

CONTROL Y MEDIDA DE NIVEL DE LIQUIDO CON SEÑALES DE
ULTRASONIDO

DYLAN ANDRES ALZATE RODRIGUEZ
9818967

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA
PEREIRA FEBRERO DEL 2010

CONTROL Y MEDIDA DE NIVEL DE LIQUIDO CON SEÑALES DE
ULTRA SONIDO

DYLAN ANDRES ALZATE RODRIGUEZ
9818967

Proyecto de grado
Presentado como requisito para optar al título de:
Tecnólogo Eléctrico

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA
PEREIRA FEBRERO DEL 2010

Nota de aceptación:

Firma del director del programa

Firma del director del proyecto

Firma del jurado

Pereira, Marzo de 2010

Dedicatoria

Dylan Andrés Álzate Rodríguez

A mi madre y mis hermanos por depositar en mi todo su amor, confianza y fortaleza para afrontar todas las dificultades que se cruzan en el camino y por brindarnos la oportunidad de seguir afianzando nuestros conocimientos.

Dedico este trabajo a mi familia como muestra de agradecimiento por toda su dedicación y entrega durante todos estos años de nuestra vida.

Les extendemos un sincero agradecimiento a todos los profesores del programa de Tecnología Eléctrica por su gran acompañamiento en la formación académica y personal a lo largo de toda la carrera. También les agradecemos a nuestras familias por el apoyo y dedicación en todo momento, de lo contrario no hubiera sido posible culminar con éxitos esta etapa de nuestras vidas.

Al ingeniero Sigilfredo Arregocés, al profesor Walter Cano, a los compañeros Julián Andrés Herrera, Juan David Rivera, un inmenso agradecimiento por su paciencia y comprensión, y por sus explicaciones que en todo momento sirvieron de ayuda para realizar este trabajo. Por último pero no menos importante un agradecimiento a todos los compañeros que compartieron y aportaron su granito para que esto fuera posible.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	vii
II. OBJETIVOS	71
ANTECEDENTES.....	72
GLOSARIO.....	74
1. CARACTERISTICAS DE LAS ONDAS ULTRASONICAS	77
1.1. Clasificación de las ondas ultrasónicas:.....	78
1.2. Velocidad de propagación y longitud de onda.....	79
1.3. Pérdidas.....	80
1.4. Propiedades de las señales ultrasónicas	81
2. LA GENERACIÓN DE ULTRASONIDO Y LA VIBRACIÓN	83
2.1. Vibrador piezoeléctrico:.....	83
2.2. Vibrador electroéstrictivo:	84
2.3. Vibración magnetoéstrictivo:	86
3. Transmisor y receptor ultrasónico (transductor).....	88
3.1. Transductores:.....	88
4. SENSOR.....	91
4.1. Sensor de Ultrasonido.....	92
4.2. Funcionamiento del sensor ultrasónico	92
5. SELECCIÓN DEL SENSOR.....	98
6. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR ULTRASONICO SFR05	98
6.1. Modo 1, Compatibilidad con SRF04	100
6.2. Modo 2, Patilla única para trigger y eco	101
6.3. Patrón de haz del sensor SRF05	102
7. ARQUITECTURA INTERNA DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE	102
7.1. Partes que Componen un Autómata Programable	102
7.2. Los Autómatas Programables	103
7.3. Arquitectura y configuración	104
7.4. Programación.....	109
8.1. Propiedades del módulo analógico.....	120
8.2. Representación de los valores analógicos	121
8.5. Adaptadores de margen de medida	126
9. VÁLVULAS DE SOLENOIDE	129
9.1. Principio de Operación.....	130
9.2. Tipos de Válvulas de Solenoide	131
9.3. Válvulas de Dos Vías	131
10. SELECCIÓN DE LA ELECTROVALVULA	134
10.1. VALVULA ELECTROMAGNETICA SERIE UW 2/2.....	134
11. Aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4	135

11.1.	DESCRIPCIÓN	136
11.2.	Datos técnicos	137
11.3.	Ajuste	77
11.4.	Ejemplos de aplicación	79
12.	IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA	79
12.1.	Sistema	79
13.	Función de transferencia	80
13.1.	Sistema de primer orden	82
13.2.	Sistemas de segundo orden	84
14.	Adecuador de señal	87
15.	Modelamiento del sistema dinámico	93
16.	Sistema en lazo abierto	95
17.	Sistema en lazo cerrado	95
18.	Método de la respuesta en frecuencia	96
19.	CONTROLADORES PID	99
19.	Montaje del sistema hidráulico	104
20.	Dinámica del sistema	107
21.	Programación del controlador en el simatic S7 300	117
21.1.	Regulación continua FB 41"CONT_C"	117
21.2.	Algoritmo PID	118
21.3.	Formación de impulsos con el FB 43"PULSEGEN"	123
22.	Estructura por software simatic S7-300 para el control y medida de nivel de líquido del sistema hidráulico.	128
23.	CONCLUSIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Respuesta auditiva	77
Figura 2. longitudes de onda VS características de frecuencia	80
Figura 3. características de atenuación de ondas ultrasónicas	81
Figura 4. reflexión y transmisión de ondas ultrasónicas	82
Figura 5. Materiales de cristales piezoeléctricos	83
Figura 6. Forma y modo de vibración de vibradores electrostrictivos	85
Figura 7. Modos de vibración de vibradores magnetostrictivos	87
Figura 8. Transmisor ultrasónico	89
Figura 9. Elemento activo y placa protectora en fase	90
Figura 10. sensor ultrasónico	92
Figura 11. Principio de funcionamiento de los sensores ultrasónicos	93
Figura 12. Incertidumbre angular en la medida de un ultrasonido	94
Figura 13. Margenes de detección de un sensor de ultrasonido	95
Figura 14. Reflexión de la señal	97
Figura 15. Reflexión angular de incidencia de un ultrasonido	97
Figura 16. Sensor de distancia por ultrasonido SRF05	99
Figura 17. diagrama de conexiones del SRF05	99
Figura 18. diagrama de tiempos en modo 1 del SRF05	100
Figura 19. Diagrama de tiempos en modo 2 del SRF05	101
Figura 20. Patrón de haz del sensor según distancia	102
Figura 21. Arquitectura interna del autómatas	117
Figura 22. Registro de la CPU	118
Figura 23. Módulo analógico	120
Figura 24. Adaptadores de margen de medida	127
Figura 25. Solenoide energizado	130
Figura 26. Válvulas de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías	131
Figura 27. Válvulas de solenoide de dos vías, de acción directa normalmente cerrada	132
Figura 28. Válvulas de solenoide de dos vías operada por piloto, normalmente cerrada, con diafragma flotante	133
Figura 29. Válvula electromagnética serie UW2/2	134
Figura 30. Bloque del aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4	136
Figura 31. Datos técnicos MCR-CLP-UI-I-4	137

Figura 32.Partes del MCR-CLP-UI-I-4	74
Figura 33. Acceso a los dips.....	75
Figura 34.Dips del MCR-CLP-UI-I-4	76
Figura 35. Calibración del span	78
Figura 36.Ejemplos de aplicación con el MCR-CLP-UI-I-4	79
Figura 37.Dinamica del sistema de primer orden con entrada escalón unitaria.....	83
Figura 38. Relación entre las raíces y polos de la ecuación característica de los sistemas de segundo orden $\zeta, \omega_n, \sigma, \omega_d$	86
Figura 39.Diagrama de bloques.....	87
Figura 40. Convertidor D/A.....	88
Figura 41.convertidor D/A de 0v a 10v	88
Figura 42.Diagrama de bloques para medir la distancia del sensor ultrasónico SRF05.	89
Figura 43. Sistema dinámico para controlar nivel	93
Figura 44.Eschema del sistema físico del llenado de un tanque	94
Figura 45.Sistema en lazo abierto	95
Figura 46. Sistema realimentado o en lazo cerrado.....	96
Figura 47.sistema en lazo cerrado	97
Figura 48.Margen de fase y de ganancia	98
Figura 49. Sistema realimentado con controlador.....	100
Figura 50. Respuesta de las acciones de control p, pi, pid a una entrada de error escalón unitario	102
Figura 51.Vinculacion de los elementos del sistema hidráulico	104
Figura 52.Montaje del sistema real.....	105
Figura 53.Montaje del sistema real.....	106
Figura 54.Dinamica del sistema a controlar en lazo abierto.	109
Figura 55.Respuesta de la planta con perturbación de escalón unitario... ..	110
Figura 56.Analisis de la respuesta en frecuencia	112
Figura 57.Margen de fase	113
Figura 58.Respuesta en frecuencia con control	116
Figura 59.Respuesta del sistema con control.....	117
Figura 60.Eschema de bloques del CONT-C	119
Figura 61.Formación de impulsos (pulsegen).....	124
Figura 62. Modulación de ancho de impulsos.....	125
Figura 63. Eschema de bloques del pulsegen	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de ondas ultrasónicas	78
Tabla 2. Velocidad de la onda ultrasonica en medios	79
Tabla 3. Reflectividad de las ondas ultrasónicas en medios diferentes	82
Tabla 4. Generación del ultrasonido	84
Tabla 5. Características de materiales piezoeléctricos	84
Tabla 6. Características de materiales electroéstrictivos	85
Tabla 7. Características de materiales magnetoéstrictivos.	86
Tabla 8. Resumen de las mejores características de vibración.....	88
Tabla 9. Generación y aplicación de ondas ultrasónicas.....	91
Tabla 10. Características técnicas del sensor SRF05.....	101
Tabla 11. Representación de valores analógicos	121
Tabla 12. Configuración binaria de un valor analógico codificado en 15,12 y 8 bits	122
Tabla 13. Codificaciones posibles de valores analógicos (resolución).....	122
Tabla 14. Representación de valores de medida digitalizados de un modulo de entrada analógico (márgenes de tensión).....	123
Tabla 15. Representación de los valores de medida digitalizados de un modulo de entradas analógicas (márgenes de tensión y de intensidad) ..	124
Tabla 16. Márgenes de medida de tensión	125
Tabla 17. Márgenes de medida de intensidad, transductores de medida a 2 y 4 hilos	126
Tabla 18. Posiciones para el margen de medida.....	127
Tabla 19. Posicionamiento de los adaptadores de margen de medida.....	128
Tabla 20. Partes de la electroválvula serie UW2/2	135
Tabla 21. Rangos de la señal de entrada	77
Tabla 22. Efecto de las acciones de control K_p , K_i y K_d sobre el tiempo de subida sobre el sobrepaso y sobre el error en estado estacionario.....	104
Tabla 23. Valores obtenidos para construir la dinámica del sistema.....	107
Tabla 24. Parámetros de entrada del CONT-C.....	120
Tabla 25. Parámetros de entrada CONT-C (continuación)	121
Tabla 26. Parámetros de entrada CONT-C (continuación)	122

Tabla 27. Parámetros de salida CONT-C.....	122
Tabla 28.Parámetros de salida CONT-C (continuación)	123
Tabla 29. Parámetros de entrada del PULSEGEN	126
Tabla 30.Parámetros de salida del PULSEGEN.....	128

INTRODUCCION

Debido a que las pequeñas, medianas y grandes industrias requieren sistemas de producción más eficientes, surge la necesidad de implementar sistemas de control automáticos.

En estos tipos de sistemas, es de vital importancia que los dispositivos que actúan como elementos integradores del mismo, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo completo del proceso en ejecución en industrias tales como las alimenticias, refresqueras, manufactureras, comerciales, entre otras.

Esta es la razón por la cual se deben utilizar señales de un sensor ultrasónico en la medida de nivel de líquidos en los sistemas hidráulicos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

- Controlar el nivel de un sistema hidráulico de almacenamiento de líquido mediante un autómata programable Siemens utilizando señales de ultrasonido.

Objetivos específicos

- Modelar la dinámica del sistema hidráulico de almacenamiento de líquido.
- Simular la dinámica del sistema hidráulico utilizando el Matlab®.
- Diseñar la ley de control utilizando el Matlab®.
- Implementar el sistema de control de nivel con el sensor de ultrasonido y un autómata programable.

ANTECEDENTES

Entre los trabajos realizados con señales ultrasónicas se destacan:

➤ **Sistema de detección combinado para sensores ultrasónicos:**

En este trabajo se presenta un sistema combinado de detección de eco ultrasónico para medición de distancias. Para grandes distancias es conveniente utilizar un detector por tonos, debido a que con este método no es necesario realizar un control de ganancia. En distancias menores dentro de la zona muerta del discriminador de tonos, se utiliza un detector por umbral optimizado para trabajar en el área más próxima al receptor. Se obtiene así un circuito simple y de bajo costo, cuya utilización está orientada a vehículos autoguiados como soporte para niños discapacitados.

➤ **Prototipo industrial de un medidor ultrasónico de nivel:**

Este artículo presenta el diseño e implementación de un prototipo de sistema de medición de nivel para fases aire-líquido o aire-sólido, configurable por el usuario y con especificaciones comparables a las de los equipos industriales disponibles comercialmente. El sistema se basa en la utilización de un transductor de ultrasonido, por medio del cual se envía un corto pulso de onda ultrasónica hacia un objetivo, el cual refleja la onda sonora hacia el sensor. El sistema entonces determina el tiempo de retorno del eco (tiempo de vuelo) y calcula la distancia del objetivo utilizando como referencia la velocidad del sonido en el medio. Se propone un método analógico de medición de tiempo de vuelo que permite obtener resoluciones menores a una longitud de onda de la señal transmitida, además de mejorar la respuesta del sistema ante cambios ambientales. El conjunto sensor- acondicionador-interfaz, constituyen un instrumento inteligente con capacidades de medición, validación, configuración, calibración y comunicaciones digitales.

➤ **Construcción de mapas de entorno basados en sensores ultrasónicos utilizando la técnica de tiempo de vuelo (T.off):**

Se diseñó un sensor ultrasónico rotativo para levantamiento de mapas de entorno utilizando la técnica de tiempo de vuelo (t.off) y se diseñó la base experimental para el levantamiento de mapas de entorno, a partir de la información proporcionada por el sensor ultrasónico rotativo.

➤ **Diseño de un sistema de adquisición conversión y procesamiento de señales ultrasónicas.**

El propósito de este trabajo fue desarrollar un sistema, el cual pudiera emitir en forma controlada una señal ultrasónica con la cual se explore un ambiente estructurado, ósea, produzca un eco proveniente de los objetos que este encuentre, además, este sistema convierte la señal análoga en digital, extrayéndose así la información acerca del entorno. La información recibida queda almacenada en una matriz la cual al ser procesada matemáticamente genera un mapa del entorno, que rodea al robot el cual utiliza como sistema de guía la tarjeta emisora /receptora desarrollada.

➤ **Construcción de un modulo didáctico para el control de nivel de líquidos**

El Módulo de Control de Nivel de Líquidos es un equipo que permite realizar acciones de control sobre la variable nivel de líquido de un tanque a través de un sistema de control cuyo elemento principal es un PLC que comanda la apertura de una válvula ubicada a la salida del tanque, y la activación de una bomba que suministra líquido a este tanque desde un tanque de almacenamiento.

GLOSARIO

Longitud de onda (λ): Es la distancia ocupada por una onda completa

Frecuencia (F): Se define como el número de oscilaciones (vibraciones o ciclo) de una partícula por unidad de tiempo (segundo), su unidad es el Hertzio (Hz), un hertzio es una oscilación por segundo.

Periodo (T): Es el tiempo de una oscilación completa, es decir lo que tarda el sonido en recorrer una longitud de onda.

Sinterización: es el tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico o cerámico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para incrementar la fuerza y la resistencia de la pieza creando enlaces fuertes entre las partículas.

Vibración: Se denomina vibración a la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo (o posición de equilibrio). Afecta a materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La vibración es la causa de generación de todo tipo de ondas. Toda fuerza que se aplique sobre un objeto genera perturbación. En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la "oscilación" o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de "equilibrio" es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento.

Impedancia acústica: La impedancia acústica (Z) es una propiedad de estado intensiva. Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se

propagan sobre este y por lo tanto el equivalente a la impedancia eléctrica, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio. Se define como la razón entre la presión sonora (p) y la velocidad de las partículas (v) de un medio material.

Sensor: Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transductible que es función de la variable de medida. La ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos.

Transmisor: Un transmisor es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio.

Receptor: receptor al dispositivo electrónico que facilita y permite la recuperación de las señales.

Atenuación: Es la pérdida de energía que sufre los ultrasonidos al atravesar un medio.

Cristalografía: es la ciencia que se dedica al estudio y resolución de estructuras cristalinas. La mayoría de los minerales adoptan formas cristalinas cuando se forman en condiciones favorables. La cristalografía es el estudio del crecimiento, la forma y la geometría de estos cristales.

Interface: Circuito o conector que hace posible el "entendimiento" entre dos elementos de hardware, es decir, permite su comunicación.

Reflectividad: mide la relación entre la amplitud del campo reflejado electromagnético respecto a la amplitud del campo incidente

Ferroeléctrico: Son los materiales que poseen características de ferroelectricidad, son comúnmente utilizados en la fabricación de memorias no volátiles.

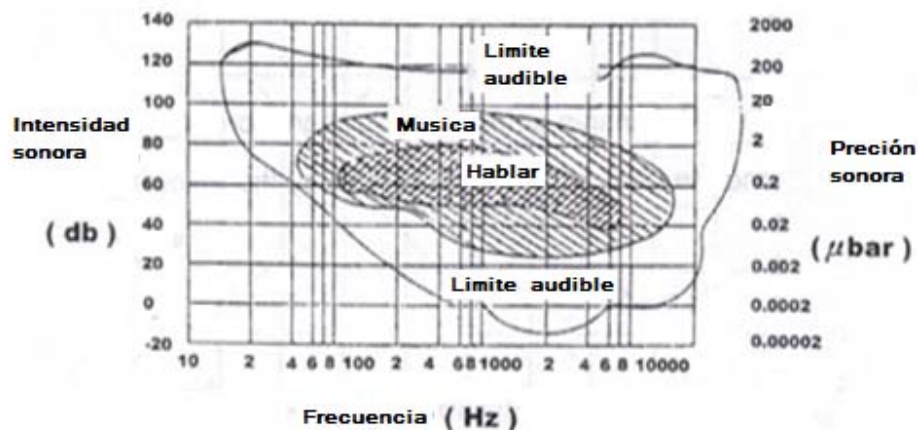
Ferromagnetismo: es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección y sentido. Un material ferromagnético es aquel que puede presentar ferromagnetismo. La interacción ferromagnética es la interacción magnética que hace que los momentos magnéticos tiendan a disponerse en la misma dirección y sentido. Ha de extenderse por todo un sólido para alcanzar el ferromagnetismo.

1. CARACTERISTICAS DE LAS ONDAS ULTRASONICAS

Las ondas de ultra sonido son ondas electromagnéticas que pueden propagarse a través de diferentes medios como son, líquido, sólido o gaseoso. La velocidad con que se propagan y los efectos de ésta, dependen principalmente de la viscosidad, densidad y elasticidad del medio por el que viajan; es por esta razón que las ondas de ultra sonido son altamente utilizadas en aplicaciones industriales, militares y de medida. [7]

El rango de frecuencia audible para el ser humano se encuentra entre 16Hz y 20kHz. La frecuencia de la energía ultrasónica empieza desde el rango más alto de frecuencia audible (cerca de 20kHz) y la banda de ultra-alta frecuencia (UHF, por encima de 1GHz), que es usada para las telecomunicaciones.

Figura 1. Respuesta auditiva



Las ondas ultrasónicas viajan prácticamente a la misma velocidad que las ondas de sonido. Los órdenes de magnitud para el aire son de varios centenares de metros por segundo, para los sólidos de varios miles de metros por segundo (En el Aluminio está comprendido alrededor de 5000 metros/s.)Y de 1500 m/s en el agua. [7]

Sin embargo una Onda ultrasónica de 1 MHz se atenúa mucho más rápidamente que una onda de sonido común.

Generalmente para evitar la atenuación por reflexión de las ondas ultrasónicas se emplean líquidos o geles que evitan la introducción de aire entre el aplicador y la piel. [7]

1.1. Clasificación de las ondas ultrasónicas:

- Ondas Longitudinales o de dilatación: Son aquellas que hacen variar el volumen del material a través del cual se propagan; las partículas vibran en la dirección de propagación de la onda, estas ondas se propagan en los tres medios (Gas, líquido y sólido).
- Ondas Transversales o de distorsión: Son aquellas que no provocan variación en el volumen aunque los límites del medio pueden ser modificados, las partículas vibran perpendicularmente en la dirección de propagación de la onda, estas ondas se propagan únicamente en los sólidos y muy poco en los líquidos.
- Ondas Superficiales: Es una combinación de las anteriores, y se trata de ondas que se desplazan una distancia muy pequeña de la superficie del medio, los movimientos de las partículas forman elipses en un plano [4]

Tabla 1. Tipos de ondas ultrasónicas

Tipo de onda	Medio de Propagación			Movimiento de la partícula	Aplicaciones
	Gas	Líquido	Sólido		
Longitudinal	Si	Si	Si	Compresión y relajación a lo largo del eje de propagación.	Pruebas, Mediciones
Transversal	No	Muy Poco	Si	Desplazamiento perpendicular al eje de propagación.	Pruebas, Soldaduras Resonancia
Superficie	No	No	Si	Elíptico con alta atenuación por debajo de la superficie.	Pruebas de superficie para partes de difícil acceso

1.2. Velocidad de propagación y longitud de onda

Velocidad de propagación o velocidad acústica (V), es la velocidad de transmisión de la energía sonora a través de un medio, está determinada por la distancia recorrida por la onda dividida por el tiempo empleado para recorrer esa distancia. La velocidad de los ultrasonidos en un medio depende de la densidad y elasticidad del mismo, que a su vez varían con la temperatura; la relación es directa, a mayor densidad del medio mayor será la velocidad de propagación de los ultrasonidos. [4]

La relación entre la velocidad de propagación ultrasónica C, la longitud de onda y la frecuencia son expresadas en la siguiente ecuación:

$$C = \lambda * f$$

C = velocidad de la onda en m/s

f = frecuencia en Hertz (Hz)

λ = longitud de onda en metros (m).

También se puede expresar como:

$$C = \lambda / T \text{ donde } f = 1/T$$

T = período de la onda.

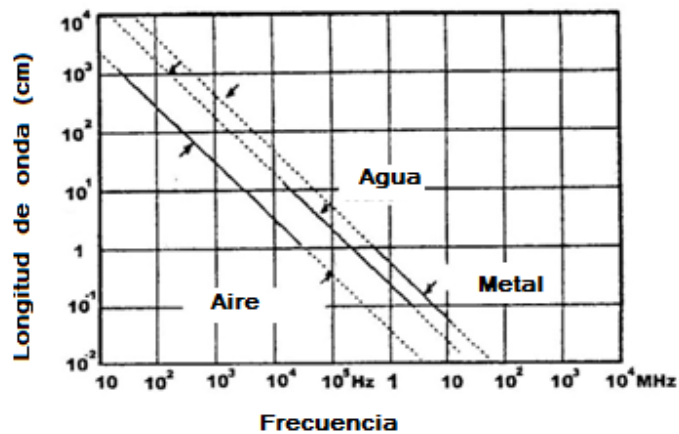
La propagación de la velocidad de la onda ultrasónica en los medios se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Velocidad de la onda ultrasónica en medios

MEDIO	VELOCIDAD DE ONDA LONGITUDINAL * 10 ⁵	DENSIDAD ρ /cm ³	IMPEDANCIA ACUSTICA $\rho c * 10^5$
ALUMINIO	6,22	2,65	1,7
ACERO	5,81	7,8	4,76
NIKEL	5,6	8,9	4,98
MAGNESIO	4,33	1,74	0,926
COBRE	4,62	8,93	4,11
BRONCE	4,43	8,5	3,65
PLOMO	2,13	11,4	2,73
MERCURIO	1,46	13,6	1,93
CRISTAL	4,9 -5,9	2,5-5,9	1,81
POLIVINILO	2,67	1,1	0,924
MICARTA	2,59	1,4	0,363
AGUA	1,43	1,00	0,143
ACEITE	1,39	0,92	0,128
AIRE	0,331	0,0012	0,000042

La figura 2 muestra la longitud de onda vs las características de la frecuencia de la onda ultrasónica cuando es propagada por el aire, agua y metal.

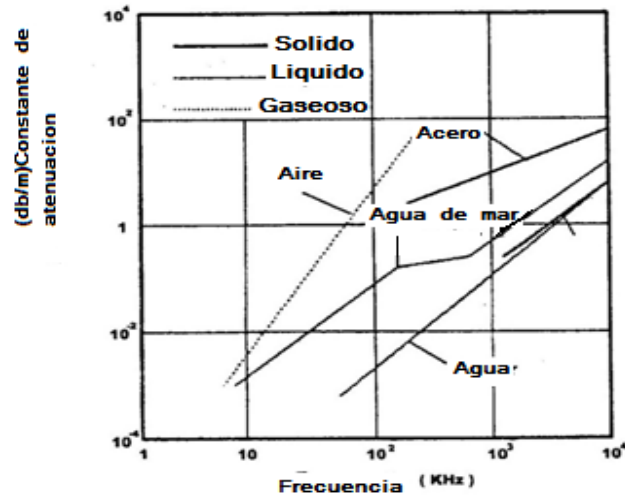
Figura 2. longitudes de onda VS características de frecuencia



1.3. Pérdidas

En condiciones ideales, las ondas ultrasónicas se propagan en línea recta a través del medio sin cambiar su intensidad. De manera realista, el aumento de la distancia hará que la intensidad disminuya. Dos de las pérdidas que contribuyen a la disminución de la intensidad son. La pérdida de la difusión por la superficie de onda a largas distancias; Otra de las pérdidas es causada por la absorción de energía por el medio, en el proceso de multiplicación, llamada la pérdida de absorción o atenuación. Las características de atenuación de las ondas ultrasónicas en diversos medios se muestran en la Figura 3.

Figura 3. Características de atenuación de ondas ultrasónicas



1.4. Propiedades de las señales ultrasónicas

Reflexión, refracción, difracción y dispersión son fenómenos que afectan todas las ondas y definen su comportamiento. Estos fenómenos suceden cuando las ondas inciden sobre superficies de diferentes densidades. [7]

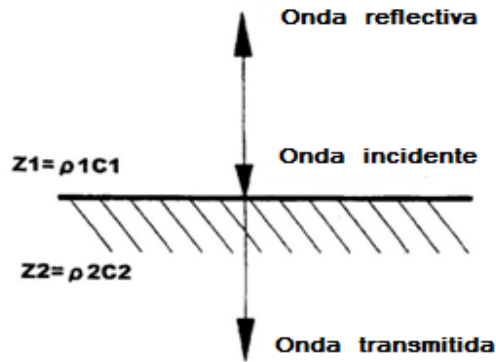
1.4.1. Reflexión, refracción y la transmisión. Cuando una onda ultrasónica se propaga a través de una interfaz entre dos medios, una parte de la energía transmitida será reflejada por la interfaz y el resto puede ser transmitido a través de la interfaz. La impedancia acústica Z del medio determina la intensidad de la onda de reflexión o de transmisión. La impedancia acústica Z se define como el producto de la densidad del medio ρ y la velocidad del sonido C en el medio. Si la onda ultrasónica se transmite a la interfaz entre los diferentes medios de comunicación, la reflectividad γ puede ser determinada por la siguiente ecuación. [7]

$$\gamma = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \quad 15.1$$

La transmisividad T de la onda ultrasónica está dada por:

$$T = 1 - \gamma^2 = 1 - \left[\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \right]^2 = \frac{(4Z_1Z_2)}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad 15.2$$

Figura 4. Reflexión y transmisión de ondas ultrasónicas



La Tabla 3 muestra la reflectividad in (%) de las ondas ultrasónicas en la interfaz de medios

Tabla 3. Reflectividad de las ondas ultrasónicas en medios diferentes

Medio	Reflectividad de la energía en la interfaz de los medios conectados													
	Aire	Transformador de aceite	Agua	Micarta	Polivinilo	Cristal	Mercurio	Plomo	Bronce	Cobre	Magnesio	Niquel	Acero	Aluminio
Aluminio	100	74	72	42	50	2	1	3	14	18	9	24	21	0
Acero	100	89	88	76	77	31	16	9	1	0.3	43	0.2	0	
Nikel	100	90	89	75	79	34	19	12	2	0.8	47	0		
Magnesio	100	58	54	19	27	2	12	20	36	40	0			
Cobre	100	88	87	71	75	19	13	7	0.2	0				
Bronce	100	87	86	68	73	23	10	5	0					
Plomo	100	80	79	55	62	9	1	0						
Mercurio	100	76	75	6	8	4	0							
Cristal	100	67	65	32	40	0								
Polivinilo	100	17	12	1	0									
Micarta	100	23	18	0										
Agua	100	0	0											
Transformador de aceite	100	0												
Aire	0													

2. LA GENERACIÓN DE ULTRASONIDO Y LA VIBRACIÓN

Dos métodos principales para la generación del ultrasonido se muestran en la tabla 4. La generación eléctrica puede ser clasificada en: generación piezoeléctrica, magnetoéstrictiva, electroéstrictiva; basados en los principios y los materiales utilizados para activar el vibrador, que se discutirá en esta sección.

2.1. Vibrador piezoeléctrico:

Los vibradores piezoeléctricos se basan en el efecto piezoeléctrico; el cual consiste en aplicar presión sobre las caras de un cristal, y es posible generar cargas eléctricas sobre éste, positivas en una superficie y negativas en la opuesta. En efecto contrario, si se aplica un campo eléctrico, el cristal adquirirá cierta distorsión; si se elimina dicho campo, la distorsión desaparecerá de igual manera. La existencia de la propiedad de la piezoelectricidad depende de la disposición interna de los átomos en el cristal. Hay muchos cristales que, al ser sometidos a una tensión, experimentan distorsiones en las que las cargas positivas y negativas tratan necesariamente de disponerse a sí mismas, a causa de la simetría del cristal, de manera que no aparece ningún momento dipolar en el espécimen. El comportamiento piezoeléctrico de un material dado depende, tanto de la simetría interna del cristal, como de la orientación de la rodaja elegida del cristal con respecto a sus ejes cristalográficos. [2] Los materiales piezoeléctricos como el cuarzo, sal de *Rochelle* y amonio de fosfato de biácido (ADP), se utilizan para esta aplicación. Estos tres materiales se muestran en forma de cristales en la Figura 5. Además Sus respectivas características eléctricas se encuentran en la tabla 4. [7]

Figura 5. Materiales de cristales piezoeléctricos

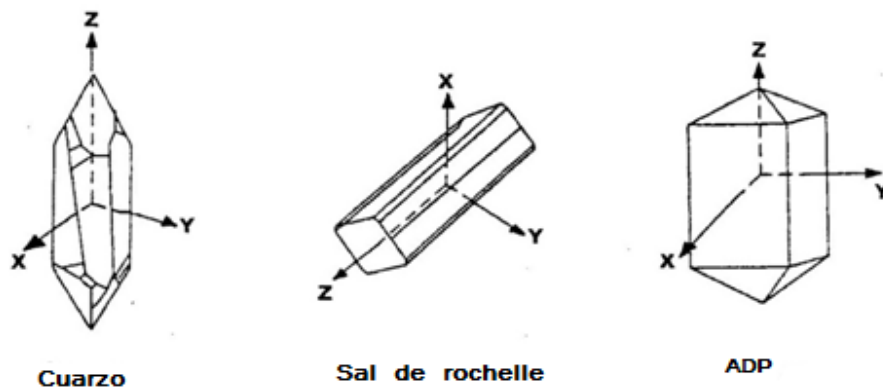


Tabla 4. Generación del ultrasonido

Energía	Principio	Vibrador	Frecuencia	Medio
Eléctrica	Piezo-eléctrico	Cuarzo Sal de Rochelle ADP	20 - 30,000 0.2 - 1.000 0.2 - 1.000	Gaseoso, Líquido, Sólido Líquido, Sólido Líquido, Sólido
	Electro-estritivo	Bati03 PZT	10 - 10.000	Líquido, Sólido, Gaseoso
	Magneto-estritivo	Níquel Alufer Ferrita	10 – 100	Gaseoso, Líquido, Sólido
Mecánico	Pohlman		5 – 50	Líquido
	Galton		2- 100	Gaseoso, Líquido
	Siren		0.2- 250	Gaseoso, Líquido

Tabla 5. Características de materiales piezoeléctricos

Material	Corte	Vibración	Constante dieléctrica ϵ (e.s.u)	Densidad ρ (g/cm ³)	Constante frecuencia N (KHz.cm)	Constante piezoeléctrica (mks)	Coefficiente de acoplamiento electromecánico (%)
Cuarzo Rochelle ADP	x	Grosor	2.5	2.65	285	0.05	9.5
	45 °x	longitudinal	300	1.77	160	0.09	65
	45 °x	longitudinal	15.5	1.80	160	0.177	28

2.2. Vibrador electroestritivo:

Vibrador electroestritivo usando el proceso de la sinterización; con los materiales electroestritivos, se pueden formar en los vibradores ultrasónicos de cualquier forma y dimensión según las indicaciones de la figura 6. Para generar la oscilación, un alto voltaje DC con polaridades alternas se debe aplicar a los electrodos en el vibrador electroestritivo. En la figura 8 también se muestran varios modos de vibradores electroestritivos. Las características de materiales electroestritivos se demuestran en la tabla 6. [7]

Figura 6. Forma y modo de vibración de vibradores electroéstrictivos

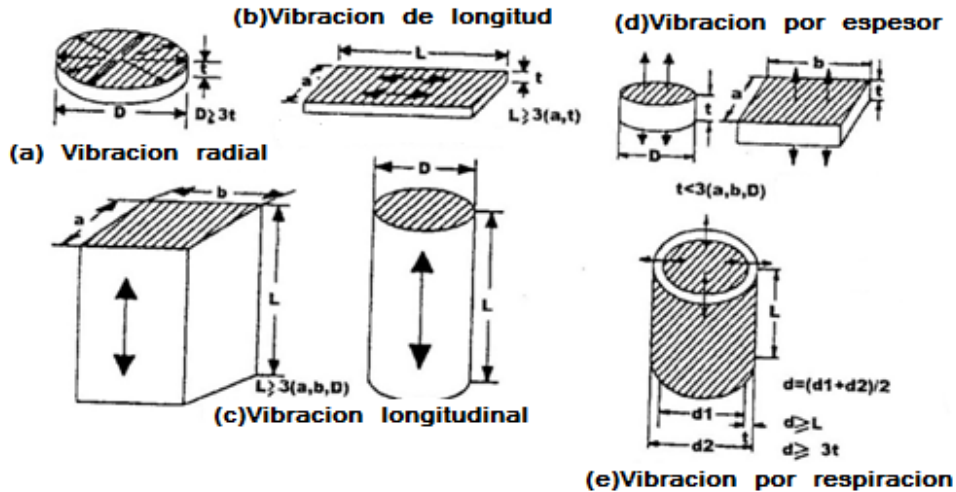


Tabla 6. Características de materiales electroéstrictivos

Artículos	Unidades	Bati03	PZT			
		C	3D	7	7A	8
Densidad	G/cm ³	5.4	7.6	7.6	7.6	7.8
Relación de poisson		0.28	1.32	0.32	0.32	0.32
Constante dieléctrica		1.150	450	1.2	600	1.5
Coefficiente de perdida		0.01	0.03	0.01	0.01	0.02
Frecuencia radial	KHz.cm	308	250	225	235	220
N1 Constante de longitud		288	184	162	175	164
N2 Constatae longitudinal		277	175	159	160	150
N3 Constante de espesor		252	200	206	220	200
N4						
Electro radial		0.30	0.30	0.52	0.53	0.55
Kp Longitud mecánica		0.18	0.20	0.3	0.3	0.33
K31 Coeficiente de acoplamiento longitudinal		0.48	0.50	0.6	0.62	0.68
K33						
Menor coeficiente	x10 ¹² dina/c m ²	1.13	1.03	0.8	0.93	0.83
K31		1.12	0.93	0.77	0.77	0.7
k33						
Tipo de tensión	x 10 ⁻¹² m/v	60	39	109	69	132
d31		140	103	223	163	296

d33						
Coeficiente de voltaje de g31 salida g33	$\times 10^{-3} \text{Vm/N}$	8	10	10	12	11
		4	26	22	25	27
Maquinabilidad Q		400	200	800	800	500
Temperatura de curie	°C	120	290	330	320	260
Coeficiente de temperatura de frecuencia	$\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	55	20	20	25	25
Coeficiente de capacidad de temperatura	$\times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$	2	5	2.5	3	2.8

2.3. Vibración magnetoéstrictivo:

Si una barra magnética se coloca en un campo magnético, la longitud será cambiada a lo largo de la dirección de la fuerza del campo magnético. Este fenómeno se denomina el efecto magnetoéstrictivo; este consiste en la variación de las dimensiones que experimentan algunos materiales ferro magnéticos y algunas aleaciones especiales cuando se someten a la acción de un campo magnético. Materiales magnetoéstrictivos como níquel, aleación del alufer y ferrita, son ampliamente utilizados para las vibraciones magnetoéstrictivas. La figure 7 muestra los modos de vibración magnetoéstrictiva. La tabla 7 muestra las características de materiales magnetoéstrictivos. [7]

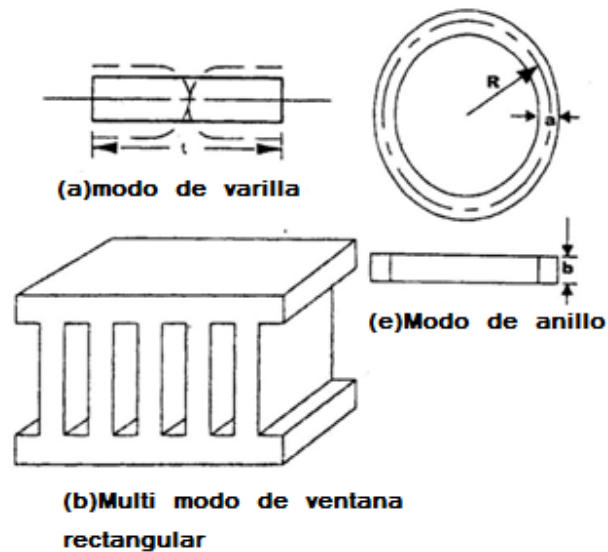
Tabla 7. Características de materiales magnetoéstrictivos.

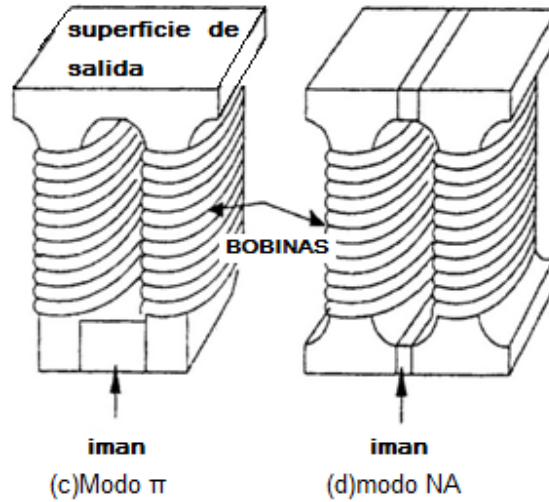
Artículos	Níquel	Alufer	Ferrita
Contenido	Ni98%	Fe87%,Al12%	Ni - Cu
Coeficiente magnetoéstrictivo	40	190	20
Resistencia inherente electromecánica Ω/cm	7×10^{-6}	91×10^{-6}	4×10^2
Coeficiente de acoplamiento electromecánico (%)	20 - 30	20	22
Densidad (g/cm^3)	8.9	6.7	5.0
Velocidad (m/ s)	4.800	4.700	5.700
Estática	-4×10^{-6}	35×10^{-6}	-30×10^{-6}

magnetoéstrictiva de saturación de tensión			
Optimo campo magnético deflectivo (Oer)	10 - 15	6 - 10	10 - 15
Prueba de corrosión (en agua de mar)	Bueno	Mejor	Bien
Fuerza mecánica (Kg/cm ³)	*2x10 ⁻⁶	*1.4x10 ⁻⁶	(1)8.4x10 ⁻³ (2)4x10 ⁻² (3)9.8x10 ⁻²

Coeficiente menor: (1) fuerza de compresión
(2) fuerza de extensión
(3) fuerza de flexión

Figura 7. Modos de vibración de vibradores magnetoéstrictivos





Un resumen de las características importantes del vibrador se demuestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de las mejores características de vibración

Principio	Piezoeléctrico	electroéstritivo	magnetoéstrictivo	
Material o vibrador	Cuarzo	Bati03 PZT	Ni y Alufer	ferrita
Frecuencia de operación	> 1MHz	200KHz - 2MHz	<50KHz	< 100KHz
Eficiencia de transducción eléctrica-acústica	>80%	>80%	20 - 50%	>80%
Poder máximo de entrada		6W/ cm.cm	6 - 10 W/cm.cm	6W/cm.cm
Poder continuo de entrada		3 - 6W/ cm.cm	6 - 10 W/cm.cm	3 - 6 W/ cm.cm

3. Transmisor y receptor ultrasónico (transductor)

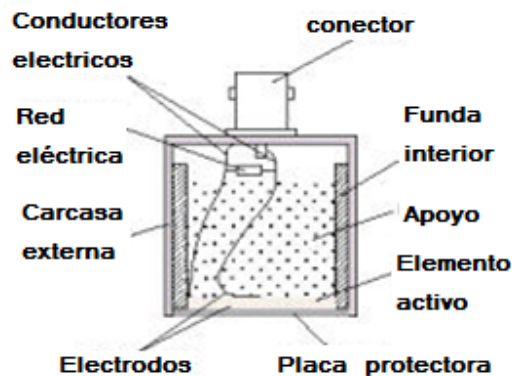
3.1. Transductores:

El transductor de ultrasonido que genera la onda de presión está formado por un material piezoeléctrico, éste transmite ondas de presión generadas cuando un potencial eléctrico es aplicado a través del material. Como su efecto es

reversible, el mismo transductor puede ser usado como receptor. Los polímeros cristalinos o semicristalinos como el fluoruro de polivinilideno, cuarzo Titanato de bario, Circonato de Titanio (PZT) son los más usados.

Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Un transductor ultrasónico convierte energía eléctrica en energía mecánica, en forma de sonido y viceversa. Los componentes principales son el elemento activo, el apoyo (*backing*) y una placa protectora (*wear plate*). [3]

Figura 8. Transmisor ultrasónico

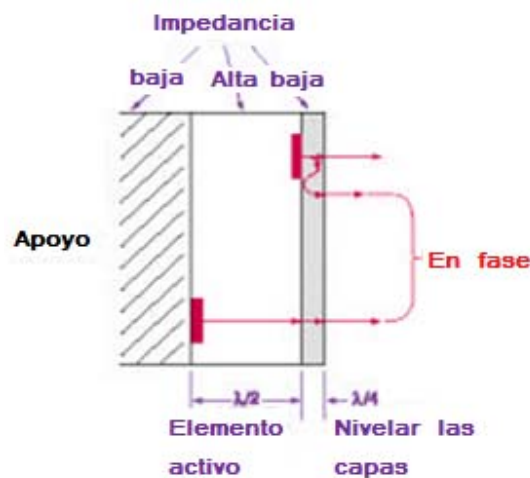


3.1.1. El elemento activo. El elemento activo, es un material piezo o ferroeléctrico, que convierte la energía eléctrica de un pulso de excitación en energía ultrasónica. Los materiales usados comúnmente son cerámicas polarizadas que son cortadas en numerosas maneras para producir diferentes formas de onda. Actualmente se están utilizando nuevos materiales como piezopolímeros y compuestos. [3]

3.1.2. El apoyo. El apoyo es usualmente un fuerte atenuador, un material de alta densidad usado para controlar las vibraciones del transductor absorbiendo la energía radiada por la cara trasera del elemento activo. Cuando la impedancia acústica del apoyo se iguala con la impedancia acústica del elemento activo, el resultado será un transductor fuertemente amortiguado, con un buen rango de resolución pero con una baja amplitud de señal. Si existe diferencia entre la impedancia acústica del elemento activo y el apoyo, mayor energía de sonido será emitida hacia el material en prueba. Este último resultado será un transductor con menor resolución debido a la mayor duración de la onda, pero con una mayor amplitud de señal o sensibilidad. [3]

3.1.3. Placa protectora. El propósito básico de la placa protectora es proteger el elemento transductor del entorno. En el caso de transductores de contacto, la placa protectora debe ser duradera y resistente a la corrosión. Para algunos transductores, como los de inmersión, los de emisión angular (*angle beam*) y los de línea de demora (*delay line*), la placa protectora tiene el propósito adicional de servir de transformador acústico entre la alta impedancia acústica del elemento activo y el agua, la cuña (*wedge*) o la línea de demora (*delay line*). Esto se consigue seleccionando una capa de un espesor de $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda emitida ($\lambda/4$) y de la deseada impedancia acústica (el elemento activo es nominalmente de $\frac{1}{2}$ de longitud de onda). La elección de la superficie de la placa estará basada en la idea de la superposición, que permite que las ondas generadas por el elemento activo estén en fase con la onda reverberando en la capa de unión. Cuando las señales están en fase, sus amplitudes se suman, dando una onda de mayor amplitud que penetra en la pieza a prueba. En la figura 9 se muestra el elemento activo y la placa protectora, y cuando están en fase. Si un transductor no está firmemente controlado o diseñado con cuidado y los materiales no son apropiados y las ondas de sonido no están en fase, causará una ruptura en el frente de las ondas sonoras. [3]

Figura 9. Elemento activo y placa protectora en fase



La aplicación de onda ultrasónica se puede dividir en dos campos: aplicación de la energía y de la información. Las ondas ultrasónicas usadas en aplicaciones de la energía, tales como el mecanizado por ultrasonidos y la limpieza, necesitan que se transmita una alta intensidad de potencia. Aunque la intensidad de transmisión en el uso de la información no necesita ser tan alta como en usos de la energía; el amplificador es necesario para ampliar la distancia de detección.

La interacción de la onda ultrasónica con las sustancias es similar a la interacción de la luz con las sustancias. Además del modo de la reflexión que permite una comparación con técnicas del sonar, ese modo de transmisión se utiliza en algunas aplicaciones: en la prueba de materiales, el modo de la reflexión se utiliza generalmente para la detección del flujo en sólidos u otros materiales; no obstante el modo de transmisión, conjuntamente con la emisión ultrasónica de un transductor de la referencia, se utilizan en sistemas de imagen holografía acústica para los ensayos no destructivos. Los ultrasonidos son utilizados para la asignación subcutánea de organismos biológicos, a veces en combinación con técnicas de tratamiento automatizado de imágenes. Las generaciones y las aplicaciones de ondas se muestran en la tabla 9. [7]

Tabla 9. Generación y aplicación de ondas ultrasónicas

Frecuencia [Hz]	Generación de ultrasonido [Material]	Aplicación			
		Sólido	Líquido	Gaseoso	Ejemplos
10 ⁸ - 10 ⁷ - Ultrasónico 10 ⁶ - 10 ⁵ - 10 ⁴ - 10 ³ - Sónico 10 ² - 10 ¹ -	Capa macro molecular Cuarzo Magneto-estriectivo Pohlman Galton Picos de descarga Stren Cristal piezoelectrico	(7) (2) (4) (1) (3)	(5) (5) (6)	○ (1) Detector de banco de peces Sonar ○ (2) Detector de fallas ● (3) Máquina de limpieza ● (4) Mecanizado Fusión de soldadura ○ (5) Caudalímetro Termómetro Medidor de nivel ○ (6) Estudio geológico ○ (7) Característica de materiales de investigación ● Poder ○ Información — sólido - - Líquido . . . Gaseoso	

4. SENSOR

Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transductible que es función de la variable de medida. La ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas

que por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos

4.1. Sensor de Ultrasonido

En la figura 10 se muestra un sensor ultrasónico. Los ultrasonidos son una radiación mecánica de frecuencia superior a los audibles (20Khz). Toda radiación al incidir sobre un objeto, en parte se refleja, en parte se transmite y en parte es absorbida. Si además hay un movimiento relativo entre la fuente de radiación y el reflector, se produce un cambio de frecuencia de la radiación (efecto

Doppler). Todas estas propiedades de la interacción de una radiación con un objeto han sido aplicadas en mayor o menor grado a la medida de diversas magnitudes físicas. El poder de penetración de la radiación permite que muchas de estas aplicaciones sean totalmente no invasivas, es decir, que no acceda al interior del recinto donde se producen los cambios que se desean detectar [1].

En función del tiempo que tarda el sonido en rebotar y volver, se calcula la distancia a la que se encuentra dicho objeto.

Figura 10. Sensor ultrasónico



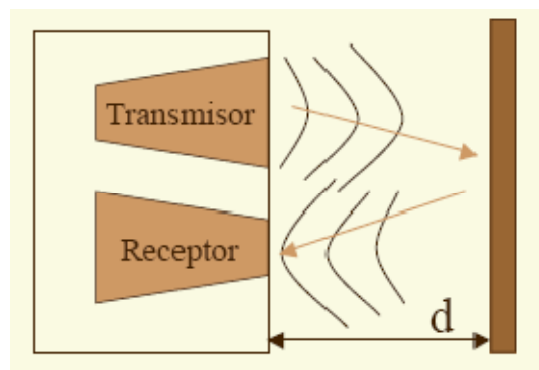
4.2. Funcionamiento del sensor ultrasónico

El ultrasonido es sonido exactamente igual al que escucha el ser humano normalmente, pero con una frecuencia mayor a la máxima audible por el oído humano. Ésta comienza desde unos 16 Hz y tiene un límite superior de

aproximadamente 20 KHz, mientras que se va a utilizar sonido con una frecuencia de 40 KHz. A este tipo de sonidos es a lo que se denomina Ultrasonidos.

El funcionamiento básico de los sensores ultrasónicos como medidores de distancia se muestra en la figura 11, donde se tiene un receptor que emite un pulso de ultrasonido, el cual rebota sobre un determinado objeto y la reflexión de ese pulso es detectada por un receptor de ultrasonidos. [1]

Figura 11. Principio de funcionamiento de los sensores ultrasónicos



La mayoría de los sensores de ultrasonido de bajo costo se basan en la emisión de un pulso de ultrasonido cuyo lóbulo, o campo de acción, es de forma cónica. Midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión del sonido y la percepción del eco se puede establecer la distancia a la que se encuentra el obstáculo que ha producido la reflexión de la onda sonora, mediante la fórmula: [1]

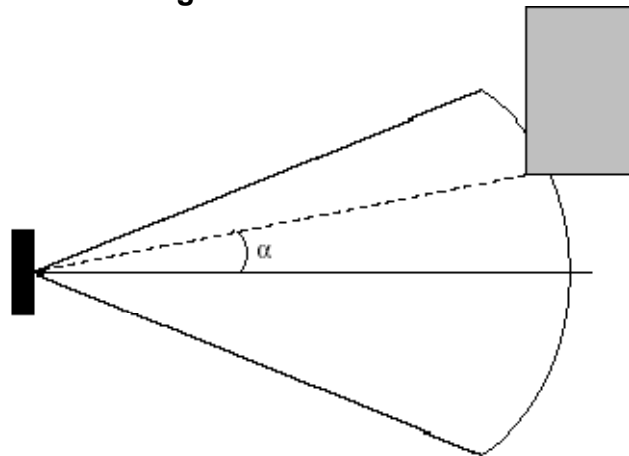
$$d = \frac{1}{2} V \cdot t$$

Donde V es la velocidad del sonido en el aire y t es el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso.

A pesar de que su funcionamiento parece muy sencillo, existen factores inherentes tanto a los ultrasonidos como al mundo real, que influyen de una forma determinante en las medidas realizadas. Por tanto, es necesario un conocimiento de las diversas fuentes de incertidumbre que afectan a las medidas para poder tratarlas de forma adecuada, minimizando su efecto en el conocimiento del entorno que se desea adquirir. Entre los diversos factores que alteran las lecturas que se realizan con los sensores de ultrasonido cabe destacar: [6]

El campo de actuación del pulso que se emite desde un transductor de ultrasonido tiene forma cónica. El eco que se recibe como respuesta a la reflexión del sonido indica la presencia del objeto más cercano que se encuentra dentro del cono acústico y no especifica en ningún momento la localización angular del mismo, como se muestra en la figura 12. Aunque la opción de que el objeto detectado esté sobre el eje central del cono acústico, la posibilidad que el eco se haya producido por un objeto presente en la periferia del eje central no es en absoluto despreciable y ha de ser tomada en cuenta y tratada convenientemente.

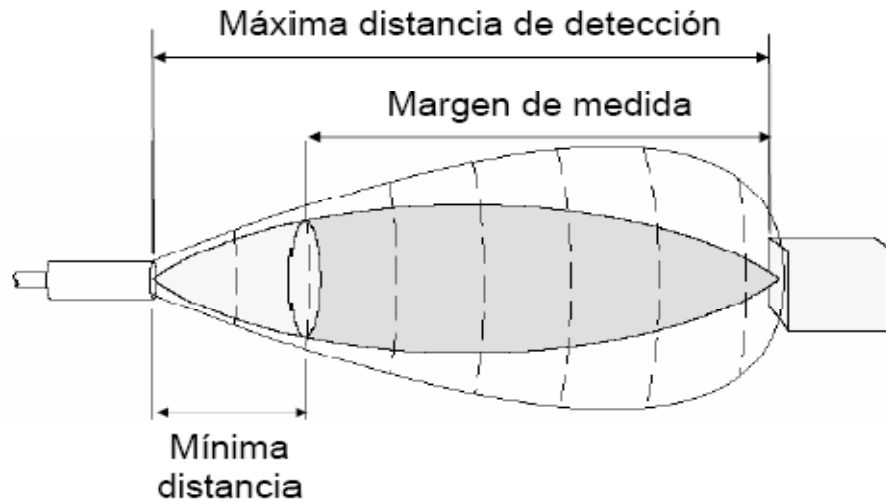
Figura 12. Incertidumbre angular en la medida de un ultrasonido



La cantidad de energía acústica reflejada por el obstáculo depende en gran medida de la estructura de su superficie. Para obtener una reflexión altamente difusa del obstáculo, el tamaño de las irregularidades sobre la superficie reflectora debe ser comparable a la longitud de onda de la onda de ultrasonido incidente.

En los sensores de ultrasónicos de bajo coste se utiliza el mismo transductor como emisor y receptor. Tras la emisión del ultrasonido se espera un determinado tiempo a que las vibraciones en el sensor desaparezcan y esté preparado para recibir el eco producido por el obstáculo. Esto implica que existe una distancia mínima d (proporcional al tiempo de relajación del transductor) a partir de la cual el sensor mide con precisión. Por lo general, todos los objetos que se encuentren por debajo de esta distancia, d , serán interpretados por el sistema como que están a una distancia igual a la distancia mínima, como se muestra en la figura 13. [6]

Figura 13. Margenes de detección de un sensor de ultrasonido



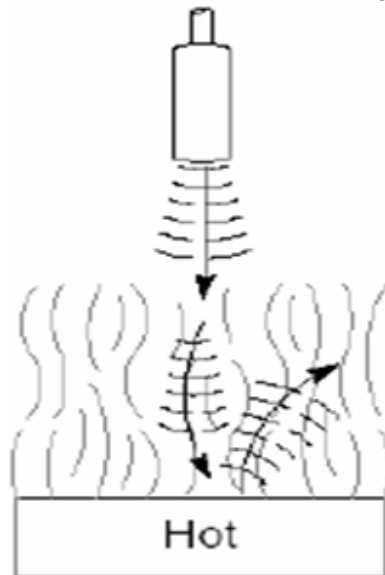
Los factores ambientales tienen una gran repercusión sobre las medidas ya que las ondas de ultrasonido se mueven por un medio material que es el aire.

La densidad del aire depende de la temperatura, influyendo este factor sobre la velocidad de propagación de la onda según la expresión:

$$V_s = V_{s0} \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Siendo V_{s0} la velocidad de propagación de la onda sonora a 0 °C, y T la temperatura absoluta (grados Kelvin).

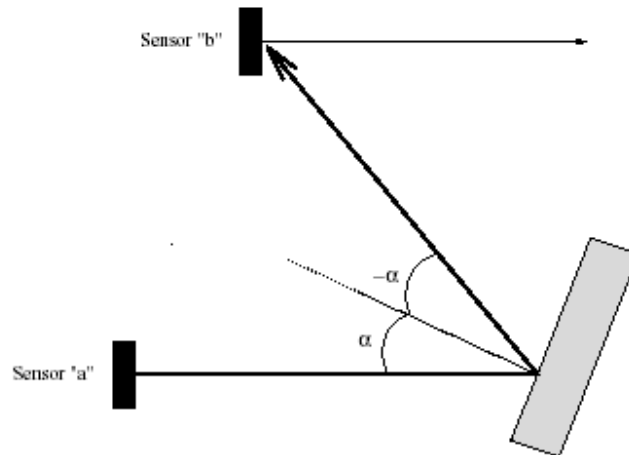
Figura 14. Perturbación de señales de ultrasonido por la temperatura



Un factor de error muy común es el conocido como falsos ecos. Estos falsos ecos se pueden producir por razones diferentes: Puede darse el caso en que la onda emitida por el transductor se refleje varias veces en diversas superficies antes de que vuelva a incidir en el transductor (si es que incide). Este fenómeno, conocido como reflexiones múltiples, implica que la lectura del sensor evidencia la presencia de un obstáculo a una distancia proporcional al tiempo transcurrido en el viaje de la onda; es decir, una distancia mucho mayor que a la que está en realidad el obstáculo más cercano, que pudo producir la primera reflexión de la onda. [6]

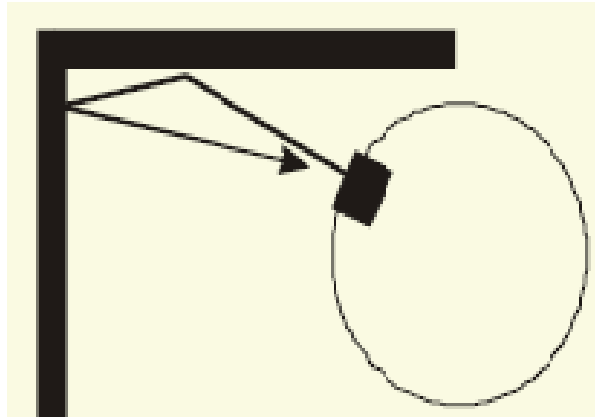
Otra fuente más común de falsos ecos, conocida como *crosstalk*, se produce cuando se emplea un cinturón de ultrasonidos donde una serie de sensores están trabajando al mismo tiempo. En este caso puede ocurrir (y ocurre con una frecuencia relativamente alta que un sensor emita un pulso y sea recibido por otro sensor que estuviese esperando el eco del pulso que él había enviado con anterioridad (o viceversa, lo cual se muestra en la figura 14. [4]

Figura 14. Reflexión de la señal



Las ondas de ultrasonido obedecen a las leyes de reflexión de las ondas, por lo que una onda de ultrasonido tiene el mismo ángulo de incidencia y reflexión respecto a la normal a la superficie. Esto implica que si la orientación relativa de la superficie reflectora con respecto al eje del sensor de ultrasonido es mayor que un cierto umbral, el sensor nunca reciba el pulso de sonido que emitió. [4]

Figura 15. Reflexión angular de incidencia de un ultrasonido



5. SELECCIÓN DEL SENSOR

Los sensores de ultrasonido son los más económicos, fáciles de manipular y pueden detectar objetos en el orden de los metros sin necesidad de algún filtro o adaptación especial.

Después de investigar en los mercados diferentes tipos de sensores existentes, se optó por elegir el sensor de ultrasonido sfr05 que es una evolución del sfr04 y está diseñado para aumentar la flexibilidad, el rango de medida y reducir costes, el rango de medida se aumenta de 3 a 4m.

El sfr05 dispone de un nuevo modo de operación que se selecciona simplemente conectando el pin "Modo" a GND. Dicho modo permite al sfr05 emplear un único pin de E/S que sirve tanto de para ordenes de inicio o disparo, como para obtener la medida realizada (ECO).

Cuando el pin "Modo" no se emplea y se deja sin conectar, el sfr05 trabaja de la misma manera que el sfr04. Esto es, la señal de disparo y la salida de ECO se realizan por pines diferentes.

6. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR ULTRASONICO SFR05

El SRF05, es un sensor de distancias por ultrasonidos desarrollado por la firma DEVANTECH Ltda. Capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 1,7 a 431 cm. [11]

El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el sensor se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio.

El sensor SRF05 funciona emitiendo impulsos de ultrasonidos inaudibles para el oído humano. Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Lo que hace el controlador incorporado es emitir una ráfaga de impulsos y a continuación empieza a contar el tiempo que tarda en llegar el eco. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto. Registrando la duración del pulso es posible calcular la distancia en pulgadas/centímetros o en cualquier otra unidad de medida. Si no se detecta nada, entonces el SRF05 baja el nivel lógico de su línea de eco después de 30mS. [11]

El SRF05 proporciona un pulso de eco proporcional a la distancia. Si el ancho del pulso se mide en uS, el resultado se debe dividir entre 58 para saber el equivalente en centímetros, y entre 148 para saber el equivalente en pulgadas. $US/58=cm$ o $uS/148=pulgadas$. El SRF05 puede activarse cada 50mS, o 20 veces por segundo. Debería esperar 50ms antes de la siguiente activación, incluso si el SRF05 detecta un objeto cerca y el pulso del eco es más corto. De

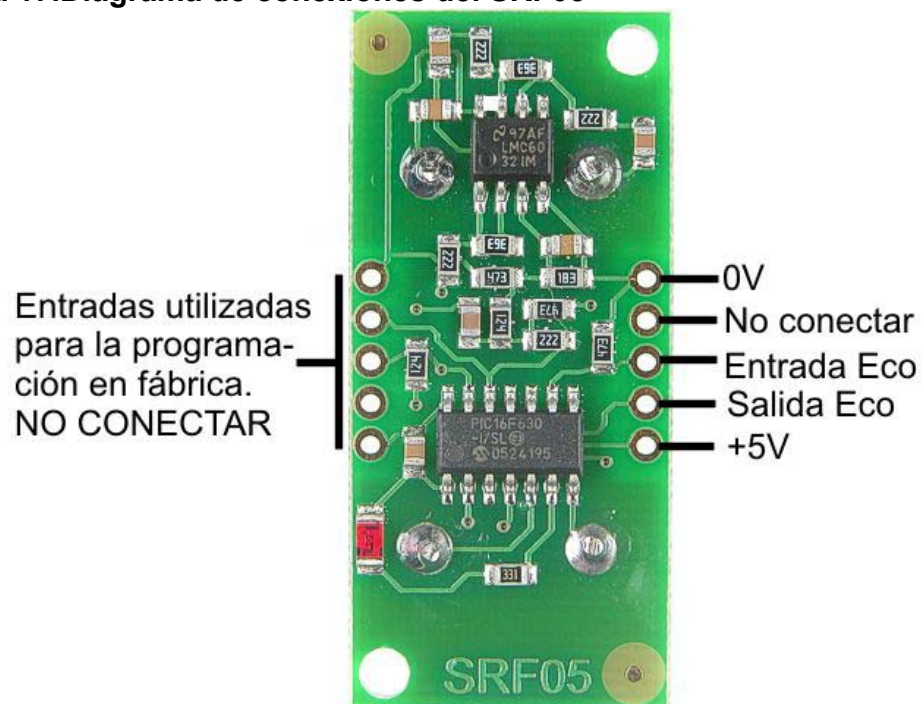
esta manera se asegura que el "bip" ultrasónico ha desaparecido completamente y no provocará un falso eco en la siguiente medición de distancia. [11]

Figura 16. Sensor de distancia por ultrasonido SRF05



El diagrama de conexiones se puede observar en la figura 19.

Figura 17. Diagrama de conexiones del SRF05



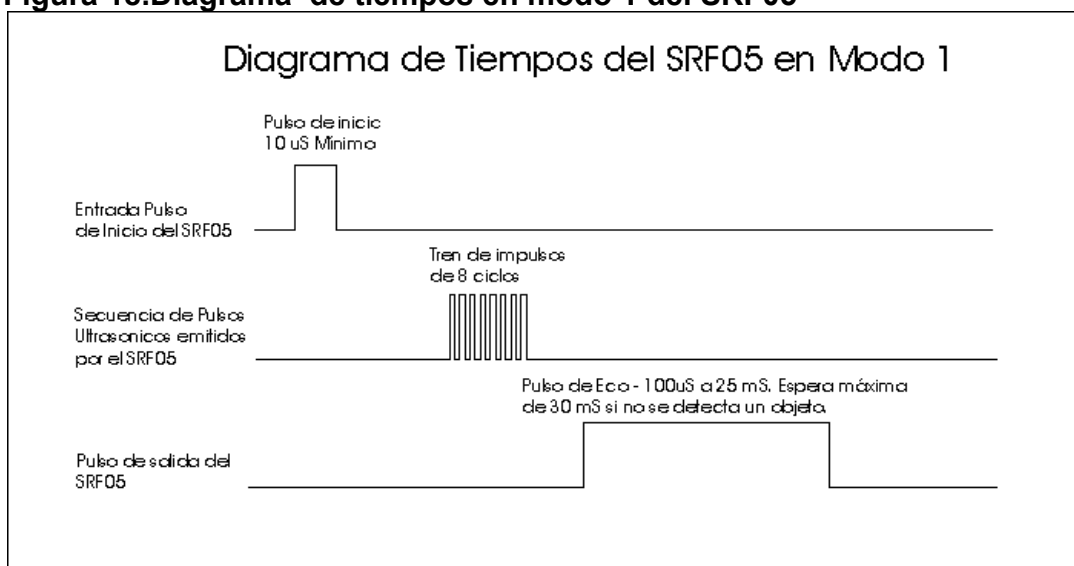
Desde un punto de vista práctico, lo que hay que hacer es mandar una señal de arranque en el pin 3 del SRF05 y después leer el ancho del impulso que proporciona en el pin 2. Externamente se aplica, por parte del usuario, un pulso de disparo o trigger de 10 μ S de duración mínima. Se inicia la secuencia. El módulo transmite un tren de pulsos o "burst" de 8 ciclos a 40KHz. En ese

momento la señal de salida ECO pasa a nivel “1”. Cuando la cápsula receptora recibe la señal transmitida como consecuencia de haber rebotado en un objeto (eco), esta salida pasa de nuevo a nivel “0”. El usuario debe medir la duración del pulso de esta señal, es decir, el tiempo en que la señal eco se mantiene a “1”. Con objeto de que el módulo se estabilice, se debe dejar un lapsus de tiempo de unos 20ms mínimo entre el momento en que la señal de eco pasa a “0” y un nuevo pulso de disparo que inicie el siguiente ciclo o medida. Esto permite realizar medidas cada 50ms o lo que es igual a 20 medidas por segundo. La duración del pulso eco de salida varía entre 100 μ s y 25ms, en función de la distancia entre las cápsulas del módulo y el objeto. La velocidad del sonido es de 29,15 μ s/cm que, como realiza un recorrido de ida y vuelta, queda establecida en 58,30 μ s/cm. Así pues el rango mínimo que se puede medir es de 1,7 cm (100 μ s/58) y el máximo de 431 cm (25ms/58). En la figura 13-23 se muestra el diagrama de tiempos y en la Tabla 2 se puede observar las características técnicas del sensor SRF05. [11]

6.1. Modo 1, Compatibilidad con SRF04

Este modo emplea patillas separadas, una para aplicar el pulso de inicio o Trigger y otra para leer la anchura del pulso del ECO medido. Todos los programas realizados para el SRF04 deben funcionar perfectamente en este modo, que se selecciona simplemente dejando la patilla “Mode” sin conectar (igual que en el SRF04). [11]

Figura 18. Diagrama de tiempos en modo 1 del SRF05



6.2. Modo 2, Patilla única para trigger y eco

Este modo permite emplear una única patilla para generar la señal de disparo o trigger y también para realizar la medida de la anchura del pulso de salida del ECO, lo que ahorra patillas en el microcontrolador central. Para emplear este modo basta con conectar la patilla “Modo” con GND. La señal de ECO aparecerá entonces en la misma patilla por la que se aplicó la señal de trigger. Esa patilla se debe configurar primero como salida para generar el disparo y luego como entrada para leer la duración del ECO. La sentencia PULSIN de los controladores más populares realiza esta reconfiguración de forma automática. [11]

Figura 19. Diagrama de tiempos en modo 2 del SRF05

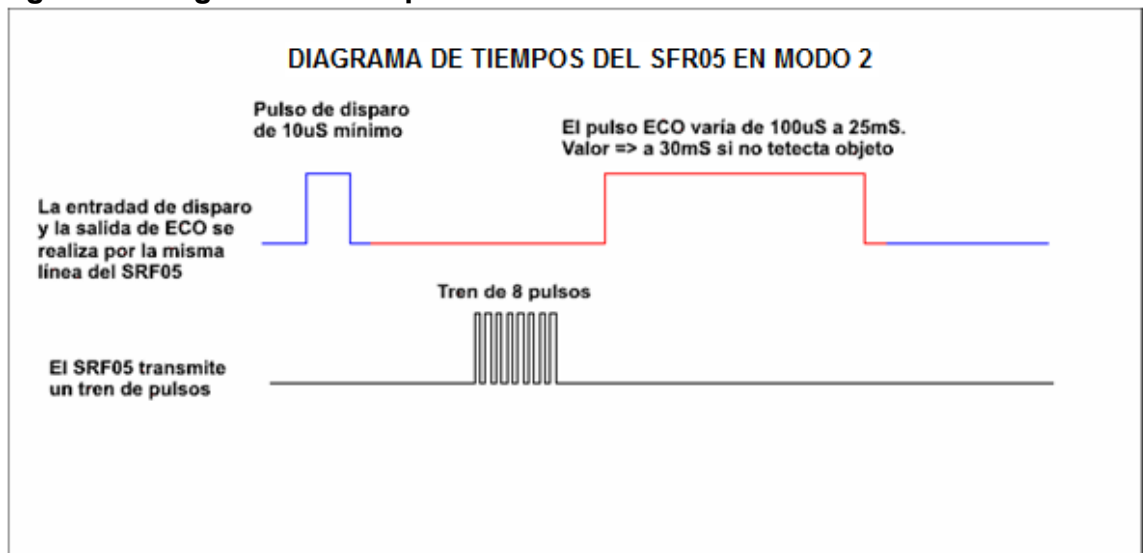


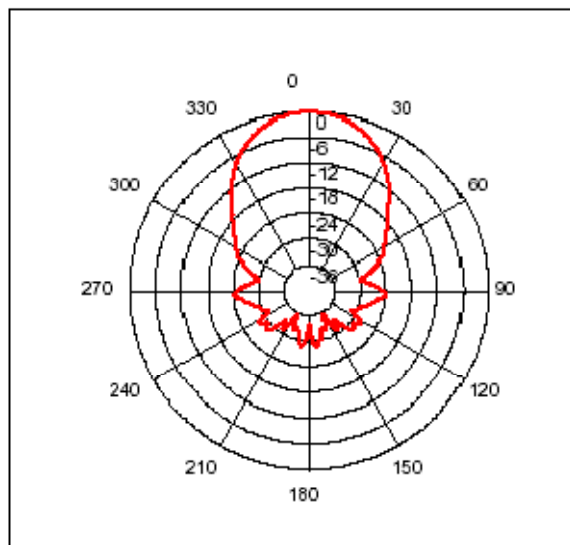
Tabla 10. Características técnicas del sensor SRF05

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Dimensiones del circuito	43 x 20 x 17	mm
Tensión de alimentación	5	Vcc
Frecuencia de trabajo	40	KHz
Rango máximo	4	m
Rango mínimo	1.7	cm
Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL)	10	µs
Duración del pulso eco de salida (nivel TTL)	100-25000	µs
Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra	20	ms

6.3. Patrón de haz del sensor SRF05

El patrón del haz del sensor SRF05 es cónico mientras que el ancho del haz es una función del área de la superficie de los transductores y es fijo. El patrón del haz de los transductores utilizados en el SRF05, según la hoja de datos de los fabricantes, es la siguiente mostrado en la figura 20: [11]

Figura 20. Patrón de haz del sensor según distancia



7. ARQUITECTURA INTERNA DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE

Un autómata programable ha sido diseñado para desarrollar múltiples funciones Como: leer señales de interruptores de posición, pulsadores, detectores de nivel, presostatos, etc., y también para la lectura de señales digitales, así como las analógicas. Además de lo anterior, envía órdenes de mando a los contactos de los motores, válvulas magnéticas, lámparas de señalización, entre otros dispositivos, y por último, contar impulsos, almacenar señales, etc., con solo tenerlo conectado a una red informática para enviar y recibir datos de la red.

7.1. Partes que Componen un Autómata Programable

La estructura de los autómatas programables es diferente de cada modelo y marca. Sin embargo, existe una constante en ellos para su funcionamiento.

Microprocesador. Este es el que se encarga de dirigir el funcionamiento de autómatas programables. Es quien recibe las órdenes del programa, ejecuta el programa y realiza sus funciones. En otras palabras, es la unidad de procesamiento, es el cerebro del PLC y se encarga de organizar todas las actividades de control recibiendo las señales, tomando las decisiones lógicas según el programa y controlando las salidas.

Memoria. La memoria, es el lugar donde reside el programa. El programa irá leyéndose de la memoria, instrucción a instrucción, a medida que se ejecute. Esta, es la que indica al microprocesador que eventos deben tener lugar y la secuencia en que deben ocurrir.

Entradas / Salidas. Son las conexiones para comunicarse con el exterior, recibir las señales externas para procesar o activar las salidas en función del proceso del programa. Las entradas son señales que provienen de sensores o interruptores de control. Y las salidas son señales que arrancan motores o inician procesos que están siendo controladas por el autómata programable.

Fuente de Alimentación. Como su nombre lo indica, es la encargada de dar alimentación a todo el conjunto, es decir, es la que hace que el autómata programable empiece a funcionar y por ende, a ejecutar el programa que se le ha cargado. Es la que proporciona los niveles de voltaje necesarios para la operación interna del PLC.

7.2. Los Autómatas Programables

Un autómata es una máquina industrial susceptible de ser programada (autómata programable industrial API) al estar basada en un sistema de microprocesador dotado de un hardware estándar independiente del proceso a controlar. Se adapta a tal proceso mediante un programa de usuario específico (software), escrito en algún lenguaje de programación y que contiene la secuencia de operaciones a realizar.

El programa, realizado y depurado en una unidad de programación propia o ajena al autómata, se incorpora a la memoria de programa del mismo, para su ejecución por la Unidad Central de Proceso (CPU) del autómata.

La secuencia de operaciones del programa se realiza sobre señales de entrada y salida del proceso, llevadas al bus interno del autómata a través de las correspondientes interfaces de entrada y salida (E/S). El autómata gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en su memoria de programa, a partir del estado de las señales de entrada. Los tipos

de interfaces de E/S son muy variados, según las características de las señales procedentes del proceso o las que se van a aplicar al mismo (señales analógicas de tensión o corriente, pulsos de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas 110 V, 220 V, tensiones continuas 12/24/48 V, etc.). En la mayoría de los APIs, el número (hasta la capacidad permitida por la CPU), tipo y ubicación de las interfaces lo define el usuario, adaptando así el autómata, junto con su programa, a las necesidades de su proceso.

Ejemplos de señales de entrada son las procedentes de elementos digitales, como interruptores, finales de carrera y detectores de proximidad, o analógicos, como tensiones de dinamos taco métricas, tensiones de termopares, etc.

Ejemplos de señales de salida son las órdenes digitales todo o nada o analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, tales como lámparas, contactores, válvulas, etc.

Ha de hacerse constar como característica esencial de los APIs, el disponer de un hardware estándar que posibilita la realización de sistemas de control de acuerdo con las necesidades del usuario. La elección del API (gama baja, media o alta) será función de las necesidades de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entrada y de salida.

7.3. Arquitectura y configuración

La configuración del autómata, llamada arquitectura interna, como en todo sistema microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno.

Las instrucciones de un programa de usuario almacenado en la memoria de un API son ejecutadas correlativamente generando unas órdenes o señales de control a partir de las señales de entrada leídas de la planta. Cuando se detectan cambios en las señales, el autómata reacciona de acuerdo con el programa hasta que obtiene las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente a fin de conseguir el control actualizado del proceso.

Además de ejecutar las instrucciones del programa, el autómata realiza un conjunto de acciones que aseguran su funcionamiento correcto: test de CPU y memoria, comprobación del reloj de guarda, etc. La secuencia o ciclo de operación consta básicamente de las siguientes etapas:

- Test del sistema.
- Lectura de señales desde la interface de entrada.

➤ Escritura de señales en la interface de salida.

➤ Procesado del programa a fin de obtener las señales de control.

Para reducir los tiempos de acceso a las interfaces de E/S, la lectura y escritura de las entradas y salidas involucradas se realiza a la vez, guardando las entradas leídas en una memoria temporal o imagen de entradas a la que accede la CPU mientras ejecuta el programa, en tanto que los resultados o señales de control se van guardando en otra memoria temporal o imagen de salidas a medida que se van obteniendo. Al terminar la ejecución del programa los resultados se colocan de una sola vez en la interface de salida.

Aparte de las cuatro etapas descritas anteriormente, el autómata eventualmente puede establecer comunicación con periféricos exteriores, por ejemplo para sacar datos por impresora, comunicación con otros autómatas u ordenadores, conexión con la unidad de programación, etc.

Las anteriores acciones, repitiéndose periódicamente, definen un ciclo de operación que requiere un cierto tiempo (dependiendo del número de entradas y salidas, y de la longitud del programa para ser ejecutado, de modo que el autómata no puede responder en tiempo real a sucesos que ocurren en el sistema exterior. Este tiempo será determinante cuando con el autómata se pretendan controlar procesos rápidos, con señales de muy corta duración o alta frecuencia de conmutación.

Los retardos aportados por entradas o salidas son debidos, respectivamente, al filtrado de señal que incorporan (filtro pasa bajo), y a los tiempos de respuesta del interruptor (relé, transistor, etc.) o convertidor digital/analógico.

Para las entradas, los retardos típicos oscilan entre 10 ms y 100 ms, aunque hay autómatas que permiten ajustes del tiempo de filtro menores.

Para los tiempos típicos, la frecuencia máxima de señal de entrada queda limitada entre 100 Hz y 10 Hz, de forma que cualquier señal de frecuencia superior, o de periodo T menor que el tiempo de filtro, no podrá ser leída desde las entradas estándar del autómata.

Los anteriores problemas debidos a los retardos pueden reducirse de las siguientes maneras:

- Para las entradas, con elementos de entrada de proceso rápido: filtrado débil asociado a programa de ejecución rápida, entradas detectoras de flancos o entradas de contador rápido.
- Para el tiempo de procesado del programa: escribiendo subprogramas rápidos contenidos en el principal asociado a algún elemento de proceso rápido y activado periódicamente.
- Para las salidas: utilizando elementos semiconductores en sustitución de relés electromecánicos.

En general se dice que un autómata es capaz de controlar en tiempo real un proceso, cuando sus tiempos de respuesta o retardo son muy pequeños comparados con los tiempos de reacción del mismo.

La configuración del autómata es la estructura que tiene su sistema físico (hardware), fundamentalmente la unidad de control, el sistema de E/S y la memoria, de modo que pueda adaptarse a las características particulares de la aplicación industrial en que vaya a usarse. Siendo la modularidad una de las características fundamentales de los autómatas, la elección de la configuración adecuada resulta fácil al ofrecer sus fabricantes una amplia variedad de módulos y ampliaciones.

En cuanto a la unidad de control las configuraciones son:

- Unidad de control compacta (control centralizado). Es el caso en el que una única CPU gestiona tanto el programa como las entradas y salidas asociadas, agrupadas en módulos que contienen exclusivamente interfaces E/S. Esta configuración se usa en aplicaciones de poca complejidad, dando lugar a los llamados micro autómatas y mini autómatas.
- Unidad de control modular (control distribuido). En aplicaciones de mayor complejidad, en lugar de una única CPU, existen varios módulos con tarjetas o unidades de proceso propias e incluso con sus interfaces de E/S. Es lo que se denomina estructura de multiprocesadores o con control distribuido. Cada procesador trabaja sobre subprogramas (partes del programa de usuario) o específicamente sobre otras aplicaciones concretas (regulación, posicionamiento, etc.) con su propio programa de tratamiento. En la estructura de multiprocesadores las unidades de proceso están conectadas a una unidad central (CPU maestra o principal) que gestiona el sistema en conjunto y permite el intercambio de datos entre el resto de las unidades e interfaces. En algunas aplicaciones es interesante duplicar la CPU o algún otro elemento del autómata, configuración de seguridad, de modo que esta redundancia permite un funcionamiento ininterrumpido aún en caso de avería, por conmutación al elemento de reserva.

El sistema de entradas-salidas de un autómata es el conjunto de interfaces E/S que hacen posible la conexión de la CPU con la planta y la identificación de las señales de ésta mediante una tabla de direcciones. Dada la modularidad característica de los autómatas, en casi todos ellos puede ampliarse el número de E/S mediante la conexión a la CPU de módulos de expansión con interfaces de E/S adicionales. En cuanto al sistema de entradas/salidas, las configuraciones pueden ser:

- Sistema de E/S centralizado. Es aquel en el que las interfaces de E/S se comunican con el autómata directamente a través de su bus interno, o a lo

sumo mediando un amplificador de bus si se emplea un bastidor de ampliación, pero sin mediar procesadores de comunicación.

- Sistema de E/S distribuido. Es aquel en el que se necesitan procesadores de enlace de E/S conectados sobre el bus interno para la comunicación entre los módulos de E/S y la CPU. Estos procesadores de enlace son los encargados de amplificar, serializar y transmitir las informaciones entre las expansiones y la CPU del autómata base, mediante una línea común. En función de las distancias de conexión y de las prestaciones del enlace distribuido, éste puede ser local o remoto.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento (memorias), en general los autómatas disponen de suficiente memoria como para realizar el mando y control de la mayoría de los procesos industriales, si bien en casos de aplicaciones con gran volumen de información a gestionar puede ser necesaria la instalación de una memoria de masa adicional que, conectada directamente a las unidades de programación y bajo el control de la CPU puede intercambiar datos con la memoria de trabajo.

En resumen, dada la amplia gama de autómatas existente en el mercado y la modularización de sus elementos, es posible en cualquier caso encontrar la configuración adecuada para una determinada aplicación.

7.3.1. Interfaces de Entrada/Salida. Son muchos los automatismos industriales que necesitan de una cadena de realimentación para poder ejecutar un control en lazo cerrado con una regulación precisa y rápida. La cadena de realimentación se alimenta de las magnitudes de la planta a controlar (entradas), que son captadas mediante sensores o transductores y cuyas salidas han de adaptarse en unos circuitos llamados de interface para su procesamiento por el autómata.

Por otra parte, las débiles señales de control generadas por el autómata han de actuar, generalmente previa amplificación, sobre la parte de potencia de la planta. A los elementos finales que actúan sobre la parte de potencia de la planta se les denomina accionamientos, y a los elementos intermedios que interpretan las señales de control y las amplifican se les denomina pre accionamientos.

En el control de cualquier proceso ha de existir un diálogo entre el operador y la máquina a controlar (diálogo hombre-máquina, y una comunicación entre el sistema de control y la máquina a controlar.

Traducido lo anterior a un autómata, supone que a éste le lleguen un conjunto de señales, de mando y de realimentación que se denominan entradas.

Por otra parte, el operador ha de conocer ciertos datos sobre la evolución del proceso y los accionamientos han de recibir las órdenes precisas para

controlarlo, a todo lo cual se denominan salidas. A todo el conjunto de entradas-salidas (E/S), es a lo se le denomina comúnmente "medios de diálogo operador-máquina y máquina-controlador".

Tanto las entradas como las salidas pueden consistir en señales todo-nada (final de carrera, electroválvula, etc.), señales analógicas (velocidades, temperaturas, presiones) y señales digitales (contadores).

Una característica ventajosa y esencial de los autómatas programables, frente a otros controladores digitales, es el disponer de un bloque de interfaces E/S muy potente que les capacita para conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso. De ahí que de la adecuada elección de las interfaces E/S se derive una alta fiabilidad y disponibilidad del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, es frecuente que sistemas de control complejos que incorporan un ordenador central con gran potencia de cálculo, utilicen como elemento de interface con el proceso industrial un autómata programable.

Además de los tipos de interface que intervienen en el proceso industrial propiamente dicho, existen otros tipos de interface dedicados a funciones específicas que incluso incluyen su propia CPU.

Además de las interfaces estándar digitales y analógicas, disponibles para todas las gamas de autómatas, existen otros tipos de interfaces llamadas específicas que, de modo opcional, pueden ser incorporadas al autómata base como tarjetas o módulos en las máquinas de las gamas media y alta.

Tales interfaces específicas hacen posible la conexión con elementos o procesos particulares de la planta, pudiendo realizar funciones muy variadas: manejo de señales particulares (códigos binarios, impulsos, señales analógicas débiles, etc.), regulación (PID, comparadores, control numérico), presentación de sinópticos y control (SCAD, posicionamiento de ejes, contadores rápidos, etc.

Por la función que realizan, las interfaces específicas pueden clasificarse como: de E/S especiales, de E/S inteligentes, y procesadores periféricos inteligentes.

Las interfaces con E/S especiales son interfaces análogas a las estándar pero que tratan señales particulares por su forma o por su aplicación, pero sin ningún control sobre las variables de la planta. El tratamiento de las señales está predeterminado y no es modificable por el usuario que sólo puede actuar sobre los modos de trabajo o algún parámetro de la tarjeta mediante instrucciones de programa o por micro-switches externos.

Las interfaces con E/S inteligentes permiten diferentes modos de configuración ordenados por programa, e incorporan un control elemental que posibilita, utilizando señales binarias propias de la tarjeta, establecer lazos de regulación ON-OFF sobre variables de la planta, en funcionamiento transparente para la CPU. Desde la CPU y por el programa de usuario se envían las consignas y controles necesarios a estas interfaces.

Tal forma de actuar descarga de trabajo a la unidad central y mejora de paso la capacidad de direccionamiento al poder acceder a señales de E/S que no han de aparecer en su memoria imagen.

Finalmente, los procesadores periféricos inteligentes son tarjetas o módulos que disponen de su propio procesador, memoria y puntos auxiliares de E/S. Tales procesadores incorporan de origen un programa o intérprete de programa especializado para la ejecución de una tarea específica, al que sólo se le han de fijar las consignas y los parámetros de aplicación para que, de forma autónoma y sin intervención de la CPU principal ejecute el programa de control.

Los procesadores periféricos, de uso mucho más general que las interfaces con E/S inteligentes, necesitan de mucha más información para definir, además de la configuración del periférico: las condiciones de aplicación y de entorno, las condiciones de control (respuesta en función de la evolución del proceso) y las consignas a seguir. A todos los anteriores valores, que en definitiva no programan sino que parametriza la tarjeta, se les denomina programa de la interface y son enviados al periférico desde la CPU principal o desde la unidad de programación.

Aunque las tareas que realizan las interfaces específicas podrían realizarse por el programa de usuario desde la CPU principal, su especialización permite evitar o minimizar problemas tales como: a) Parte de las E/S estándar del autómata serían ocupadas para el tratamiento, a veces sin éxito, de señales específicas que por su naturaleza (por ejemplo tiempo de respuesta, pueden requerir un tratamiento especial, b) El aumento de la dificultad de programación, y c) El incremento del tiempo de ciclo del autómata que retardaría las reacciones del mismo ante el proceso y que, en el caso de procesamiento rápido de señales causaría problemas.

7.4. Programación

El autómata es una máquina electrónica integrando elementos de hardware que son capaces de comunicarse físicamente con un proceso para:

- Recibir desde el proceso algunas variables (analógicas o digitales) que determinan su estado y que se denominan señales de entrada.
- Enviar otras variables que modifiquen tal estado en un determinado sentido, y que se denominan señales de salida. Por su condición de programable, es necesaria la intervención de un operador humano que defina cómo ha de evolucionar el proceso y que intercambie información con el autómata para:
- Establecer mediante una secuencia de instrucciones (programa, cuál ha de ser la ley general de mando. De la ejecución de tal programa se obtienen las señales de salida o de control.
- Intervenir, esporádica o continuamente sobre el proceso a efectos de informarse de su estado o de modificar su evolución.

Al apartado se le denomina programación del autómeta y a la secuencia de instrucciones programa de la aplicación.

Al apartado b) se le llama comúnmente explotación de la aplicación, mediante la cual se pueden modificar ciertos parámetros (consignas, tiempos, módulos de cuenta, etc.), pero no modificar el programa.

Las intervenciones sobre la planta se realizan normalmente mediante el autómeta, si bien en casos de fuerza mayor (parada de emergencia por motivos de seguridad), el operador puede actuar directamente sobre el proceso.

El intercambio de información entre autómeta y proceso corre a cargo de las interfaces de E/S, en tanto que la comunicación con el operador para programación/explotación requiere de un software que haga de intérprete entre el sistema real y los deseos del usuario.

De este modo puede decirse que este software es "el conjunto de programas que posibilitan la utilización del hardware para el control y la explotación de las aplicaciones".

De acuerdo con la anterior definición, las herramientas de software son clasificables como: Sistemas operativos residentes en el propio autómeta que tienen la misión de establecer las secuencias de intercambios de información, interpretar y ejecutar las instrucciones del usuario y vigilar el correcto funcionamiento del equipo, y b) Software de edición/depuración de programas, que permite al usuario introducir su propio programa sobre soportes físicos tipo cinta, disco, etc., modificarlo para perfeccionarlo, obtener la documentación que se precise del proceso y, en su caso sacar copias de seguridad.

Según los casos, el software de edición/depuración puede ser residente, es decir está instalado en la máquina o, es instalable sobre un terminal denominado unidad de programación que a su vez puede ser autónoma o dependiente de la CPU. Las misiones de la unidad de programación son fundamentalmente: Permitir la edición, depuración y modificación del programa y, b) Servir de interface física entre el usuario y el autómeta, a fin de poder transferir programas y realizar la supervisión y el control del equipo.

Las instrucciones u órdenes que el usuario introduce en el programa han de ser entendibles por el autómeta, es decir que han de ser codificadas mediante los lenguajes de programación y explotación prefijados por el fabricante.

Por tanto, el lenguaje de programación puede definirse como "el conjunto de símbolos y textos, entendibles por la unidad de programación, que utiliza el usuario para codificar sobre un autómeta las leyes de control que desea". Asimismo, el lenguaje de explotación se definiría como "el conjunto de comandos y órdenes que, desde la CPU u otro terminal adecuado, puede enviar el usuario para conocer el estado del proceso, y en su caso para modificar alguna variable".

En esencia, el usuario introduce su secuencia de instrucciones (programa en la unidad de programación, en un lenguaje que entienden ambos. La unidad de programación compila (convierte) las instrucciones del programa a unos códigos

binarios, únicos que entiende el autómata (código máquina del autómata y los almacena en la memoria. Finalmente el sistema operativo residente interpreta tales códigos binarios para activar los recursos físicos que requiere la ejecución del programa (procesador, interfaces E/S, etc.).

En la tarea de programación del autómata, es decir de establecer el programa a introducir en la unidad de programación, han de seguirse los siguientes pasos:

- Establecer mediante un diagrama de flujo, una descripción literal o gráfica (GRAFCET, RDP, etc.) que indique qué es lo que se quiere que haga el sistema y en qué orden.
- Identificar las señales de E/S del autómata.
- Representar de forma algebraica (instrucciones literales o de textos) o gráfica (símbolos gráficos) un modelo del sistema de control con las funciones que intervienen, con las relaciones entre las mismas y con la secuencia a seguir.
- Asignar a cada uno de los elementos que figuran en el modelo direcciones de E/S o internas.
- Codificar la representación del paso 3 en instrucciones o símbolos entendibles por la unidad de programación (lenguaje de programación). Cada instrucción del programa consta de dos partes: el código de operación, que dice qué se ha de hacer y el código de los operandos (identificados por su dirección) que dicen sobre qué variables, o constantes, se ha de operar.
- Transferir el conjunto de instrucciones escrito en la unidad de programación a la memoria del autómata.
- Depurar, poner a punto el programa y guardar una copia de seguridad.

En cuanto a los lenguajes de programación a utilizar: literales o gráficos ha de decirse que depende de la aplicación a que se destina e incluso de la costumbre o hábito del programador. No obstante seguidamente se comentan las características fundamentales de ambos:

- Lenguajes literales: Formados por instrucciones elementales del programa, cada una de las cuales es una secuencia de textos. Las instrucciones disponibles dependen de la complejidad del lenguaje y van desde muy sencillas funciones lógicas (AND, OR, NOR) hasta las estructuras complejas de programación de alto nivel (FOR...NEXT, DO, WHILE, etc.), o

instrucciones de manipulación de textos y valores numéricos, o instrucciones de acceso a bloques secuenciales (TIM, CNT, etc.).

- Lenguajes gráficos: Tienen su origen en los esquemas eléctricos de relés y utilizan símbolos de contactos y bobinas para las instrucciones básicas y símbolos de bloques lógicos para las extensiones al lenguaje, con una potencia similar a la de los lenguajes literales de alto nivel y con la ventaja de visión de conjunto que proporciona la representación gráfica.

En la automatización de procesos usuales, de no mucha complejidad (cadenas de montaje, control de máquinas, etc.), puede utilizarse indistintamente un programa a base de lista de instrucciones o uno a base de diagrama de contactos, lenguajes básicos para la mayoría de autómatas. Tanto es así que varios fabricantes prevén en su software de programación sobre PC la posibilidad de transcodificación entre ellos con sencillas operaciones de compilación/des compilación.

Para aplicaciones complejas que requieran manipular largas cadenas de caracteres, realizar muchos cálculos, utilizar subrutinas o bloques de programación específicos (regulación PID, posicionamiento de ejes, contaje rápido, etc.), podría ser necesaria la utilización de lenguajes literales de alto nivel que también permiten programar sencillas sentencias booleanas o manejar contadores y temporizadores como listas de instrucciones.

La tendencia actual de los fabricantes en cuanto a los lenguajes de programación se centra en integrar los lenguajes antedichos en un lenguaje mixto que aúne la claridad de los lenguajes gráficos para las funciones combi nacional y secuencial con la compacidad de los literales para el manejo de textos y los cálculos matemáticos.

Para el logro del mencionado lenguaje mixto se ha de actuar en los siguientes campos:

- Potenciar el uso de estructuras de programación avanzada en los lenguajes gráficos (GRAFCET a menor nivel y RDP a nivel superior) y aumentar el número de las actuales instrucciones de expansión.
- Permitir el uso de instrucciones literales dentro de un programa gráfico, tratándolas como tales instrucciones dentro del programa o como subrutinas accesibles desde él.
- Desarrollar herramientas de edición con las que el usuario pueda almacenar sus sentencias en un bloque de expansión dentro de la librería disponible.

En definitiva y en lo referente a los lenguajes de programación, se prevé una evolución de los lenguajes gráficos en el sentido de hacerlos más potentes, más

abiertos y de más fácil manejo por el usuario que, progresivamente podrá desarrollar sus aplicaciones sobre terminales tipo PC.

Los bloques funcionales, de mayor o menor complejidad, añaden al lenguaje básico instrucciones pre programadas por el fabricante, de uso general en automatización (contadores, temporizadores, transferencias, registros, etc.) aumentando así la potencia de cálculo del autómata y simplificando su programación.

Tales bloques, que pueden introducirse en programas escritos en lenguajes literales, lenguajes de alto nivel y lenguajes gráficos, se clasifican en dos grupos en función de su forma de operar y su disponibilidad en el programa:

- Bloques secuenciales básicos: Aquellos que son de uso generalizado en todo tipo de autómatas, incluidos los de la gama baja (contadores, biestables, temporizadores y registros de desplazamiento).
- Bloques de expansión o funciones: Son los que hacen posible el tratamiento de variables numéricas y el registro de datos, con sentencias aritméticas (comparación, transferencias, etc.), aumentando así la potencia del lenguaje. Los bloques secuenciales básicos se pueden considerar parte de los lenguajes básicos del autómata, en tanto que los bloques de expansión son extensiones de aquellos.

El usuario ha de adaptar los anteriores bloques funcionales a sus particulares necesidades fijando las condiciones de trabajo: nombre de los registros con los que desea operar (direcciones), valores de temporizaciones en los temporizadores, direcciones de origen y destino en las transferencias, etc...

Los bloques funcionales, en su caso más general hacen intervenir tres tipos de variables asociadas: Condiciones de operación (entradas).- Son las que definen la habilitación y control del bloque, b) Operandos de función.- Son aquellos sobre los que actúan las sentencias pre programadas del bloque funcional, y c) Salidas asociadas cuyo estado depende de la ejecución del bloque.

A su vez, los operandos de función pueden ser: Parámetros iniciales que normalmente permanecen inalterados una vez fijados por programa o transferidos desde consola, y b) Datos de operación (constantes o variables expresadas en palabras de 8/16 bits y que muestran el estado de valores internos, E/S, resultados, etc.

Los datos (numéricos o alfanuméricos) que se usan como operandos pueden corresponder a:

- Constantes (números o caracteres ASCII) definidos en el programa.

- Textos pre programados escritos en alguna unidad de memoria o dispositivo exterior.
- Variables numéricas (caso más usual) en: contadores o temporizadores (valores actuales), registros internos, canales de datos de 8/16 bits de E/S (p.e. resultado binario de una conversión A/D).

A pesar de que el usuario puede definir en su programa los anteriores datos en cualquier base (decimal, BCD, hexadecimal, etc.), siendo que los datos internos que maneja el autómata son siempre binarios, han de ser convertidos automáticamente por el intérprete a tal base.

Según los fabricantes, un bloque funcional es considerado como elemento de un diagrama de contactos o como una sentencia literal en lista de instrucciones (con ciertas reglas de sintaxis).

Los programas de autómata para un proceso determinado pueden escribirse según estructuras monotarea y multitarea.

Si se define la tarea como "un conjunto de sentencias ejecutables que describen un tratamiento limitado y concreto sobre ciertas variables de un proceso", una estructura monotarea sobre una aplicación determinada es la que se desarrolla sobre una tarea única incluyendo la totalidad del programa, con todas sus variables de E/S y todas las sentencias de operación. Por el contrario, una estructura multitarea es aquella en que el programa está integrado por subprogramas, independientes o no, dando lugar a tareas aisladas referidas a tratamientos parciales y particulares de la aplicación (Comunicaciones, supervisión, etc.).

Cuando la estructura es monotarea, la totalidad del programa (tarea única, se ejecuta periódicamente siguiendo un ciclo único de operación, en tanto que en estructuras multitarea se desarrollan varios ciclos a la vez durante la ejecución, uno por tarea, pudiendo además ejecutarse periódicamente o no las distintas tareas.

En cualquier caso, el ciclo de operación de cualquier tarea (tanto en estructuras mono como multi), recorre la típica secuencia de cuatro pasos:

- Recogida de entradas.
- Escrutinio del programa (de la tarea en operación).
- Actualización de salidas.
- Servicio a terminales de explotación y/o periféricos.

Como puede verse, en una estructura multitarea cada tarea constituye una unidad de programación completa, con sus propias E/S, variables internas e

instrucciones de control, lo cual permite optimizar la ejecución cuando se dispone de un hardware con varios procesadores adaptados a los distintos tipos de tratamiento de la información (tratamiento de textos, booleano, regulación, etc.). Como contrapartida, este hardware multiprocesador ha de ser coordinado por un gestor de recursos (software) que asegure a cada tarea el acceso a los mismos y evite la conflictividad en su uso compartido.

En efecto, el gestor de recursos es un ente software que puede ser parametrizado por el usuario a fin de fijar las prioridades de las tareas de su programa, y que dependiendo del fabricante puede correr sobre una CPU coordinadora (específico sobre la CPU principal).

Del mismo modo que los procesadores periféricos montados en bastidor pueden considerarse como parte de una misma unidad de control, los programas que se ejecutan sobre ellos (con lectura y generación de señales sin intervención de la CPU principal) pueden también considerarse como parte de un tratamiento multitarea.

La clasificación anterior de estructuras de programación (mono y multitarea, fuertemente dependiente de la configuración del hardware de la unidad de control, no ha de confundirse con las metodologías de programación a utilizar.

En efecto, una vez elegida para la aplicación a desarrollar un tipo de estructura mono o multitarea para su programación, cada una de las tareas parciales ha de ser programada en una secuencia de sentencias que puede obedecer a una metodología de programación lineal o estructurada.

En cuanto a la metodología a utilizar se dice que la programación es lineal cuando las sentencias están ordenadas en el mismo orden en que se van a consultar, y en su caso a ejecutar. Por el contrario, se dice que la programación es estructurada cuando la tarea de control está repartida en módulos o subprogramas relativos a distintas funciones y cuya ejecución puede ser necesaria varias veces dentro de un mismo ciclo de ejecución del autómata.

A pesar de que la programación estructurada de una tarea se realiza con mayor eficiencia en autómatas con coprocesadores en su CPU que estén especializados en las funciones de cada subprograma, resulta también posible sobre autómatas con CPU única, que ejecutará los subprogramas o módulos en el orden en que sean llamados por el programa principal. En este sentido ha de hacerse constar que existen módulos pregrabados por el fabricante (para realizar tareas concretas o gobernar interfaces específicas) que pueden ser adaptados por el usuario a su aplicación concreta con sólo parametrizarlos adecuadamente.

En resumen, puede decirse que si bien, tanto los tratamientos monotarea como los multitarea pueden desarrollarse en autómatas con un solo procesador o con varios procesadores, ha de ser el programador quien según la complejidad de la aplicación, la estructure o subdivide de la forma más eficiente posible de acuerdo con los recursos hardware de que disponga.

Finalmente, obsérvese como la programación en lenguajes gráficos (GRAFSET o RDP) también puede ser considerada como una programación estructurada especialmente útil para la programación de los procesos secuenciales.

En cualquier aplicación con autómata programable, tanto durante la fase de concepción, edición y depuración del programa como durante la fase de operación o explotación del sistema, es necesaria una comunicación o diálogo hombre-máquina. En la primera fase el hombre (programador) carga el programa en la memoria del autómata, verifica su funcionamiento observando la evolución de las variables (monitorización) y en su caso modifica su estado en variables lógicas o su valor en variables alfanuméricas (forzado). En la segunda fase o fase de explotación, sigue siendo conveniente y a menudo imprescindible la comunicación entre el hombre (operador) y la planta, a fin de conocer (monitorizar) a través del autómata los valores de ciertas variables claves para el correcto desarrollo del proceso y su control, variables que en su caso pueden modificarse (forzado). Las comunicaciones descritas entre el hombre (programador/operador/usuario) y el autómata se realizan mediante dispositivos específicos o mediante la utilización de un entorno software que corre sobre un PC. Los dispositivos específicos, genéricamente denominados "Unidades de Programación y Servicio" proporcionan la comunicación entre el programador y la máquina en la fase de programación y la comunicación entre la planta y el usuario en la fase de observación y control (explotación).

Las anteriores comunicaciones se realizan siempre sobre el autómata, que para ello dispone de los conectores adecuados, en la CPU para la programación y en la CPU o procesadores auxiliares de comunicaciones para la explotación y el servicio.

En general existe una gran variedad de dispositivos conectables a un autómata, bien directamente o vía modem, aportando soluciones a necesidades del proceso muy dispares: unidades específicas de programación o entornos software sobre PC, para la edición y puesta a punto de programas de autómata; unidades de explotación desde un visualizador de baja funcionalidad hasta un terminal gráfico interactivo pasando por visualización de mensajes asociados a la evolución del programa, impresión de textos, intercambio de datos con otros equipos, etc.

Figura 21.Arquitectura interna del autómeta

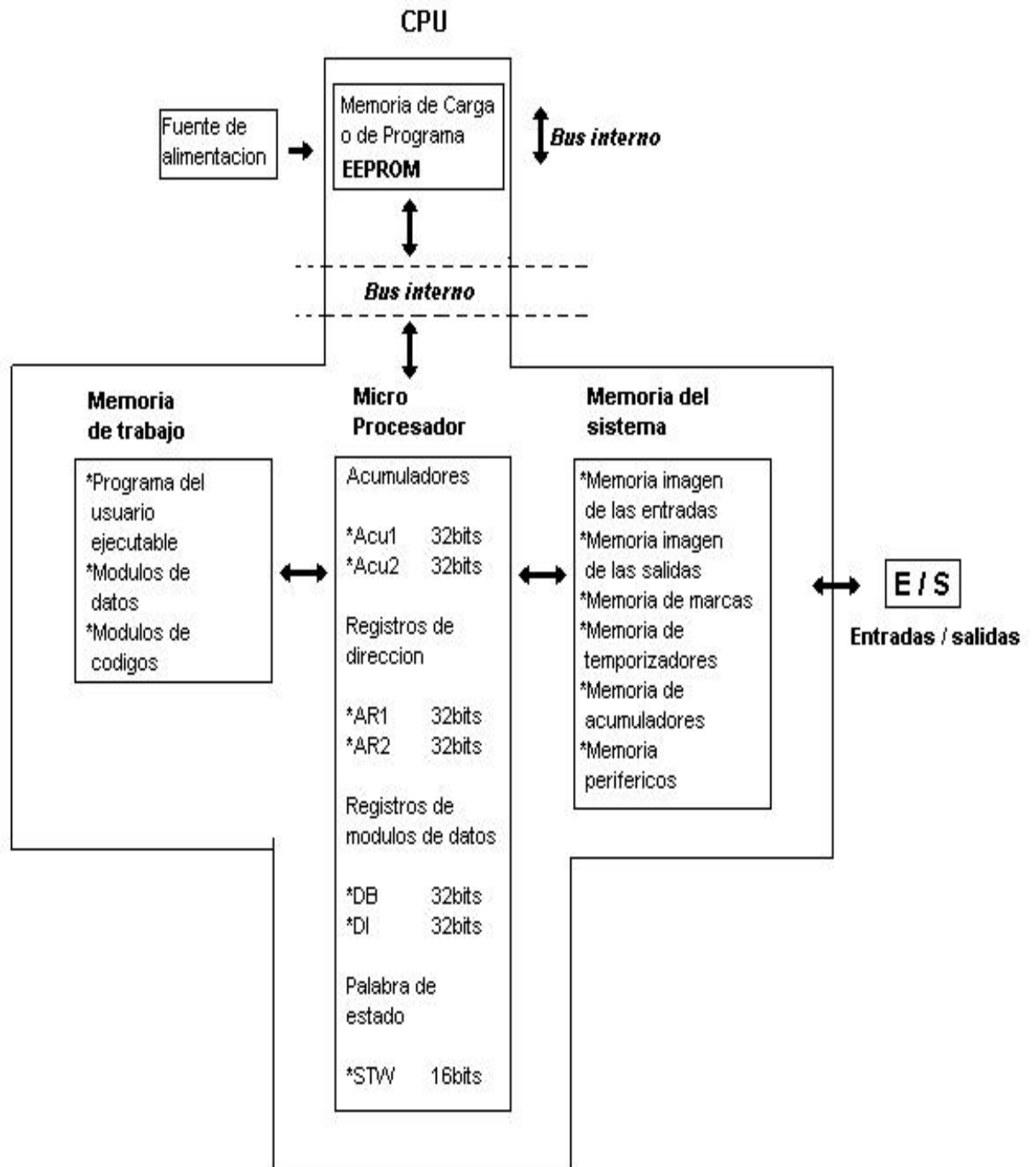


Figura 22.Registro de la CPU

La CPU usa la memoria periferica para leer o escribir directamnete en los modulos conectados al bus

El tamaño de estas areas de la memoria de sistema depende de la CPU utilizada

E/S Perifericas

Salidas	Q.A
Entradas	E
Marcas	M
Temporizadores	T
Contadores	C

Memoria de sistema

Acumulador de 32bits

Acumulador 1 (ACU1)
Acumulador 2 (ACU2)

Registro de direcciones 32 bits

Registro de direcciones 1(AR1)
Registro de direcciones 2(AR2)

Registro de modulos de datos 32 bits

Numero de DB abierto
Numero de DB de instancia (DI)

Registro de estado 16 bits

Bit de estado

Programa de usuario ejecutable
Modulo de codigo
Modulo de datos
Datos loc. Para el mod, en ejec L(por ej, una CPU proporciona 256 bytes de datos locales

Memoria de trabajo

Memoria de carga dinamica (RAM); contiene el progrmama de usuario
Mem de carga fija opc (EEPROM); contiene el programa de usuario

Memoria de carga

7.5. Registros

Todas las CPU Simatic S7 disponen de una serie de registros que se emplean durante la ejecución del programa de usuario. No vamos a comentar todos ellos, sólo los que realmente empleemos en la programación:

7.5.1. Acumuladores (ACU1 y ACU2). El acumulador 1 (ACU 1) y el acumulador 2 (ACU 2) son dos registros universales de 32 bits que se emplean para procesar bytes, palabras y palabras dobles. En estos acumuladores se pueden cargar constantes o valores depositados en la memoria como operandos y ejecutar operaciones lógicas con ellos. También es posible transferir el resultado en ACU 1 a una dirección (un módulo de datos, una salida, etc.). Cada acumulador puede descomponerse en dos palabras de 16 bits (palabra baja y alta). La palabra baja contiene los bits de menor peso y la alta los de mayor peso lógico.

Todas las posibles operaciones que pueden realizarse son:

- Cargar: que siempre actúa sobre ACU 1 y guarda el antiguo contenido en ACU 2 (perdiéndose el valor antiguo de ACU 2). La carga de una palabra actúa sobre la palabra baja del ACU 1.
- Transferir: copia el contenido de ACU 1 en una dirección de memoria, sin perder el valor de los acumuladores.
- Intercambiar el contenido de los acumuladores: Mediante la instrucción TAK.
- Realizar una operación entre los acumuladores, almacenando el resultado en ACU 1 sin variar ACU 2. Las operaciones pueden ser de comparación, de lógica digital y de aritmética.

7.5.2. Registros de módulos de datos (DB). Dos registros con los números de los DB abiertos (activos). Se pueden abrir 2 DB a la vez; uno como módulo de datos y el otro como módulo de datos de instancia (un DB global es el de uso general para todos los módulos de código de programa mientras un DB “de instancia” proporciona la memoria utilizada por una llamada específica o “instancia”, de un FB). Por ejemplo, se abre un módulo de datos global con la instrucción u operación de AWL “abrir DB” y se abre un DB de instancia llamado un FB y asignándole un DB como su DB de instancia. La instrucción “abrir DI” permite abrir otro DB distinto como DB de instancia. [12]

8. MODULO ANÁLOGO DE ENTRADA SM331; AI 8 X 12 BIT

Figura 23. Modulo analógico



8.1. Propiedades del módulo analógico

Este módulo es un módulo analógico universal usado en las aplicaciones más corrientes.

El tipo de medida deseado se ajusta directamente en el módulo utilizando los adaptadores de margen de medida al efecto. [9]

- 8 entradas en 4 grupos de canales (cada grupo tiene dos entradas del mismo tipo)
- La resolución de medida es ajustable para cada grupo de canales
- Margen de medida ajustable para cada grupo de canales:

 - Tensión
 - Intensidad
 - Resistencia
 - Temperatura

- Alarma de diagnóstico parametrizable
- Dos canales con alarmas de límite (parametrizable sólo en canal 0 y canal 2)
- Aislamiento galvánico respecto a la interfaz al bus posterior

- Aislamiento galvánico respecto a la tensión de carga (excepción: como mínimo un adaptador de margen de medida esté enchufado en la posición D). [9]

8.2. Representación de los valores analógicos

La representación binaria de los valores analógicos es la misma que para todos los módulos analógicos del S7-300

Los valores analógicos para todos los márgenes de medida o márgenes de salida que pueden utilizarse con los módulos analógicos S7-300 se presentan en este apartado. [8]

8.2.1. Representación de los valores analógicos de entrada y salida. La CPU solo puede tratar valores analógicos en forma binaria.

Los módulos de entrada analógicas convierten una señal analógica procedente del proceso en una señal digital. [8]

Los módulos de salida analógicas convierten una señal de salida digital en una señal analógica. [8]

Un valor analógico digitalizado de un mismo margen nominal es el mismo, tanto si se trata de un valor de entrada como de salida.

Los valores analógicos se representan en forma de complemento a 2.

La tabla 11 representa los valores analógicos de los módulos analógicos. [8]

Tabla 11. Representación de valores analógicos

Resolución	Valor analógico															
Numero de bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Peso del bit	S	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

El signo “S” de un valor analógico se codifica siempre con el bit número 15:

- “0” → +
- “1” → --

Si un modulo analógico tiene una resolución inferior a 15 bits, los valores analógicos se registran en el ACU comenzando por la izquierda. Las posiciones libres se llenan con “0”.

El ejemplo de la tabla 12 muestra una configuración de bits de baja resolución donde las posiciones libres están llenas de “0”. [8]

Tabla 12. Configuración binaria de un valor analógico codificado en 15, 12 y 8 bits

Resolución	Valor analógico														
Numero de bit	15	14	13	12	11	10	9	7	6	5	4	3	2	1	0
Codificación en 15b bits(+S)	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
Codificación en 12b bits(+S)	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
Codificación en 8b bits(+S)	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

8.2.2. Representación de los valores analógicos de los márgenes de medida de las entradas analógicas. Las tablas del presente apartado contienen los valores analógicos digitalizados de los márgenes de medida de los módulos analógicos.

La tabla 13 incluye las representaciones de los valores analógicos digitalizados y las representaciones decimales y hexadecimales de las unidades de los valores analógicos.

Las tablas 13 y 14 incluyen los valores analógicos digitalizados para los diferentes márgenes de medida

Como la representación binaria de los valores analógicos es siempre la misma, las tablas incluyen únicamente una comparativa de los márgenes de medida y de las unidades.

La resolución de un valor de medida depende del tipo de modulo analógico y de su parametrización. En el caso de codificaciones en menos de 15bits, se pone a "0" los bits marcados con "x". [8]

Tabla 13. Codificaciones posibles de valores analógicos (resolución)

Codificaciones en bits (+S)	Unidades		Valor analógico	
	Decimal	Hexadecimal	Byte alto	Byte bajo
8	128	80	S0000000	1xxxxxxx
9	64	40	S0000000	01xxxxxx
10	32	20	S0000000	001xxxxx
11	16	10	S0000000	0001xxxx
12	8	8	S0000000	00001xxx
13	4	4	S0000000	000001xx
14	2	2	S0000000	0000001x
15	1	1	S0000000	00000001

8.2.2.1. Márgenes de medida de tensión. La tabla 14 representa los valores de medida digitalizados para los márgenes de medida de tensión $\pm 80\text{mV}$, $\pm 250\text{mV}$, $\pm 500\text{mV}$, $\pm 1\text{V}$, $\pm 2,5\text{V}$.

Tabla 14. Representación de valores de medida digitalizados de un modulo de entrada analógico (márgenes de tensión)

Margen de medida $\pm 80\text{mV}$	Margen de medida $\pm 250\text{mV}$	Margen de medida $\pm 500\text{mV}$	Margen de medida $\pm 1\text{V}$	Margen de medida $\pm 2,5\text{V}$	Unidades		Margen
					Decimal	Hexadecimal	
>94,071	>293,97	>587,94	>1,175	>2,9397	32767	7FFFH	Desbordamiento
94,071	293,97	587,94	1,175	2,9397	32511	7EFFH	Rebase
. .80,003	. 250,01	. 500,02	. 1,00004	. 2,5001	. 27649	. 6C01H	
80,000 60,000	250,00 187,50	500,00 375,00	1,000 0,750	2,500 1,875	27648 20736	6C00H 5100H	Nominal
. -60,000 -80,000	. -187,50 -250,00	. -375,00 -500,00	. -0,750 -1,000	. -1,875 -2,500	. -20736 -27648	. AF00H 9400H	
-80,003	-250,01	-500,02	- 1,00004	-2,5001	-27649	93FFH	
. -94,074	. 293,98	. -587,96	. -1,175	. -2,93398	. -32512	. 8100H	Rebase
<- 94,074	<- 293,98	<- 587,96	<-1,175	<- 2,93398	-32768	8000H	Desbordamiento

8.2.2.2. Márgenes de medida de tensión y de intensidad. La tabla 15 representa los valores de medida digitalizados.

- Para los márgenes de medida de tensión de 1 a 5V
- Para los márgenes de intensidad de 0 a 20ma, 4 a 20m

Tabla 15. Representación de los valores de medida digitalizados de un modulo de entradas analógicas (márgenes de tensión y de intensidad)

Margen de medida de 1 a 5 V	Margen de medida de 0 a 20 mA	Margen de medida de 4 a 20 mA	Unidades		Margen
			Decimal	Hexadecimal	
>5,7036	>23,515	>22,810	32767	7FFFH	desbordamiento
5,7036	23,515	22,818	32511	7EFF	Rebase
.	
5,0001	2'0,0007	20,005	27649	6C00H	Nominal
5,000	20,000	20,000	27648	6C00H	
4,000	14,998	16,000	20736	5100H	
.	
1,000	0,000	4,000	0	0H	Rebase
0,9999	-0,0007	3,9995	-1	FFFFH	
.	
0,2936	-3,5185	1,1852	-4865	ED00H	Desbordamiento
<0,2936	<-3,5185	<1,1852	-32768	8000H	

8.3. Márgenes de medida para la medida de tensión

La tabla 16 incluye los márgenes de medida (y el tipo de sensor) utilizados para medir tensiones así como las posiciones correspondientes del adaptador de margen de medida. [8]

Tabla 16. Márgenes de medida de tensión

Tipo de medida seleccionado	Explicación	Margen de medida (tipo de sensor)	posición del adaptador de margen de medida
Tensión	Los valores analógicos digitalizados se presentan en las tablas 13-26 y 13-27 en el margen de medida de tensión	+/- 80mV	A
		+/- 250mV	
		+/-500mV	
		+/-1000mV	
		+/-2,5V	B
		+/-5V	
		de 1 a 5 V +/-10V	
termopares + compensación interna (medida de tensión termoeléctrica)	los valores analógicos digitalizados se presentan en la tabla 13-26 en el margen de medida de tensión $\pm 80\text{mV}$	Tipo N [NiCrSi-NiSi]	A
		Tipo e[NiCr-CuNi]	
		Tipo j [Fe-CuNi]	
		Tipo K [NiCr-Ni]	
		Tipo L[Fe-CuNi]	
Termopares + compensación externa (medida de tensión termoeléctric)	los valores analógicos digitalizados se presentan en la tabla 13-26 en el margen de medida de tensión $\pm 80\text{mV}$	Tipo N [NiCrSi-NiSi]	A
		Tipo e[NiCr-CuNi]	
		Tipo j [Fe-CuNi]	
		Tipo K [NiCr-Ni]	
		Tipo L[Fe-CuNi]	

8.4. Márgenes de medida para medida de intensidad

La tabla 17 incluye todos los márgenes que sirven para medir intensidad con un transductor de medida a 2 o 4 hilos así como las posiciones correspondientes del adaptador de margen de medida. [8]

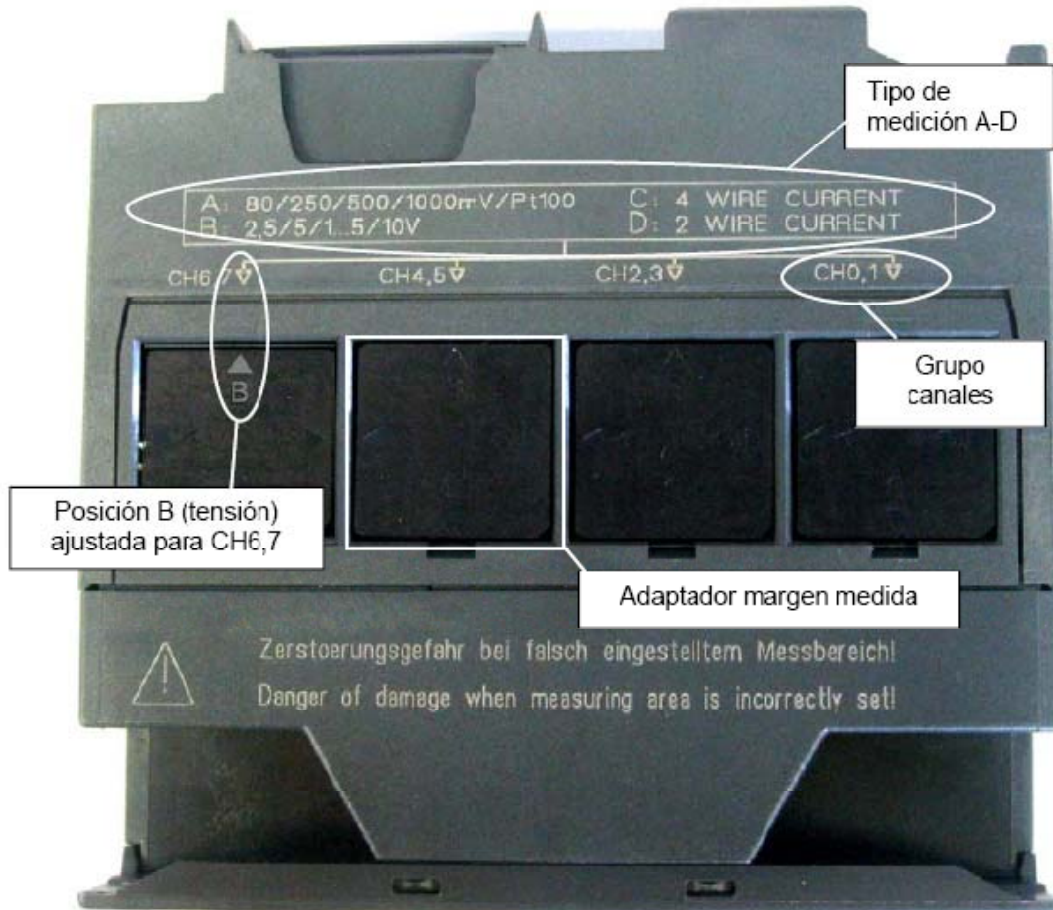
Tabla 17. Márgenes de medida de intensidad, transductores de medida a 2 y 4 hilos

Tipo de medida Seleccionado	Explicación	Margen de medida	Posición del adaptador de margen de medida
Transductor de medida a 2 hilos	Los valores analógicos digitalizados se presentan en las tablas 13-27 en el margen de medida de intensidad	De 4 a 20mA	D
Transductores de medida a 4 hilos	Los valores analógicos digitalizados se presentan en las tablas 13-26 y 13-27 en el margen de medida de intensidad	+/- 3,2mA +/- 10mA De 0 a 20mA De 4 a 20mA +/- 20mA	C

8.5. Adaptadores de margen de medida

El módulo analógico SM331 tiene a un costado 4 adaptadores de margen de medida (uno por grupo de canales). Cada adaptador puede enchufarse en 4 posiciones diferentes (A, B, C o D). La posición define qué transductor se conecta al grupo de canales respectivo. [8]

Figura 24. Adaptadores de margen de medida




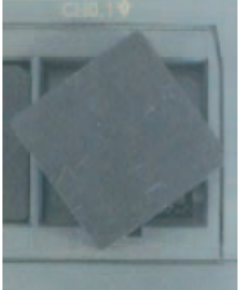
Posiciones posibles de los adaptadores de margen de medida

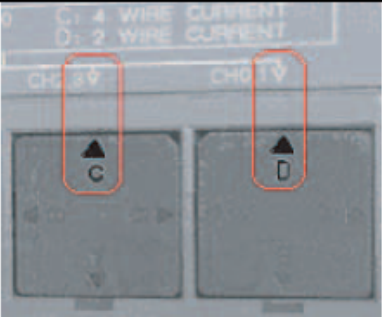
Tabla 18. Posiciones para el margen de medida

Posición	Tipo de medida
A	Termopar / medida de resistencia
B	Tensión (ajuste de fábrica)
C	Intensidad/Corriente (transductor a 4 hilos)
D	Intensidad/Corriente (transductor a 2 hilos)

En la tarea de nuestro ejemplo se conecta en el grupo de canales 1, entrada 0, un sensor con un transductor de medida a 2 hilos de 4 a 20mA.
 En el grupo de canales 2, entradas 2 y 3, se conecta un transductor de medida a 4 hilos.
 El primer adaptador del margen de medida debe encontrarse por tanto en la posición D y el segundo en la posición C. [9]

Tabla 19. Posicionamiento de los adaptadores de margen de medida

Paso	Gráfico	Descripción
1		Extraiga los dos adaptadores del margen de medida con un destornillador
2		Gire los adaptadores a la posición deseada:

Paso	Gráfico	Descripción
3		Vuelva a colocar los adaptadores del margen de medida en el módulo En nuestro ejemplo los adaptadores deben estar en las siguientes posiciones: CH0,1: D CH2,3: C

Cableado del módulo analógico

El cableado del módulo analógico SM331 depende del tipo de transductor analógico. [9]

Cables apantallados para señales analógicas

Para señales analógicas conviene usar cables apantallados y trenzados por pares de hilos. Esto aumenta la inmunidad a perturbaciones. La pantalla de los cables analógicos debe ponerse a tierra en ambos extremos. [9]

Si hay diferencia de potencial entre los extremos del cable, entonces puede circular corriente por la pantalla que perturbe las señales analógicas. En tal caso la pantalla sólo deberá ponerse a tierra en un extremo o se tenderá un cable equipotencial adecuadamente dimensionado. [9]

9. VÁLVULAS DE SOLENOIDE

La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula. [10]

La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa. [10]

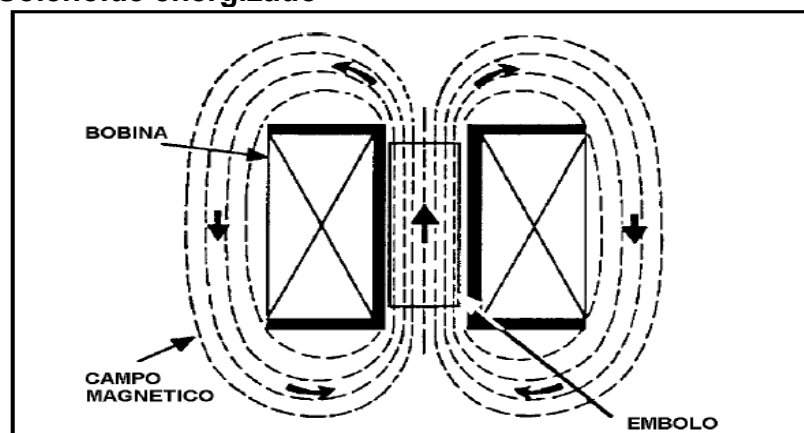
Una válvula de solenoide consiste de dos partes accionantes distintas, pero integrales: un solenoide (bobina eléctrica y el cuerpo de la válvula).

Un electroimán es un imán en el cual las líneas de fuerza son producidas por una corriente eléctrica. Este tipo de imanes es importante para el diseño de controles automáticos, porque el campo magnético puede ser creado o eliminado al activar o desactivar una corriente eléctrica. [10]

El término "solenoide" no se refiere a la válvula misma, sino a la bobina montada sobre la válvula, con frecuencia llamada "el operador". La palabra "solenoide" se deriva de las palabras griegas "solen", que significa canal, y "oide" que significa forma. La bobina proporciona un canal, en el cual se crea una fuerte fuerza magnética al energizar la bobina. El solenoide es una forma simple de electroimán que consiste de una bobina de alambre de cobre aislado, o de otro

conductor apropiado, el cual está enrollado en espiral alrededor de la superficie de un cuerpo cilíndrico, generalmente de sección transversal circular (carrete). Cuando se envía corriente eléctrica a través de estos devanados, actúan como electroimán, tal como se ilustra en la figura 25. El campo magnético que se crea, es la fuerza motriz para abrir la válvula. Este campo atrae materiales magnéticos, tales como el hierro y muchas de sus aleaciones. Dentro del núcleo va un émbolo móvil de acero magnético, el cual es jalado hacia el centro al ser energizada la bobina. [10]

Figura 25. Solenoide energizado



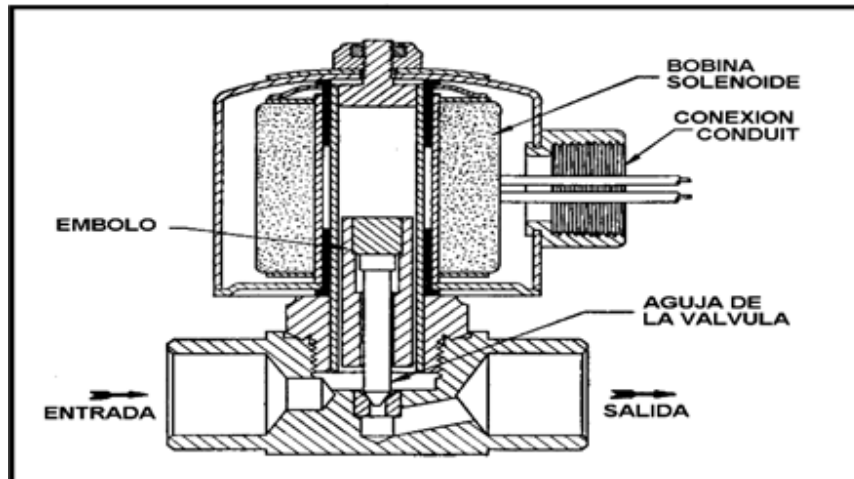
El cuerpo de la válvula contiene un orificio (puerto), a través del cual fluye el líquido cuando está abierta. La aguja o vástago que abre y cierra el puerto de la válvula, se une directamente a la parte baja del émbolo, en el otro extremo el vástago o aguja tiene una superficie sellante (asiento). De esta forma, se puede abrir o detener el flujo al energizar o des energizar la bobina solenoide. Este principio magnético, constituye la base para el diseño de todas las válvulas solenoide. [10]

9.1. Principio de Operación

En la figura 26 pueden apreciarse las partes principales ya integradas de una válvula de solenoide típica. La aguja de la válvula está unida mecánicamente a la parte inferior del émbolo. En esta válvula en particular, cuando se energiza la bobina, el émbolo es levantado hacia el centro de la bobina, levantando la aguja del orificio donde está sentada, permitiendo así el flujo. Cuando se des energiza la bobina, el peso del émbolo hace que caiga por gravedad y cierre el orificio, deteniendo el flujo. En algunos tipos de válvulas, un resorte empuja el émbolo

para que cierre la válvula; esto permite que la válvula pueda instalarse en otras posiciones diferentes a la vertical. [10]

Figura 26. Válvulas de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías



9.2. Tipos de Válvulas de Solenoide

Existe una amplia variedad de tipos de válvulas solenoide, los cuales se pueden dividir de acuerdo a su aplicación, su construcción y su forma. Entre los fabricantes de válvulas no existe un consenso para diferenciar los tipos por orden de importancia. Aunque recientemente, la práctica más generalizada es dividirlos primeramente, de acuerdo a su aplicación; es decir, a la capacidad del sistema donde va a ser instalada la válvula. Con base en esto, las válvulas solenoide pueden dividirse de manera general, en dos tipos:

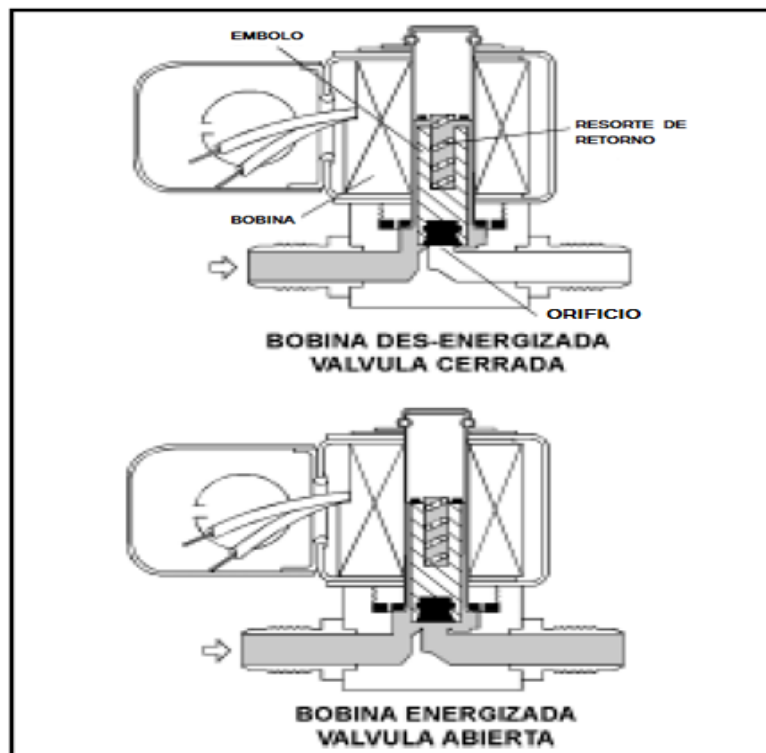
- De acción directa,
- 2) Operadas por piloto.

9.3. Válvulas de Dos Vías

Hasta ahora, hemos explicado de manera general cómo opera una válvula de solenoide. En seguida, discutiremos los diferentes tipos de válvulas. Los tres tipos principales de válvulas son: de dos vías, de tres vías y de cuatro vías.

La válvula de dos vías es el tipo de válvula de solenoide más común, tiene una conexión de entrada y una de salida, y controla el flujo del fluido en una sola línea. Puede ser de acción directa u operada por piloto, dependiendo de la capacidad del sistema. Cada una de éstas puede ser “normalmente cerrada” o “normalmente abierta”. En la figura 27, se muestra una válvula de dos vías de acción directa, normalmente cerrada. Cuando la bobina está desenergizada, el peso del émbolo y la acción del resorte mantienen cerrada la válvula. Cuando se energiza la bobina, se forma el campo magnético, el cual atrae al émbolo hacia el centro y la aguja se levanta del asiento, abriendo el orificio del puerto y permitiendo el flujo a través de la válvula. Cuando nuevamente se desenergiza la bobina, la fuerza que retiene al émbolo es liberada, haciéndolo que caiga por su propio peso y por la acción del resorte, cubriendo el orificio del puerto y deteniendo el flujo a través de la válvula. [10]

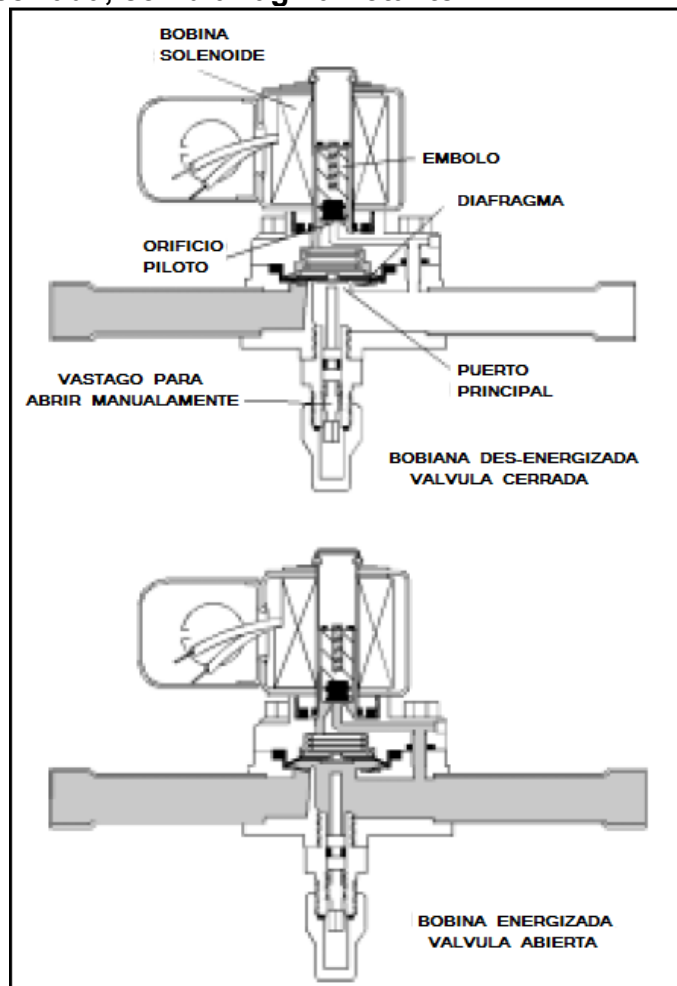
Figura 27. Válvulas de solenoide de dos vías, de acción directa normalmente cerrada



Las válvulas de solenoide de dos vías operadas por piloto y normalmente cerradas, como la que se muestra en la figura 28, operan de la siguiente

manera: estas válvulas tienen un orificio igualador que comunica la presión de la entrada con la parte superior del diafragma (o pistón), empujándolo contra el asiento y manteniendo de esta manera cerrada la válvula. El orificio piloto es más grande que el orificio igualador. Cuando se energiza la bobina, el émbolo es atraído por el campo magnético y levanta la aguja del orificio piloto. La presión arriba del diafragma se reduce y se iguala con la de salida. El diferencial de presión resultante a través del diafragma, crea una fuerza que lo levanta del puerto principal haciendo que se abra la válvula. Al desenergizar la bobina se cierra el orificio piloto, y la presión de entrada se va por el orificio igualador e iguala las presiones, arriba y abajo del diafragma, permitiéndole que se vuelva a sentar y cierre la válvula. [10]

Figura 28. Válvulas de solenoide de dos vías operada por piloto, normalmente cerrada, con diafragma flotante



Aunque las válvulas normalmente cerradas son las que más se usan, también se fabrican válvulas de dos vías “normalmente abiertas”, tanto de acción directa como operadas por piloto. En este tipo de válvulas, la secuencia es a la inversa de las normalmente cerradas. [10]

10. SELECCIÓN DE LA ELECTROVALVULA

Su función básica es la misma que una válvula de paso operada manualmente; pero, siendo accionada eléctricamente, se puede instalar en lugares remotos y puede ser controlada convenientemente por interruptores eléctricos simples. Las válvulas de solenoide pueden ser operadas por interruptores termostáticos, de flotador, de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico. [10]

10.1. VALVULA ELECTROMAGNETICA SERIE UW 2/2

La válvula electromagnética, serie 2W (UD/UW) cero válvula del diferencial, tiene el tamaño del hilo de rosca a partir de la 1/8 a 2. Vienen dos tipos de estas válvulas: válvulas de cobre de cuerpo amarillo y válvulas inoxidable de cuerpo de acero, que pueden ser válvula cerrada normal y válvula abierta normal. Con buena calidad y funcionamiento estable, este tipo de válvulas electromagnéticas es ampliamente utilizado en muchos diversos campos industriales, especialmente circuito de agua.

Figura 29. Valvula electromagnética serie UW2/2



Tabla 20. Partes de la electroválvula serie UW2/2

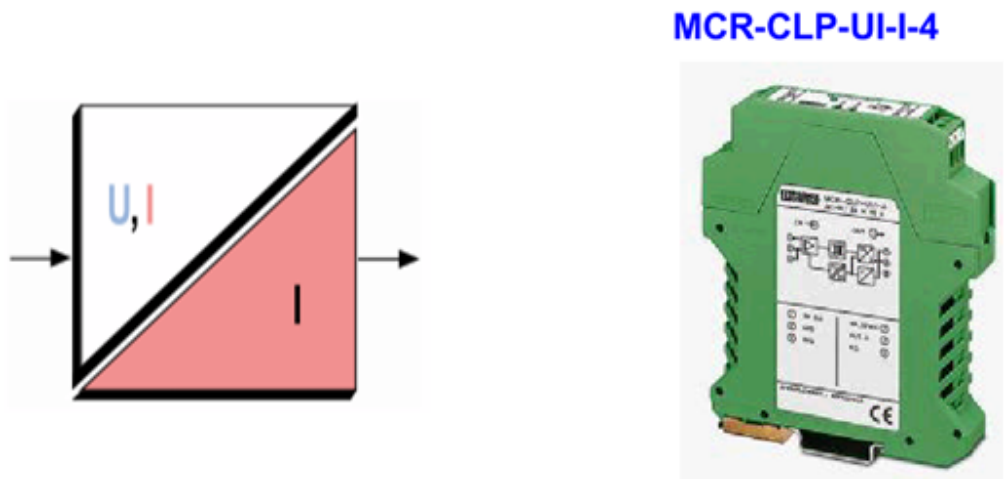
Válvula electromagnética serie uw 2/2	
PARTS	MATERIAL
Cuerpo	Cobre forjado / bronce fundido
Bobina	Alambre de cobre (H)
Núcleo	Acero inoxidable
 tubo	Acero inoxidable
Resorte	Acero inoxidable
conector	NBR, Viton, Silicio
Arandela	NBR, Viton, Silicon

1. La serie UW tiene una unidad con diafragma de piloto, normalmente cerrada.
2. El cuerpo de la válvula es de cobre (3/8"~1"), de bronce fundido (1.1/4"~2").
3. La serie UW puede operar directamente sin presión.
4. Tiene un tamaño pequeño y fácil para montar.
5. Voltaje estándar: AC110V/AC220V/DC24V.
6. Final atornillado a: BSPT, NPT o BSP.
7. Viton (130 DEG C), silicio (130 DEG C) NBR (80 DEG C).
8. EN AC Tolerancia de tensión: $\pm 10\%$,
EN DC Tolerancia de tensión: $\pm 1\%$

11. Aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4

- Tensión de alimentación independiente
- aislamiento eléctrico de entrada
- salida de 4 a 20mA
- ajuste zero/span $\pm 2\%$
- conversión de señal / amplificación / filtrado

Figura 30. Bloque del aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4

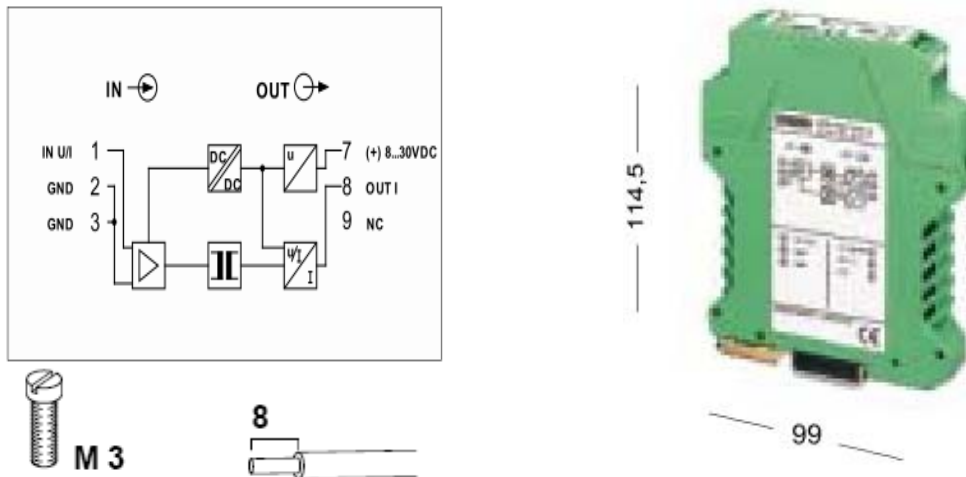


11.1. DESCRIPCIÓN

- El MCR-CLP-UI-I-4 utiliza el aislador de bucle de potencia para el aislamiento eléctrico y para el acompañamiento de señales analógicas en los circuitos. Por el lado de entrada hay más de 25 diferentes rangos de señal disponible, que se puede ajustar con R /interruptores (DIP). Por el lado de salida del aislador es operado en un lazo de corriente de 4...20mA, que proporciona simultáneamente el módulo con la potencia necesaria para la señal de conversión.[13]
- En la cara frontal del dispositivo, el ajuste del cero/span de $\pm 2\%$ del valor de la señal puede hacerse utilizando los potenciómetros. El aislador de bucle alimentado es especialmente adecuado para emparejar las señales y para aislar eléctricamente tarjetas activas del tablero de la entrada del PLC. Si no se especifica el orden de las referencias, el dispositivo se suministra con el rango de entrada por defecto de 4...20mA.[13]

11.2. Datos técnicos

Figura 31. Datos técnicos MCR-CLP-UI-I4



Descripción:

Señal de salida: para el aislamiento eléctrico de las señales analógicas de 4...20mA

Datos técnicos:

Entrada:

Señal de entrada: 4...20mA, otros ajustes configurables mediante interruptores DIP.

Máxima señal de entrada: 30V/50mA

Resistencia de entrada: para entrada de voltaje, 1M Ω para entradas de corriente 50 Ω .

Salida:

Señal de salida: 4...20mA

Máxima señal de salida: 35mA

Carga de RB: (UB -8V)/20mA corresponden a 800 Ω UB = 24 V

Datos generales

Tensión de servicio UB: 8 a 30 VDC

Pérdida de energía: 8V

Error de transmisión: 0,1% del valor final, el 0,05%, típico

Coefficiente de temperatura: $\leq 0,01\%/K$, 0,005%/K, típico

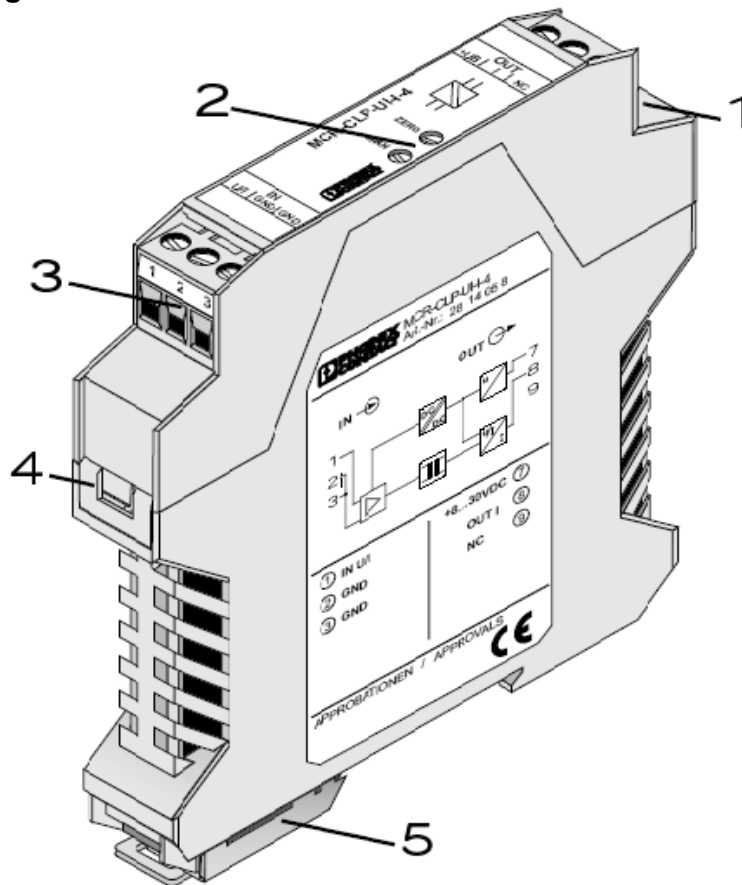
frecuencia de corte (3dB): 30 Hz
 tiempo de respuesta (10-90%):10 ms
 ajuste de Cero y span: $\pm 2\%$ de la escala completa
 Rango de temperatura ambiente: -25°C a $+65^{\circ}\text{C}$ (-4°F a 149°F)
 Tensión de prueba: entrada/salida: 1,5kV, 50Hz, 1s
 Material de la carcasa: Poliamida PA, sin blindaje.

- EMC (Compatibilidad Electromagnética
- Inmunidad al ruido según EN 50082-2
- Descargas electrostáticas (ESD): EN 61000-4-2 8 kV de descarga de aire²⁾
- Campo electromagnético HF: EN 61000-4-3
 - De modulación de amplitud $10/m^1$
 - Modulación de impulsos $10/m^1$
- Transitorios rápidos (burst): EN 61000-4-4 Entrada / salida / de suministro: 2 kV / 5 kHz
- Aumento de corriente de carga (aumento): EN 61000-4-5 Entrada / salida: $2\text{kV}/42\ \Omega^2)$
Salida: $0,5\ \text{kV} / 2\Omega^2)$
- Interferencias conducidas: EN 61000-4-6 Entrada / salida / de suministro: $10\ \text{V}^1) 1)$
- Emisión de ruido de acuerdo con EN 50081-2: EN 55011 Clase A
- EN 61000 corresponde a la norma IEC 1000/
- EN 55011 corresponde a CISPR11
- Criterio A: características de funcionamiento normal dentro de los límites especificados.

➤ Criterio B: efectos adversos temporales en la operación, en la que el dispositivo se corrige solo.
Clase A: aplicación industrial, sin medidas especiales de instalación El MCR CLP-UI-I-4 Aislador Configurable pasivo

1. Plug COMBICON tornillo de sujeción de los bloques de terminales
2. Zero / span potenciómetros
3. Plug COMBICON tornillo de sujeción de los bloques de terminales
4. Parte superior de la vivienda se puede quitar para Conmutador DIP
5. Ramblin bloqueo de fijación en el riel DIN.[14]

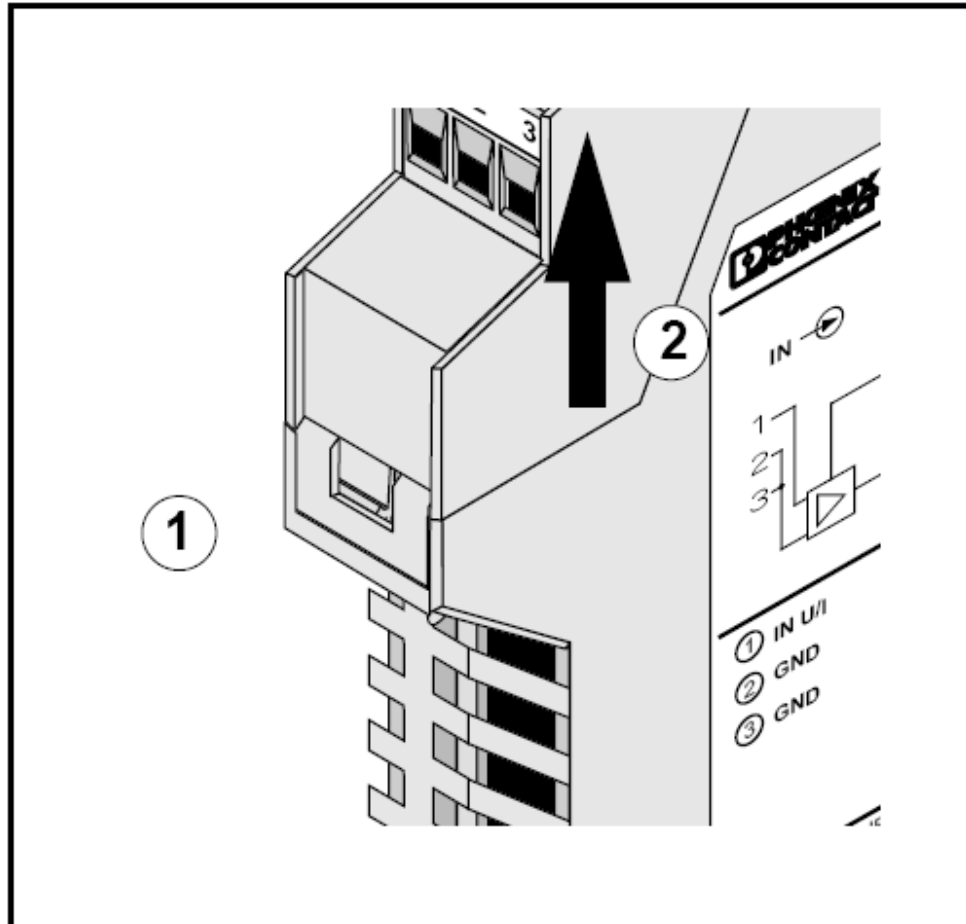
Figura 32. Partes del MCR-CLP-UI-I-4



Configuración de Rangos de la señal de entrada

- Abrir el dispositivo:
- La tapa de la caja cerrada es liberada en ambos lados con un destornillador
- La tapa de la caja y la electrónica sólo se pueden sacar de unos 3 cm (1.181 pulgadas).[13]

Figura 33. Acceso a los dips



Cambio de la configuración:

Seleccione una de las gamas posibles de la señal de entrada de la tabla 13-3, y los interruptores DIP 1 y 2 de acuerdo a las especificaciones mostradas en la figura 36 y tabla 21.

Figura 34.Dips del MCR-CLP-UI-I-4

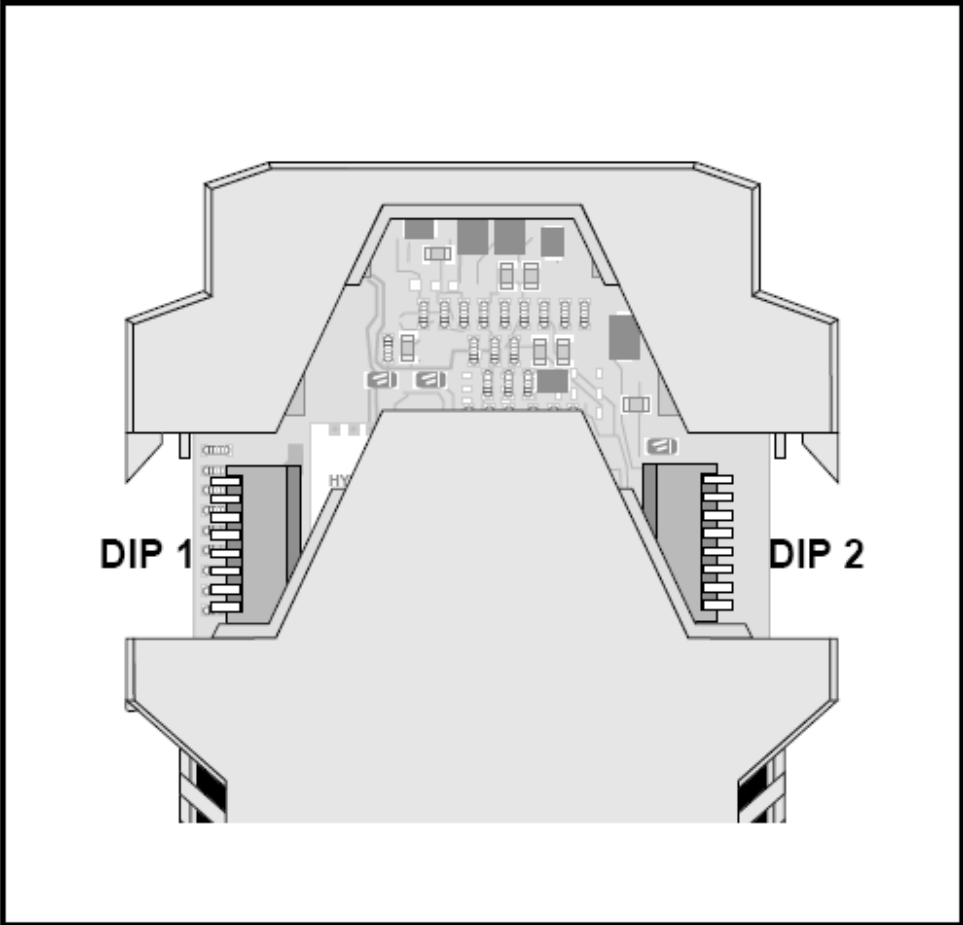


Tabla 21. Rangos de la señal de entrada

SWICHE DIP 1									SWICHE DIP 2								
Input	1	2	3	4	5	6	7	8	Input	1	2	3	4	5	6	7	8
0...60 mV		ON				ON	ON		0...60 mV			ON		ON		ON	
0...100 mV		ON					ON		0...100 mV			ON		ON		ON	
0...200 mV			ON				ON		0...200 mV			ON		ON		ON	
0...300 mV				ON			ON		0...300 mV			ON		ON		ON	
0...500 mV		ON						ON	0...500 mV			ON		ON		ON	
0...1 V		ON							0...1 V			ON		ON		ON	
0...2 V			ON						0...2 V			ON		ON		ON	
0...5 V				ON					0...5 V			ON		ON		ON	
0...10 V					ON				0...10 V			ON		ON		ON	
0...20 V					ON	ON			0...20 V			ON		ON		ON	
0...5 mA	ON		ON			ON			0...5 mA			ON		ON		ON	
0...10 mA	ON	ON						ON	0...10 mA			ON		ON		ON	
0...20 mA	ON	ON							0...20 mA			ON		ON		ON	
± 60 mV		ON				ON	ON		± 60 mV		ON				ON		
± 100 mV		ON					ON		± 100 mV		ON				ON		
± 200 mV			ON				ON		± 200 mV		ON				ON		
± 300 mV				ON			ON		± 300 mV		ON				ON		
± 500 mV		ON						ON	± 500 mV		ON				ON		
± 1 V		ON							± 1 V		ON				ON		
± 2 V			ON						± 2 V		ON				ON		
± 5 V				ON					± 5 V		ON				ON		
± 10 V					ON				± 10 V		ON				ON		
± 20 V					ON	ON			± 20 V		ON				ON		
± 5 mA	ON		ON			ON			± 5 mA		ON				ON		
± 10 mA	ON	ON						ON	± 10 mA		ON				ON		
± 20 mA	ON	ON							± 20 mA		ON				ON		
1...5 V				ON					1...5 V	ON						ON	
4...20 mA	ON	ON							4...20 mA	ON						ON	

11.3. Ajuste

Ajuste del módulo con dos potenciómetros

- Potenciómetro Cero: ajuste del punto Cero
- Potenciómetro Span: el ajuste de valor final

De salida con cálculo de punto de ajuste

- Especificar un comienzo el valor inicial y el valor final de la señal de entrada con una fuente de calibración.
 - Registre el valor de la producción mide mediante un multímetro digital.
- [13]

Señal de salida: 4...20 mA

Especificación (Entrada)	Valor medido
valor Inicial	MW 1 [mA]
Valor Final	MW 2 [mA]

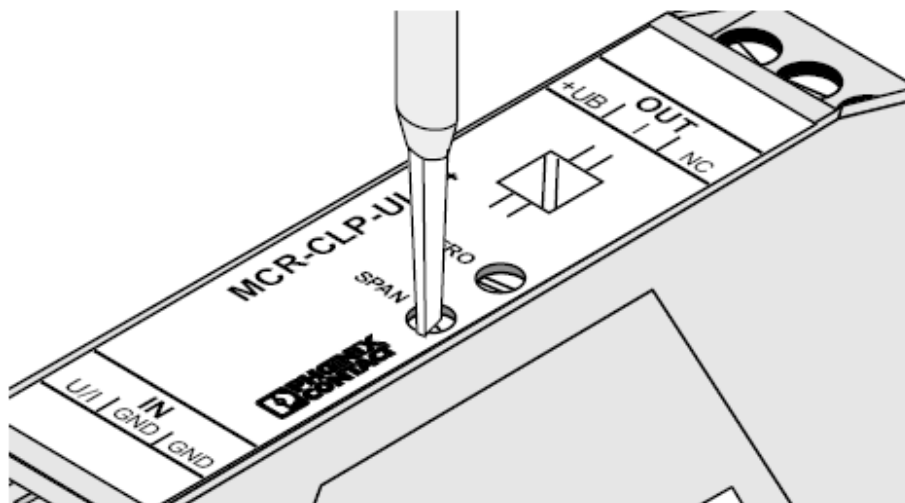
Cálculo del punto de ajuste del FS

$$A = \frac{MW2 * 16mA}{MW'' * MW1}$$

Procedimiento de ajuste:

- Especifique el valor final del rango de la señal de entrada con la fuente de calibración.
- Potenciómetro Span: punto de ajuste FS \pm 1uA
- Potenciómetro de cero: 20 mA \pm 1 μ A

Figura 35. Calibración del span



independiente. Los cálculos con este método son relativamente largos y complejos. Al emplear su representación en función de transferencia estos se simplifica y se facilita su simulación utilizando la programación en Matlab®.

Dentro del ámbito de la teoría de control; un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos en el mundo real que se relacionan entre si y que se caracterizan fundamental mente por la dinámica de su salida en función de la o las señales de entrada. Para conocer su dinámica no es necesario conocer la relación de sus elementos internos que la componen, para ello, en algunos casos solo se precisa conocer la relación que existe entre la salida y la entrada la cual permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla.

Los modelos matemáticos pueden adoptar muchas formas distintas. Dependiendo del sistema de que se trate y de las circunstancias específicas, un modelo matemático puede ser más conveniente que otros. Por ejemplo en problemas de control óptimo, es provechoso usar representaciones en el espacio de estados. En cambio, para los análisis de la respuesta transitoria o de la respuesta en frecuencia de los sistemas lineales con una entrada y una salida invariantes en el tiempo, la representación mediante la función de transferencia puede ser más conveniente que cualquier otra. Una vez obtenido un modelo matemático de un sistema se usan diversos recursos analíticos para estudiarlo y sintetizarlo.

Al obtener un modelo matemático se debe establecer un compromiso entre la simplicidad del mismo y la precisión de los resultados del análisis, a menudo resulta necesario ignorar ciertas propiedades físicas inherentes al sistema. En particular, si se pretende obtener un modelo matemático de parámetros concentrados lineal (es decir; uno en el que se empleen ecuaciones diferenciales), siempre es necesario ignorar ciertas no linealidades y parámetros distribuidos que pueden estar presentes en el sistema dinámico. Si los efectos que estas propiedades ignoradas tienen sobre la respuesta, son pequeños, se obtendrá un buen acuerdo entre los resultados del análisis del modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico.

13. Función de transferencia

En la teoría de control, a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada-salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo.

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de salida (función de respuesta) y la transformada de

laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

Si se conoce la función de transferencia de un sistema, se estudia la salida o respuesta para varias formas de entrada, con la intención de comprender la naturaleza del sistema.

Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una vez establecida una función de transferencia, proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema a diferencia de su descripción física.

Considérese el sistema lineal e invariante en el tiempo descrito mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{(n-1)} y' + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{(m-1)} x + b_m y \quad (n \geq m)$$

Donde y es la salida del sistema y x es la entrada. La función de transferencia de este sistema es el coeficiente de la transformada de laplace de la salida y la transformada de laplace de la entrada cuando todas las condiciones son cero.

Función de transferencia:

$$G(s) = \left\langle \frac{\mathcal{L}[\text{salida}]}{\mathcal{L}[\text{entrada}]} \Big|_{\text{condiciones iniciales cero}} \right\rangle$$

$$G(s) = \frac{b_0 s^{(m)} + b_1 s^{(m-1)} + \dots + b_{(m-1)} s + b_m}{a_0 s^{(n)} + a_1 s^{(n-1)} + \dots + a_{(n-1)} s + a_n}$$

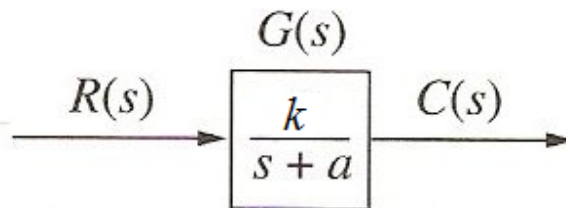
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar el sistema mediante ecuaciones algebraicas en s . si la potencia más alta de s es el denominador de la función de transferencia es igual a n , el sistema se denomina *sistema de orden n -ésimo*.

Generalmente los sistemas dinámicos que encontramos son

13.1. Sistema de primer orden

Un sistema de primer orden sin ceros puede ser descrito por la función de transferencia que se muestra a continuación, si la entrada es un escalón unitario, donde $R(s) = 1/s$, la transformada de Laplace de la respuesta de escalón unitaria es $C(s)$, donde:



$$C(s) = R(s) * G(s) = \frac{k}{s(s+a)} \quad 13.1$$

$$G(s) = \frac{k}{(s+a)} = \frac{k/a}{\left(\frac{s}{a}+1\right)} = \frac{k/a}{\tau s+1} \quad 13.2 \quad \text{Ecuación canónica}$$

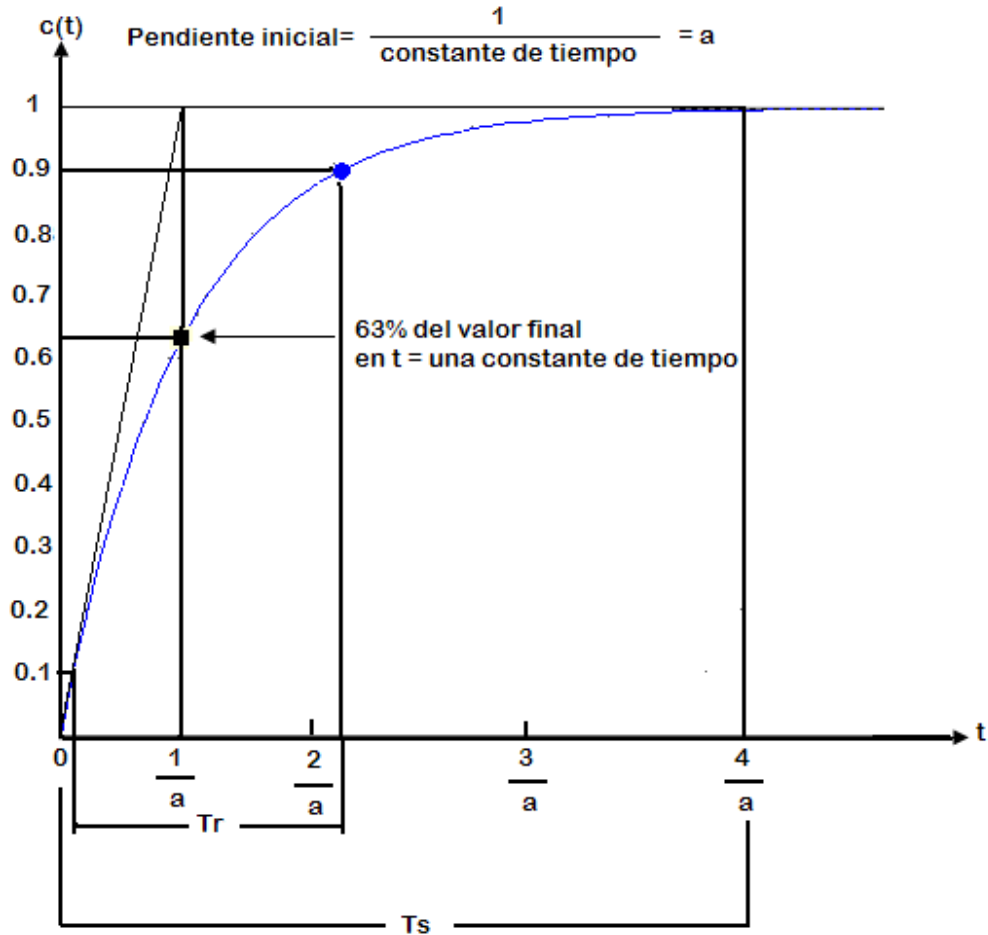
Donde:

$y(\infty) = \frac{k}{a} \Rightarrow K = y(\infty) * a$; 13.3; $y(\infty)$, es el valor al cual el sistema tiende a estabilizarse

$\tau = \frac{1}{a}$ Donde τ es el tiempo que tarda el sistema en alcanzar el 63% del valor final

El término $1/a$ se llama constante de tiempo de la respuesta, donde la constante de tiempo es el tiempo que toma la respuesta de escalón unitario en alcanzar el 63% de su valor final.

Figura 37. Dinámica del sistema de primer orden con entrada escalón unitaria



Veamos otras especificaciones de la respuesta transitoria del sistema. Además, en los sistemas de primer orden podemos encontrar una serie de parámetros que nos permiten identificar como se comporta el sistema y que tan rápido responde este ante cualquier cambio en la entrada; estos parámetros son: tiempo de levantamiento t_r y tiempo de asentamiento T_s , como se muestra en la figura 37.

El tiempo de levantamiento se define como el tiempo necesario para que la forma de onda pase de 0.1 a 0.9 de su valor final.

$$T_r = \frac{2.2}{a} \quad 13.4$$

El tiempo de asentamiento se define como el tiempo necesario para que la respuesta alcance el 2% alrededor de su valor final y permanezca en ese valor.

$$T_S = \frac{4}{a} = 4\tau \quad 13.5$$

13.2. Sistemas de segundo orden

En comparación con un sistema de primer orden, un sistema de segundo orden tiene una amplia variedad de respuestas que deben ser analizadas y descritas. Mientras que la variación de un parámetro de un sistema de primer orden simplemente cambia la velocidad de la respuesta, cambios en los parámetros de un sistema de segundo orden, pueden modificar la forma de la respuesta.

Función de transferencia de un sistema de segundo orden:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad 13.6$$

La ecuación se conoce como la función de transferencia cuadrática, esta función posee dos polos y ningún cero, son las raíces del denominador y se pueden determinar de la siguiente manera:

$$s_{1,2} = \frac{-2\zeta\omega_n \pm \sqrt{4\zeta^2\omega_n^2 - 4\omega_n^2}}{2} \quad 13.7$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \sqrt{\frac{4\omega_n^2(\zeta^2 - 1)}{4}} \quad 13.8$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \zeta^2} \quad 13.9$$

$$s_{1,2} = -\sigma \pm j\omega_d \quad 13.10$$

Donde

ζ = factor de amortiguamiento relativo

ω_n = frecuencia natural del sistema

ω_d = frecuencia amortiguada del sistema

σ = factor de amortiguamiento

Para poder obtener un significado físico y real de $\zeta, \omega_n, \omega_d, \sigma$, primero vamos a obtener la respuesta en el tiempo de la ecuación fundamental, para una entrada escalón unitaria y para $t \geq 0$.

$$Y(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} * \frac{1}{s} \quad 13.11$$

De la transformada de laplace se puede obtener la respuesta en el tiempo $Y(t)$ a partir de la ecuación 6:

$$y(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{\zeta\omega_n t} \text{sen}(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t - \theta) \quad 13.12$$

$$\zeta < 1$$

$$\theta = \cos^{-1}\zeta \quad 13.13$$

$$\theta = \text{tang}^{-1}\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = \text{sen}^{-1}\sqrt{1-\zeta^2} \quad 13.14$$

Factor de amortiguamiento relativo ζ

Los efectos de los parámetros ζ y ω_n en la respuesta del sistemas $y(t)$ frente a una respuesta escalón unitaria del sistema, puede ser estudiado refiriéndonos a las raíces de la ecuación característica de la función de transferencia de la ecuación, donde σ controla el amortiguamiento del sistema. El coeficiente de amortiguamiento relativo ζ relaciona la frecuencia de decaimiento exponencial σ , con la frecuencia natural del sistema (rad/s).

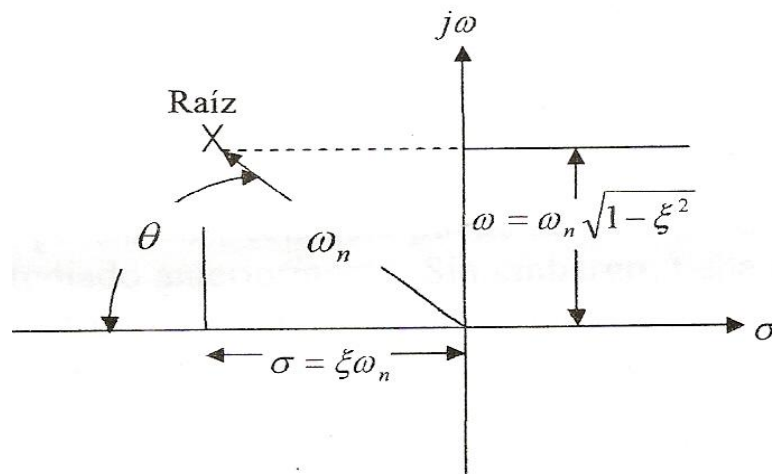
$$\zeta = \frac{\sigma}{\omega_n} \quad 13.15$$

Frecuencia natural del sistema ω_n

El parámetro ω_n de los sistemas de segundo orden se define como la frecuencia natural no amortiguada del sistema. Cuando el coeficiente de amortiguamiento relativo $\zeta = 0$, el amortiguamiento es cero, y las raíces de la ecuación características son imaginarias por lo tanto, ω_n corresponde a la frecuencia de la respuesta sinusoidal no amortiguada. En la ecuación 4 observamos que si $0 < \zeta < 1$, las partes imaginarias de las raíces tienen una magnitud igual ω_d . Entonces cuando $\zeta \neq 0$ la respuesta del sistema $y(t)$ no es periódica. ω_d Se define como la frecuencia amortiguada del sistema. En la figura 1 observamos en el plano s la relación entre la frecuencia natural del sistema, el coeficiente de

amortiguamiento relativo, la frecuencia amortiguada y el ángulo de fase para un polo complejo.

Figura 38. Relación entre las raíces y polos de la ecuación característica de los sistemas de segundo orden y $\zeta, \omega_n, \sigma, \omega_d$



Las regiones en el plano complejo son identificadas en la siguiente forma:

- Semiplano izquierdo del plano complejo, factor de amortiguamiento relativo positivo, un coeficiente de amortiguamiento positivo hace que el amortiguamiento de la respuesta debido al exponente $-\zeta\omega_n$ sea igual a una constante final, haciendo que el sistema sea estable.
 - En el semiplano derecho del plano complejo debido a que el factor de amortiguamiento relativo es negativo la respuesta crece en magnitud con el tiempo haciendo que el sistema sea inestable.
 - Cuando el factor de amortiguamiento $\zeta = 0$ y $\sigma = 0$ y el sistema es oscilatorio o marginalmente inestable.
- Clasificación de la dinámica de los sistemas con respecto al valor del coeficiente de amortiguamiento relativo ζ .

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad 0 < \zeta < 1 \quad \text{Sistema subamortiguado}$$

$$s_{1,2} = -\omega_n \quad \zeta = 1 \quad \text{Sistema críticamente amortiguado}$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{\zeta^2-1} \quad \zeta > 1 \quad \text{Sistema sobreamortiguado}$$

$$s_{1,2} = \pm j\omega_n \quad \zeta = 0 \quad \text{Sistema no amortiguado}$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad \zeta < 0 \quad \text{Sistema negativamente amortiguado}$$

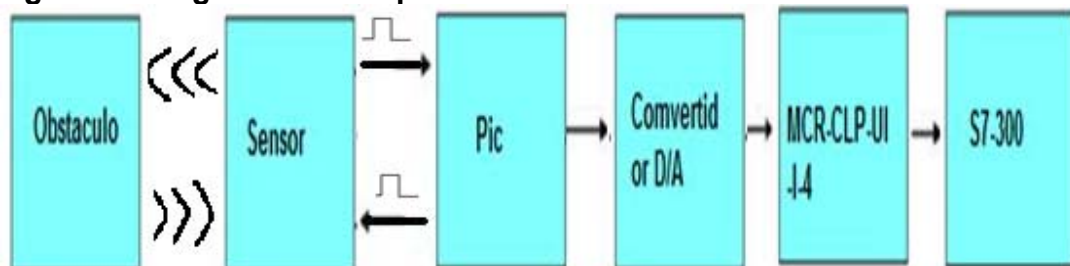
14. Adecuador de señal

Para la adecuación de la señal del sensor ultrasónico, se diseñó un circuito electrónico a través del cual se obtiene una salida analógica entre 0v y 10v y posteriormente transmitirla al autómata S7-300 a través del Aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4 el cual convierte la señal de entrada analógica de voltaje en una salida de corriente de 4 – 20mA. El circuito consta de las siguientes partes:

- PIC16F628A
- Convertidor digital / análogo DAC0808
- LF351o LF251 ,amplificador operacional

La figura 39 muestra el diagrama de bloques del Adecuador de señal que se diseñó para el sensor de ultrasonido.

Figura 39. Diagrama de bloques



A continuación se muestran los circuitos diseñados para la adecuación de la señal.

La figura 40 muestra el circuito electrónico del convertidor digital analógico.

Figura 40. Convertidor D/A

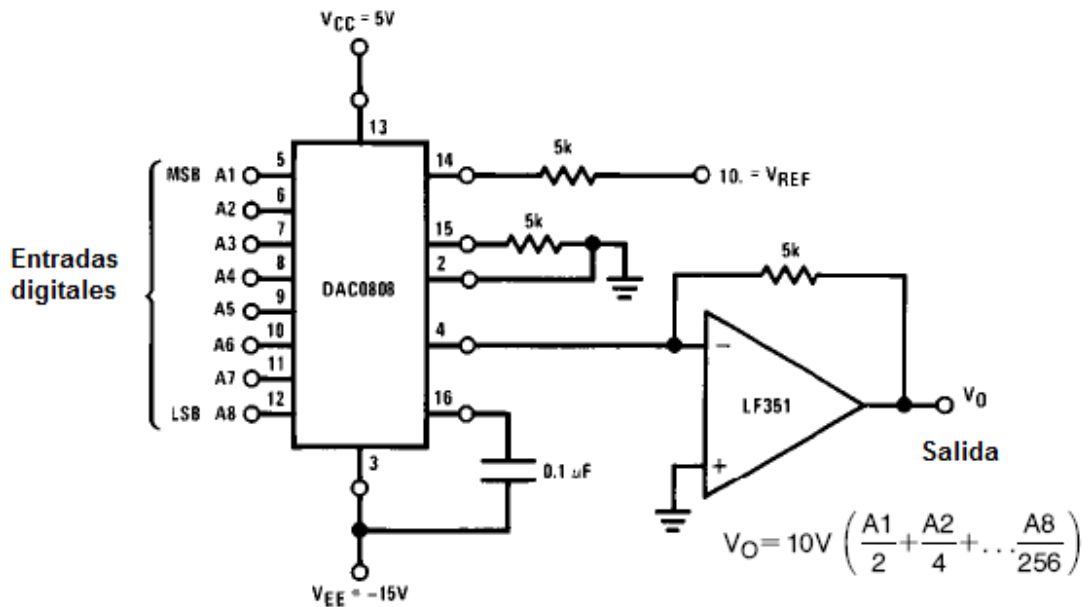
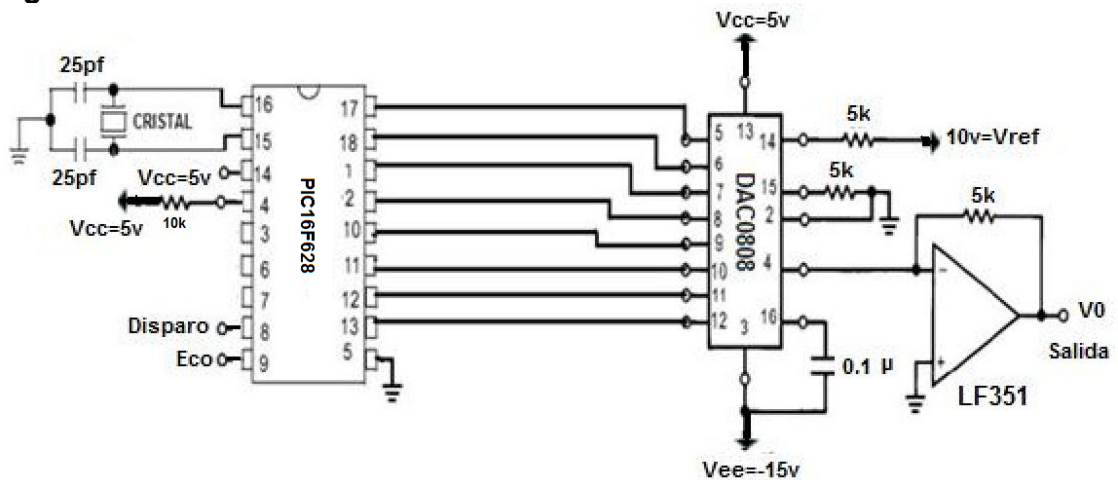


Figura 41. convertidor D/A de 0v a 10v



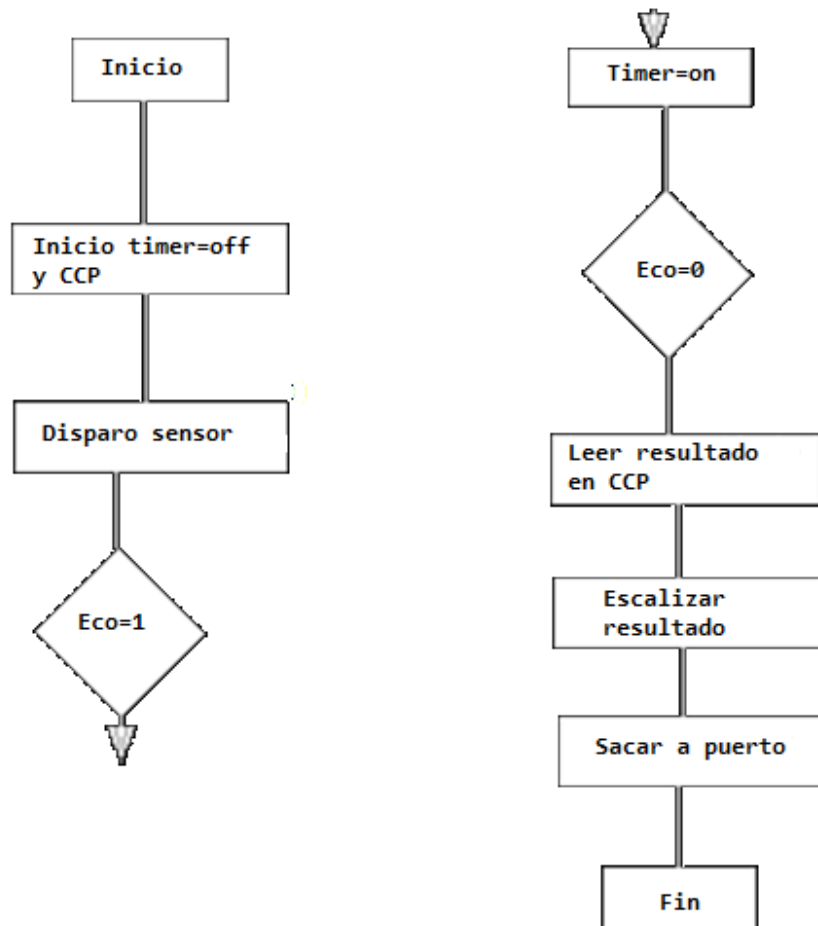
El circuito de la figura 41, convierte el pulso que emite el sensor ultrasónico en una señal digital; luego de haber tenido el adecuado tratamiento que se le realiza a través del PIC16F628; para ser convertido en una señal de 0v a 10v.

La salida V_o se conecta la Aislador configurable pasivo MCR-CLP-UI-I-4, para ser transmitida la señal análoga (corriente) al autómata programable; cuyas especificaciones se describen en el capítulo 11.

14.1. Programación del pic "P16F628a.INC"

La figura 42 muestra el diagrama de bloques diseñado para tomar los valores medidos a través del señor ultrasónico SRF05, para posteriormente ser enviados al autómata programable.

Figura 42. Diagrama de bloques para medir la distancia del sensor ultrasónico SRF05.



Programa para medir la distancia del sensor ultrasónico SRF05 con salida a convertidor digital análogo DAC0808

```
=====
=====
include "P16F628a.INC"
```



```

ERRORLEVEL -302, -207, -305
__config 0x1f61
;=====
;=====
    cblock      0X20
    loops
    loops2
    endc
;=====
;=====
#define      ECOTPORTB,2    ;Pin de transmision del eco
#define      ECORPORTB,3   ;Pin de modo captura
;=====
;=====
    org        0x00
    goto main
;=====
;=====
;Retardo bruto
;=====
;=====
retarms
    movwf     loops        ;de milisegundos del retardo
top2
    movlw    d'255'
    movwf    loops2
top nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    decfsz   loops2,1     ;pregunta si terminó ya 1 ms
    goto    top
    decfsz   loops,f      ;pregunta si termina el retardo
    goto    top2
    return
;=====
;=====
main
    movlw    .20
    movwf    loops
    call    retarms

```

```

    banksel    CMCON          ;Deshabilita comparadores
    movlw     .7              ;
    movwf     CMCON          ;
    banksel    TRISB         ;Configura puertos de entrada y salida
    movlw     b'00001000'   ;
    movwf     TRISB         ;
    movlw     .0             ;
    movwf     TRISA         ;
    banksel    PORTB        ;
    movlw     b'00000100'   ;
    movwf     CCP1CON       ;Captura el tiempo todos los flancos
de bajada
    movlw     0              ;Configura el timer 1 con una escala
de 1:1
    movwf     T1CON         ;
;=====
;=====
Toma_de_muestra          ;
    bcf      PIR1,CCP1IF    ;limpia bandera de interrupcion por
modo captura
    clrf     TMR1L          ;Inicializa temporizador
    clrf     TMR1H          ;
;=====
;=====
    bsf      ECOT           ;envia pulso de ultrasonido
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    nop
    bcf      ECOT           ;Fin de pulso de eco
;=====
;=====
    btfss   ECOR            ;espera a que la señal de eco cambia
a estado 1
    goto    $-.1           ;

```

```

    bsf          T1CON,TMR1ON  ;Enciende temporizador
    btfss PIR1,CCP1IF          ;
    goto $-.1                  ;Espera a que se halla capturado el
dato de la medida de distancia
    bcf          T1CON,TMR1ON  ;Apaga temporizador
;=====
=====
    incfsz CCPR1L,f            ;ajusta de error
    goto $+.2                  ;
    incf         CCPR1H,f      ;
;=====
=====
    rrf         CCPR1H,f      ;Divide entre 256
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
    rrf         CCPR1H,f      ;
    rrf         CCPR1L,f      ;
;=====
=====
    movlw      b'00001111'    ;enmascara el dato
    andwfCCPR1L,w            ;y lo pone en puerto de salida
    movwf     PORTA          ;
    movlw     b'11110000'    ;
    andwfCCPR1L,w            ;
    movwf     PORTB          ;
    movlw     .20             ;Pausa
    movwf     loops          ;
    call      retarms        ;
    goto     Toma_de_muestra;
;=====
=====
    end

```

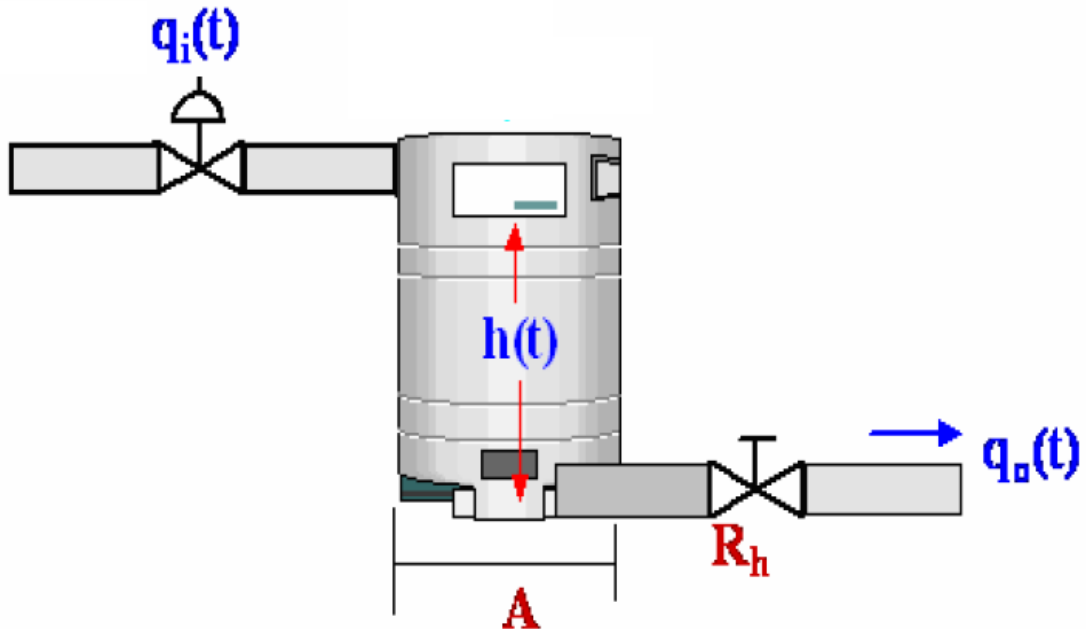
15. Modelamiento del sistema dinámico

Para obtener una ecuación diferencial podemos utilizar:

- Leyes físicas: de acuerdo a la naturaleza del sistema, rigen la relación causal entre las variables de interés.
- Pruebas experimentales (análisis de la respuesta transitoria del sistema).
- Por analogías de comportamientos entre sistemas que guardan un comportamiento similar, a pesar de ser de naturaleza diferente.
- Aplicación de algoritmos y recursos computacionales para procesar los datos obtenidos de pruebas experimentales.

Una de las maneras para hallar la función de transferencia de un sistema es a través de las leyes físicas, a continuación se mostrara la ecuación fundamental de la función de transferencia a través de los parametros fisicos, cabe decir que para nuestro caso se utilizo una metodologia experimental.

Figura 43. Sistema dinámico para controlar nivel



Donde:

$q_i(t)$ = Caudal de entrada

$q_o(t)$ = Caudal de salida

$h(t)$ = Altura del tanque

A = Área del tanque

Rh = Resistencia hidráulica o Constante de pérdida de la válvula.

Figura 44. Esquema del sistema físico del llenado de un tanque



Acumulación = Caudal de entrada - Caudal de salida

$$Q_i - Q_o = \frac{A \cdot dh}{dt} = \text{masa almacenada}$$

De donde

$$Q_o = \frac{h}{Rh}$$

Entonces

$$Q_i - \frac{h}{Rh} = \frac{A \cdot dh}{dt}$$

$$Q_i = \frac{h}{Rh} + \frac{A \cdot dh}{dt}$$

Realizando la transformada de laplace para la ecuación nos queda:

$$Q_{i(s)} = \frac{h(s)}{Rh} + Ahs(s)$$

$$Q_{i(s)}Rh = h(s) + Ahs(s) \cdot Rh$$

Se define entonces la constante de tiempo

$$A * Rh = \tau$$

$$Q_{i(s)} Rh = h_{(s)} (1 + A * Rhs)$$

$$\frac{h_{(s)}}{Q_{i(s)}} = \frac{Rh}{(A * Rhs + 1)} \quad \text{Función de transferencia}$$

La función de transferencia que se obtuvo anteriormente, hace referencia a la dinámica del sistema hidráulico.

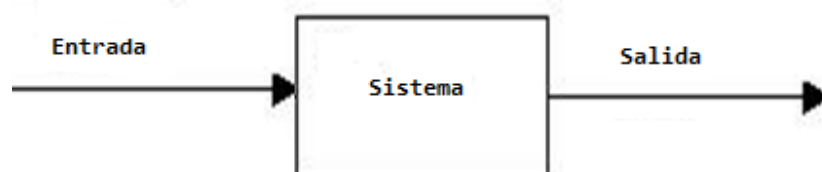
16. Sistema en lazo abierto

Son los sistemas en los cuales la salida no afecta a la entrada. En un sistema en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

- Sistema: Es la planta dónde se va a controlar la variable del proceso.

Figura 45. Sistema en lazo abierto



17. Sistema en lazo cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control de lazo cerrado.

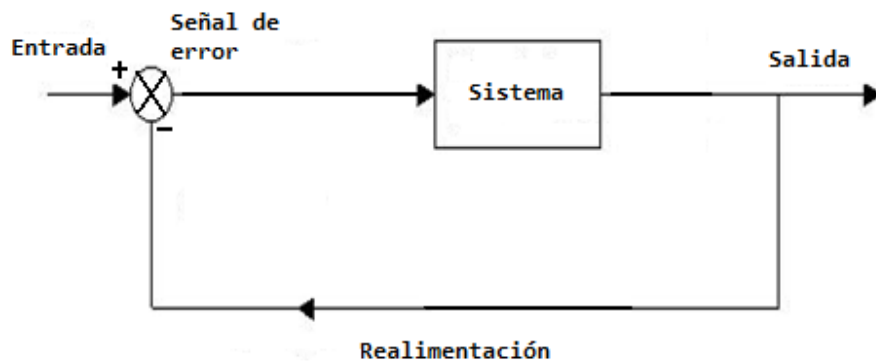
En un sistema de control en lazo cerrado, existe una relación entre la señal de entrada y la señal de salida, en donde la señal de entrada depende de la señal

de salida. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

Elementos básicos

- Elemento de comparación: Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor requerido y el obtenido a la salida

Figura 46. Sistema realimentado o en lazo cerrado



18. Método de la respuesta en frecuencia

El método de respuesta de frecuencia puede ser menos intuitivo que otros métodos que se utilizan; Sin embargo, tiene ciertas ventajas, especialmente en situaciones reales de la vida, tales como el modelado de funciones de transferencia de datos físicos.

La respuesta de frecuencia de un sistema puede ser visto de dos maneras diferentes: a través del diagrama de Bode o a través del diagrama de Nyquist. Ambos métodos de mostrar la misma información, pero la diferencia radica en la manera en que la información se presenta. Vamos a estudiar para nuestro caso el de bode.

La respuesta de frecuencia es una representación de la respuesta del sistema a entradas sinusoidales a frecuencias diferentes. La salida de un sistema lineal a una entrada sinusoidal es una senoide de la misma frecuencia pero con diferente magnitud y fase. La respuesta de frecuencia se define como la magnitud y las diferencias de fase entre las sinusoides de entrada y de salida. Con la respuesta en frecuencia de lazo abierto de un sistema, podemos predecir su comportamiento en circuito cerrado.

Para trazar la respuesta de frecuencia, creamos un vector de frecuencias (que varía entre cero o "DC" y el infinito) y calcular el valor de la función de transferencia de la planta en esas frecuencias. Si $G(s)$ es la función de transferencia de lazo abierto de un sistema y W es el vector de frecuencias, podemos graficar entonces, $G(j * w)$ vs W . Como $G(j * w)$ es un número complejo, podemos representar tanto en su magnitud y fase (el diagrama de Bode)

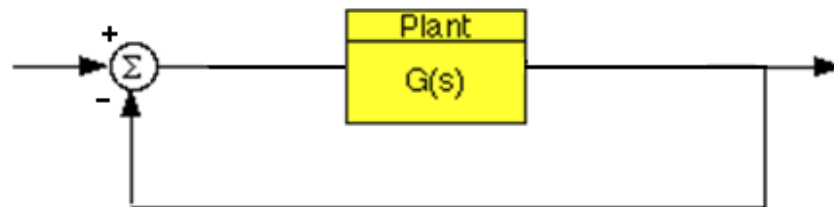
Los diagramas de Bode

Como se señaló anteriormente, el diagrama de Bode es la representación de la magnitud y fase de $G(j * w)$ (donde el vector w frecuencia contiene únicamente frecuencias positivas).

Margen de ganancia y de fase

Digamos que tenemos el siguiente sistema, donde K es una variable (constante) y la ganancia $G(s)$ es la planta en cuestión.

Figura 47. Sistema en lazo cerrado



Margen de ganancia

El margen de ganancia se define como el cambio en la ganancia de lazo abierto para que el sistema sea inestable. Los sistemas con mayores márgenes de ganancia pueden soportar mayores cambios en los parámetros del sistema antes de ser inestable en lazo cerrado. Una ganancia unitaria en magnitud es igual a ganancia de cero en decibeles

$$GAN = 0dB$$

Margen de fase

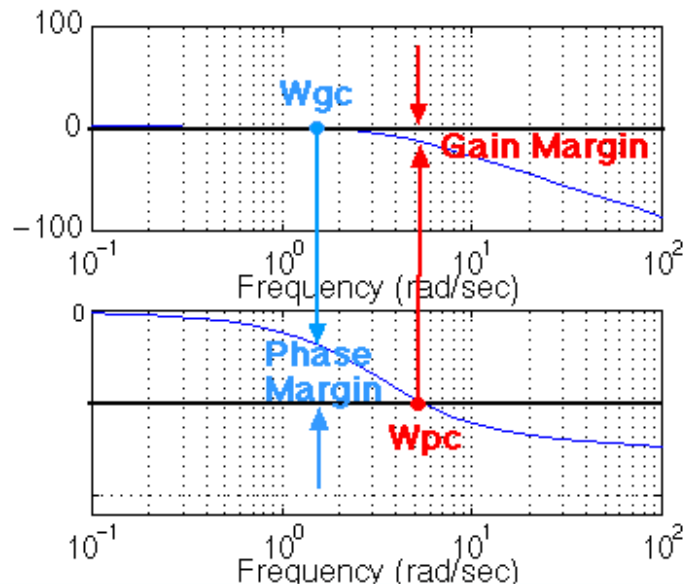
El margen de fase se define como el cambio de fase de lazo abierto paso necesario para hacer un sistema de circuito cerrado inestable.

$$MP = 180 - 0dB$$

El margen de fase también mide la tolerancia del sistema al tiempo de retardo. Si hay un intervalo de tiempo mayor que $180/W_{pc}$ en el lazo (donde W_{pc} es la frecuencia donde el cambio de fase es de 180 grados), el sistema se vuelve inestable en lazo cerrado. El tiempo de retraso se puede considerar como un componente adicional en la ruta de avance del diagrama de bloques que se añade a la fase del sistema, pero no tiene efecto el incremento. Es decir, un retardo de tiempo puede ser representado como un bloque con una magnitud de 1 y fase $w * \text{time_delay}$ (en radianes / segundo).

El margen de fase es la diferencia de fase entre la curva de la fase y -180 grados en el punto correspondiente a la frecuencia que nos da una ganancia de 0 dB (ganancia de la cruz sobre la frecuencia, W_{gc}). Asimismo, el margen de ganancia es la diferencia entre la curva de magnitud y de 0 dB en el punto correspondiente a la frecuencia que nos da una fase de -180 grados (la cruz de fase en la frecuencia, W_{pc}).

Figura 48. Margen de fase y de ganancia



Frecuencia de Ancho de banda

La frecuencia de ancho de banda se define como la frecuencia en donde la respuesta en lazo cerrado alcanza una magnitud igual a -3 dB

El ancho de banda de un sistema se encuentra matemáticamente a partir de la relación de circuito cerrado de amortiguamiento y la frecuencia natural del sistema.

Podemos relacionar la frecuencia de ancho de banda con la frecuencia natural de circuito cerrado y el factor de amortiguamiento. Así, podemos relacionar la frecuencia de ancho de banda para el factor de amortiguamiento y el aumento del tiempo de establecimiento con las siguientes ecuaciones.

$$w_{bw} = w_n \sqrt{(1 - 2\zeta^2) + \sqrt{\zeta^4 - 4\zeta^2 + 2}}$$

Rendimiento del lazo cerrado

Con el fin de predecir el rendimiento de lazo cerrado a partir de la respuesta de frecuencia en lazo abierto, tenemos que tener claro varios conceptos:

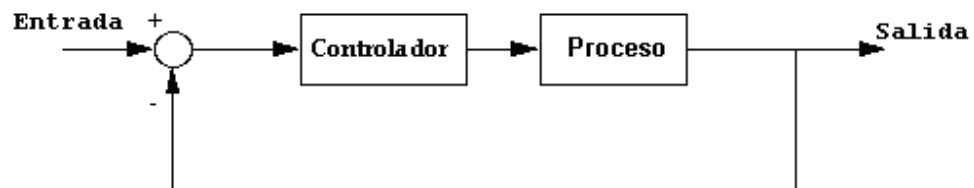
- El sistema debe ser estable a lazo abierto si vamos a diseñar a través de diagramas de Bode.
- Si la frecuencia de cruce de ganancia es menor que la frecuencia de cruce de fase (es decir, $w_{gC} < w_{pC}$), entonces el sistema de circuito cerrado será estable.
- Para los sistemas de segundo orden, la relación de lazo cerrado de amortiguamiento es aproximadamente igual al margen de fase dividido por 100, si el margen de fase es de entre 0 y 60 grados. Podemos utilizar este concepto con precaución si el margen de fase es superior a 60 grados.
- Para los sistemas de segundo orden, una relación entre el coeficiente de amortiguamiento, la frecuencia de ancho de banda y tiempo de establecimiento es dada por una ecuación se describe en el tema del ancho de banda.
- Una primera estimación que puede utilizar es que el ancho de banda es aproximadamente igual a la frecuencia natural.

19. CONTROLADORES PID

En este segmento de documento se mostrarán las características de los controladores proporcional (P), e integral (I), y cómo utilizarlos para obtener una

respuesta deseada. Consideremos el siguiente sistema de realimentación unitaria:

Figura 49. Sistema realimentado con controlador



Proceso: sistema a controlar

Controlador: Provee la excitación de la planta; Se diseña para controlar el comportamiento de todo el sistema.

Términos de la función de control PID

La función de transferencia del controlador PID es:

$$K_p + \frac{K_I}{S} + K_d S = \frac{K_d S^2 + K_p S + K_I}{S}$$

- K_p = Ganancia Proporcional
- K_I = Ganancia Integral
- K_d = Ganancia Derivativa

Señal de control de la planta o proceso (u)

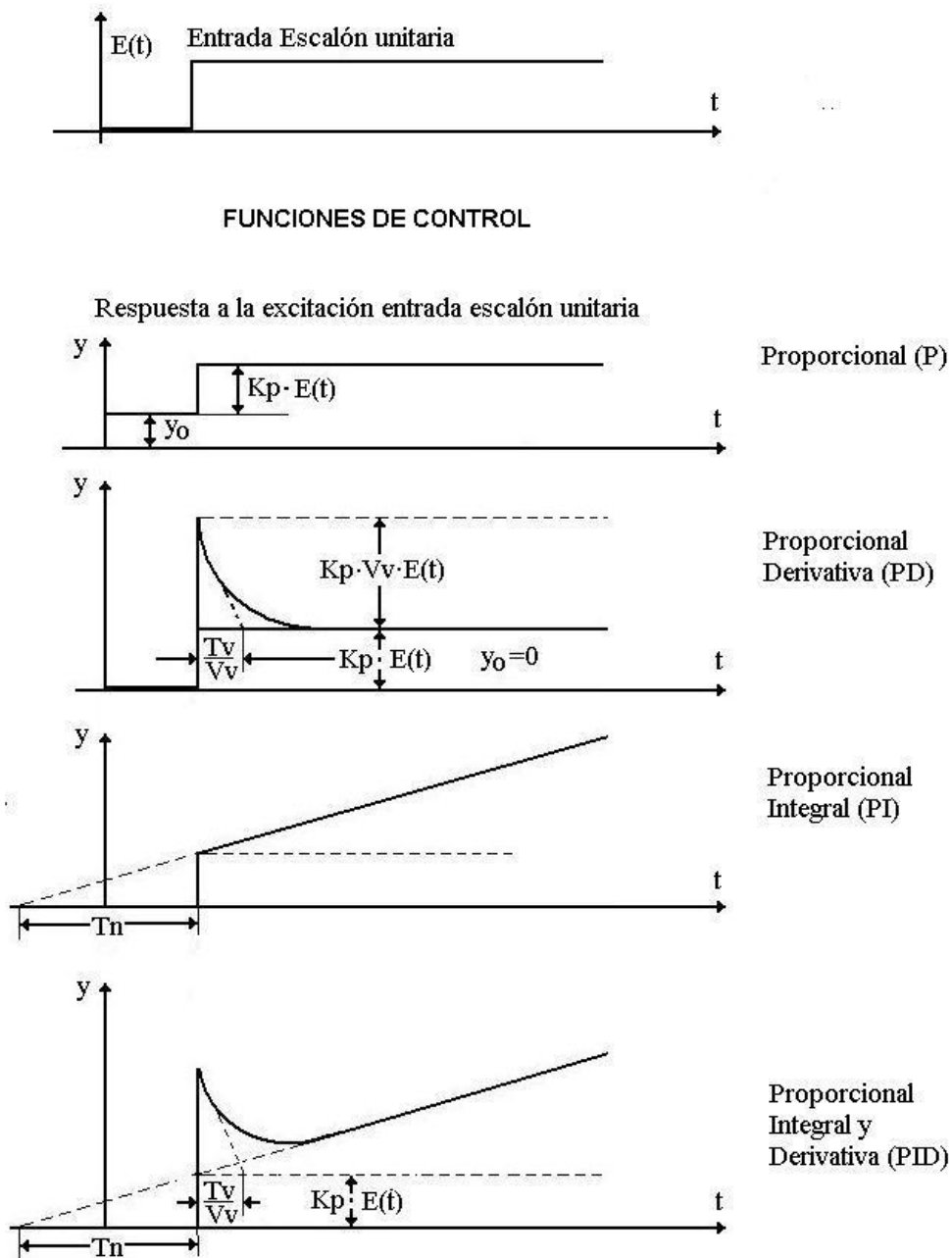
$$U = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt}$$

La señal (u) se enviará a la planta o proceso, y se obtendrá la nueva salida (Y). Esta nueva salida (Y) se re-enviará al sensor para hallar la nueva señal de error (e). El controlador toma esta nueva señal de error y computará su derivada y su integral otra vez. Este proceso sigue sin parar.

18.1. Acción de control proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional como para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobreoscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobreoscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación). La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

Figura 50. Respuesta de las acciones de control p, pi, pid a una entrada de error escalón unitario



y_0 =Potencia de salida inicial.

T_v =Tiempo de acción derivativa.

V_v =ganancia de acción derivativa.

T_n =tiempo de acción integral, en un valor de T_n es igual en magnitud a la entrada del error.

18.2. Control proporcional integral

La función de transferencia de este controlador

$$G_c(S) = K_p + \frac{K_I}{S} = \frac{K_p S + K_I}{S}$$

En la figura 50 (respuesta a un error escalón unitario de las funciones de control) se puede apreciar la respuesta del controlador PI. El efecto de combinar las acciones de control proporcional e integral es obtener un cambio en la salida del proceso donde el error en estado estacionario sea nulo, el tiempo de subida T_r decremente, el sobrepaso y el tiempo de establecimiento T_s incrementen.

Tabla 22. Efecto de las acciones de control K_p , K_i y K_d sobre el tiempo de subida sobre el sobrepaso y sobre el error en estado estacionario

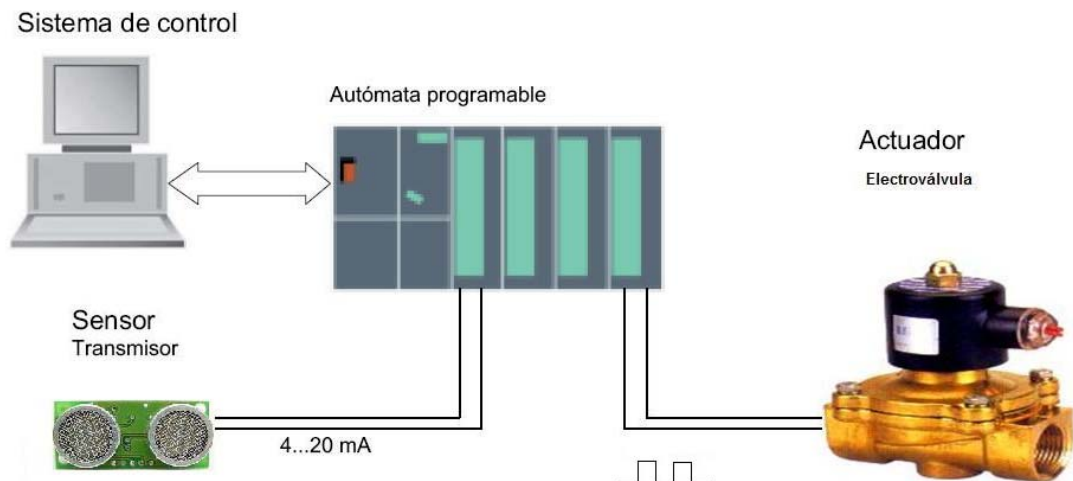
Respuesta en lazo cerrado	Tiempo de subida	sobrepaso	Tiempo de establecimiento	Error en estado estacionario
K_p	decrece	incrementa	Pequeños cambios	Decrece
K_i	Decrece	Incrementa	Incrementa	Elimina
K_d	Pequeños cambios	Decrece	Decrece	Pequeños cambios

19. Montaje del sistema hidráulico

Para desarrollar el proyecto de control y medida de nivel de líquido del sistema hidráulico se realizó el montaje del sistema como se muestra a continuación:

La figura 51 muestra un esquema de la vinculación de los elementos que conforman el control del sistema hidráulico a controlar.

Figura 51. Vinculación de los elementos del sistema hidráulico



En las figuras 52 y 53 se puede observar el montaje del sistema y todos los elementos que lo componen.

Figura 52. Montaje del sistema real



Figura 53.Montaje del sistema real



20. Dinámica del sistema

Para hacer el estudio del comportamiento del sistema hidráulico se utilizó un cilindro aproximadamente de 1.13m, al cual se le tomaron datos de corriente cada 2 segundos a través de un sensor de presión y se obtuvo la siguiente gráfica:

La tabla muestra los valores con los que se construyó la dinámica del sistema

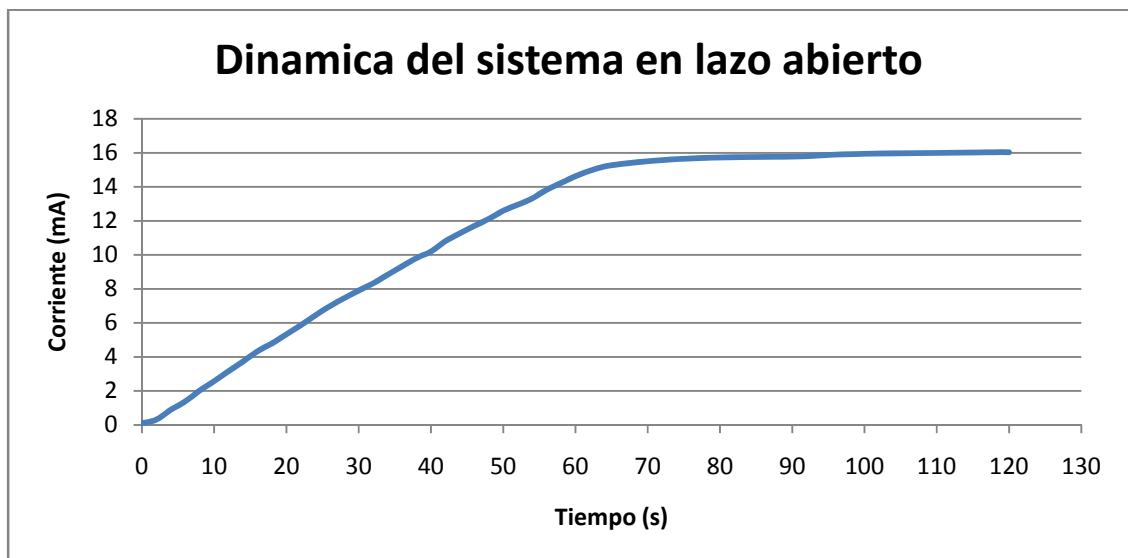
Tabla 23. Valores obtenidos para construir la dinámica del sistema

Tiempo(s)	Corriente(mA)	Corriente(mA) Desde El Origen
0	4,1	0,1
2	4,32	0,32
4	4,9	0,9
6	5,39	1,39
8	6,03	2,03
10	6,58	2,58
12	7,17	3,17
14	7,74	3,74
16	8,34	4,34
18	8,8	4,8
20	9,34	5,34
22	9,87	5,87
24	10,45	6,45
26	10,99	6,99
28	11,46	7,46
30	11,91	7,91
32	12,33	8,33
34	12,84	8,84
36	13,33	9,33
38	13,82	9,82
40	14,2	10,2
42	14,81	10,81
44	15,27	11,27
46	15,71	11,71
48	16,12	12,12
50	16,6	12,6
52	16,95	12,95

Tiempo(s)	Corriente(mA)	Corriente(mA) Desde El Origen
54	17,32	13,32
56	17,83	13,83
58	18,23	14,23
60	18,63	14,63
62	18,95	14,95
64	19,2	15,2
66	19,33	15,33
68	19,42	15,42
70	19,52	15,52
72	19,57	15,57
74	19,63	15,63
76	19,68	15,68
78	19,71	15,71
80	19,73	15,73
82	19,74	15,74
84	19,75	15,75
86	19,76	15,76
88	19,77	15,77
90	19,78	15,78
92	19,81	15,81
94	19,85	15,85
96	19,9	15,9
98	19,92	15,92
100	19,95	15,95
102	19,96	15,96
104	19,97	15,97
106	19,98	15,98
108	19,99	15,99
110	20	16
112	20,01	16,01
114	20,02	16,02
116	20,03	16,03
118	20,04	16,04
120	20,04	16,04

La grafica 54.Muestra la dinámica del sistema obtenida con los anteriores datos:

Figura 54.Dinamica del sistema a controlar en lazo abierto.



Con la grafica anterior se obtuvo un resultado para el tao de 39 s el cual corresponde al valor donde el sistema alcanza el 63% de su valor final. Dicho valor se obtuvo del siguiente modo:

$$16,04 \text{ mA} * 0,63 = 10.1052 \text{ mA}$$

En la curva que describe la figura 54. El valor que corresponde para tao respecto a la corriente obtenida es el nombrado anteriormente y es de 39 s.

Con los valores encontrados se procede a formar la función de transferencia del sistema:

$$G(s) = \frac{K/a}{\frac{s}{a} + 1}$$

Donde

$$\tau = 39s$$

$$y(\infty) = \frac{K}{a} = 16,04 \text{ mA} \quad \tau = \frac{1}{a} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{1}{\tau} \quad \Rightarrow \quad a = 0.0256 \text{ 1/s}$$

$$K = y(\infty) * a$$

Entonces,
 $K = 0,4106$

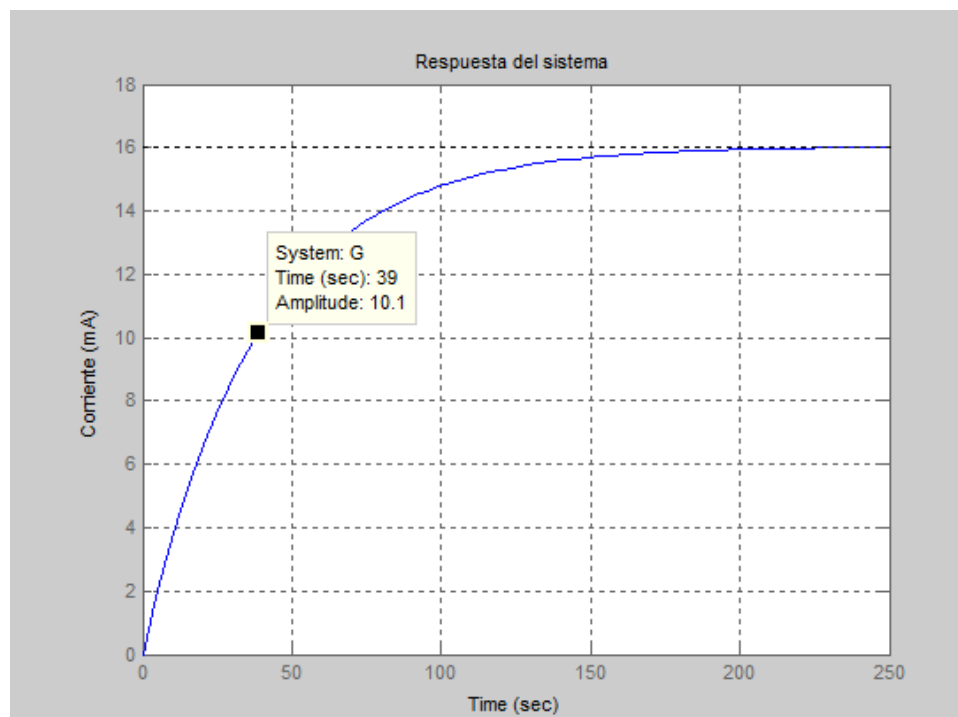
Para lo cual nos queda una función de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{16,04}{\tau s + 1} \quad \Rightarrow \quad G(s) = \frac{16,04}{39s + 1} \quad \text{Función de transferencia}$$

El siguiente programa en Matlab® muestra el comportamiento del sistema en lazo abierto.

```
clc
num =[16.04];
dem =[39 1];
G=tf(num,dem)
step(G)
grid on
axis ([0 270 0 16.5])
```

Figura 55. Respuesta de la planta con perturbación de escalón unitario



Con la grafica se tomo el tiempo de subida Tr para el 10% y 90% de la magnitud 16.04.

$$Tr(10\%) = 4.09s$$

$$Tr(90\%) = 88.2s$$

El tiempo de subida Tr fue 84.11s

El error de estado estacionario $Ess = \frac{1}{1+kp}$ donde kp es la ganancia propia del sistema. Para encontrar kp determinamos el límite cuando S tiende a cero de $G(s)$

$$Ess = \frac{1}{1+kp}$$

$$Kp = \lim_{S \rightarrow 0} G(s) \quad \Rightarrow \quad \lim_{S \rightarrow 0} \frac{16.04}{39S+1} = 16.04$$

Por lo tanto

$$\%Ess = \frac{1}{1+16.04} = 5.87\%$$

El tiempo de establecimiento para este sistema se halló de la fórmula expresada en el tema de la función de transferencia de primer orden.

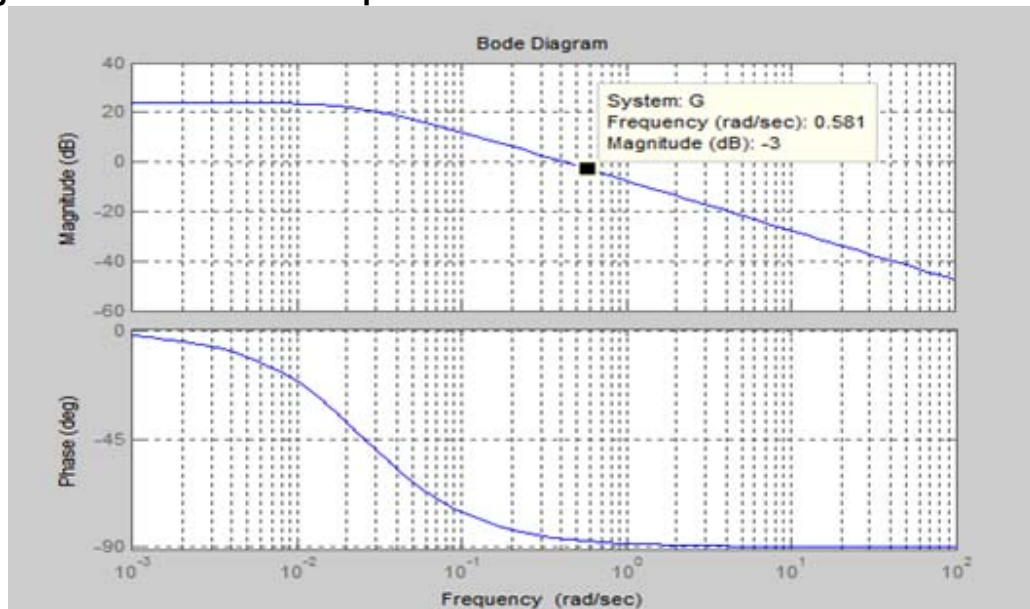
$$Ts = \frac{4}{a} \quad \Rightarrow \quad Ts = \frac{4}{0.0256} = 156.25s$$

Análisis de la respuesta en frecuencia

Con este método se observó el comportamiento del sistema en magnitud y fase vs frecuencia, con el siguiente programa en Matlab®:

```
clc
num =[16.04];
dem =[39 1];
G=tf(num,dem)
bode(G,logspace(-3,2))
grid on
```

Figura 56. Analisis de la respuesta en frecuencia



En la figura 56 se puede observar que a -3dB obtenemos un ancho de banda (BW) de 0.581rad/s

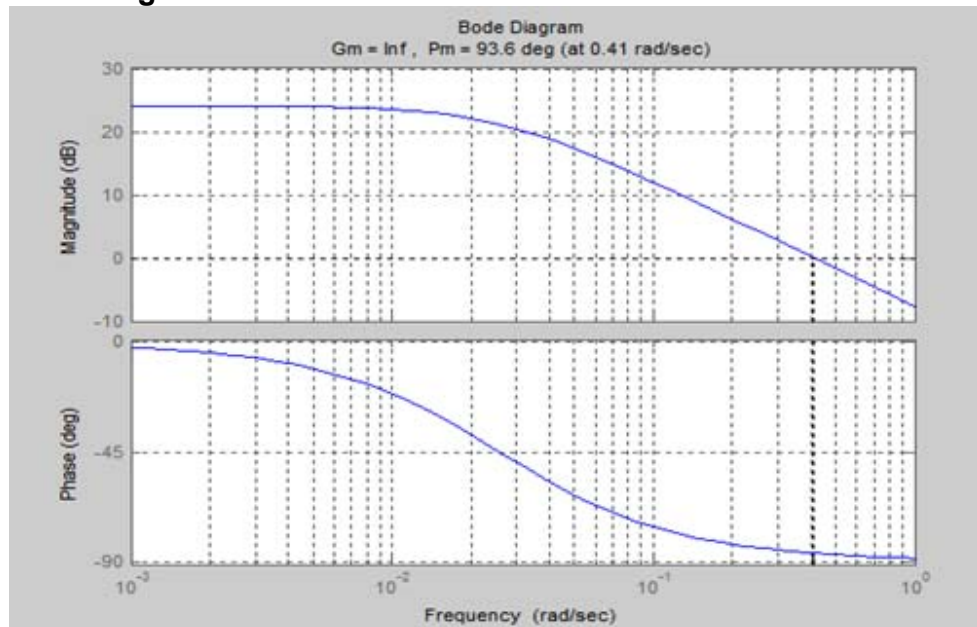
A continuación corremos el mismo programa pero con una función de Matlab® llamada margin que nos muestra el valor de MP:

```
clc
num =[16.04];
dem =[39 1];
G=tf(num,dem)
margin(G)
grid on
```

En la figura 59 se observa que el margen de fase es de 93,6 grados y el margen de ganancia es infinito.

Estos valores que se obtienen son del sistema sin aplicar ningún tipo de control.

Figura 57. Margen de fase



Para diseñar el controlador de nuestro sistema se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Error en estado estacionario lo mínimo posible
- Sobrepasso entre 0 y 5%
- Rebajar el tiempo de subida
- El tiempo de establecimiento lo menor posible

El tiempo de establecimiento que deseamos para este sistema es de 120 s, Para lo cual tomamos un sobre paso del 5%, encontrar un valor de zeta y el ancho de banda necesario, en donde se utilizaron los siguientes programase en Matlab®:

$$\zeta = \frac{MP}{100}$$

El valor de ζ en función del sobrepaso es:

$$\zeta = -\frac{\ln\left(\frac{\%OS}{100}\right)}{\sqrt{\ln^2\left(\frac{\%OS}{100}\right) + \pi^2}}$$

La ecuación que relaciona el sobrepico y el coeficiente de amortiguamiento

$$\%OS = 100e^{\frac{-\zeta*\pi}{\sqrt{1-2\zeta^2}}}$$

Ecuación que relaciona el ancho de banda en función de ζ

$$W_{BW} = w_n \sqrt{(1 - 2\zeta^2) + \sqrt{\zeta^4 - 4\zeta^2 + 2}}$$

$$W_n = \frac{4}{T_s \zeta^2}$$

A continuación se muestran los programas que se diseñaron en Matlab® que representan las anteriores ecuaciones y sus respectivos cálculos, para nuestro controlador deseado:

```
pos=input('Ingrese el sobrepaso %os ');
z=(-log(pos/100))/(sqrt(pi^2+log(pos/100)^2))
z=input ('valor amortiguamiento ');
os=100*exp(-pi*z/sqrt(1-z^2))
Ts=input('ingrese el Ts deseado')
BW=4/(Ts*z)*sqrt(1-2*z^2+sqrt(z^4-4*z^2+2))
```

Con los anteriores programas se encontraron los valores de:

Zita=0.6901

BW=44

$$PM=100 \cdot \zeta = 69.01$$

Los datos encontrados anteriormente son necesarios para encontrar la estabilidad que queremos para nuestro sistema, ya que se varían los valores de las constantes KP (constante proporcional) y KI (constante integral) lo que sea necesario hasta que se encuentre el margen de fase deseado.

El siguiente programa muestra el controlador del sistema:

```
kp=5.7;
ki=5.7;

num =[16.04];
dem =[39 1];

numpi=[kp ki];
dempi=[1 0];

newnum=conv(num,numpi);
newdem=conv(dem,dempi);
G = tf (newnum,newdem)
figure(1)

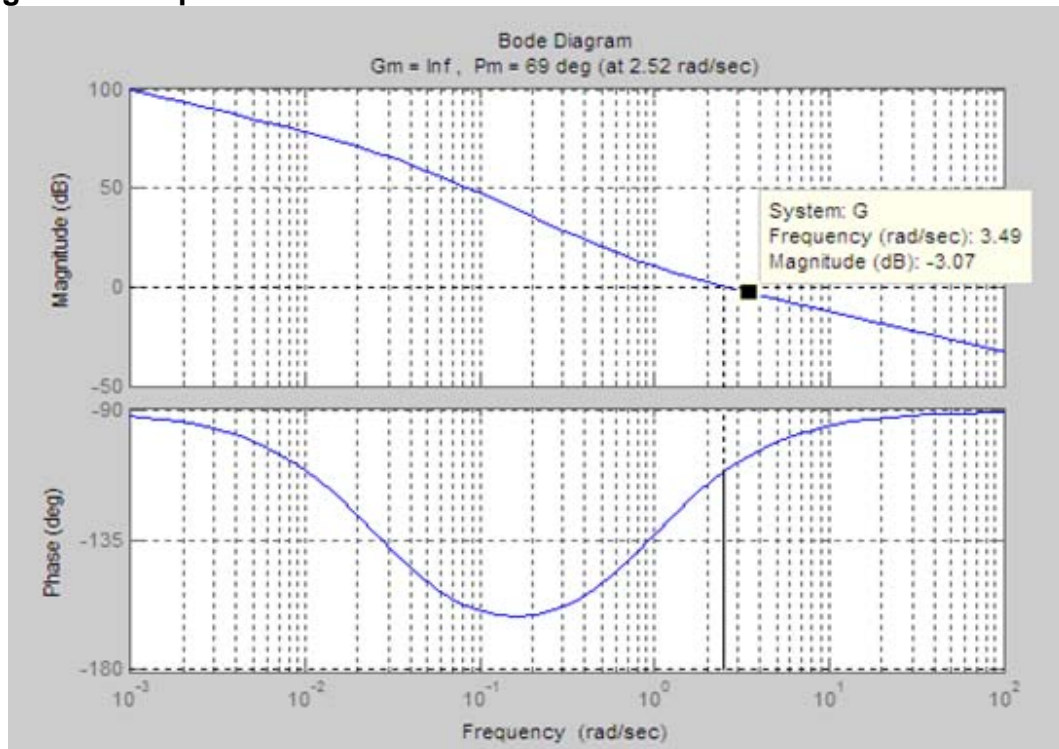
margin(G)
grid on

figure(2)
Glc=feedback(G,1)
t=0:0.1:10

step(Glc,t)
grid on
```

Con el anterior programa podemos calcular el nuevo ancho de banda que tendrá el controlador, el margen de ganancia y de fase:

Figura 58. Respuesta en frecuencia con control



En la grafica 58 se puede ver que el ancho de banda es mayor (BW) de lo que se esperaba, pero esto no afecta el sistema, al contrario mejora nuestro tiempo de subida.

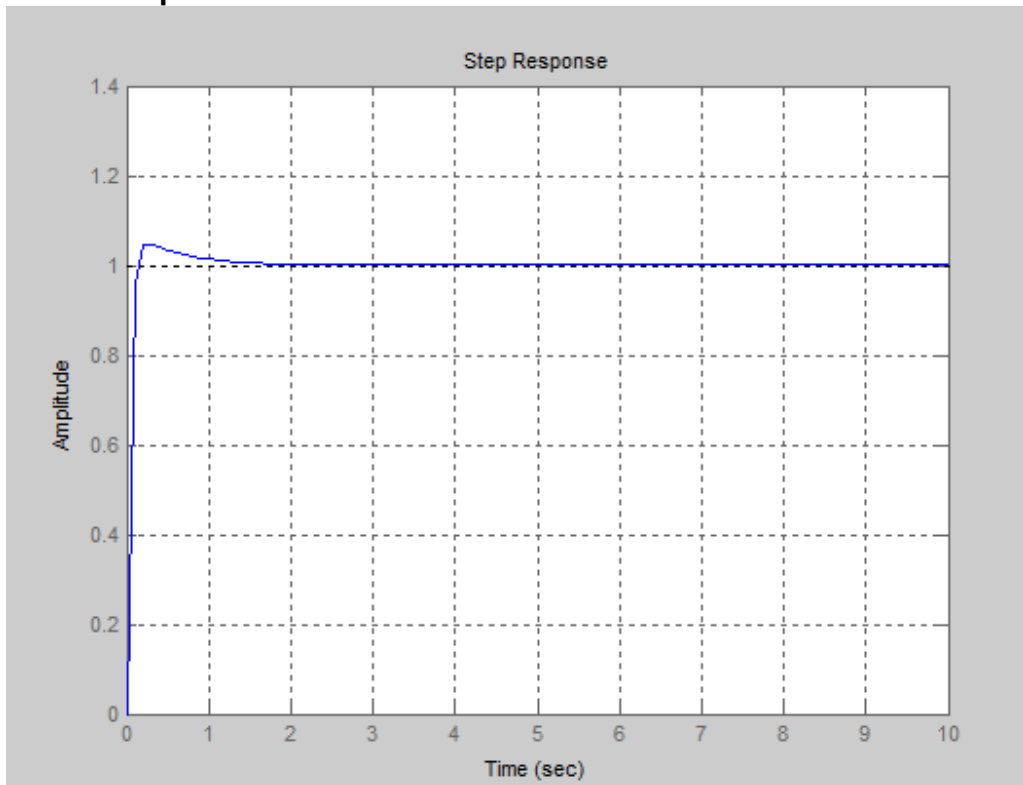
El valor de PM es el adecuado para un sobrepaso entre 0 y 5%, de acuerdo a la relación mostrada anteriormente en este capítulo donde el ζ se relaciona con el sobrepaso y el MP.

Función de transferencia del sistema con control

$$G(s) = \frac{91,43s + 91,43}{39s^2 + 92,43s + 91,43}$$

En la figura 59 se observa la respuesta del sistema en lazo cerrado, donde se puede apreciar el mejoramiento del sistema en los aspectos requeridos

Figura 59. Respuesta del sistema con control



21. Programación del controlador en el simatic S7 300

Luego de haber simulado y hallado en el Matlab[®] las constantes para el controlador, se procede a implementar el controlador por medio de un autómata programable, que para el caso de este proyecto es el simatic S7 300.

Para implementar el controlador, se parametriza los bloques de función del autómata CON_C Y PULSEGEN, con las constantes del controlador halladas anteriormente. [12]

21.1. Regulación continua FB 41"CONT_C"

El FB"CONT_C" sirve para la regulación de procesos industriales con magnitudes de entrada y salida continuas utilizando sistemas de automatización SIMATIC S7. Mediante la parametrización es posible conectar o desconectar las funciones parciales del regulador PID, adaptándolo así al proceso regulado. [12]

Su modo de trabajo se basa en el algoritmo de regulación PID del regulador muestreado con señal de salida analógica, complementada dado el caso por una etapa de formación de impulsos para la creación de señales de salida con modulación de ancho de impulsos para regulaciones de dos o tres puntos con actuadores proporcionales. [12]

21.2. Algoritmo PID

El algoritmo PID trabaja en el algoritmo de posición. Las acciones proporcional, integral (INT) y derivativa (DIF) están conectadas en paralelo y pueden conectarse y desconectarse individualmente. De esta forma pueden parametrizarse reguladores P, PI, PD y PID. Pero también son posibles reguladores I puros. [12]

Figura 60. Esquema de bloques del CONT-C

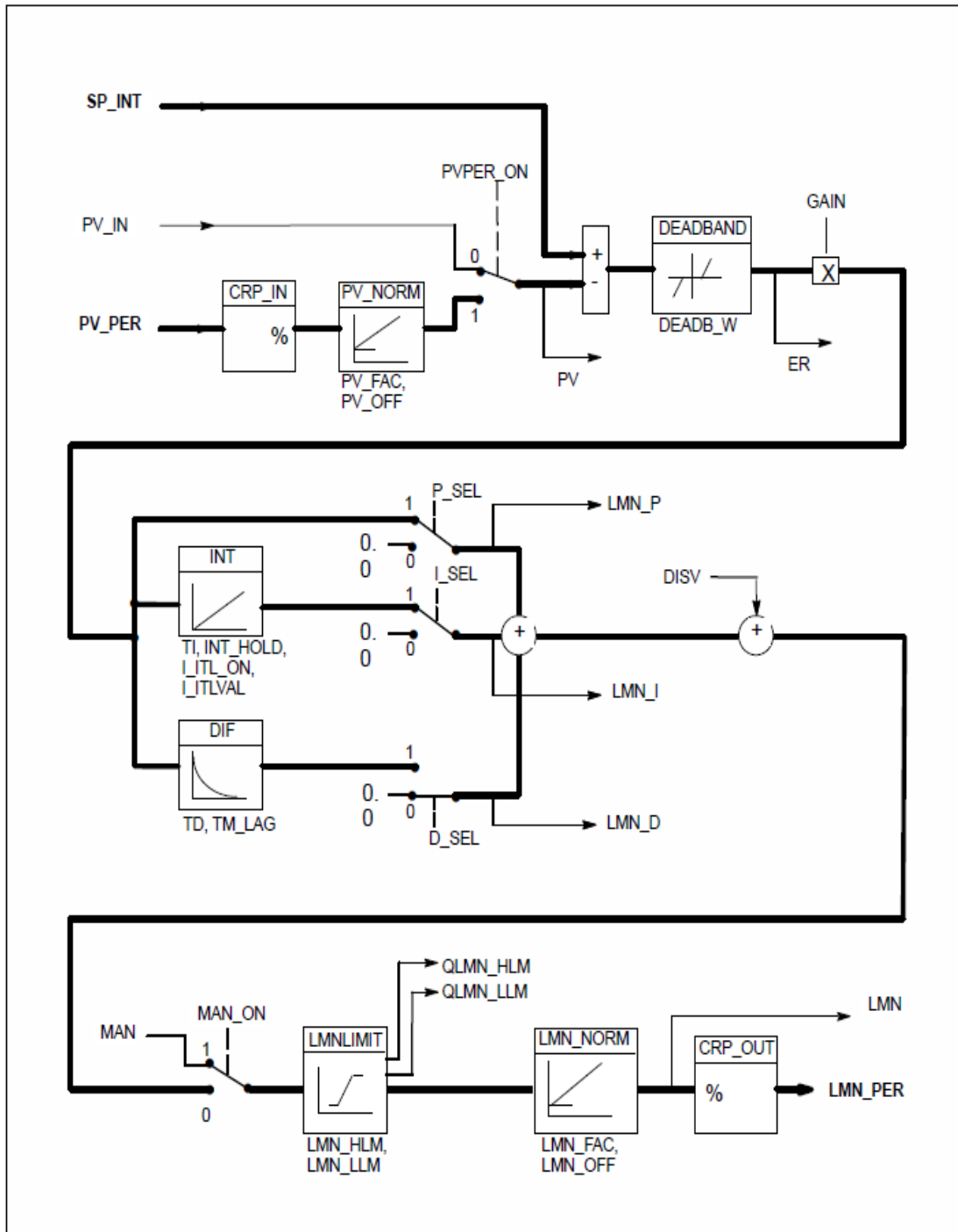


Tabla 24. Parámetros de entrada del CONT-C

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
COM_RST	BOOL		FALSE	COMPLETE RESTART / Rearranque completo El bloque tiene una rutina de rearranque completo que se ejecuta cuando está activada la entrada "Rearranque completo".
MAN_ON	BOOL		TRUE	MANUAL VALUE ON / Conectar modo manual Si está activada la entrada "Conectar modo manual", está interrumpido el lazo de regulación. Como valor manipulado se fuerza un valor manual.
PVPER_ON	BOOL		FALSE	PROCESS VARIABLE PERIPHERY ON / Conectar valor real de periferia Si debe leerse el valor real de la periferia, conectar la entrada PV_PER con la periferia y activar la entrada "Conectar valor real de periferia".
P_SEL	BOOL		TRUE	PROPORTIONAL ACTION ON / Conectar acción P En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción P está conectada si está activada la entrada "Conectar acción P".
I_SEL	BOOL		TRUE	INTEGRAL ACTION ON / Conectar acción I En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción I está conectada si está activada la entrada "Conectar acción I".
INT_HOLD	BOOL		FALSE	INTEGRAL ACTION HOLD / Congelar acción I La salida del integrador puede congelarse. Para ello se ha de activar la entrada "Congelar acción I".
I_ITL_ON	BOOL		FALSE	INITIALIZATION OF THE INTEGRAL ACTION / Inicializar acción I La salida del integrador puede inicializarse a la entrada I_ITLVAL. Para ello se ha de activar la entrada "Inicializar acción I".
D_SEL	BOOL		FALSE	DERIVATIVE ACTION ON / Conectar acción D En el algoritmo PID pueden conectarse y desconectarse individualmente las acciones PID. La acción D está conectada si está activada la entrada "Conectar acción D".
CYCLE	TIME	$\geq 1\text{ms}$	T#1s	SAMPLE TIME / Tiempo de muestreo El tiempo entre las llamadas del bloque debe ser constante. La entrada "Tiempo de muestreo" indica el tiempo entre las llamadas del bloque.
SP_INT	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 1)	0.0	INTERNAL SETPOINT / Consigna interna La entrada "Consigna interna" sirve para ajustar un valor de consigna.
PV_IN	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 1)	0.0	PROCESS VARIABLE IN / Entrada de valor real En la entrada "Entrada de valor real" puede parametrizarse un valor de puesta en servicio, o aplicarse un valor real externo en formato en coma flotante.

Tabla 25. Parámetros de entrada CONT-C (continuación)

PV_PER	WORD		W#16#0000	PROCESS VARIABLE PERIPHERY / Valor real de periferia El valor real en formato de periferia se aplica al regulador en la entrada "Valor real de periferia".
MAN	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 2)	0.0	MANUAL VALUE / Valor manual La entrada "Valor manual" sirve para establecer un valor manual mediante función de manejo/visualización (interface hombre máquina).
GAIN	REAL		2.0	PROPORTIONAL GAIN / Ganancia proporcional La entrada "Ganancia proporcional" indica la ganancia del regulador.
TI	TIME	>= CYCLE	T#20s	RESET TIME / Tiempo de acción integral La entrada "Tiempo de acción integral" determina el comportamiento temporal del integrador.
TD	TIME	>= CYCLE	T#10s	DERIVATIVE TIME / Tiempo de diferenciación (acción derivativa) La entrada "Tiempo de diferenciación" determina el comportamiento temporal del diferenciador.
TM_LAG	TIME	>= CYCLE/2	T#2s	TIME LAG OF THE DERIVATIVE ACTION / Tiempo de retardo de la acción D El algoritmo de la acción D contiene un retardo que puede parametrizarse en la entrada "Tiempo de retardo de la acción D".
DEADB_W	REAL	>= 0.0 (%) ó magnitud física 1)	0.0	DEAD BAND WIDTH / Ancho de zona muerta El error de regulación se conduce por una zona muerta. La entrada "Ancho de zona muerta" determina el tamaño de la zona muerta.
LMN_HLM	REAL	LMN_LLM ...100.0 (%) ó magnitud física 2)	100.0	MANIPULATED VALUE HIGH LIMIT / Límite superior del valor manipulado El valor manipulado tiene siempre un límite superior y uno inferior. La entrada "Límite superior del valor manipulado" indica el límite superior.
LMN_LLM	REAL	-100.0... LMN_HLM (%) ó magnitud física 2)	0.0	MANIPULATED VALUE LOW LIMIT / Límite inferior del valor manipulado El valor manipulado tiene siempre un límite superior y uno inferior. La entrada "Valor manipulado, límite inferior" indica el límite inferior.
PV_FAC	REAL		1.0	PROCESS VARIABLE FACTOR / Factor de valor real La entrada "Factor de valor real" se multiplica por el valor real. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor real.
PV_OFF	REAL		0.0	PROCESS VARIABLE OFFSET / Offset del valor real La entrada "Offset del valor real" se suma con el valor real. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor real.
LMN_FAC	REAL		1.0	MANIPULATED VALUE FACTOR / Factor del valor manipulado La entrada "Factor del valor manipulado" se multiplica por el valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.

Tabla 26. Parámetros de entrada CONT-C (continuación)

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
LMN_OFF	REAL		0.0	MANIPULATED VALUE OFFSET / Offset del valor manipulado La entrada "Offset del valor manipulado" se suma al valor manipulado. La entrada sirve para la adaptación del margen de valor manipulado.
I_ITLVAL	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 2)	0.0	INITIALIZATION VALUE OF THE INTEGRAL ACTION / Valor de inicialización de la acción I La salida del integrador puede forzarse con la entrada I_ITL_ON. En la entrada "Valor de inicialización de la acción I" está el valor de inicialización.
DISV	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 2)	0.0	DISTURBANCE VARIABLE / Magnitud perturbadora Para control anticipativo de la magnitud perturbadora, ésta se conecta en la entrada "Magnitud perturbadora".

Tabla 27. Parámetros de salida CONT-C

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
LMN	REAL		0.0	MANIPULATED VALUE / Valor manipulado En la salida "Valor manipulado" se saca en formato en coma flotante el valor manipulado que actúa efectivamente.
LMN_PER	WORD		W#16#0000	MANIPULATED VALUE PERIPHERY / Valor manipulado periferia Esta salida entrega el valor manipulado en formato de periferia.
QLMN_HLM	BOOL		FALSE	HIGH LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite superior del valor manipulado El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzado el límite superior del valor manipulado" indica la superación de la limitación superior.
QLMN_LLM	BOOL		FALSE	LOW LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHED / Alcanzado el límite inferior del valor manipulado El valor manipulado tiene siempre un límite superior y un límite inferior. La salida "Alcanzado el límite inferior del valor manipulado" indica la superación de la limitación inferior.
LMN_P	REAL		0.0	PROPORTIONALITY COMPONENT / Acción P La salida "Acción P" contiene la componente proporcional de la magnitud manipulada.

Tabla 28. Parámetros de salida CONT-C (continuación)

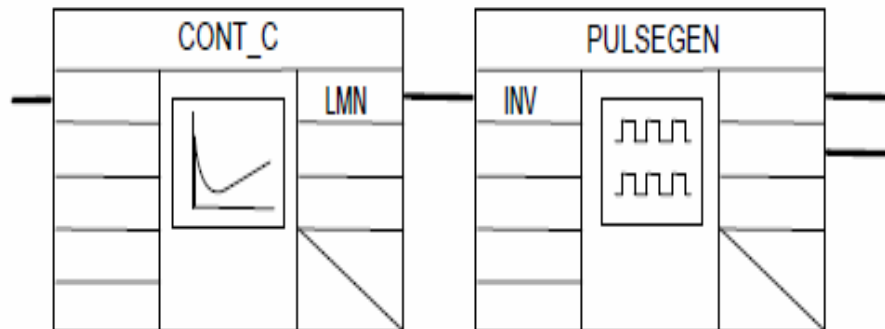
Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
LMN_I	REAL		0.0	INTEGRAL COMPONENT / Acción I La salida "Acción I" contiene la componente integral de la magnitud manipulada.
LMN_D	REAL		0.0	DERIVATIVE COMPONENT / Acción D La salida "Acción D" contiene la componente diferencial de la magnitud manipulada.
PV	REAL		0.0	PROCESS VARIABLE / Valor real Por la salida "Valor real" se emite el valor real que actúa efectivamente.
ER	REAL		0.0	ERROR SIGNAL / Error de regulación Por la salida "Error de regulación" se emite la diferencia o error de regulación que actúa efectivamente.

21.3. Formación de impulsos con el FB 43 "PULSEGEN"

El FB "PULSEGEN" sirve para construir un regulador PID con salida de impulsos para gobernar actuadores proporcionales.

El FB "PULSEGEN" permite realizar reguladores PID de dos o de tres puntos con salida con modulación de ancho de impulsos. Este bloque de función se aplica casi siempre en combinación con el regulador continuo "CONT_C". [12]

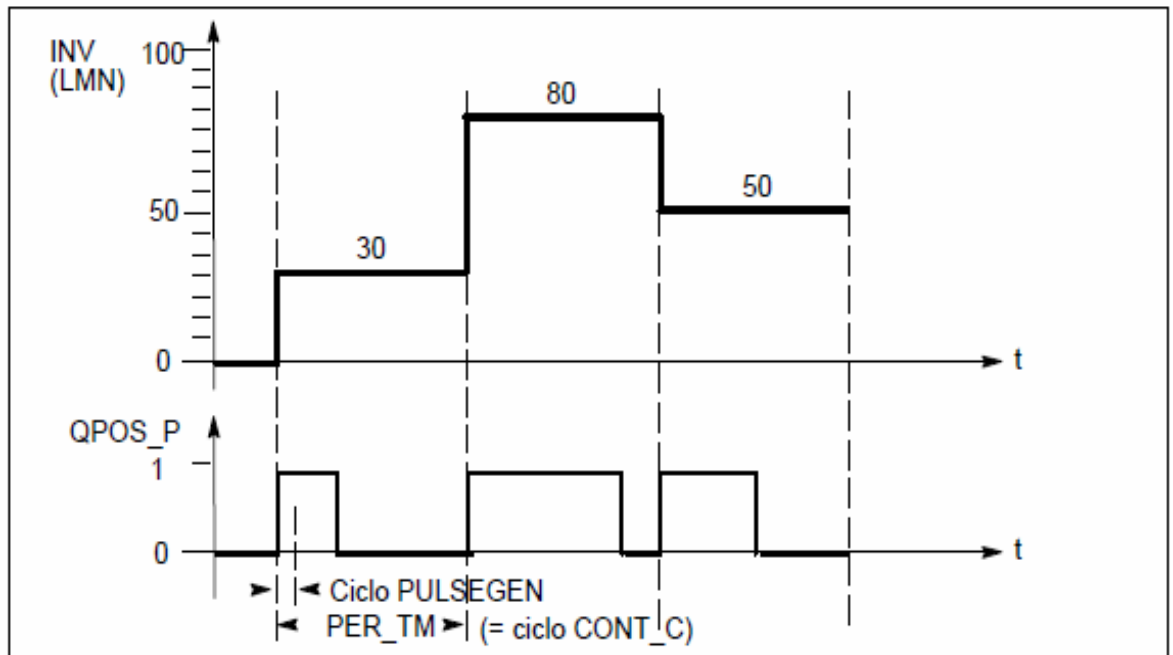
Figura 61. Formación de impulsos (pulsegen)



El PULSEGEN transforma la magnitud de entrada INV (= LMN del regulador PID) por modulación del ancho de impulsos en un tren de impulsos de período constante, que corresponde al tiempo de ciclo con el que se actualiza la magnitud de entrada y que debe parametrizarse en PER_TM.

La duración de un impulso por período es proporcional a la magnitud de entrada. Aquí, el ciclo parametrizado mediante PER_TM no es idéntico al tiempo de procesamiento del FB "PULSEGEN". Por el contrario, un ciclo PER_TM se compone de varios ciclos de procesamiento del FB "PULSEGEN" donde la cantidad de llamadas del FB "PULSEGEN" por cada ciclo PER_TM representa una medida de la precisión de la modulación del ancho de impulsos. [12]

Figura 62. Modulación de ancho de impulsos



Una magnitud de entrada del 30 % y 10 llamadas del FB "PULSEGEN" por cada PER_TM significan pues:

- "uno" en la salida QPOS para las primeras tres llamadas del FB "PULSEGEN" (30 % de 10 llamadas)
- "uno" en la salida QPOS para las tres primeras llamadas del FB "PULSEGEN" (70% de 10 llamadas)

Figura 63. Esquema de bloques del pulsegen

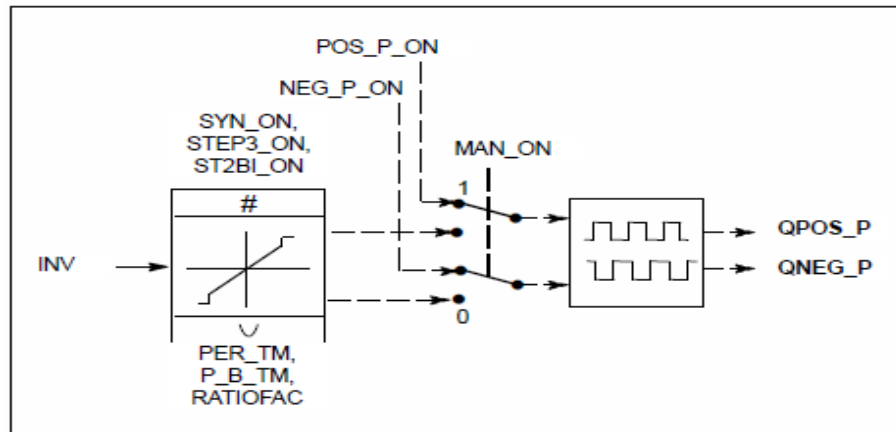


Tabla 29. Parámetros de entrada del PULSEGEN

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
INV	REAL	-100.0...100.0 (%)	0.0	INPUT VARIABLE / Variable de entrada En el parámetro de entrada "Variable de entrada" se aplica una magnitud de valor manipulado analógica.
PER_TM	TIME	>=20*CYCLE	T#1s	PERIOD TIME / Periodo En el parámetro "Periodo" se introduce la duración de periodo constante de la modulación de ancho de impulsos. La duración corresponde al tiempo de muestreo del regulador. La relación entre el tiempo de muestreo del formador de impulsos respecto al tiempo de muestreo del regulador determina la precisión de la modulación del ancho de impulsos.
P_B_TM	TIME	>= CYCLE	T#0ms	MINIMUM PULSE/BREAK TIME / Duración mínima de impulso o duración mínima de pausa En el parámetro "Duración mínima de impulso o duración mínima de pausa" puede parametrizarse una longitud mínima de impulso o de pausa.
RATIOFAC	REAL	0.1 ...10.0	1.0	RATIO FACTOR / Factor de relación Este parámetro permite modificar la relación de la duración de impulsos negativos a impulsos positivos. En un proceso térmico, esto permite compensar diferentes constantes de tiempo para calentar y enfriar (por ejemplo, con calefacción eléctrica o refrigeración por agua).
STEP3_ON	BOOL		TRUE	THREE STEP CONTROL ON / Conectar regulación de tres puntos En el parámetro de entrada "Conectar regulación de tres puntos" se activa el correspondiente modo de operación. En la regulación de tres puntos trabajan ambas señales de salida.

ST2BI_ON	BOOL		FALSE	<p>TWO STEP CONTROL FOR BIPOLAR MANIPULATED VALUE RANGE ON / Conectar regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar</p> <p>En el parámetro "Conectar regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar" puede seleccionarse entre los modos de operación "Regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar" y "Regulación de dos puntos para margen de valores manipulados unipolar". Debe ser aquí STEP3_ON = FALSE.</p>
MAN_ON	BOOL		FALSE	<p>MANUAL MODE ON / Conectar modo manual</p> <p>Activando el parámetro de entrada "Conectar modo manual" es posible forzar a mano las señales de salida.</p>
POS_P_ON	BOOL		FALSE	<p>POSITIVE MODE ON / Impulso positivo ON</p> <p>En modo manual de una regulación de tres puntos, el parámetro de entrada "Impulso positivo ON" permite forzar la señal de salida QPOS_P. En modo manual de una regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.</p>
NEG_P_ON	BOOL		FALSE	<p>NEGATIVE PULSE ON / Impulso negativo ON</p> <p>En modo manual de una regulación de tres puntos, el parámetro de entrada "Impulso negativo ON" permite forzar la señal de salida QNEG_P. En modo manual de una regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.</p>

Tabla 30. Parámetros de salida del PULSEGEN

Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
SYN_ON	BOOL		TRUE	SYNCHRONISATION ON / Conectar sincronización Activando el parámetro de entrada "Conectar sincronización", es posible sincronizar automáticamente la salida de impulsos con el bloque que actualiza la magnitud de entrada INV. De esta forma queda garantizado que una magnitud de entrada cambiante salga también lo más rápidamente posible como impulso.
COM_RST	BOOL		FALSE	COMPLETE RESTART / Rearranque completo El bloque tiene una rutina de rearranque completo que se ejecuta cuando está activada la entrada "Rearranque completo".
CYCLE	TIME	>= 1ms	T#10ms	SAMPLE TIME / Tiempo de muestreo El tiempo entre las llamadas de bloque debe ser constante. La entrada "Tiempo de muestreo" indica el tiempo entre las llamadas de bloque.

22. Estructura por software simatic S7-300 para el control y medida de nivel de líquido del sistema hidráulico.

Para implementar el proyecto, se establece un programa de acondicionamiento de la señal digitalizada de corriente que proviene de la periferia a través del módulo analógico; para esto se crea un OB1, el cual contiene el programa principal; a través de él se hacen los llamados de los bloques de función CON_C Y PULSEGEN; además se crea un DB global (base de datos), el cual almacena el valor de la corriente de entrada, salida y error del sistema.

En el siguiente tramo de programa se acondiciona la señal digitalizada de corriente:

```

AUF DB 1 // Abrir la base de datos //
L PEW 306 // Cargar el ACC1 con la entrada de la periferia //
ITD // Convertir de entero de 16 bits a entero de 32 bits //
DTR // Convertir de entero de 32 bits a real //
L 2.764800e+004 // Cargar la resolución del módulo analógico en ACC1//
/R // dividir por el número real 2.764800e+004 la periferia //

```

```

L 1.600000e+001 // cargar el rango de la medición desde 4mA hasta
20mA//
*R // multiplicar por el rango//
L 4.000000e+000 //cargar la deriva//
+R // sumar la deriva//
T DB1.DBD 2 // Transferir a la base de datos//

```

El siguiente segmento de programa muestra la configuración y parametrización para la regulación del sistema:

Parametrización de un PI en lenguaje de instrucciones en simatic S7-300

```

CALL "CONT_C", DB2 //Bloque de regulación//
COM_RST:=FALSE //Rearranque complete//
MAN_ON:=FALSE //Conectar modo manual//
PVPER_ON:=FALSE //Valor real de la periferia//
P_SEL :=TRUE //Conectar ganancia proporcional//
I_SEL :=TRUE //Conectar acción I//
INT_HOLD:=FALSE //Congelar acción I//
I_ITL_ON:=FALSE //Inicializar acción I//
D_SEL :=FALSE//Conectar acción D//
CYCLE :=T#170MS //Tiempo de ciclo//
SP_INT:=2.000000e+001//Set point//
PV_IN :=DB1.DBD2 //Entrada de valor real//
PV_PER:= //Valor de periferia//
MAN := //Valor manual//
GAIN :=5.700000e+000 //Ganancia de acción proporcional//
TI :=T#170MS //Tiempo de acción integral//
TD := //Tiempo de diferenciación//
TM_LAG:= //Tiempo de acción derivativa//
DEADB_W:=0.000000e+000 //Ancho de la zona muerta//
LMN_HLM:=1.000000e+002 //Limite superior del valor manipulado//
LMN_LLM:=0.000000e+000 //Limite inferior del valor manipulado//
PV_FAC:= //Factor de valor real (si se usa PV_PER)//
PV_OFF:= //Offset de valor real (si se usa PV_PER)//
LMN_FAC:=1.000000e+000 //Factor de valor manipulado//
LMN_OFF:=0.000000e+000 //Offset de valor manipulado//
I_ITLVAL:= //Valor de inicialización de la acción I//
DISV := //Magnitud perturbadora//
LMN :=DB1.DBD6 //Valor manipulado//
LMN_PER:=
QLMN_HLM:= //Valor límite máximo manipulado//
QLMN_LLM:= //Valor límite mínimo manipulado//

```



```

LMN_P := //Componente proporcional de la magnitud manipulada//
LMN_I := //Componente integral de la magnitud manipulada//
LMN_D := //Componente derivativa de la magnitud manipulada//
PV    :=
ER    :=DB1.DBD10 //Señal de error//

```

El siguiente fragmento de programa muestra la configuración del modulador de ancho de pulso (PULSEGEN), para poder controlar la válvula de nuestro sistema.

Modulación por ancho de impulsos PWM

```

CALL "PULSEGEN", DB3 //Bloque de PULSEGEN//
INV  :=DB1.DBD6 //Entrada análoga//
PER_TM:=T#35MS //Periodo//
P_B_TM:=T#1MS //Duración mínima de impulso//
RATIOFAC:=1.000000e+000 //Factor de relación//
STEP3_ON:=FALSE //Regulación de tres puntos//
ST2BI_ON:=FALSE //Regulación de dos puntos//
MAN_ON:=FALSE //Conectar modo manual//
POS_P_ON:=TRUE //Forzar impulse positivo//
NEG_P_ON:=TRUE //Forzar impulso negativo//
SYN_ON:=TRUE //Conectar sincronización//
COM_RST:=FALSE //Rearranque completo//
CYCLE  :=T#1MS //Tiempo de muestreo//
QPOS_P:=A8.4 //Salida modulada en ancho de impulso positivo//
QNEG_P:= //Salida modulada en ancho de impulso negativo//
BE // Fin del programa//

```

23. CONCLUSIONES

Los sistemas de control en lazo cerrado permiten reducir el error que existe entre la señal de referencia y la salida del sistema; de esta manera llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

En la teoría de control, a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada-salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo. A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar el sistema mediante ecuaciones algebraicas en función de *Laplace* (s).

Los sensores de ultrasonido son unos de los más económicos, fáciles de manipular y pueden detectar objetos en el orden de los metros sin necesidad de algún filtro o adaptación especial. El SRF05, es un sensor de distancias por ultrasonidos desarrollado por la firma DEVANTECH Ltda. Capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 1,7 a 431 cm.

Una metodología para encontrar los parámetros del controlador, es la respuesta en frecuencia; el cual nos representa la señal de salida en magnitud y fase, facilitando la búsqueda de los controladores, debido a la relación que existe entre el margen de fase y el factor de amortiguamiento relativo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Diseño y construcción de un dispositivo electrónico para la detección de obstáculos, como ayuda a personas con discapacidad visual
- [2] Capítulo 2 – generación y detección de ultrasonido
- [3] Transductores de ultrasonidos (José M° Lorente Gassó)
- [4] Bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/.../998/.../T10767CAP1.pdf
- [5] Ensayos_mecanicos_ultrasonidos
- [6] Sensores de distancia (Diego Pérez de Diego)
- [7] King instrument electronics co., ltd
- [8] siemens simatic sistemas de automatización S7-300 y M7-300, datos de los módulos
- [9] Siemens simatic S7-300 SM331; AI 8x12 Bit, Getting Started 1ª parte: 4-20mA
- [10] Válvulas de solenoide capitulo 7
- [11] www.microcontroladores.cozm
- [12] Software estándar para S7-300/400 PID Control (Regulación PID)
- [13] Configurable passive isolator MCR-CLP-UI-I-4 (Phoenix contac)