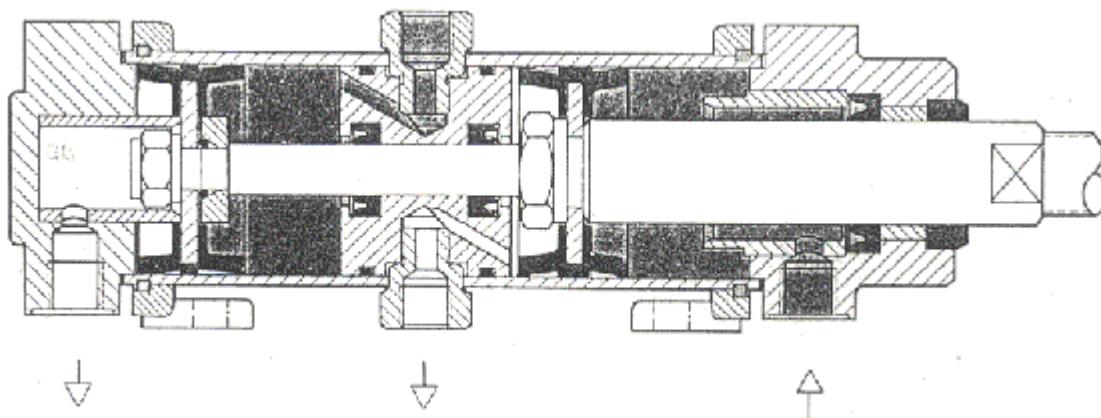
### Cilindros de doble vástago.

Este tipo de cilindros tiene un vástago corrido hacia ambos lados. La guía del vástago es mejor, porque dispone de dos cojinetes y la distancia entre éstos permanece constante. Por eso, este cilindro puede absorber también cargas pequeñas laterales. Los elementos señalizadores pueden disponerse en el lado libre del vástago. La fuerza es igual en los dos sentidos (las superficies del émbolo son iguales).



### Cilindro tandem

Está constituido por dos cilindros de doble efecto que forman una unidad. Gracias a esta disposición, al aplicar simultáneamente presión sobre los dos émbolos se obtiene en el vástago una fuerza de casi el doble de la de un cilindro normal del mismo diámetro. Se utiliza cuando se necesitan fuerzas considerables y se dispone de un espacio determinado, no siendo posible utilizar cilindros de un diámetro mayor.



### Cilindros sin Vástago

Este cilindro neumático de doble efecto está compuesto de una camisa, un émbolo y un carro exterior montado sobre el cilindro. El émbolo puede moverse libremente dentro del cilindro en concordancia con las respectivas señales neumáticas. El émbolo y el carro exterior están provistos de imanes permanentes. La transmisión del movimiento del émbolo hacia el carro se efectúa con la misma fuerza mediante el acoplamiento magnético. En el momento en el

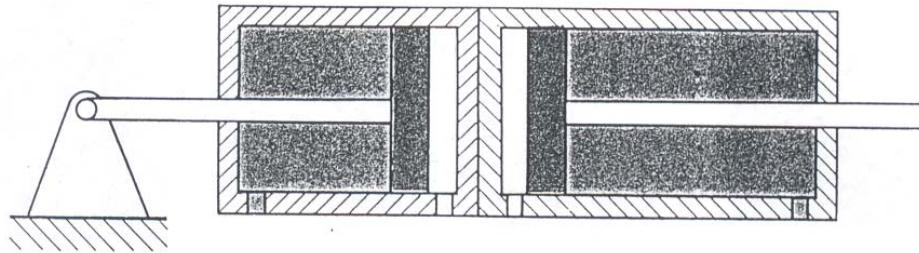
que el émbolo es sometido a presión, el carro se desplaza de modo sincronizado en relación con el émbolo. Este tipo de cilindros es utilizado principalmente para carreras extremadamente largas de hasta 10 metros. En la superficie del carro pueden montarse directamente diversos equipos ó colocarse cargas. La camisa del cilindro está herméticamente cerrada en relación con el carro, puesto que entre los dos no existe conexión mecánica alguna. En consecuencia, tampoco es posible que se produzcan fugas de aire.

## Control de un Cilindro sin Vástago

Con el fin de evitar desplazamientos involuntarios del carro y para poder posicionarlo con exactitud, el mando neumático correspondiente incluye válvulas de antirretorno.

### Cilindro multiposicional

Este cilindro está constituido por dos o más cilindros de doble efecto. Estos elementos están acoplados como muestra el esquema. Según el émbolo al que se aplique presión, actúa uno u otro cilindro. En el caso de dos cilindros de carreras distintas, pueden obtenerse cuatro posiciones.



Aplicación:

- Colocación de piezas en estantes, por medio de cintas de transporte
- Mando de palancas
- Dispositivos de clasificación (piezas buenas, malas y a ser rectificadas).

### Cilindro de impacto

Si se utilizan cilindros normales para trabajos de conformación, las fuerzas disponibles son, a menudo, insuficientes. El cilindro de impacto es conveniente para obtener energía cinética de valor elevado. Según la fórmula de la energía cinética, se puede obtener una gran energía de impacto elevando la velocidad.

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$E = \frac{kgm^2}{s^2} = Nm = Joule$$

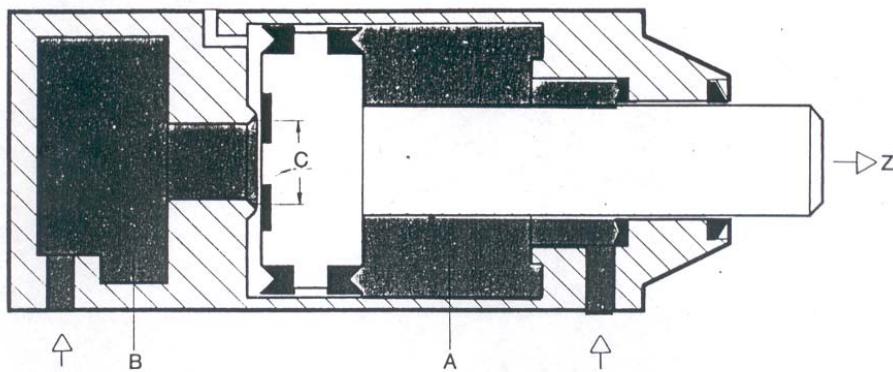
Donde:    m = Masa en kg .  
              v = Velocidad en m/s

Los cilindros de impacto desarrollan una velocidad comprendida entre 7,5 y 10 mis (velocidad normal 1 a 2 m/s). Sólo una concepción especial permite obtener estas velocidades.

La energía de estos cilindros se utiliza para prensar, rebordear, remachar, estampar, etc. La fuerza de impacto es digna de mención en relación con sus dimensiones. En muchos casos, estos cilindros reemplazan a prensas. Según el diámetro del cilindro, pueden obtenerse desde 25 hasta 500 Nm.

Un detalle muy importante de estos cilindros ocurre cuando las carreras de conformación son grandes, la velocidad disminuye rápidamente y, por consiguiente, también la energía de impacto; por eso, estos cilindros no son apropiados cuando se trata de carreras de conformación grandes.

Un cilindro de impacto en corte transversal es el que se muestra en la figura:

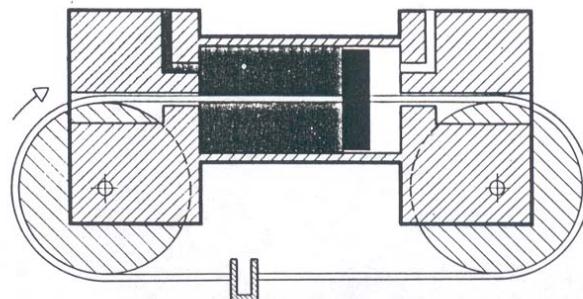


#### Funcionamiento:

La cámara A está sometida a presión. Al accionar una válvula, se forma presión en la cámara 8, y la A se purga de aire. Cuando la fuerza que actúa sobre la superficie C es mayor que la que actúa en la superficie anular de la cámara A, el émbolo se mueve en dirección Z. Al mismo tiempo queda libre toda la superficie del émbolo y la fuerza aumenta. El aire de la cámara 8 puede afluir rápidamente por la sección entonces más grande, y el émbolo sufre una gran aceleración.

#### Cilindro de cable

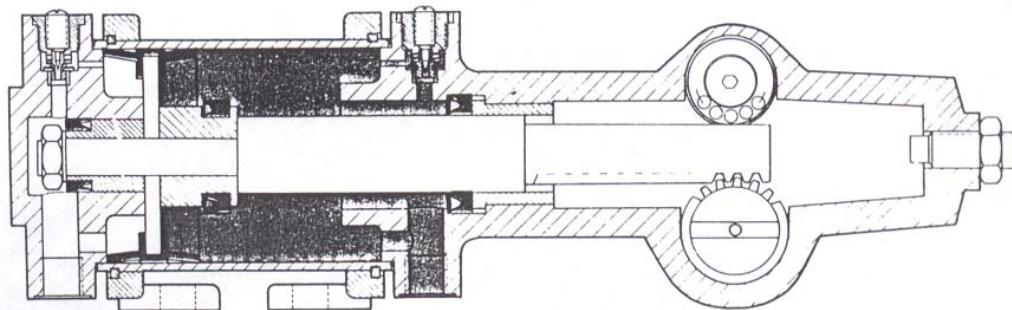
Este es un cilindro de doble efecto. Los extremos de un cable, guiado por medio de poleas, están fijados en ambos lados del émbolo. Este cilindro trabaja siempre con tracción. Aplicación: apertura y cierre de puertas; permite obtener carreras largas, teniendo dimensiones reducidas.



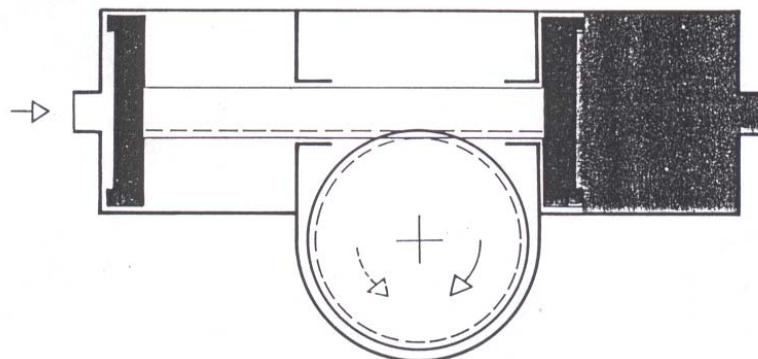
## Cilindro de giro.

En esta ejecución de cilindro de doble efecto, el vástagos es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio hacia la izquierda o hacia la derecha, según el sentido del émbolo. Los ángulos de giro corrientes pueden ser de  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $290^\circ$  hasta  $720^\circ$ . Es posible determinar el margen de giro dentro del margen total por medio de un tornillo de ajuste.

El par de giro es función de la presión, de la superficie del émbolo y de la desmultiplicación. Los accionamientos de giro se emplean para voltear piezas, doblar tubos metálicos, regular acondicionadores de aire, accionar válvulas de cierre, válvulas de tapa, etc.

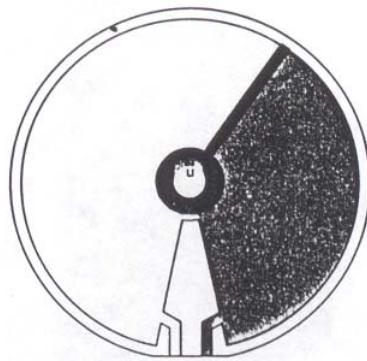


Otra forma de este cilindro es el siguiente:



## Cilindro de émbolo giratorio.

Como los cilindros de giro, éste también puede realizar un movimiento angular limitado, que rara vez sobrepasa los  $300^\circ$ . La estanqueización presenta dificultades y el diámetro o el ancho permiten a menudo obtener sólo pares de fuerza pequeños. Estos cilindros no se utilizan mucho en neumática, pero en hidráulica se ven con frecuencia.



## Cilindros de acción diferencial

Los cilindros de acción diferencial permiten mantener el émbolo en cualquier posición, aplicando presión a ambos lados del mismo o, simplemente, conseguir un movimiento más uniforme en el caso de carreras largas. Para su control hacen falta dos válvulas de bloqueo y un distribuidor 4/2.

Debemos recordar además que, debido a la sección del vástagos, el empuje de los cilindros de doble efecto no suelen ser el mismo en ambas direcciones. En general, las especificaciones técnicas de los cilindros suelen indicar la fuerza que es capaz de efectuar en cada uno de los sentidos en función de la presión aplicada. Dicha fuerza viene dada por:

$$F_s = K \cdot P \cdot S_E \quad (\text{Sentido de salida del vástagos})$$

$$F_i = K \cdot P \cdot (S_E - S_V)$$

(Sentido de entrada del vástagos)

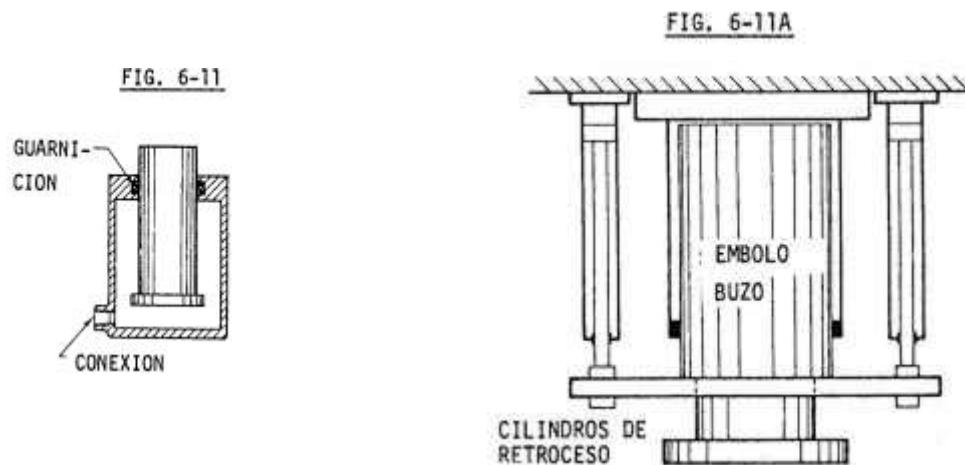
donde  $P$  es la presión,  $S_E$  es la sección del vástagos y  $K$  es el denominado coeficiente de carga, que se suele tomar entre 0,5 y 0,7. En cuanto al comportamiento dinámico, se suelen indicar en las tablas de características los tiempos empleados en efectuar un recorrido en vacío en función de la presión y de las pérdidas de carga o <<longitud equivalente>> del circuito de distribución. La respuesta dinámica en carga dependerá de la masa o inercia que deba moverse. Para suavizar la parada se suelen, además, equipar con amortiguadores al final de la carrera.

## Émbolos buzo

En estos elementos, el fluido desplaza al vástagos que están empaquetados por la guarnición existente en el cabezal delantero.

Para el cálculo de fuerza, el área neta a tomarse en cuenta esta dada por el diámetro de vástagos. Figura 6-11.

Este componente que encuentra su aplicación fundamentalmente en prensas hidráulicas, retorna a su posición original por acción de la gravedad, resortes internos o externos o cilindros adicionales que vemos en la figura 6-11A.



## Cilindros Telescópicos.

Tienen dos o más buzos telescópicos y se construyen con un máximo de seis. Usualmente son de simple efecto del tipo empuje como la figura 6-12, o de doble efecto.

Los buzos se extienden en una secuencia establecida por el área, sale primero el mayor y en forma subsiguiente los de menor diámetro.

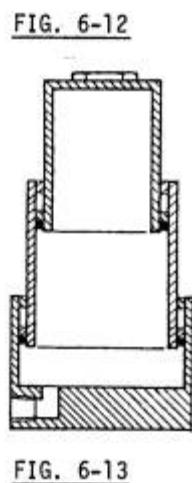


FIG. 6-13

## Cilindros con pistón no rotativo.

Para evitar que el pistón de un cilindro gire durante su carrera pueden emplearse varios métodos a saber:

1 Guías externas

2 Vástago de sección ovalo cuadrada

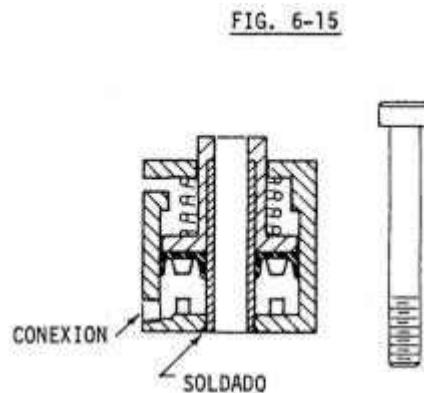
3 Camisa ovalada o cuadrada, o una guía interna como la mostrada en la figura 6-13 que constituye la solución mas corriente y económica, el perno de guía que atraviesa el pistón está empaquetado en este para evitar perdidas de fluido entre cámaras.

Una aplicación típica de un cilindro no rotativo la observamos en la figura 6-14 donde se requiera mantener una posición relativamente alineada.



## Cilindros de vástago hueco.

En este tipo de construcción un orificio pasa de lado a lado el vástago, estos pequeños cilindros se fijan al dispositivo o carga mediante un bulón que los atraviesa, Figura 6-15.



## UNIDAD 5. control por computadora.

### Protocolo HART

#### PROTOCOL OVERVIEW

#### LEADING COMMUNICATION TECHNOLOGY

The HART Protocol is the leading communication technology used with smart process instrumentation today. The HART Protocol continues to grow in popularity and recognition in the industry as a global standard for smart instrument communication. More than two-thirds of all smart instruments shipping today communicate using the HART Protocol.

#### EASY TO USE

HART is field-proven, easy to use and provides highly capable two-way digital communication simultaneously with the 4-20mA analog signaling used by traditional instrumentation equipment.

#### UNIQUE COMMUNICATION SOLUTION

Unlike other digital communication technologies, the HART Protocol provides a unique communication solution that is backward compatible with the installed base of instrumentation in use today. This backward compatibility ensures that investments in existing cabling and current control strategies will remain secure well into the future.

Designed to compliment traditional 4-20mA analog signaling, the HART Protocol supports two way digital communications for process measurement and control devices. Applications include remote process variable interrogation, cyclical access to process data, parameter setting and diagnostics.

#### STRUCTURE

Specification of the HART protocol is based largely on the OSI 7-Layer Communication Model (see Figure 1).

OSI Layer	Function	HART
7	Application	Provides the User with Network Capable Applications
6	Presentation	Converts Application Data Between Network and Local Machine Formats
5	Session	Connection Management Services for Applications
4	Transport	Provides Network Independent, Transparent Message Transfer
3	Network	End to End Routing of Packets, Resolving Network Addresses
2	Data Link	A. Binary, Byte Oriented, Token Passing, Master / Slave Protocol.
1	Physical	Simultaneous Analog & Digital Signaling, Normal 4-20mA Copper Wiring

Figure 1. OSI 7-Layer Model

The HART protocol specifications directly address 3 layers in the OSI model: the Physical, Data Link and Application Layers. The Physical Layer connects devices together and communicates a bit-stream from one device to another. It is concerned with the mechanical and electrical properties of the connection and the medium (the copper wire cable) connecting the devices. Signal characteristics are defined to achieve a raw uncorrected reliability (see the *FSK Physical Layer Specification*).

While the Physical Layer transmits the bit stream, the Data Link Layer is responsible for reliably transferring that data across the channel. It organizes the raw bit stream into packets (framing), adds error detection codes to the data stream and performs Media Access Control (MAC) to insure orderly access to the communication channel by both master and slave devices.

The bit stream is organized into 8-bit bytes that are further grouped into messages. A HART transaction consists of a master command and a slave response. Media access consists of token passing between the devices connected to the channel. The passing of the token is implied by the actual message transmitted. Timers are used to bound the period between transactions. Once the timer expires, control of the channel is relinquished by the owner of the token. For more information see the *Data Link Layer Specification*.

The Application Layer defines the commands, responses, data types and status reporting supported by the Protocol. In addition, there are certain conventions in HART (for example how to trim the loop current) that are also considered part of the Application Layer. While the Command Summary, Common Tables and Command Response Code Specifications all establish mandatory Application Layer practices (e.g. data types, common definitions of data items, and procedures), the Universal Commands specify the minimum Application Layer content of all HART compatible devices.

## PROTOCOL HISTORY

The HART protocol was originated by Rosemount in the late 1980's. HART is an acronym for "Highway Addressable Remote Transducer." The protocol was "open" for other companies to use and a User Group formed in 1990.

In March of 1993, the group voted to create an independent, nonprofit organization to better support the HART Protocol. In July of that year, the HART Communication Foundation was established to provide worldwide support for application of the technology. The Foundation would own the HART technology, manage the protocol standards, and ensure that the technology is openly available for the benefit of the industry.

Today, the HCF manages the protocol standards and the protocol intellectual property, holds training workshops, distributes CD-ROMs for information dissemination, publishes a quarterly newsletter, is online with a highly visited web site and sponsors HART exhibit booths at trade shows around the globe each year. The HART Protocol is supported by all major instrumentation suppliers and available products cover the full range of process measurement and control applications.

As we move into the new century, the HCF will continue to support and enhance the HART technology to serve industry needs for smart instrumentation. Millions of HART installations exist today and applications are growing. Sales of compatible devices will continue to

accelerate as the protocol remains a key tool for improving plant operations. The future of the HART Protocol is strong and the technology will be continue to be widely used.

## HART COMMUNICATIONS BENEFITS

### 35-40 data items Standard in every HART device

- Device Status & Diagnostic Alerts
- Process Variables & Units
- Loop Current & % Range
- Basic Configuration Parameters
- Manufacturer & Device Tag

### Standard commands provide easy access

DDL not necessary (or desirable) to get this data

### Increases control system integrity

- Get early warning of device problems
- Use capability of multi-variable devices
- Automatically track and detect changes (mismatch) in Range or Engineering Units
- Validate PV and Loop Current values at control system against those from device

### HART is Safe, Secure, and Available

- Tested and Accepted global standard
- Supported by all major instrumentation manufacturers

### Saves Time and Money

- Install and commission devices in fraction of the time
- Enhanced communications and diagnostics reduce maintenance & downtime
- Low or no additional cost by many suppliers

### Improves Plant Operation and Product Quality

- Additional process variables and performance indicators
- Continuous device status for early detection of warnings and errors
- Digital capability ensures easy integration with plant networks

### Protects Your Asset Investments

- Compatible with existing instrumentation systems, equipment and people
- Allows benefits to be achieved incrementally
- No need to replace entire system

<b>HART DEVICE PARAMETERS</b>	
<b>Digital Process Variable Values</b>	Primary Variable with engineering units Secondary Process Variables with engineering units Loop Current (milliamps) and percent range
<b>Status and Diagnostic</b>	Device malfunction Primary Variable out of limits Secondary Variable out of limits Loop Current fixed or saturated Configuration changed Loop test (force loop current)
<b>Device Identification</b>	Instrument tag and descriptor Manufacturer Device type and revision Final assembly number Sensor serial number
<b>Calibration Information</b>	Date Range units Upper and lower range values Upper and lower sensor limits Sensor min span Damping Message

TECHNICAL INFORMATION Communication Signals	Type of communication	Signal.
	Traditional Analog	4-20 ma
	Digital	Fsk, based on the Bell 202 Telephone communication standard
	Logical "0" frequency	2,200 hz
	Logical "1" frequency	1,200hz
Data Information	<p>Data update rate:            Request/response mode—2–3 updates per second            Optional burst mode—3–4 updates per second</p> <p>Data byte structure:            1 start bit, 8 data bits, 1 odd parity bit, 1 stop bit</p> <p>Data integrity:            Two-dimensional error checking            Status information in every reply message</p>	
Simple Command Structure	Type of commands	Structure.
	Universal	Common to all devices
	Common practice	Optional, used by many devices
	Device specific	For unique product features
Communication Masters	Two communication masters	
Variables	Up to 256 variables per device IEEE 754 floating point format (32 bits) with engineering units	
Wiring Topologies	Point to point--simultaneous analog and digital Point to point--digital only Multidrop network--digital only (up to 15 devices)	
Cable Lengths	Maximum twisted-pair length--10,000 ft (3,048 m) Maximum multiple twisted-pair length--5,000 ft (1,524 m) Cable length depends on characteristics of individual products/cable; see specifications for detailed length calculations	
Intrinsically Safe	With appropriate barrier/isolator	

## Glosario.

Select the first letter of the desired search item. We will then display the matching terms that begin with that letter.

[A](#) [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [K](#) [L](#) [M](#) [N](#) [O](#) [P](#) [Q](#) [R](#) [S](#) [T](#) [U](#) [V](#) [W](#) [X](#) [Y](#) [Z](#)

### A

**Absolute Pressure Transducer:** A transducer which measures pressure in relation to zero pressure (a vacuum on one side of the diaphragm).

**Absolute Pressure:** Gage pressure plus atmospheric pressure.

**Absolute Zero:** Temperature at which thermal energy is at a minimum. Defined as 0 Kelvin, calculated to be -273.15°C or -459.67°F.

**ac:** Alternating current; an electric current that reverses its direction at regularly recurring intervals.

**Acceleration:** A change in the velocity of a body or particle with respect to time. The parameter that an accelerometer measures ( $dv/dt$ ). Units expressed in "g".

**Accelerometer:** A device which converts the effects of mechanical motion into an electrical signal that is proportional to the acceleration value of the motion. A sensor. A transducer.

**Accuracy:** The closeness of an indication or reading of a measurement device to the actual value of the quantity being measured. Usually expressed as  $\pm$  percent of full scale output or reading.

**Acoustics:** The degree of sound. The nature, cause, and phenomena of the vibrations of elastic bodies; which vibrations create compressional waves or wave fronts which are transmitted through various media, such as air, water, wood, steel, etc.

**Activity (ai):** A thermodynamic term for the apparent or active concentration of a free ion in solution. It is related to concentration by the activity coefficient.

**Activity Coefficient (fi):** A ratio of the activity of species  $i(ai)$  to its molality (C). It is a correction factor which makes the thermodynamic calculations correct. This factor is dependent on ionic strength, temperature, and other parameters.

Individual ionic activity coefficients,  $f_+$  for cation and  $f_-$  for an anion, cannot be derived thermodynamically. They can be calculated only by using the Debye-Hückel law for low concentration solutions in which the interionic forces depend primarily on charge, radius, and distribution of the ions and on the dielectric constant of the medium rather than on the chemical properties of the ions.

Mean ionic activity coefficient ( $f\pm$ ) or the activity of a salt, on the other hand, can be measured by a variety of techniques such as freezing point depression and vapor pressure as well as paired sensing electrodes. It is the geometric mean of the individual ionic activity coefficients:  $f\pm = (f_+n+f_--n)/1/n$

**Adapter:** A mechanism or device for attaching non-mating parts.

**ADC:** Analog-to-Digital Converter: an electronic device which converts analog signals to an equivalent digital form, in either a binary code or a binary-coded-decimal code. When used for dynamic waveforms, the sampling rate must be high to prevent aliasing errors from occurring.

**Address:** The label or number identifying the memory location where a unit of information is stored.

**Aliasing:** If the sample rate of a function ( $f_s$ ) is less than two times the highest frequency value of the function, the frequency is ambiguously presented. The frequencies above ( $f_s/2$ ) will be folded back into the lower frequencies producing erroneous data.

**Alloy 11:** A compensating alloy used in conjunction with pure copper as the negative leg to form extension wire for platinum-platinum rhodium thermocouples Types R and S.

**Alloy 200/226:** The combination of compensating alloys used with tungsten vs. tungsten 26% rhenium thermocouples as extension cable for applications under 200°C.

**Alloy 203/225:** The combination of compensating alloys used with tungsten 3% rhenium vs. tungsten 150 rhenium thermocouples as extension cable for applications under 200°C.

**Alloy 405/426:** The combination of compensating alloys used with tungsten 5% rhenium vs. tungsten 26% rhenium thermocouples as extension cable for applications under 870°C.

**ALOMEGA®** An aluminum nickel alloy used in the negative leg of a type K thermocouple (registered trademarks of OMEGA ENGINEERING, INC.).

**Alphanumeric:** A character set that contains both letters and digits.

**ALU:** Arithmetic Logic Unit. The part of a CPU where binary data is acted upon with mathematical operations.

**Alumel:** An aluminum nickel alloy used in the negative leg of a Type K thermocouple (Trade name of Hoskins Manufacturing Company).

**Ambient Compensation:** The design of an instrument such that changes in ambient temperature do not affect the readings of the instrument.

**Ambient Conditions:** The conditions around the transducer (pressure, temperature, etc.).

**Ambient Pressure:** Pressure of the air surrounding a transducer.

**Ambient Temperature:** The average or mean temperature of the surrounding air which comes in contact with the equipment and instruments under test.

**Ammeter:** An instrument used to measure current.

**Ampere (amp):** A unit used to define the rate of flow of electricity (current) in a circuit; units are one coulomb ( $6.25 \times 10^8$  electrons) per second.

**Amplifier:** A device which draws power from a source other than the input signal and which produces as an output an enlarged reproduction of the essential features of its input.

**Amplitude Span:** The Y-axis range of a graphic display of data in either the time or frequency domain. Usually a log display (dB) but can also be linear.

**Amplitude:** A measurement of the distance from the highest to the lowest excursion of motion, as in the case of mechanical body in oscillation or the peak-to-peak swing of an electrical waveform.

**Analog Output:** A voltage or current signal that is a continuous function of the measured parameter.

**Analog-to-Digital Converter (A/D or ADC):** A device or circuit that outputs a binary number corresponding to an analog signal level at the input.

**Anemometer:** An instrument for measuring and/or indicating the velocity of air flow.

**Angstrom:** Ten to the minus tenth meters ( $10^{-10}$ ) or one millimicron, a unit used to define the wave length of light. Designated by the symbol  $\text{\AA}$ .

**Angular Frequency:** The motion of a body or a point moving circularly, referred to as the circular frequency  $\Omega$  which is the frequency in cycles per second (cps) multiplied by the term (2) and expressed in radians per second ( $2\pi f$ ).

**Anion:** A negatively charged ion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{S}_2^-$  etc.)

**ANSI:** American National Standards Institute.

**Anti-reset Windup:** This is a feature in a three-mode PID controller which prevents the integral (auto reset) circuit from functioning when the temperature is outside the proportional band.

**Application Program:** A computer program that accomplishes specific tasks, such as word processing.

**ASCII:** American Standard Code for Information Interchange. A seven or eight bit code used to represent alphanumeric characters. It is the standard code used for communications between data processing systems and associated equipment.

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers.

**Assembler:** A program that translates assembly language instructions into machine language instructions.

**Assembly Language:** A machine oriented language in which mnemonics are used to represent each machine language instruction. Each CPU has its own specific assembly language.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials.

**Asymmetry Potential:** The potential developed across the glass membrane with identical solutions on both sides. Also a term used when comparing glass electrode potential in pH 7 buffer.

**Asynchronous:** A communication method where data is sent when it is ready without being referenced to a timing clock, rather than waiting until the receiver signals that it is ready to receive.

**ATC:** Automatic temperature compensation.

**Auto-Zero:** An automatic internal correction for offsets and/or drift at zero voltage input.

**Automatic Reset:** 1. A feature on a limit controller that automatically resets the controller when the controlled temperature returns to within the limit bandwidth set. 2. The integral function on a PID controller which adjusts the proportional bandwidth with respect to the set point to compensate for droop in the circuit, i.e., adjusts the controlled temperature to a set point after the system stabilizes.

**AWG:** American Wire Gage.

**Axis of Rotation (Spin Axis):** The axis of rotation (spin axis) is that straight line about which a body rotates.

**B**

**Background Noise:** The total noise floor from all sources of interference in a measurement system, independent of the presence of a data signal.

**Backup:** A system, device, file or facility that can be used as an alternative in case of a malfunction or loss of data.

**Bandwidth:** A symmetrical region around the set point in which proportional control occurs.

**Basic Transportation Reference:** The basic transportation section of the U.S. Government Test Specification MIL-STD-810D, Method 514.3, Paragraph I-3.2.1, Page 514.3-5. Basic transportation defines the test profiles that have been defined for equipment that is shipped as secured cargo; by land, by sea or by air. The test levels are based upon land transport stress levels because these are higher than stresses imposed by air or sea transportation environments.

**Basic:** A high-level programming language designed at Dartmouth College as a learning tool. Acronym for Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code.

**Baud:** A unit of data transmission speed equal to the number of bits (or signal events) per second; 300 baud = 300 bits per second.

**BCD, Buffered:** Binary-coded decimal output with output drivers, to increase line-drive capability.

**BCD, Parallel:** A digital data output format where every decimal digit is represented by binary signals on four lines and all digits are presented in parallel. The total number of lines is 4 times the number of decimal digits.

**BCD, Serial:** A digital data output format where every decimal digit is represented by binary signals on four lines and up to five decimal digits are presented sequentially. The total number of lines is four data lines plus one strobe line per digit.

**BCD, Three-State:** An implementation of parallel BCD, which has 0, 1 and high-impedance output states. The high-impedance state is used when the BCD output is not addressed in parallel connect applications.

**Bearing:** A part which supports a journal and in which a journal revolves.

**Beat Frequency:** Beat frequencies are periodic vibrations that result from the addition and subtraction of two or more sinusoids. For example, in the case of two turbine aircraft engines that are rotating at nearly the same frequency but not precisely at the same frequency; Four frequencies are generated:(f1) the rotational frequency of turbine one, (f2) the rotational frequency of turbine two, (f1 + f2) the sum of turbine rotational frequencies one and two, and (f1 - f2) which is the difference or "beat" frequency of turbines one and two. The difference of the two frequencies is the lower frequency and is the one that is "felt" as a beat or "wow" in this case.

**Beryllia:** BeO (Beryllium Oxide) A high-temperature mineral insulation material; toxic when in powder form.

**Best Fit Straight Line (BFSL):** A line midway between two parallel straight lines enclosing all output vs. pressure values.

**Beta Ratio:** The ratio of the diameter of a pipeline constriction to the unstricted pipe diameter.

**BIAS Current:** A very low-level DC current generated by the panel meter and superimposed on the signal. This current may introduce a measurable offset across a very high source impedance.

**Binary Coded Decimal (BCD):** The representation of a decimal number (base 10, 0 through 9) by means of a 4 bit binary nibble.

**Binary:** Refers to base 2 numbering system, in which the only allowable digits are 0 and 1. Pertaining to a condition that has only two possible values or states.

**BIOS:** Acronym for basic input/output system. The commands used to tell a CPU how it will communicate with the rest of the computer.

**Bipolar:** The ability of a panel meter to display both positive and negative readings.

**Bit:** Acronym for binary digit. The smallest unit of computer information, it is either a binary 0 or 1.

**Blackbody:** A theoretical object that radiates the maximum amount of energy at a given temperature, and absorbs all the energy incident upon it. A blackbody is not necessarily black. (The name blackbody was chosen because the color black is defined as the total absorption of light energy.)

**BNC:** A quick disconnect electrical connector used to inter-connect and/or terminate coaxial cables.

**Boiling Point:** The temperature at which a substance in the liquid phase transforms to the gaseous phase; commonly refers to the boiling point of water which is 100°C (212°F) at sea level.

**BPS:** Bits per second.

**Breakdown Voltage Rating:** The dc or ac voltage which can be applied across insulation portions of a transducer without arcing or conduction above a specific current value.

**Bridge Resistance:** See Input impedance and Output impedance.

**BTU:** British thermal units. The quantity of thermal energy required to raise one pound of water at its maximum density, 1 degree F. One BTU is equivalent to .293 watt hours, or 252 calories. One kilowatt hour is equivalent to 3412 BTU.

**Buffer Capacity (B):** A measure of the ability of the solution to resist pH change when a strong acid or base is added.

**Buffer:** 1. A storage area for data that is used to compensate for a speed difference, when transferring data from one device to another. Usually refers to an area reserved for I/O operations, into which data is read, or from which data is written.2. Any substance or combination of substances which, when dissolved in water, produces a solution which resists a change in its hydrogen ion concentration on the addition of an acid or alkali.

**Bulb (Liquid-in-Glass Thermometer):** The area at the tip of a liquid-in-glass thermometer containing the liquid reservoir.

**Burn-In:** A long term screening test (either vibration, temperature or combined test) that is effective in weeding out infant mortalities because it simulates actual or worst case operation of the device, accelerated through a time, power, and temperature relationship.

**Burst Pressure:** The maximum pressure applied to a transducer sensing element or case without causing leakage.

**Burst Proportioning:** A fast-cycling output form on a time proportioning controller (typically adjustable from 2 to 4 seconds) used in conjunction with a solid state relay to prolong the life of heaters by minimizing thermal stress.

**Bus:** Parallel lines used to transfer signals between devices or components. Computers are often described by their bus structure (i.e., S-100, IBM PC).

**Byte:** The representation of a character in binary. Eight bits.

**C**

**Calender-van Dusen Equation:** An equation that defines the resistance-temperature value of any pure metal that takes the form of  $RT = RO(1 + AT + BT^2)$  for values between the ice point ( $0^\circ\text{C}$ ) and the freezing point of antimony ( $630.7^\circ\text{C}$ ) and the form  $RT = RO[1 + AT + BT^2 + C(T-100)T^2]$  between the oxygen point ( $-183.0^\circ\text{C}$ ) and the ice point ( $0^\circ\text{C}$ ).

**Calibration:** The process of adjusting an instrument or compiling a deviation chart so that its reading can be correlated to the actual value being measured.

**Calorie:** The quantity of thermal energy required to raise one gram of water  $1^\circ\text{C}$  at  $15^\circ\text{C}$ .

**Cation:** A positively charged ion ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ).

**Cavitation:** The boiling of a liquid caused by a decrease in pressure rather than an increase in temperature.

**Celsius (centigrade):** A temperature scale defined by  $0^\circ\text{C}$  at the ice point and  $100^\circ\text{C}$  at boiling point of water at sea level.

**Center of Gravity (Mass Center):** The center of gravity of a body is that point in the body through which passes the resultant of weights of its component particles for all orientations of the body with respect to a uniform gravitational field.

**Centripetal Force:** A force exerted on an object moving in a circular path which is exerted inward toward the center of rotation.

**Ceramic Insulation:** High-temperature compositions of metal oxides used to insulate a pair of thermocouple wires. The most common are Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Beryllia ( $\text{BeO}$ ), and Magnesia ( $\text{MgO}$ ). Their application depends upon temperature and type of thermocouple. High-purity alumina is required for platinum alloy thermocouples. Ceramic insulators are available as single and multihole tubes or as beads.

**Ceramic:** Polycrystalline ferroelectric materials which are used as the sensing units in piezoelectric accelerometers. There are many different grades, all of which can be made in various configurations to satisfy different design requirements.

**CFM:** The volumetric flow rate of a liquid or gas in cubic feet per minute.

**Character:** A letter, digit or other symbol that is used as the representation of data. A connected sequence of characters is called a character string.

**Charge Sensitivity:** For accelerometers that are rated in terms of charge sensitivity, the output voltage ( $V$ ) is proportional to the charge ( $Q$ ) divided by the shunt capacitance ( $C$ ). This type of accelerometer is characterized by a high output impedance. The sensitivity is given in terms of charge; picocoulombs per unit of acceleration ( $g$ ).

**Chatter:** The rapid cycling on and off of a relay in a control process due to insufficient bandwidth in the controller.

**CHROMEGA®:** A chromium-nickel alloy which makes up the positive leg of type K and type E thermocouples (registered trademarks of OMEGA ENGINEERING, INC.).

**Clear:** To restore a device to a prescribed initial state, usually the zero state.

**Clipping:** The term applied to the phenomenon which occurs when an output signal is limited in some way by the full range of an amplifier, ADC or other device. When this occurs, the signal is flattened at the peak values, the signal approaches the shape of a square wave, and high frequency components are introduced. Clipping may be hard, as is the case when the signal is strictly limited at some level; or it may be soft, in which case the clipping signal continues to follow the input at some reduced gain.

**Clock:** The device that generates periodic signals for synchronization.

**Closeness of Control:** Total temperature variation from a desired set point of system. Expressed as "closeness of control" is  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  or a system bandwidth with  $4^{\circ}\text{C}$ , also referred to as amplitude of deviation.

**CMR (Common-Mode Rejection):** The ability of a panel meter to eliminate the effect of AC or DC noise between signal and ground. Normally expressed in dB at dc to 60 Hz. One type of CMR is specified between SIG LO and PWR GND. In differential meters, a second type of CMR is specified between SIG LO and ANA GND (METER GND).

**CMV (Common-Mode Voltage):** The AC or DC voltage which is tolerable between signal and ground. One type of CMV is specified between SIG LO and PWR GND. In differential meters, a second type of CMV is specified between SIG HI or LO and ANA GND (METER GND).

**Coherence Function.:** A frequency domain function computed to show the degree of a linear, noise-free relationship between a system's input and output. The value of the coherence function ranges between zero and one, where a value of zero indicates there is no causal relationship between the input and the output. A value of one indicates the existence of linear noise-free frequency response between the input and the output.

**Color Code:** The ANSI established color code for thermocouple wires in the negative lead is always red. Color Code for base metal thermocouples is yellow for Type K, black for Type J, purple for Type E and blue for Type T.

**Common Mode Rejection Ratio:** The ability of an instrument to reject interference from a common voltage at its input terminals with relation to ground. Usually expressed in db (decibels).

**Common Mode:** The output form or type of control action used by a temperature controller to control temperature, i.e. on/off, time proportioning, PID.

**Communication:** Transmission and reception of data among data processing equipment and related peripherals.

**Compensated Connector:** A connector made of thermocouple alloys used to connect thermocouple probes and wires.

**Compensating Alloys:** Alloys used to connect thermocouples to instrumentation. These alloys are selected to have similar thermal electric properties as the thermocouple alloys (however, only over a very limited temperature range).

**Compensating Loop:** Lead wire resistance compensation for RTD elements where an extra length of wire is run from the instrument to the RTD and back to the instrument, with no connection to the RTD.

**Compensation:** An addition of specific materials or devices to counteract a known error.

**Compiler:** A program that translates a high-level language, such as Basic, into machine language.

**Complex Function:** Any mathematically defined relationship given by the following expression:

$$y(x) = a(x) + ib(x)$$

Where:

x = the real variable

a(x) = the real part of y(x)

b(x) = the imaginary part of y(x)

Complex functions are usually expressed in terms of both their amplitude and phase.

**Complex Wave:** The resultant form of a number of sinusoidal waves that are summed together forming a periodic wave. Such waves may be analyzed in the frequency domain to readily determine their component parts.

**Conductance:** The measure of the ability of a solution to carry an electrical current. (See Equivalent Conductance)

**Conduction:** The conveying of electrical energy or heat through or by means of a conductor.

**Confidence Level:** The range (with a specified value of uncertainty, usually expressed in percent) within which the true value of a measured quantity exists.

**Conformity Error:** For thermocouples and RTDs, the difference between the actual reading and the temperature shown in published tables for a specific voltage input.

**Connection Head:** An enclosure attached to the end of a thermocouple which can be cast iron, aluminum or plastic within which the electrical connections are made.

**Constantan:** A copper-nickel alloy used as the negative lead in Type E, Type J, and Type T thermocouples.

**Continuous Spectrum:** A frequency spectrum that is characterized by non-periodic data. The spectrum is continuous in the frequency domain and is characterized by an infinite number of frequency components.

**Control Character:** A character whose occurrence in a particular context starts, modifies or stops an operation that effects the recording, processing, transmission or interpretation of data.

**Control Mode:** The output form or type of control action used by a temperature controller to control temperature, i.e., on/off, time proportioning, PID.

**Control Point:** The temperature at which a system is to be maintained.

**Convection:** 1. The circulatory motion that occurs in a fluid at a non-uniform temperature owing to the variation of its density and the action of gravity. 2. The transfer of heat by this automatic circulation of fluid.

**Coriolis Force:** A result of centripetal force on a mass moving with a velocity radially outward in a rotating plane.

**Correction (Balancing) Plane:** A plane perpendicular to the shaft axis of a rotor in which correction for unbalance is made.

**Coulomb Sensitivity:** Charge/unit acceleration, expressed in  $\text{Pc/g}$  (charge sensitivity).

**Coulomb:** A measurement of the quantity of electrical charge, usually expressed as pico coulomb ( $10^{-12}$  coulombs).

**Counter Weight:** A weight added to a body so as to reduce a calculated unbalance at a desired place.

**Counts:** The number of time intervals counted by the dual-slope A/D converter and displayed as the reading of the panel meter, before addition of the decimal point.

**CPS:** Cycles per second; the rate or number of periodic events in one second, expressed in Hertz (Hz).

**CPU:** Central processing unit. The part of the computer that contains the circuits that control and perform the execution of computer instructions.

**Critical Damping:** Critical damping is the smallest amount of damping at which a given system is able to respond to a step function without overshoot.

**Critical Speed:** The rotational speed of the rotor or rotating element at which resonance occurs in the system. The shaft speed at which at least one of the "critical" or natural frequencies of a shaft is excited.

**Cryogenics:** Measurement of temperature at extremely low values, i.e., below -200°C.

**CSA:** Canadian Standards Administration.

**Cure Point:** The temperature at which a normally magnetic material goes through a magnetic transformation and becomes non-magnetic.

**Current Proportioning:** An output form of a temperature controller which provides a current proportional to the amount of control required. Normally is a 4 to 20 milliamp current proportioning band.

**Current:** The rate of flow of electricity. The unit of the ampere (A) defined as 1 ampere = 1 coulomb per second.

**Curve Fitting:** Curve fitting is the process of computing the coefficients of a function to approximate the values of a given data set within that function. The approximation is called a "fit". A mathematical function, such as a least squares regression, is used to judge the accuracy of the fit.

**Cycle Time:** The time usually expressed in seconds for a controller to complete one on/off cycle.

**D**

**Damping:** The reduction of vibratory movement through dissipation of energy. Types include viscous, coulomb, and solid.

**Data Base:** A large amount of data stored in a well-organized manner. A data base management system (DBMS) is a program that allows access to the information.

**dB (Decibel):** 20 times the log to the base 10 of the ratio of two voltages. Every 20 dBs correspond to a voltage ratio of 10, every 10 dBs to a voltage ratio of 3.162. For instance, a CMR of 120 dB provides voltage noise rejection of 1,000,000/1. An NMR of 70 dB provides voltage noise rejection of 3,162/1.

**DC:** Direct current; an electric current flowing in one direction only and substantially constant in value.

**Dead Band:** 1. For chart records: the minimum change of input signal required to cause a deflection in the pen position. 2. For temperature controllers: the temperature band where heat is turned off upon rising temperature and turned on upon falling temperature expressed in degrees. The area where no heating (or cooling) takes place.

**Dead Volume:** The volume of the pressure port of a transducer at room temperature and ambient barometric pressure.

**Debug:** To find and correct mistakes in a program.

**Debye-Hückel Equation:** Used in relating the activity coefficient ( $f_i$ ) to ion strength (see Activity coefficient): where  $I$  is the ionic strength,  $A$  and  $B$  the temperature-dependent constants (see Table A.5),  $Z_i$  the valence of the ion ( $i$ ), and  $\bar{A}$  the ion-size parameter in angstroms.

**Decimal:** Refers to a base ten number system using the characters 0 through 9 to represent values.

**Default:** The value(s) or option(s) that are assumed during operation when not specified.

**Degree:** An incremental value in the temperature scale, i.e., there are 100 degrees between the ice point and the boiling point of water in the Celsius scale and 180°F between the same two points in the Fahrenheit scale.

**Density:** Mass per unit of volume of a substance. I.E.: grams/cu.cm. or pounds/cu.ft.

**Derivative:** The derivative function senses the rate of rise or fall of the system temperature and automatically adjusts the cycle time of the controller to minimize overshoot or undershoot.

**Deviation:** The difference between the value of the controlled variable and the value at which it is being controlled.

**Diaphragm:** The sensing element consisting of a membrane which is deformed by the pressure differential applied across it.

**Dielectric Constant:** Related to the force of attraction between two opposite charges separated by a distance in a uniform medium.

**Differential Input:** A signal-input circuit where SIG LO and SIG HI are electrically floating with respect to ANALOG GND (METER GND, which is normally tied to DIG GND). This allows the measurement of the voltage difference between two signals tied to the same ground and provides superior common-mode noise rejection.

**Differential Pressure:** The difference in static pressure between two identical pressure taps at the same elevation located in two different locations in a primary device.

**Differential:** For an on/off controller, it refers to the temperature difference between the temperature at which the controller turns heat off and the temperature at which the heat is turned back on. It is expressed in degrees.

**Digit:** A measure of the display span of a panel meter. By convention, a full digit can assume any value from 0 through 9, a 1/2-digit will display a 1 and overload at 2, a 3/4-digit will display digits up to 3 and overload at 4, etc. For example, a meter with a display span of  $\pm 3999$  counts is said to be a 3-3/4 digit meter.

**Digital Output:** An output signal which represents the size of an input in the form of a series of discrete quantities.

**Digital-to-Analog Converter (D/A or DAC):** A device or circuit to convert a digital value to an analog signal level.

**DIN (Deutsche Industrial Norm):** A set of German standards recognized throughout the world. The 1/8 DIN standard for panel meters specifies an outer bezel dimension of 96 x 48 mm and a panel cutout of 92 x 45 mm.

**DIN 43760:** The standard that defines the characteristics of a 100 ohm platinum RTD having a resistance vs. temperature curve specified by  $a = 0.00385$  ohms per degree.

**Discharge Time Constant:** The time required for the output-voltage from a sensor or system to discharge 37% of its original value in response to a zero rise time step function input. This parameter determines a low frequency response.

**Disk Operating System (DOS):** Program used to control the transfer of information to and from a disk, such as MS DOS.

**Displacement:** The measured distance traveled by a point from its position at rest. Peak to peak displacement is the total measured movement of a vibrating point between its positive and negative extremes. Measurement units expressed as inches or millinches.

**Dissipation Constant:** The ratio for a thermistor which relates a change in internal power dissipation to a resultant change of body temperature.

**Dissociation Constant (K):** A value which quantitatively expresses the extent to which a substance dissociates in solution. The smaller the value of K, the less dissociation of the species in solution. This value varies with temperature, ionic strength, and the nature of the solvent.

**DMA:** Acronym direct memory access. A high speed data storage mode of the IBM PC.

**Double Precision:** The degree of accuracy that requires two computer words to represent a number. Numbers are stored with 17 digits of accuracy and printed with up to 16 digits.

**Drift:** A change of a reading or a set point value over long periods due to several factors including change in ambient temperature, time, and line voltage.

**Droop:** A common occurrence in time-proportional controllers. It refers to the difference in temperature between the set point and where the system temperature actually stabilizes due to the time-proportioning action of the controller.

**Dual Element Sensor:** A sensor assembly with two independent sensing elements.

**Dual-slope A/D Converter:** An analog-to-digital converter which integrates the signal for a specific time, then counts time intervals for a reference voltage to bring the integrated signal back to zero. Such converters provide high resolution at low cost, excellent normal-mode noise rejection, and minimal dependence on circuit elements.

**Duplex Wire:** A pair of wires insulated from each other and with an outer jacket of insulation around the inner insulated pair.

**Duplex:** Pertaining to simultaneous two-way independent data communication transmission in both direction. Same as "full duplex".

**Duty Cycle:** The total time to one on/off cycle. Usually refers to the on/off cycle time of a temperature controller.

**Dynamic (Two-Plane) Balancing Machine:** A dynamic balancing machine is a centrifugal balancing machine that furnishes information for performing two-plane balancing.

**Dynamic Calibration:** Calibration in which the input varies over a specific length of time and the output is recorded vs. time.

**Dynamic Pressure:** The difference in pressure levels from static pressure to stagnation pressure caused by an increase in velocity. Dynamic pressure increases by the square of the velocity.

**Dynamic Unbalance:** Dynamic unbalance is that condition in which the central principal axis is not coincident with the shaft axis.

**E**

**Echo:** To reflect received data to the sender. For example, keys depressed on a keyboard are usually echoed as characters displayed on the screen.

**Electrical Interference:** Electrical noise induced upon the signal wires that obscures the wanted information signal.

**Electrode Potential (E):** The difference in potential established between an electrode and a solution when the electrode is immersed in the solution.

**Electrode:** See Isopotential point.

**Electrolyte:** Any substance which, when in solution will conduct an electric current. Acids, bases, and salts are common electrolytes.

**Electromotive Force (emf):** The potential difference between the two electrodes in a cell. The cell emf is the cell voltage measured when no current is flowing through the cell. It can be measured by means of a pH meter with high input impedance.

**Electronic Industries Association (EIA):** A standards organization specializing in the electrical and functional characteristics of interface equipment.

**EMF:** Electromotive force. A rise in (electrical) potential energy. The principal unit is the volt.

**EMI:** Electromagnetic interference.

**Emissivity:** The ratio of energy emitted by an object to the energy emitted by a blackbody at the same temperature. The emissivity of an object depends upon its material and surface texture; a polished metal surface can have an emissivity around 0.2 and a piece of wood can have an emissivity around 0.95.

**End Point (Potentiometric):** The apparent equivalence point of a titration at which a relatively large potential change is observed.

**End Points:** The end points of a full scale calibration curve.

**Endothermic:** Absorbs heat. A process is said to be endothermic when it absorbs heat.

**Enthalpy:** The sum of the internal energy of a body and the product of its volume multiplied by the pressure.

**Environmental Conditions:** All conditions in which a transducer may be exposed during shipping, storage, handling, and operation.

**Eeprom:** Erasable Programmable Read-Only Memory. The PROM can be erased by ultraviolet light or electricity.

**Equilibrium Constant:** The product of the concentrations (or activities) of the substances produced at equilibrium in a chemical reaction divided by the product of concentrations of the reacting substances, each concentration raised to that power which is the coefficient of the substance in the chemical equation.

**Equitransference:** Equal diffusion rates of the positively and negatively charged ions of an electrolyte across a liquid junction without charge separation.

**Equivalent Conductance (I):** Equivalent conductance of an electrolyte is defined as the conductance of a volume of solution containing one equivalent weight of dissolved substances when placed between two parallel electrodes 1 cm apart, and large enough to contain between them all of the solution. I is never determined directly, but is calculated from the specific conductance ( $L_s$ ). If C is the concentration of a solution in gram equivalents per liter, then the concentration of a solution in gram equivalents per liter, then the concentration per cubic centimeter is  $C/1000$ , and the volume containing one equivalent of the solute, is, therefore,  $1000/C$ .

**Error Band:** The allowable deviations to output from a specific reference norm. Usually expressed as a percentage of full scale.

**Error:** The difference between the value indicated by the transducer and the true value of the measurand being sensed. Usually expressed in percent of full scale output.

**Eutectic Temperature:** The lowest possible melting point of a mixture of alloys.

**Excitation:** The external application of electrical voltage current applied to a transducer for normal operation.

**Exothermic:** Gives off heat. A process is said to be exothermic when it releases heat.

**Expansion Factor:** Correction factor for the change in density between two pressure measurement areas in a constricted flow.

**Explosion-proof Enclosure:** An enclosure that can withstand an explosion of gases within it and prevent the explosion of gases surrounding it due to sparks, flashes or the explosion of the container itself, and maintain an external temperature which will not ignite the surrounding gases.

**Exposed Junction:** A form of construction of a thermocouple probe where the hot or measuring junction protrudes beyond the sheath material so as to be fully exposed to the medium being measured. This form of construction usually gives the fastest response time.

**F**

**Fahrenheit:** A temperature scale defined by 32° at the ice point and 212° at the boiling point of water at sea level.

**Ferrule:** A compressible tubular fitting that is compressed onto a probe inside a compression fitting to form a gas-tight seal.

**Field Balancing Equipment:** An assembly of measuring instruments for performing balancing operations on assembled machinery which is not mounted in a balancing machine.

**Field of View:** A volume in space defined by an angular cone extending from the focal plane of an instrument.

**File:** A set of related records or data treated as a unit.

**Filling Solution:** A solution of defined composition to make contact between an internal element and a membrane or sample. The solution sealed inside a pH glass bulb is called an internal filling solution. This solution normally contains a buffered chloride solution to provide a stable potential and a designated zero potential point. The solution which surrounds the reference electrode internal and periodically requires replenishing is called the reference filling solution. It provides contact between the reference electrode internal and sample through a junction.

**Firmware:** Programs stored in PROMs.

**Flag:** Any of various types of indicators used for identification of a condition or event; for example, a character that signals the termination of a transmission.

**Floppy Disk:** A small, flexible disk carrying a magnetic medium in which digital data is stored for later retrieval and use.

**Flow Rate:** Actual speed or velocity of fluid movement .

**Flow:** Travel of liquids or gases in response to a force (i.e. pressure or gravity).

**Flowmeter:** A device used for measuring the flow or quantity of a moving fluid.

**FM Approved:** An instrument that meets a specific set of specifications established by Factory Mutual Research Corporation.

**FM:** Factory Mutual Research Corporation. An organization which sets industrial safety standards.

**Forced Vibration:** Vibration of a system caused by an imposed force. Steady-state vibration is an unchanging condition of periodic or random motion.

**FORTRAN:** Formula Translation language. A widely used high-level programming language well suited to problems that can be expressed in terms of algebraic formulas. It is generally used in scientific applications.

**FPM:** Flow velocity in feet per minute.

**FPS:** Flow velocity in feet per second.

**Freezing Point:** The temperature at which the substance goes from the liquid phase to the solid phase.

**Frequency Modulated Output:** A transducer output which is obtained in the form of a deviation from a center frequency, where the deviation is proportional to the applied stimulus.

**Frequency of Vibration:** The number of cycles occurring in a given unit of time. RPM - revolutions per minute. CPM- cycles per minute.

**Frequency Output:** An output in the form of frequency which varies as a function of the applied input.

**Frequency, Natural:** The frequency of free (not forced) oscillations of the sensing element of a fully assembled transducer.

**Frequency:** The number of cycles over a specified time period over which an event occurs. The reciprocal is called the period.

**Full Bridge:** A Wheatstone bridge configuration utilizing four active elements or strain gages.

**Full Scale Output:** The algebraic difference between the minimum output and maximum output.

**Functions:** Three mode PID controller. A timeproportioning controller with integral and derivative functions. The integral function automatically adjusts the system temperature to the set point temperature to eliminate droop due to the time proportioning function.

**G**

**g:** The force of acceleration due to gravity equal to 32.1739 ft/sec<sup>2</sup> or 386 in./sec<sup>2</sup>.

**Gage Factor:** A measure of the ratio of the relative change of resistance to the relative change in length of a piezoresistive strain gage.

**Gage Length:** The distance between two points where the measurement of strain occurs.

**Gage Pressure Transducer:** A transducer which measures pressure in relation to the ambient pressure.

**Gage pressure:** Absolute pressure minus local atmospheric pressure.

**Gain:** The amount of amplification used in an electrical circuit.

**Galvanometer:** An instrument that measures small electrical currents by means of deflecting magnetic coils.

**GPH:** Volumetric flow rate in gallons per hour.

**GPM:** Volumetric flow rate in gallons per minute.

**Ground:** 1. The electrical neutral line having the same potential as the surrounding earth. 2. The negative side of DC power supply. 3. Reference point for an electrical system.

**Grounded Junction:** A form of construction of a thermocouple probe where the hot or measuring junction is in electrical contact with the sheath material so that the sheath and thermocouple will have the same electrical potential.

**H**

**Half Bridge:** Two active elements or strain gages.

**Half-Duplex:** One way at a time data communication; both devices can transmit and receive data, but only one at a time.

**Handshake:** An interface procedure that is based on status/data signals that assure orderly data transfer as opposed to asynchronous exchange.

**Hardcopy:** Output in a permanent form (usually a printout) rather than in temporary form, as on disk or display terminal.

**Hardware:** The electrical, mechanical and electromechanical equipment and parts associated with a computing system, as opposed to its firmware or software.

**Head Loss:** The loss of pressure in a flow system measured using a length parameter (i.e., inches of water, inches of mercury).

**Head Pressure:** Pressure in terms of the height of fluid,  $P = \rho gy$ , where  $\rho$  = fluid density and  $y$  = the fluid column heights. Expression of a pressure in terms of the height of fluid,  $P = \rho gy$ , where  $\rho$  is fluid density and  $y$  = the fluid column height.  $g$  = the acceleration of gravity.

**Heat Sink:** 1. Thermodynamic. A body which can absorb thermal energy. 2. Practical. A finned piece of metal used to dissipate the heat of solid state components mounted on it.

**Heat Transfer:** The process of thermal energy flowing from a body of high energy to a body of low energy. Means of transfer are: conduction; the two bodies contact. Convection; a form of conduction where the two bodies in contact are of different phases, i.e. solid and gas. Radiation: all bodies emit infrared radiation.

**Heat Treating:** A process for treating metals where heating to a specific temperature and cooling at a specific rate changes the properties of the metal.

**Heat:** Thermal energy. Heat is expressed in units of calories or BTU's.

**Hertz (Hz):** Units in which frequency is expressed. Synonymous with cycles per second.

**Hexadecimal:** Refers to a base sixteen number system using the characters 0 through 9 and A through F to represent the values. Machine language programs are often written in hexadecimal notation.

**Hold:** Meter HOLD is an external input which is used to stop the A/D process and freeze the display. BCD HOLD is an external input used to freeze the BCD output while allowing the A/D process to continue operation.

**Hooke's Law:** Defines the basis for the measurement of mechanical stresses via the strain measurement. The gradient of Hooke's line is defined by the ratio of which is equivalent to the Modulus of Elasticity E (Young's Modulus).

**Host:** The primary or controlling computer in a multiple part system.

**Hydrogen Ion Activity ( $aH^+$ ):** Activity of the hydrogen ion in solution. Related to hydrogen ion concentration ( $[H^+]$ ) by the activity coefficient for hydrogen ( $f_{H^+}$ ).

**Hysteresis (Electrode Memory):** When an electrode system is returned to a solution, equilibrium is usually not immediate. This phenomenon is often observed in electrodes that have been exposed to the other influences such as temperature, light, or polarization.

**Hysteresis:** The difference in output when the measurand value is first approached with increasing and then with decreasing values. Expressed in percent of full scale during any one calibration cycle. See also Deadband.

**I**

**Icon:** A graphic functional symbol display. A graphic representation of a function or functions to be performed by the computer.

**ICP:** Integrated Circuit Piezoelectric; term sometimes used to describe an accelerometer with built-in electronics.

**Impedance:** The total opposition to electrical flow (resistive plus reactive).

**Infrared:** An area in the electromagnetic spectrum extending beyond red light from 760 nanometers to 1000 microns (106 nm). It is the form of radiation used for making non-contact temperature measurements.

**Initial Unbalance:** Initial unbalance is that unbalance of any kind that exists in the rotor before balancing.

**Input Impedance:** The resistance measured across the excitation terminals of a transducer.

**Input Impedance:** The resistance of a panel meter as seen from the source. In the case of a voltmeter, this resistance has to be taken into account when the source impedance is high; in the case of an ammeter, when the source impedance is low.

**Input Resistance (Impedance):** The input resistance of a pH meter is the resistance between the glass electrode terminal and the reference electrode terminal. The potential of a pH-measuring electrode chain is always subject to a voltage division between the total electrode resistance and the input resistance.

**Insulated Junction:** See Ungrounded Junction

**Insulation Resistance:** The resistance measured between two insulated points on a transducer when a specific dc voltage is applied at room temperature.

**Integral:** A form of temperature control. See Automatic Reset, #2

**Interchangeability Error:** A measurement error that can occur if two or more probes are used to make the same measurement. It is caused by a slight variation in characteristics of different probes.

**Interface:** The means by which two systems or devices are connected and interact with each other.

**Internal Reference electrode (Element):** The reference electrode placed internally in a glass electrode.

**Interpreter:** A system program that converts and executes each instruction of a high-level language program into machine code as it runs, before going onto the next instruction.

**Interrupt:** To stop a process in such a way that it can be resumed.

**Intrinsically Safe:** An instrument which will not produce any spark or thermal effects under normal or abnormal conditions that will ignite a specified gas mixture.

**Ionic Mobility:** Defined similarly to the mobility of nonelectrolytic particles, viz., as the speed that the ion obtains in a given solvent when influenced by unit power.

**Ionic Strength:** The weight concentration of ions in solution, computed by multiplying the concentration of each ion in solution (C) by the corresponding square of the charge on the ion (Z) summing this product for all ions in solution and dividing by  $2: \text{ionic strength} - 1/2 \sum Z^2 C$ .

**IPTS-48:** International Practical Temperature Scale of 1948. Fixed points in thermometry as specified by the Ninth General Conference of Weights and Measures which was held in 1948.

**IPTS-68:** International Practical Temperature Scale of 1968. Fixed points in thermometry set by the 1968 General Conference of Weights and Measures.

**ISA:** Instrument Society of America.

**Isolation:** The reduction of the capacity of a system to respond to an external force by use of resilient isolating materials.

**Isopotential Point:** A potential which is not affected by temperature changes. It is the pH value at which  $dE/dt$  for a given electrode pair is zero. Normally, for a glass electrode and SCE reference, this potential is obtained approximately when immersed in pH 7 buffer.

**Isothermal:** A process or area that is a constant temperature.

**J**

**Joule:** The basic unit of thermal energy.

**Journal:** A journal is that part of a rotor that is in contact with or supported by a bearing in which it revolves.

**Junction:** The point in a thermocouple where the two dissimilar metals are joined.

**K**

**K:** When referring to memory capacity, two to the tenth power (1024 in decimal notation).

**Kelvin:** Symbol K. The unit of absolute or thermodynamic temperature scale based upon the Celsius scale with 100 units between the ice point and boiling point of water.  $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{K}$  (there is no degree ( $^{\circ}$ ) symbol used with the Kelvin scale).

**Kilowatt (kw):** Equivalent to 1000 watts.

**Kilowatt Hour (kwh):** 1000 watthours. Kilovolt amperes (kva): 1000 volt amps.

**Kinetic Energy:** Energy associated with mass in motion, i.e.,  $\frac{1}{2} rV^2$  where r is the density of the moving mass and V is its velocity.

**KVA:** Kilovolt amperes (1000-volt amps)

**L**

**Lag:** 1. A time delay between the output of a signal and the response of the instrument to which the signal is sent. 2. A time relationship between two waveforms where a fixed reference point on one wave occurs after the same point of the reference wave.

**Laminar Flow:** Streamlined flow of a fluid where viscous forces are more significant than inertial forces, generally below a Reynolds number of 2000.

**Large Scale Integration (LSI):** The combining of about 1,000 to 10,000 circuits on a single chip. Typical examples of LSI circuits are memory chips and microprocessor.

**Latent Heat:** Expressed in BTU per pound. The amount of heat needed (absorbed) to convert a pound of boiling water to a pound of steam.

**Leakage Rate:** The maximum rate at which a fluid is permitted or determined to leak through a seal. The type of fluid, the differential Limits of Error: A tolerance band for the thermal electric response of thermocouple wire expressed in degrees or percentage defined by ANSI specification MC-96.1 (1975).

**Least-squares Line:** The straight line for which the sum of the squares of the residuals (deviations) is minimized.

**Life Cycle:** The minimum number of pressure cycles the transducer can endure and still remain within a specified tolerance.

**Limits of Error:** A tolerance band for the thermal electric response of thermocouple wire expressed in degrees or percentage defined by ANSI specification MC-96.1 (1975).

**Linearity:** The closeness of a calibration curve to a specified straight line. Linearity is expressed as the maximum deviation of any calibration point on a specified straight line during any one calibration cycle.

**Liquid Junction Potential:** The potential difference existing between a liquid-liquid boundary. The sign and size of this potential depends on the composition of the liquids and the type of junction used.

**Load Impedance:** The impedance presented to the output terminals of a transducer by the associated external circuitry.

**Load:** The electrical demand of a process expressed as power (watts), current (amps) or resistance (ohms).

**Logarithmic Scale:** A method of displaying data (in powers of ten) to yield maximum range while keeping resolution at the low end of the scale.

**Loop Resistance:** The total resistance of a thermocouple circuit caused by the resistance of the thermocouple wire. Usually used in reference to analog pyrometers which have typical loop resistance requirements of 10 ohms.

**LS-TTL Compatible:** For digital input circuits, a logic 1 is obtained for inputs of 2.0 to 5.5 V which can source 20  $\mu$ A, and a logic 0 is obtained for inputs of 0 to 0.8 V which can sink 400  $\mu$ A. For digital output signals, a logic 1 is represented by 2.4 to 5.5 V with a current source capability of at least 400  $\mu$ A; and a logic 0 is represented by 0 to 0.6 V with a current sink capability of at least 16 MA. "LS" stands for low-power Schottky.

**LS-TTL Unit Load:** A load with LS-TTL voltage levels, which will draw 20  $\mu$ A for a logic 1 and -400  $\mu$ A for a logic 0.

**LSD (Least-Significant Digit):** The rightmost active (non-dummy) digit of the display.

**M**

**M:** Mega; one million. When referring to memory capacity, two to the twentieth power (1,048,576 in decimal notation).

**Machine Language:** Instructions that are written in binary form that a computer can execute directly. Also called object code and object language.

**Mandrel (Balancing Arbor):** An accurately machined shaft on which work is mounted for balancing.

**Manual Reset (Adjustment):** The adjustment on a proportioning controller which shifts the proportioning band in relationship to the set point to eliminate droop or offset errors.

**Manual Reset (Switch):** The switch in a limit controller that manually resets the controller after the limit has been exceeded.

**Mass Flow Rate:** Volumetric flowrate times density, i.e. pounds per hour or kilograms per minute.

**Mass Storage:** A device like a disk or magtape that can store large amounts of data readily accessible to the central processing unit.

**Maximum Elongation:** The strain value where a deviation of more than  $\pm 5\%$  occurs with respect to the mean characteristic (diagram of resistance change vs strain).

**Maximum Excitation:** The maximum value of excitation voltage or current that can be applied to the transducer at room conditions without causing damage or performance degradation beyond specified tolerances.

**Maximum Operating Temperature:** The maximum temperature at which an instrument or sensor can be safely operated.

**Maximum Power Rating:** The maximum power in watts that a device can safely handle.

**Mean Ionic Activity Coefficient:** See Activity coefficient.

**Mean Temperature:** The average of the maximum and minimum temperature of a process equilibrium.

**Measurand:** A physical quantity, property, or condition which is measured.

**Measuring Junction:** The thermocouple junction referred to as the hot junction that is used to measure an unknown temperature.

**Mechanical Hysteresis:** The difference of the indication with increasing and decreasing strain loading, at identical strain values of the specimen.

**Medium Effect (f m):** For solvents other than water the medium effect is the activity coefficient related to the standard state in water at zero concentration. It reflects differences in the electrostatic and chemical interactions of the ions with the molecules of various solvents. Solvation is the most significant interaction.

**Melting Point:** The temperature at which a substance transforms from a solid phase to a liquid phase.

**Membrane:** The pH-sensitive glass bulb is the membrane across which the potential difference due to the formation of double layers with ion-exchange properties on the two swollen glass surfaces is developed. The membrane makes contact with and separates the internal element and filling solution from the sample solution.

**Method of Correction:** A procedure whereby the mass distribution of a rotor is adjusted to reduce unbalance, or vibration due to unbalance, to an acceptable value. Corrections are usually made by adding material to, or removing it from, the rotor.

**Mica:** A transparent mineral used as window material in high-temperature ovens.

**Microamp:** One millionth of an ampere, 10<sup>-6</sup> amps,  $\mu$ A.

**Microcomputer:** A computer which is physically small. It can fit on top of or under a desk; based on LSI circuitry, computers of this type are now available with much of the power currently associated with minicomputer systems.

**Micron:** One millionth of a meter, 10<sup>-6</sup> meters.

**Microvolt:** One millionth of a volt, 10<sup>-6</sup> volts.

**Mil:** One thousandth of an inch (.001").

**Milliamp:** One thousandth of an amp, 10<sup>-3</sup> amps, symbol mA.

**Millimeter:** One thousandth of a meter, symbol mm.

**Millivolt:** Unit of electromotive force. It is the difference in potential required to make a current of 1 millampere flow through a resistance of 1 ohm; one thousandth of a volt, symbol mV.

**Mineral-insulated Thermocouple:** A type of thermocouple cable which has an outer metal sheath and mineral (magnesium oxide) insulation inside separating a pair of thermocouple wires from themselves and from the outer sheath. This cable is usually drawn down to compact the mineral insulation and is available in diameters from .375 to .010 inches. It is ideally suited for high-temperature and severe-duty applications.

**Minor Scale Division:** On an analog scale, the smallest indicated division of units on the scale.

**Modem:** Modulator/Demodulator. A device that transforms digital signals into audio tones for transmission over telephone lines, and does the reverse for reception.

**Molality:** A measure of concentration expressed in mols per kilogram of solvent.

**Monovalent Ion:** An ion with a single positive or negative charge (H+, Cl-).

**Motherboard:** The pc board of a computer that contains the bus lines and edge connectors to accommodate other boards in the system. In a microcomputer, the motherboard contains the microprocessor and connectors for expansion boards.

**Mounting Error:** The error resultant from installing the transducer, both electrical and mechanical.

**MSD (Most-Significant Digit):** The leftmost digit of the display.

**Mueller Bridge:** A high-accuracy bridge configuration used to measure three-wire RTDthermometers.

**Multiplex:** A technique which allows different input (or output) signals to use the same lines at different times, controlled by an external signal. Multiplexing is used to save on wiring and I/O ports.

**N**

**N/C (No Connection):** A connector point for which there is no internal connection.

**NBS:** National Bureau of Standards.

**NEC:** National Electric Codes.

**Negative Temperature Coefficient:** A decrease in resistance with an increase in temperature.

**NEMA-4:** A standard from the National Electrical Manufacturers Association, which defines enclosures intended for indoor or outdoor use primarily to provide a degree of protection against windblown dust and rain, splashing water, and hose-directed water.

**NEMA-7:** A standard from the National Electrical Manufacturers Association, which defines explosion-proof enclosures for use in locations classified as Class I, Groups A, B, C or D, as specified in the National Electrical Code.

**NEMA-12:** A standard from the National Electrical Manufacturers Association, which defines enclosures with protection against dirt, dust, splashes by non-corrosive liquids, and salt spray.

**NEMA-Size Case:** An older US case standard for panel meters, which requires a panel cutout of 3.93 x 1.69 inches.

**Nernst Equation:** A mathematical description of electrode behavior: E is the total potential, in millivolts, developed between the sensing and reference electrodes; Ex varies with the choice of electrodes, temperature, and pressure:  $2.3RT/nF$  is the Nernst factor (R and F are constants, n is the charge on the ion, including sign, T is the temperature in degrees Kelvin), and ai is the activity of the ion to which the electrode is responding.

**Nernst Factor (S, Slope):** The term  $2.3RT/nF$  is the Nernst equation, which is equal (at  $T = 25^\circ\text{C}$ ) to 59.16 mV when  $n = 1$  and 29.58 mV when  $n = 2$ , and which includes the sign of the charge on the ion in the term n. The Nerst factor varies with temperature.

**Network:** A group of computers that are connected to each other by communications lines to share information and resources.

**Nibble:** One half of a byte.

**Nicrosil/Nisil:** A nickel chrome/nickel silicone thermal alloy used to measure high temperatures. Inconsistencies in thermoelectric voltages exist in these alloys with respect to the wire gage.

**NMR (Normal-Mode Rejection):** The ability of a panel meter to filter out noise superimposed on the signal and applied across the SIG HI to SIG LO input terminals. Normally expressed in dB at 50/60 Hz.

**Noise:** An unwanted electrical interference on the signal wires.

**Normal (axial) Stress:** The force per unit area on a given plane within a body  $a = F/A$

**Normal Hydrogen Electrode:** A reversible hydrogen electrode (Pt) in contact with hydrogen gas at 1 atmosphere partial pressure and immersed in a solution containing hydrogen ions at unit activity.

**Normal-mode Rejection Ratio:** The ability of an instrument to reject interference usually of line frequency (50-60 Hz) across its input terminals.

**NPT:** National Pipe Thread.

**Null:** A condition, such as balance, which results in a minimum absolute value of output.

**O**

**O.D.:** Outside diameter.

**Octal:** Pertaining to a base 8 number system.

**Offset:** The difference in temperature between the set point and the actual process temperature. Also, referred to as droop.

**ofhc:** Oxygen-free high-conductivity copper. The industrial designation of the pure copper used in a Type T thermocouple.

**Ohmeter:** An instrument used to measure electrical resistance.

**On/off Controller:** A controller whose action is fully on or fully off.

**Open Circuit:** The lack of electrical contact in any part of the measuring circuit. An open circuit is usually characterized by rapid large jumps in displayed potential, followed by an off-scale reading.

**Operating System:** A collection of programs that controls the overall operation of a computer and performs such tasks as assigning places in memory to programs and data, processing interrupts, scheduling jobs and controlling the overall input/output of the system.

**Operational pH:** The determination of sample pH by relating to pH measurements in a primary standard solution. This relationship assumes that electrode errors such as sensitivity and changes in asymmetry potential can be disregarded or compensated for, provided the liquid junction potential remains constant between standard and sample.

**Optical Isolation:** Two networks which are connected only through an LED transmitter and photoelectric receiver with no electrical continuity between the two networks.

**Outboard Rotor:** A two-journal rotor which has its center of gravity between the journals.

**Output Impedance:** The resistance as measured on the output terminals of a pressure transducer.

**Output Noise:** The RMS, peak-to-peak (as specified) ac component of a transducer's dc output in the absence of a measurand variation.

**Output:** The electrical signal which is produced by an applied input to the transducer.

**Overshoot:** The number of degrees that a process exceeds the set point temperature when coming up to the set point temperature.

**P**

**Parallax:** An optical illusion which occurs in analog meters and causes reading errors. It occurs when the viewing eye is not in the same plane, perpendicular to the meter face, as the indicating needle.

**Parallel Transmission:** Sending all data bits simultaneously. Commonly used for communications between computers and printer devices.

**Parity:** A technique for testing transmitting data. Typically, a binary digit is added to the data to make the sum of all the digits of the binary data either always even (even parity) or always odd (odd parity).

**Peltier Effect:** When a current flows through a thermocouple junction, heat will either be absorbed or evolved depending on the direction of current flow. This effect is independent of joule I<sup>2</sup> R heating.

**Perfectly Balanced Rotor:** A rotor is perfectly balanced when its mass distribution is such that it transmits no vibratory force or motion to its bearings as a result of centrifugal forces.

**Peripheral:** A device that is external to the CPU and main memory, i.e., printer, modem or terminal, but is connected by the appropriate electrical connections.

**pH Junctions:** The Junction of a reference electrode or combination electrode is a permeable membrane through which the fill solution escapes (called the liquid junction).

**pH(S) (Standard pH Scale):** The conventional standard pH scale established on the basis that an individual ionic activity coefficient can be calculated from the Debye-Hückel law for primary buffers.

**Phase Difference:** The time expressed in degrees between the same reference point on two periodic waveforms.

**Phase Proportioning:** A form of temperature control where the power supplied to the process is controlled by limiting the phase angle of the line voltage.

**Phase:** A time based relationship between a periodic function and a reference. In electricity, it is expressed in angular degrees to describe the voltage or current relationship of two alternating waveforms.

**PID:** Proportional, integral, derivative. A three mode control action where the controller has time proportioning, integral (auto reset) and derivative rate action.

**Piezoelectric Accelerometer:** A transducer that produces an electrical charge in direct proportion to the vibratory acceleration.

**Piezoresistance:** Resistance that changes with stress.

**Pixel:** Picture element. Definable locations on a display screen that are used to form images on the screen. For graphic displays, screens with more pixels provide higher resolution.

**Plane Separation:** Of a balancing machine, is the operation of reducing the correction plane interference ratio for a particular rotor.

**Platinel:** A non-standard, high temperature platinum thermocouple alloy whose thermoelectric voltage nearly matches a Type K thermocouple (Trademark of Englehard Industries).

**Platinum 6% Rhodium:** The platinum-rhodium alloy used as the negative wire in conjunction with platinum-30% rhodium to form a Type B thermocouple.

**Platinum 10% Rhodium:** The platinum-rhodium alloy used as the positive wire in conjunction with pure platinum to form a Type S thermocouple.

**Platinum 13% Rhodium:** The platinum-rhodium alloy used as the positive wire in conjunction with pure platinum to form a Type R thermocouple.

**Platinum 30% Rhodium:** The platinum-rhodium alloy used as the positive wire in conjunction with platinum 6% rhodium to form a Type B thermocouple.

**Platinum 67:** To develop thermal emf tables for thermocouples, the National Bureau of Standards paired each thermocouple alloy against a pure platinum wire (designated Platinum 2 prior to 1973, and currently Platinum 67). The thermal emf's of any alloy combination can be determined by summing the "vs. Pt-67" emf's of the alloys, i.e., the emf table for a Type K thermocouple is derived from the Chromel vs. Pt-67 and the Alumel vs. Pt-67 values.

**Platinum:** A noble metal which in its pure form is the negative wire of Type R and Type S thermocouples.

**Poisson Ratio:** The ratio between the strain of expansion in the direction of force and the strain of contraction perpendicular to that force  $v = -E_t/E_1$ .

**Polarity:** In electricity, the quality of having two oppositely charged poles, one positive one negative.

**Polarization:** The inability of an electrode to reproduce a reading after a small electrical current has been passed through the membrane. Glass pH electrodes are especially prone to polarization errors caused by small currents flowing from the pH meter input circuit and from static electrical charges built up as the electrodes are removed from the sample solution, or when the electrodes are wiped.

**Port:** A signal input (access) or output point on a computer.

**Positive Temperature Coefficient:** An increase in resistance due to an increase in temperature.

**Potential Energy:** Energy related to the position or height above a place to which fluid could possibly flow.

**Potentiometer:** 1. A variable resistor often used to control a circuit. 2. A balancing bridge used to measure voltage.

**Power Supply:** A separate unit or part of a circuit that supplies power to the rest of the circuit or to a system.

**PPM:** Abbreviation for "parts per million," sometimes used to express temperature coefficients. For instance, 100 ppm is identical to 0.01%.

**Primary Device:** Part of a flowmeter which is mounted internally or externally to the fluid conduit and produces a signal corresponding to the flowrate and from which the flow may be determined.

**Primary Standard (NBS):** The standard reference units and physical constants maintained by the National Bureau of Standards upon which all measurement units in the United States are based.

**Primary Standards:** Aqueous pH buffer solutions established by the National Bureau of Standards within the 2.5 to 11.5 pH range of ionic strength less than 0.1 and which provide stable liquid junction potential and uniformity of electrode sensitivity.

**Principal Axes:** The axes of maximum and minimum normal stress.

**Probe:** A generic term that is used to describe many types of temperature sensors.

**Process Meter:** A panel meter with sizeable zero and span adjustment capabilities, which can be scaled for readout in engineering units for signals such as 4-20 mA, 10-50 mA and 1-5 V.

**Program:** A list of instructions that a computer follows to perform a task.

**Prom:** Programmable read-only memory. A semiconductor memory whose contents cannot be changed by the computer after it has been programmed.

**Proof Pressure:** The specified pressure which may be applied to the sensing element of a transducer without causing a permanent change in the output characteristics.

**Proportioning Band:** A temperature band expressed in degrees within which a temperature controller's time proportioning function is active.

**Proportioning Control Mode:** A time proportioning controller where the amount of time that the relay is energized is dependent upon the system's temperature.

**Proportioning Control plus Derivative Function:** A time proportioning controller with derivative function. The derivative function senses the rate at which a system's temperature is either increasing or decreasing and adjusts the cycle time of the controller to minimize overshoot or undershoot.

**Proportioning Control plus Integral:** A two-mode controller with time proportioning and integral (auto reset) action. The integral function automatically adjusts the temperature at which a system has stabilized back to the setpoint temperature, thereby eliminating droop in the system.

**Proportioning Control with Integral and Derivative Functions:** Three mode PID controller. A time proportioning controller with integral and derivative functions. The integral function automatically adjusts the system temperature to the set point temperature to eliminate droop due to the time proportioning function. The derivative function senses the rate of rise or fall of the system temperature and automatically adjusts the cycle time of the controller to minimize overshoot or undershoot.

**Protection Head:** An enclosure usually made out of metal at the end of a heater or probe where connections are made.

**Protection Tube:** A metal or ceramic tube, closed at one end into which a temperature sensor is inserted. The tube protects the sensor from the medium into which it is inserted.

**Protocol:** A formal definition that describes how data is to be exchanged.

**PSIA:** Pounds per square inch absolute. Pressure referenced to a vacuum.

**PSID:** Pounds per square inch differential. Pressure difference between two points.

**PSIG:** Pound per square inch gage. Pressure referenced to ambient air pressure.

**PSIS:** Pounds per square inch standard. Pressure referenced to a standard atmosphere.

**Pulse Width Modulation:** An output in the form of duty cycle which varies as a function of the applied measurand.

**R**

**Radiation:** See Infrared

**Random Access Memory (RAM):** Memory that can be both read and changed during computer operation. Unlike other semi-conductor memories, RAM is volatile-if power to the RAM is disrupted or lost, all the data stored is lost.

**Range:** Those values over which a transducer is intended to measure, specified by its upper and lower limits.

**Rangeability:** The ratio of the maximum flowrate to the minimum flowrate of a meter.

**Rankine ( $^{\circ}$ R):** An absolute temperature scale based upon the Fahrenheit scale with  $180^{\circ}$  between the ice point and boiling point of water.  $459.67^{\circ}\text{R} = 0^{\circ}\text{F}$ .

**Rate Action:** The derivative function of a temperature controller.

**Rate time:** the time interval over which the system temperature is sampled for the derivative function.

**Ratiometric Measurement:** A measurement technique where an external signal is used to provide the voltage reference for the dual-slope A/D converter. The external signal can be derived from the voltage excitation applied to a bridge circuit or pick-off supply, thereby eliminating errors due to power supply fluctuations.

**Read Only Memory (ROM):** Memory that contains fixed data. The computer can read the data, but cannot change it in any way.

**Real Time:** The time interval over which the system temperature is sampled for the derivative function.

**Record:** A collection of unrelated information that is treated as a single unit.

**Recovery Time:** The length of time which it takes a transducer to return to normal after applying a proof pressure.

**Redox Potential:** The potential developed by a metallic electrode when placed in a solution containing a species in two different oxidation states.

**Reference Junction:** The cold junction in a thermocouple circuit which is held at a stable known temperature. The standard reference temperature is  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ). However, other temperatures can be used.

**Reference Mark:** Any diagnostic point or mark which can be used to relate a position during rotation of a part to its location when stopped.

**Reference Plane:** Any plane perpendicular to the shaft axis to which an amount of unbalance is referred.

**Refractory Metal Thermocouple:** A class of thermocouples with melting points above  $3600^{\circ}\text{F}$ . The most common are made from tungsten and tungsten/rhenium alloys Types G and C. They can be used for measuring high temperatures up to  $4000^{\circ}\text{F}$  ( $2200^{\circ}\text{C}$ ) in non-oxidizing, inert, or vacuum environments.

**Register:** A storage device with a specific capacity, such as a bit, byte or word.

**Relay (Mechanical):** An electromechanical device that completes or interrupts a circuit by physically moving electrical contacts into contact with each other.

**Relay (Solid State):** A solid state switching device which completes or interrupts a circuit electrically with no moving parts.

**Remote:** Not hard-wired; communicating via switched lines, such as telephone lines. Usually refers to peripheral devices that are located a site away from the CPU.

**Repeatability:** The ability of a transducer to reproduce output readings when the same measurand value is applied to it consecutively, under the same conditions, and in the same direction. Repeatability is expressed as the maximum difference between output readings.

**Reserved Word:** A word that has a defined function in the language, and cannot be used as a variable name.

**Residual (Final) Unbalance:** Residual unbalance is that unbalance of any kind that remains after balancing.

**Resistance Ratio Characteristic:** For thermistors, the ratio of the resistance of the thermistor at 25°C to the resistance at 125°C.

**Resistance Temperature Characteristic:** A relationship between a thermistor's resistance and the temperature.

**Resistance:** The resistance to the flow of electric current measured in ohms (1/2) for a conductor. Resistance is function of diameter, resistivity (an intrinsic property of the material) and length.

**Resolution:** The smallest detectable increment of measurement. Resolution is usually limited by the number of bits used to quantize the input signal. For example, a 12-bit A/D can resolve to one part in 4096 (2 to the 12 power equals 4096).

**Resonant Frequency:** The measurand frequency at which a transducer responds with maximum amplitude.

**Response Time (time constant):** The time required by a sensor to reach 63.2% of a step change in temperature under a specified set of conditions. Five time constants are required for the sensor to stabilize at 600 of the step change value.

**Response Time:** The length of time required for the output of a transducer to rise to a specified percentage of its final value as a result of a step change of input.

**Reynolds Number:** The ratio of inertial and viscous forces in a fluid defined by the formula  $Re = rVD/\mu$ , where:  $r$  = Density of fluid,  $\mu$  = Viscosity in centipoise (CP),  $V$  = Velocity, and  $D$  = Inside diameter of pipe.

**RFI:** Radio frequency interference.

**Rheostat:** A variable resistor.

**Rigid Rotor:** A rotor is considered rigid when it can be corrected in any two (arbitrarily selected) planes [see "Correction (Balancing)Plane"] and after that correction, its unbalance does not significantly exceed the balancing tolerances (relative to the shaft axis) at any speed up to maximum operating speed and when running under conditions which approximate closely to those of the final supporting system.

**Rise Time:** The time required for a sensor or system to respond to an instantaneous step function, measured from the 10% to 90% points on the response waveforms.

**Room Conditions:** Ambient environmental conditions under which transducers must commonly operate.

**Root Mean Square (RMS):** Square root of the mean of the square of the signal taken during one full cycle.

**Rotor:** A rotor is a rotating body whose journals are supported by bearings.

**RTD:** Resistance temperature detector.

**S**

**Salt Bridge:** The salt bridge of a reference electrode is that part of the electrode which contains the filling solution to establish the electrolytic connection between reference internal cell and the test solution. **Auxiliary Salt Bridge:** A glass tube open at one end to receive intermediate electrolyte filling solution, and the reference electrode tip and a junction at the other end to make contact with the sample.

**Salt Effect (fx):** The effect on the activity coefficient due to salts in the solution.

**SAMA:** Scientific Apparatus Makers Association. An association that has issued standards covering platinum, nickel, and copper resistance elements (RTDs).

**SCE:** Saturated calomel electrode.

**SCR:** Silicone controlled rectifier.

**Scroll:** To move all or part of the screen material up to down, left or right, to allow new information to appear.

**Secondary Device:** A part of the flowmeter which receives a signal proportional to the flowrate, from the primary device, and displays, records and/or transmits the signal.

**Secondary Standard:** pH buffer solutions which do not meet the requirements of primary standard solutions but provide coverage of the pH range not covered by primary standards. Used when the pH value of the primary standard is not close to the sample pH value.

**Seebeck Coefficient:** The derivative (rate of change) of thermal EMF with respect to temperature normally expressed as millivolts per degree.

**Seebeck Effect:** When a circuit is formed by a junction of two dissimilar metals and the junctions are held at different temperatures, a current will flow in the circuit caused by the difference in temperature between the two junctions.

**Seebeck EMF:** The open circuit voltage caused by the difference in temperature between the hot and cold junctions of a circuit made from two dissimilar metals.

**Self Heating:** Internal heating of a transducer as a result of power dissipation.

**Sensing Element:** That part of the transducer which reacts directly in response to the input.

**Sensitivity Shift:** A change in slope of the calibration curve due to a change in sensitivity.

**Sensitivity:** The minimum change in input signal to which an instrument can respond.

**Sequential Access:** An access mode in which records are retrieved in the same order in which they were written. Each successive access to the file refers to the next record in the file.

**Serial transmission:** Sending one bit at a time on a single transmission line. Compare with parallel transmission.

**Set Point:** The temperature at which a controller is set to control a system.

**Settling Time:** The time taken for the display to settle within one digit final value when a step is applied to the meter input.

**Shear Modulus:** The ratio of the shear stress and the angular shear distortion.

**Shear Stress:** Where normal stress is perpendicular to the designated plane, shear stress is parallel to the plane.

**Shearing Strain:** A measure of angular distortion also directly measurable, but not as easily as axial strain.

**Sheath Thermocouple:** A thermocouple made out of mineral-insulated thermocouple cable which has an outer metal sheath.

**SI:** System Internationale. The name given to the standard metric system of units.

**Signal Conditioner:** A circuit module which offsets, attenuates, amplifies, linearizes and/or filters the signal for input to the A/D converter. The typical output signal conditioner is +2 V dc.

**Signal Conditioning:** To process the form or mode of a signal so as to make it intelligible to, or compatible with, a given device, including such manipulation as pulse shaping, pulse clipping, compensating, digitizing, and linearizing.

**Signal:** An electrical transmittance (either input or output) that conveys information.

**Single Precision:** The degree of numeric accuracy that requires the use of one computer word. In single precision, seven digits are stored, and up to seven digits are printed. Contrast with double precision.

**Single-ended Input:** A signal-input circuit where SIG LO (or sometimes SIG HI) is tied to METER GND. Ground loops are normally not a problem in AC-powered meters, since METER GND is transformer-isolated from AC GND.

**Single-Plane (Static) Balancing Machine:** A single plane balancing machine is a gravitational or centrifugal balancing machine that provides information for accomplishing single plane balancing.

**Slope (Electrode Sensitivity, Span):** See Nernst factor.

**Smallest Bending Radius:** The smallest radius that a strain gage can withstand in one direction, without special treatment, without suffering visible damage.

**Software:** Generally, programs loaded into a computer from external mass storage but also extended to include operating systems and documentation.

**Solvation:** Ions in solution are normally combined with at least one molecule of solvent. This phenomenon is termed solvation.

**Source Code:** A non-executable program written in a high-level language. A compiler or assembler must translate the source code into object code (machine language) that the computer can understand and process.

**Span Adjustment:** The ability to adjust the gain of a process or strain meter so that a specified display span in engineering units corresponds to a specified signal span. For instance, a display span of 200°F may correspond to the 16 mA span of a 4-20 mA transmitter signal.

**Span:** The difference between the upper and lower limits of a range expressed in the same units as the range.

**Spare:** A connector point reserved for options, specials, or other configurations. The point is identified by an (E#) for location on the electrical schematic.

**Specific Gravity:** The ratio of mass of any material to the mass of the same volume of pure water at 4°C.

**Specific Heat:** The ratio of thermal energy required to raise the temperature of a body 1° to the thermal energy required to raise an equal mass of water 1°.

**Spectral Filter:** A filter which allows only a specific band width of the electromagnetic spectrum to pass, i.e., 4 to 8 micron infrared radiation.

**Spectrum Analysis:** Utilizing frequency components of a vibration signal to determine the source and cause of vibration.

**Spectrum:** The resolving of overall vibration into amplitude components as a function of frequency.

**Spot Size:** The diameter of the circle formed by the cross section of the field of view of an optical instrument at a given distance.

**Spurious Error:** Random or erratic malfunction.

**SSR:** Solid state relay (see relay, solid state).

**Stability:** The quality of an instrument or sensor to maintain a consistent output when a constant input is applied.

**Stagnation Pressure:** The sum of the static and dynamic pressure.

**Standard Electrode Potential (E<sub>0</sub>):** The standard potential E<sub>0</sub> of an electrode is the reversible emf between the normal hydrogen electrode and the electrode with all components at unit activity.

**Standardization:** a process of equalizing electrode potentials in one standardizing solution (buffer) so that potentials developed in unknown solutions can be converted to pH values.

**Static Calibration:** A calibration recording pressure versus output at fixed points at room temperature.

**Static Error Band:** The error band applicable at room temperature.

**Static Pressure:** Pressure of a fluid whether in motion or at rest. It can be sensed in a small hole drilled perpendicular to and flush with the flow boundaries so as not to disturb the fluid in any way.

**Static Unbalance:** Static unbalance is that condition of unbalance for which the central principal axis is displayed only parallel to the shaft axis

**Steady Flow:** A flow rate in the measuring section of a flow line that does not vary significantly with time.

**Steady State Vibration:** That condition of vibration induced by an unchanging continuing periodic force.

**Stiffness:** The ratio of the force required to create a certain deflection or movement of a part expressed as (Force/deflection) lbs/in or grams/cm.

**Stop Bit:** A signal following a character or block that prepares the receiving device to receive the next character or block.

**Strain Gage:** A measuring element for converting force, pressure, tension, etc., into an electrical signal.

**Strain:** The ratio of the change in length to the initial unstressed reference length.

**String:** A sequence of characters.

**Strouhal Number:** A nondimensional parameter important in vortex meter design defined as:  $s = f h / V$  where  $f$  = frequency,  $V$  = velocity, and  $h$  = a reference length

**Super Cooling:** The cooling of a liquid below its freezing temperature without the formation of the solid phase.

**Super Heating:** 1. The heating of a liquid above its boiling temperature without the formation of the gaseous phase. 2. The heating of the gaseous phase considerably above the boiling-point temperature to improve the thermodynamic efficiency of a system.

**Surge Current:** A current of short duration that occurs when power is first applied to capacitive loads or temperature dependent resistive loads such as tungsten or molybdenum heaters-usually lasting no more than several cycles.

**Suspension Effect:** The source of error due to varied reference liquid junction potential depending upon whether the electrodes are immersed in the supernatant fluid or deeper in the sediment. Normally encountered with solutions containing resins or charged colloids.

**Syntax:** The rules governing the structure of a language.

**T**

**Tape:** A recording media for data or computer programs. Tape can be in permanent form, such as perforated paper tape, or erasable, such as magnetic tape. Generally, tape is used as a mass storage medium, in magnetic form, and has a much higher storage capacity than disk storage, but it takes much longer to write or recover data from tape than from a disk.

**Teflon:** A fluorocarbon polymer used for insulation of electrical wires (trademark of DuPont Company).

**Telecommunication:** Synonym for data communication. The transmission of information from one point to another.

**TEMPCO:** Abbreviation for "temperature coefficient": the error introduced by a change in temperature. Normally expressed in %/°C or ppm/°C.

**Temperature Error:** The maximum change in output, at any measurand value within the specified range, when the transducer temperature is changed from room temperature to specified temperature extremes.

**Temperature Range, Compensated:** The range of ambient temperatures within which all tolerances specified for Thermal Zero Shift and Thermal Sensitivity Shift are applicable (temperature error).

**Temperature Range, Operable:** The range of ambient temperatures, given by their extremes, within which the transducer may be operated. Exceeding compensated range may require recalibration.

**Terminal:** An input/output device used to enter data into a computer and record the output.

**Thermal Coefficient of Resistance:** The change in resistance of a semiconductor per unit change in temperature over a specific range of temperature.

**Thermal Conductivity:** The property of a material to conduct heat in the form of thermal energy.

**Thermal emf:** See Seebeck emf

**Thermal Expansion:** An increase in size due to an increase in temperature expressed in units of an increase in length or increase in size per degree, i.e. inches/inch/degree C.

**Thermal Gradient:** The distribution of a differential temperature through a body or across a surface.

**Thermal Sensitivity Shift:** The sensitivity shift due to changes of the ambient temperature from room temperature to the specified limits of the compensated temperature range.

**Thermal Zero Shift:** An error due to changes in ambient temperature in which the zero pressure output shifts. Thus, the entire calibration curve moves in a parallel displacement.

**Thermistor:** A temperature-sensing element composed of sintered semiconductor material which exhibits a large change in resistance proportional to a small change in temperature. Thermistors usually have negative temperature coefficients.

Thermocouple Type Material (ANSI Symbol)

J Iron/Constantan

K CHROMEGA®/ALOMEGA®

T Copper/Constantan

E CHROMEGA®/Constantan

R Platinum/Platinum 13% Rhodium

S Platinum/Platinum 10% Rhodium

B Platinum 6% Rhodium/Platinum30% Rhodium

- G\* Tungsten/Tungsten 26% Rhenium  
C\* Tungsten 5% Rhenium/Tungsten 26% Rhenium  
D\* Tungsten 3% Rhenium/Tungsten 150 Rhenium

\*Not ANSI symbols.

**Thermocouple:** The junction of two dissimilar metals which has a voltage output proportional to the difference in temperature between the hot junction and the lead wires (cold junction) (refer to Seebeck emf).

**Thermopile:** An arrangement of thermocouples in series such that alternate junctions are at the measuring temperature and the reference temperature. This arrangement amplifies the thermoelectric voltage. Thermopiles are usually used as infrared detectors in radiation pyrometry.

**Thermowell:** A closed-end tube designed to protect temperature sensors from harsh environments, high pressure, and flows. They can be installed into a system by pipe thread or welded flange and are usually made of corrosion-resistant metal or ceramic material depending upon the application.

**Thomson Effect:** When current flows through a conductor within a thermal gradient, a reversible absorption or evolution of heat will occur in the conductor at the gradient boundaries.

**Transducer Vibration:** Generally, any device which converts movement, either shock or steady state vibration, into an electrical signal proportional to the movement; a sensor.

**Transducer:** A device (or medium) that converts energy from one form to another. The term is generally applied to devices that take physical phenomenon (pressure, temperature, humidity, flow, etc.) and convert it to an electrical signal.

**Transient Vibration:** A temporary vibration or movement of a mechanical system.

**Transitional Flow:** Flow between laminar and turbulent flow, usually between a pipe Reynolds number of 2000 and 4000.

**Transmitter (Two-Wire):** 1. A device which is used to transmit data from a sensor via a two-wire current loop. The loop has an external power supply and the transmitter acts as a variable resistor with respect to its input signal. 2. A device which translates the low level output of a sensor or transducer to a higher level signal suitable for transmission to a site where it can be further processed.

**Triac:** A solid state switching device used to switch alternating current wave forms.

**Triboelectric Noise:** The generation of electrical charges caused by layers of cable insulation. This is especially troublesome in high impedance accelerometers.

**Triple Point (Water):** The thermodynamic state where all three phases, solid, liquid, and gas may all be present in equilibrium. The triple point of water is .01°C.

**Triple Point:** The temperature and pressure at which solid, liquid, and gas phases of a given substance are all present simultaneously in varying amounts.

**True RMS:** The true root-mean-square value of an AC or AC-plus-DC signal, often used to determine power of a signal. For a perfect sine wave, the RMS value is 1.11072 times the rectified average value, which is utilized for low-cost metering. For significantly non-sinusoidal signals, a true RMS converter is required.

**TTL Unit Load:** A load with TTL voltage levels, which will draw 40 µA for a logic 1 and -1.6 mA for a logic 0.

**TTL-Compatible:** For digital input circuits, a logic 1 is obtained for inputs of 2.0 to 5.5 V which can source 40 µA, and a logic 0 is obtained for inputs of 0 to 0.8 V which can sink 1.6

mA. For digital output signals, a logic 1 is represented by 2.4 to 5.5 V with a current source capability of at least 400  $\mu$ A; and a logic 0 is represented by 0 to 0.6 V with a current sink capability of at least 16 mA.

**TTL:** Transistor-to-transistor logic. A form of solid state logic which uses only transistors to form the logic gates.

**Turbulent Flow:** When forces due to inertia are more significant than forces due to viscosity. This typically occurs with a Reynolds number in excess of 4000.

**Typical:** Error is within plus or minus one standard deviation ( $\pm 1\%$ ) of the nominal specified value, as computed from the total population.

**U**

**UL:** Underwriters Laboratories, Inc. An independent laboratory that establishes standards for commercial and industrial products.

**Ultraviolet:** That portion of the electromagnetic spectrum below blue light (380 nanometers).

**Unbalance:** That condition which exists in a rotor when vibratory force or motion is imparted to its bearings as a result of centrifugal forces.

**Unbalance Tolerance:** The unbalance tolerance with respect to a radial plane (measuring plane or correction plane) is that amount of unbalance which is specified as the maximum below which the state of unbalance is considered acceptable.

**Undershoot:** The difference in temperature between the temperature a process goes to, below the set point, after the cooling cycle is turned off and the set point temperature.

**Ungrounded Junction:** A form of construction of a thermocouple probe where the hot or measuring junction is fully enclosed by and insulated from the sheath material.

**Union:** A form of pipe fitting where two extension pipes are joined at a separable coupling.

**V**

**Vacuum:** Any pressure less than atmospheric pressure.

**Velocity:** The time rate of change of displacement;  $dx/dt$ .

**Vibration Error Band:** The error recorded in output of a transducer when subjected to a given set of amplitudes and frequencies.

**Vibration Error:** The maximum change in output of a transducer when a specific amplitude and range of frequencies are applied to a specific axis at room temperature.

**Viscosity:** The inherent resistance of a substance to flow.

**Volt:** The (electrical) potential difference between two points in a circuit. The fundamental unit is derived as work per unit charge-( $V = W/Q$ ). One volt is the potential difference required to move one coulomb of charge between two points in a circuit while using one joule of energy.

**Voltage:** An electrical potential which can be measured in volts.

**Voltmeter:** An instrument used to measure voltage.

**Volume Flow Rate:** Calculated using the area of the full closed conduit and the average fluid velocity in the form,  $Q = V \times A$ , to arrive at the total volume quantity of flow.  $Q$  = volumetric flowrate,  $V$  = average fluid velocity, and  $A$  = cross sectional area of the pipe.

**W**

**Watt Density:** The watts emanating from each square inch of heated surface area of a heater. Expressed in units of watts per square inch.

**Wheatstone Bridge:** A network of four resistances, an emf source, and a galvanometer connected such that when the four resistances are matched, the galvanometer will show a zero deflection or "null" reading.

**Window:** In computer graphics, a defined area in a system not bounded by any limits; unlimited "space" in graphics.

**Word:** Number of bits treated as a single unit by the CPU. In an 8-bit machine, the word length is 8 bits; in a sixteen bit machine, it is 16 bits.

**Working Standard:** A standard of unit measurement calibrated from either a primary or secondary standard which is used to calibrate other devices or make comparison measurements.

**Write:** To record data in a storage device or on a data medium.

**Y**

**Young's Modulus:** Young's Modulus (the Modulus of Elasticity) is equivalent to the ratio of normal stress to strain.

**Z**

**Zero Adjustment:** The ability to adjust the display of a process or strain meter so that zero on the display corresponds to a non-zero signal, such as 4 mA, 10 mA, or 1 V dc. The adjustment range is normally expressed in counts.

**Zero Offset:** 1. The difference expressed in degrees between true zero and an indication given by a measuring instrument. 2. See Zero Suppression

**Zero Point:** The electrical zero point where zero millivolts would be displayed. Used in conjunction with the slope control to provide a narrower range calibration.

**Zero Power Resistance:** The resistance of a thermistor or RTD element with no power being dissipated.

**Zero Suppression:** The span of an indicator or chart recorder may be offset from zero (zero suppressed) such that neither limit of the span will be zero. For example, a temperature recorder which records a 100° span from 400° to 500° is said to have 400° zero suppression.

**Zero Voltage Switching:** The making or breaking of circuit timed such that the transition occurs when the voltage wave form crosses zero voltage; typically only found in solid state switching devices.

**Zooming:** In computer graphics, causing an object to appear smaller or larger by moving the window and specifying various window sizes.

## REFERENCIAS

*Cortesía de: Carlos Bordóns Alba*

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática Septiembre 2000