

Universidad de Ingeniería y Tecnología

**Departamento de Ingeniería Electrónica e
Ingeniería Mecatrónica**



Instrumentación Industrial

Proyecto Final

HM-362 Comparación de bombas

Integrantes:

Churampi, Rafael

Gutierrez, Alex

Sime, William

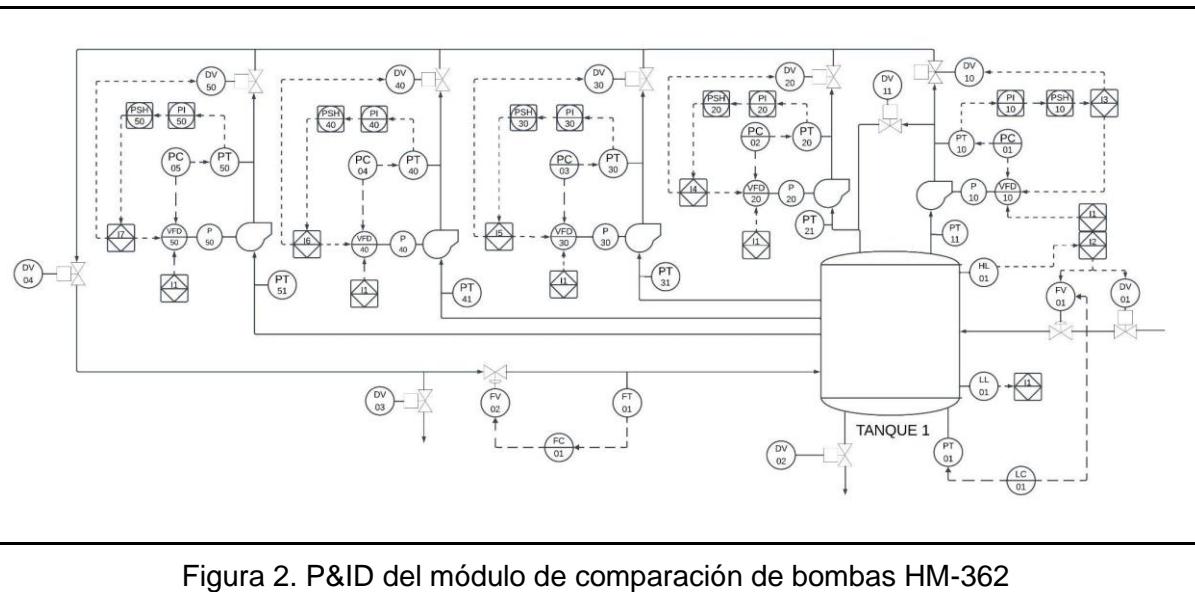
Valle, Anthony

Villavicencio, Isaac

Lima - Perú

2024 - 2

- 1. Piping & instrumentation diagram (P&ID).**



2. Memoria descriptiva

2.1. Generalidades.

La presente memoria descriptiva corresponde al desarrollo de las Instalaciones de Control y Automatización del módulo HM-362 Comparación de Bombas que será instalado en la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) la cual se encuentra ubicada en el distrito de Barranco, Provincia de Lima, región Lima. Este proyecto contribuye al desarrollo de habilidades prácticas en control y automatización, cruciales para los estudiantes de ingeniería en formación.

En este documento se muestran los elementos necesarios a fin de implementar el sistema de Control y Automatización destinado a monitorear, supervisar y controlar el llenado de un tanque depósito a través del control de Bombas Hidráulicas en serie y en paralelo ubicadas en el módulo.

2.2. Propiedades y objetivos.

2.2.1. Objetivos.

Automatizar el proceso de comparación de bombas de diversos tipos para el llenado de un tanque principal.

2.2.2. Alcance.

- Ingeniería de detalle para el dimensionamiento, conexionado, configuración y puesta en marcha de la instrumentación que compondrá el sistema. También incluye los sistemas de comunicación (PLC, SCADA, Buses de campo, sensores, actuadores, etc). Para este propósito contamos con data del proceso.
- Entrega final del P&ID completo del proceso.
- Entrega final del LAS (Listado de Actuadores y Sensores).

2.3. Lineamientos generales.

2.3.1. Lazos de control.

Los lazos de Control del proceso pueden ser observados de forma esquemática en el P&ID presentado. Además, se presenta su descripción en la sección correspondiente a los lazos de control de este documento.

2.3.2. Diseño eléctrico.

2.3.2.1. Potencia.

Para este proyecto utilizaremos dos niveles de tensión de fuerza. La primera de ~ 400 V – 60 Hz y la segunda de ~ 230 V – 60 Hz.

Estas líneas de tensión son cruciales para la alimentación de las bombas, que componen el core principal de este sistema. Se emplearán interruptores de protección para cada bomba para evitar sobrecargas y proteger el sistema en caso de cortocircuitos.

2.3.2.2. Automatización y control.

- La tensión de alimentación de los sistemas de automatización y control es de 24 VDC. Estos serán proporcionados por una fuente de poder que se conecta a la toma de 220 V.
- PLC S7-1500 con módulos de entradas y salidas digitales y analógicas.

2.3.3. Descripción detallada del proceso.

Este módulo permite el estudio del comportamiento en funcionamiento de bombas centrífugas, bombas de émbolo y bombas de canal lateral. Todas las bombas son impulsadas por separado por motores de corriente trifásica. Los ensayos realizados en este módulo sirven para conocer los diversos tipos de bombas, sus características, curva característica entre otros. El éxito en los ensayos será evaluado midiendo la eficiencia de las bombas en distintas configuraciones.

2.3.3.1. Llenado del tanque de alimentación.

El proceso inicia por el llenado del tanque de alimentación principal el cual ocurre con la apertura de la válvula digital DV01 y con el establecimiento de la apertura de la válvula analógica FV01 en 100%.

2.3.3.2. Comparación de bombas.

Una vez llenado el tanque de almacenamiento hasta el nivel requerido se procede con el proceso de comparación de bombas. Esto implica el encendido de las bombas y su posterior conexión en serie o paralelo (Bombas 1 Y 2). Además, es necesario establecer la válvula digital DV11 como cerrada totalmente para evitar sobrepresión en la bomba P20.

2.4. Dimensiones y rango de operación de las variables físicas.

2.4.1. Dimensiones y volumen del tanque principal.

Tanque	Volumen	Dimensiones
--------	---------	-------------

01	192 L	80 x 60 x 40 cm
----	-------	-----------------

2.4.2. Rango de operación de las variables físicas.

Variable física	Rango de operación
Caudal en la línea principal	0 - 700 l/min
Presión entrada bombas	1 - 1.5 bar
Presión salida bombas	0 - 10 bar
Par de las bombas	0 - 15 N . m
Revoluciones de las bombas	0 - 3000 rpm
Potencia eléctrica de las bombas	0 - 3 kW

2.5. Memoria descriptiva para automatización.

2.5.1. Secuencia de puesta en marcha e inicio.

2.5.1.1. Llenado del tanque.

El inicio del proceso lo realiza el operador desde la pantalla del HMI, usando el comando “INICIO”. Con una confirmación adicional empezará el encendido de los sensores y actuadores instalados.

Adicionalmente mediante otro comando, el operador iniciará el proceso de llenado del tanque hasta el nivel que el proceso lo requiera.

2.5.1.2. Arranque de las bombas.

Con la confirmación inicial del paso anterior se encienden las bombas de acuerdo a la configuración de estas (paralelo-serie).

2.5.1.3. Alimentación y control de las bombas.

Para el control de las bombas también es necesario el arranque de los variadores de frecuencia respectivos.

2.5.2. Parada del proceso.

La parada total del proceso se puede realizar desde el HMI a través de un botón en la pantalla táctil.

2.5.2.1. Bombas.

Se detienen todas las bombas y se establecen todos los variadores de frecuencia en 0.

- Apagar variadores de frecuencia VFD10, VFD20, VFD30, VFD40, VFD50.

2.5.2.2. Vaciado de tanque.

Con el fin de asegurar que no existan derrames o fugas de agua se vacía el tanque por completo.

- Abrir válvula DV02. Luego de 30 segundos se cierra la válvula DV02
- Abrir válvula DV03 para expulsar el agua residual de la tubería principal. Luego de 20 segundos se cierra la válvula.
- Cerrar válvulas DV11, DV01 y establecer apertura de válvula analógica FV01 en 0%.

2.5.3. Lazos de control.

Estos lazos de control deben estar programados en el Scada con los parámetros de los controladores PID, opciones adicionales, etc.

Lazo de control	Variable controlada	Rango del sensor asociado	Set point del lazo	Acción del lazo	Elemento de control final y posición
FC-01	Control de flujo	FT01 0 – 700 l/min	6-8 l/min, ajustable según las condiciones requeridas del proceso	Directo. El controlador PID ajusta el flujo basándose en el caudal medido por el FT01, enviando señales a la válvula analógica para mantener el set point.	Válvula analógica FV02. 0% 0 V 100% 24 V.
LC-01	Control de nivel en el tanque principal.	PT-01.	La lectura del transmisor de presión será convertida	Indirecto. El control PID ajusta el flujo de entrada principal	Válvula analógica FV01. 0% 0 V 100% 24 V.

			para calcular cm de columna de agua. El set point estará en un valor entre 0-35 cm.	para mantener un nivel constante de flujo en el tanque cuando ocurre una perturbación (apertura de la válvula de desagüe)	
PC-01	Control de presión a la salida de la bomba 1.	PT10 Rango entre 100 mbar – 40 bar.	Depende de las necesidades del proceso. Valor entre 0 – 10 bar.	Indirecto. El controlador PID ajusta la velocidad del variador de frecuencia para alcanzar el valor deseado de presión en la tubería a la salida de la bomba.	Variador de frecuencia VFD10. 0% - 0 Hz 100% - 60 Hz.
PC-02	Control de presión a la salida de la bomba 2.	PT20 Rango entre 100 mbar – 40 bar.	Depende de las necesidades del proceso. Valor entre 0 – 10 bar.	Indirecto. El controlador PID ajusta la velocidad del variador de frecuencia para alcanzar el valor deseado de presión en la tubería a la salida de la bomba.	Variador de frecuencia VFD20. 0% - 0 Hz 100% - 60 Hz.
PC-03	Control de presión a la salida de la bomba 3.	Control de presión a la salida de la bomba 3.	Depende de las necesidades del proceso. Valor entre 0 – 10 bar.	Indirecto. El controlador PID ajusta la velocidad del variador de frecuencia para	Variador de frecuencia VFD30. 0% - 0 Hz 100% - 60 Hz.

				alcanzar el valor deseado de presión en la tubería a la salida de la bomba.	
PC-04	Control de presión a la salida de la bomba 4.	PT40 Rango entre 100 mbar – 40 bar.	Depende de las necesidades del proceso. Valor entre 0 – 10 bar.	Indirecto. El controlador PID ajusta la velocidad del variador de frecuencia para alcanzar el valor deseado de presión en la tubería a la salida de la bomba.	Variador de frecuencia VFD40. 0% - 0 Hz 100% - 60 Hz.
PC-05	Control de presión a la salida de la bomba 5.	PT50 Rango entre 100 mbar – 40 bar.	Depende de las necesidades del proceso. Valor entre 0 – 10 bar.	Indirecto. El controlador PID ajusta la velocidad del variador de frecuencia para alcanzar el valor deseado de presión en la tubería a la salida de la bomba.	Variador de frecuencia VFD50. 0% - 0 Hz 100% - 60 Hz.

2.5.4. Interlocks.

Estos interlocks son necesarios para mantener la integridad de los equipos y protección del personal que estará en contacto con el módulo.

Nº	Condición	Disparador	Acción	Sensor asociado	Actuador asociado
1	Tanque vacío	Bajo nivel tanque principal	Parada de todas las bombas y variadores de	Sensor de nivel bajo LL01	

			frecuencia. Se impide el accionamiento de estos hasta que el tanque sobrepase el nivel mínimo requerido.		
2	Tanque totalmente lleno	Tanque principal lleno	Cierre de válvula DV01 y establecer apertura de válvula FV01 en 0%.	Sensor de nivel alto HL01	- Válvula digital DV01 - Válvula analógica FV01
3	Presión excesiva salida bomba 1	Presión alta a la salida de la bomba P10 (mayor a 10 bares)	Abrir válvula DV10. Apagar el variador de frecuencia VFD10.	Transmisor de presión PT10	- Válvula digital DV10 - Variador de frecuencia VFD10
4	Presión excesiva salida bomba 2	Presión alta a la salida de la bomba P20 (mayor a 10 bares)	Abrir válvula DV20. Apagar el variador de frecuencia VFD20.	Transmisor de presión PT20	- Válvula digital DV20 - Variador de frecuencia VFD20
5	Presión excesiva salida bomba 3	Presión alta a la salida de la bomba P40 (mayor a 10 bares)	Abrir válvula DV40. Apagar el variador de frecuencia VFD40.	Transmisor de presión PT30	- Válvula digital DV30 - Variador de frecuencia VFD30
6	Presión excesiva salida bomba 4	Presión alta a la salida de la bomba P40 (mayor a 10 bares)	Abrir válvula DV40. Apagar el variador de frecuencia VFD40.	Transmisor de presión PT40	- Válvula digital DV40 - Variador de frecuencia VFD40
7	Presión excesiva salida bomba 5	Presión alta a la salida de la bomba P50 (mayor a 10 bares)	Abrir válvula DV50. Apagar el variador de frecuencia	Transmisor de presión PT50	- Válvula digital DV50 - Variador de

			VFD50.		frecuencia VFD50
--	--	--	--------	--	------------------

2.5.5. Alarmas.

TAG	Condición	Mensaje	Acción recomendada a seguir por el operario
LL01	Nivel bajo	Bajo nivel de agua. Se recomienda añadir agua al tanque principal.	Si el nivel de agua es bajo, el operador debe verificar el sistema de alimentación para asegurar el correcto llenado del tanque.
FT01	Caudal mayor a 700 l/min en línea principal	El caudal en la línea principal es mayor a 700 l/min. Se recomienda reducir la velocidad de los variadores de frecuencia.	El operario debe verificar que todos los variadores de frecuencia no estén funcionando a máxima capacidad.

3. Dimensionamiento PLC.

3.1. Listado de sensores y actuadores.

INSTRUMENTO/EQUIPO ELÉCTRICO	Tipo de Equipo Electrónico	TAG P&ID	PROPIEDAD FÍSICA	RANGO INSTRUMENTO	PLC				PROTOCOLO COMUNICACIÓN
					DIGITALES	ANALOGAS	AI	AO	
TANQUE 1									
SENSOR DE NIVEL BAJO	SENSOR	LL-01	NIVEL	BAJO	1				
SENSOR DE NIVEL ALTO	SENSOR	HL-01	NIVEL	ALTO	1				
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT-01	PRESION					1	
VÁLVULA DE FLUJO RETORNO	ACTUADOR	FV02	FLUJO	0-100%			1	1	
VÁLVULA DE FLUJO ENTRADA	ACTUADOR	FV-01	FLUJO	0-100%			1	1	
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF INGRESO	ACTUADOR	DV-01	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF DESAGÜE 1	ACTUADOR	DV-02	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF DESAGÜE 2	ACTUADOR	DV-03	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF	ACTUADOR	DV-04	FLUJO	ON-OFF	2	1			

RECIRCULACION									
FLUJOMETRO	SENSOR	FT-01	FLUJO	0-700 L/min	1		1		
BOMBA CON VARIADOR-CENTRÍFUGA	ACTUADOR	P10	FLUJO	0- 330 L/min	3	4	2	1	
BOMBA CON VARIADOR-CENTRÍFUGA	ACTUADOR	P20	FLUJO	0- 330 L/min	3	4	2	1	
BOMBA CON VARIADOR-CARA LATERAL	ACTUADOR	P30	FLUJO	0-83 L/min	3	4	2	1	
BOMBA CON VARIADOR - ÉMBOLO	ACTUADOR	P40	FLUJO	0-17 L/min	3	4	2	1	
BOMBA CON VARIADOR-DISPONIBLE	ACTUADOR	P50	FLUJO	-----	3	4	2	1	
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF SALIDA BOMBA	ACTUADOR	DV10	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF SALIDA BOMBA	ACTUADOR	DV20	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF SALIDA BOMBA	ACTUADOR	DV30	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF SALIDA BOMBA	ACTUADOR	DV40	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF SALIDA BOMBA	ACTUADOR	DV50	FLUJO	ON-OFF	2	1			
VÁLVULA DE CONTROL ON-OFF PARALELO	ACTUADOR	DV11	FLUJO	ON-OFF	2	1			
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT10	PRESIÓN	0-10 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT11	PRESIÓN	0-1,5 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT20	PRESIÓN	0-10 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT21	PRESIÓN	0-1,5 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT30	PRESIÓN	0-10 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT31	PRESIÓN	0-1,5 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT40	PRESIÓN	0-10 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT41	PRESIÓN	0-1,5 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT50	PRESIÓN	0-10 BAR			1		
SENSOR DE PRESIÓN	SENSOR	PT51	PRESIÓN	0-1,5 BAR			1		
				TOTAL	38	30	24	7	

3.2. Módulos de PLC seleccionados.

Referencia	Nombre	Número	Unidades individuales
6ES7590-1AC40-0AA0	S7-1500, perfil 245 mm (9,6")	1 Unidad	1
6ES7505-0KA00-0AB0	S7-1500, PS 25W 24V DC	1 Unidad	1

6ES7511-1AL03-0AB0	CPU 1511-1PN, 300KB Prog., 1,5MB Data	1 Unidad	1
6ES7954-8LE04-0AA0	SIMATIC S7 Memory Card, 12 MB	1 Unidad	1
6ES7521-1BL10-0AA0	S7-1500, DI 32x24VDC BA	1 Unidad	1
6ES7521-1BH10-0AA0	S7-1500, DI 16x24VDC BA	1 Unidad	1
6ES7522-1BL10-0AA0	S7-1500, DQ 32x24VDC/0.5A BA	1 Unidad	1
6ES7531-7LK00-0AB0	S7-1500, AI 24xCVM HF	1 Unidad	1
6ES7921-5AK20-0AA0	Mod_Conex_Front (Analog 4X8E/A) S7-1500	2 Unidad	2
6ES7924-0CC20-0AA0	BL.BORNES TORNILLO TPAI S. LED S7-1500	8 Unidad	8
6ES7923-0BB00-0DB0	CABLE DE CONEXION S7 APANT. 1,0M	8 Unidad	8
6ES7532-8TF00-0AB0	S7-1500, AQ 8xHART HF	1 Unidad	1

4. Dimensionamiento de instrumentos.

4.1. Transmisor de flujo.

4.1.1. FT01.

El sensor transmisor de flujo FT01 se encuentra a la salida de las bombas con las que cuenta el módulo HM-362, y a la entrada del tanque de agua para su retroalimentación a través de las bombas de agua. Primero, se considera un flujo entre 0 a 700 l/min de agua, un rango de 0 a 10 bar para la presión y 0 a 40 °C en el caso de la temperatura. Además, el sensor debe de contar con una comunicación de 4-20 mA HART de acuerdo al PLC seleccionado anteriormente.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, y que el líquido con el que se trabaja es agua potable, se escoge un sensor electromagnético por su bajo costo y su uso a dar. De esta manera, el ideal es el Promag P 300 con tamaño de 1 ½".

Hoja de dimensionado				
Parámetros generales				
Fluido	Agua, potable			
Estado	Líquido			
Carácter	Limpiar			
Abrasión	No abrasivo			
Grupo de fluido (PED)	No considerado para PED			
Tipo de fluido	Newtoniano			
Condiciones de funcionamiento				
	mínimo	nominal	máximo	
Flujo solicitado	10 599.82	700 41 690	700 41 690	l/min kg/h
Presión	1	10	10	bar_a
Temperatura	10	40	40	°C
Densidad	999.7	992.62	992.62	kg/m3
Viscosidad	1.30588	0.65305	0.65305	cP
Presión de vapor	0.0123	0.0738	0.0738	bar_a
Presión de diseño (mín./máx.)	1		10	bar_a
Temp. de diseño (mín./máx.)	10		40	°C
Flujómetro : Promag P 300				
Principio de flujo	Electromagnético			
Tamaño del medidor	1 1/2"			
Rango de operación mín.	3 l/min	3 l/min	3 l/min	
Rango de funcionamiento máx.	700 l/min	700 l/min	700 l/min	
Material (sensor) *	Revestimiento de PFA (-20...+150 °C)			
Conexión a proceso*	CI 150 ASME, 316L/1.4404 Brida			
ASME B16.5				
Categoría PED ** :	La aplicación está excluida de PED			
Código de pedido ampliado				
Cant	Elemento	Descripción	Código de pedido ampliado	
1	Flujómetro	Promag P 300	5P3B40-*****AA1S'A	

*El usuario es responsable por la selección de los materiales de contacto en función de la resistencia a la corrosión. Endress+Hauser no garantiza ni asume responsabilidad alguna sobre la resistencia de materiales a la corrosión seleccionados aquí por la aplicación descrita.
** La categoría PED es una recomendación Endress+Hauser y depende de la categoría del fluido, datos de proceso y de la max. presión permisible del factor de presión seleccionado. Los fluidos de la base de datos de Applicator están clasificados conforme a 67/548/CEE.

Figura 3. Dimensionamiento del flujómetro FT01.



Figura 4. Transmisor de flujo Promag P 300 seleccionado.

4.2. Transmisores de presión.

4.2.1. PT10, PT11, ...PT50 Y PT51

Se analizan las condiciones para los transmisores de presión a la salida y entrada de las bombas, para estos sensores se considera agua potable. Además, los rangos de medición son entre 10 a 40 °C de temperatura, 0 a 10 bar de presión, 0.3 % de error y una comunicación 4-20 mA HART de acuerdo al PLC seleccionado.

El sensor seleccionado es el Cerabar PMC51B, que es un sensor de tipo de presión relativo. También, cumple con todos los parámetros mencionados anteriormente y además cuenta con una membrana de cerámica.

Hoja de dimensionado						
Condiciones de funcionamiento						
Temperatura ambiente	0	Nominal	25	Máximo 50 °C		
Temperatura de proceso	10		40	Unidad °C		
Producto : Cerabar PMC51B						
Tipo de presión	Relativo					
Sensor	400 mbar/40 kPa/6 psi					
Span ajustado	400 mbar					
Rangeabilidad	1					
Precisión	Estándar					
Material de la membrana	Cerámica					
Señal de salida	4...20 mA					
Unidad de calibración	mbar/ bar					
Fecha	16.11.2024					
Código de pedido ampliado						
Cantidad	Item	Descripción	Opciones del código de pedido ampliado			
1	Transmisor	Cerabar	PMC51B-**AA***63FB			
Resultados del cálculo						
Precisión de referencia	0.075 % adj. span					
Rendimiento total	0.756	Nominal	0.075	Máximo 0.756 Unidad % adj. span		
Error total 1 año	0.96		0.28	0.96 % adj. span		
Error total 5 años	1.16		0.48	1.16 % adj. span		
Error total 10 años	1.26		0.58	1.26 % adj. span		
Mantenimiento recomendado	5		> 10	5 years		
Estabilidad a largo plazo	1 año		5 años	10 años Unidad		
	0.2		0.4	0.5 % of URL		

Figura 5. Dimensionamiento de los manómetros.

F L E X



©Endress+Hauser

Figura 6. Transmisor de presión Cerabar PMC51B

4.2.2. PT01

Para el caso del tanque, se dimensionó otro tipo de sensor de presión, para poder calcular su nivel. Se consideró para agua potable, en un rango de 10 a 40 °C con comunicación 4 - 20 mA HART. Finalmente, se seleccionó el manómetro de presión absoluta y relativa Cerabar PMP51.

Hoja de dimensionado				
Condiciones de funcionamiento				
Temperatura ambiente	0	25	50	°C
Temperatura de proceso	10	40	40	°C
Producto : Cerabar M PMP51				
Sensor	1 bar/100 kPa/15 psi relativos			
Span ajustado	10 197 mmH2O@4C			
Rangeabilidad	1			
Precisión	Estándar			
Serial de salida	4...20 mA			
Unidad de calibración	mm/ mH2O			
Fecha	25.11.2024			
Código de pedido ampliado				
Cantidad	Item	Descripción	Opciones del código de pedido ampliado	
1	Transmisor	Cerabar	PMP51-***1***1HGD***A	
Resultados del cálculo				
Precisión de referencia	0.1 % adj. span			
Rendimiento total	0.451	0.1	0.451	% adj. span
Error total 1 año	0.55	0.2	0.55	% adj. span
Error total 5 años	0.65	0.3	0.65	% adj. span
Error total 10 años	0.7	0.35	0.7	% adj. span
Mantenimiento recomendado	< 1	> 10	< 1	years
Estabilidad a largo plazo	1 año	5 años	10 años	Unidad
	0.1	0.2	0.25	% of URL

Figura 7. Dimensionamiento del manómetro PT01.

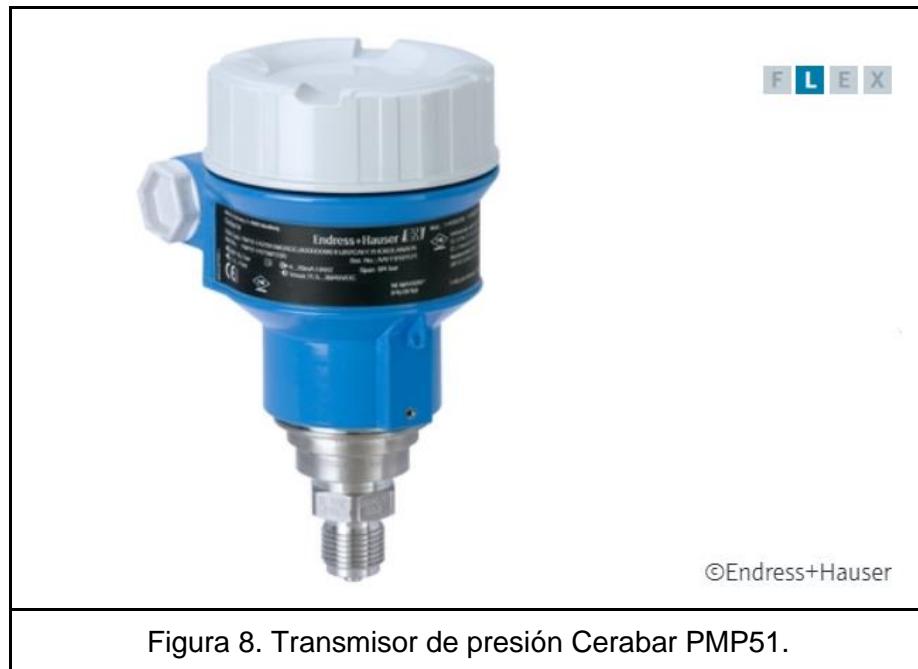


Figura 8. Transmisor de presión Cerabar PMP51.

4.3. Válvula de control.

4.3.1. FV01 y FV02

Luego del dimensionamiento de la válvula, se consideraron dos opciones de válvula. La primera, la válvula de control tipo V Standard, que tiene una medida de 2" con ángulo de 90". Luego, se consideró la válvula de control tipo V Full, que cuenta con una medida de 1 ¼" a un ángulo de 90°. De estas dos, se

consideró la que se acerca más al flujo máximo al 80 % que es la primera mencionada.

DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA (Caracterización del flujo en función del % APERTURA)							
FLUIDO QUE ATRAVEZA LA VÁLVULA DE CONTROL AGUA							
FORMULA A UTILIZAR	$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{S}}$						
Cv	Flow coefficient for valves and fittings.						
P1	Absolute inlet pressure, (PSIA);						
P2	Absolute outlet pressure, (PSIA);						
P	Pressure drop in pounds per square inch(PSI);						
Q	Liquid flow in gallons per minute(GPM);						
S	Specific gravity of flowing liquid relative to water at 60°F;						
CONDICIONES DE LA VÁLVULA	Se asume Entre 5% (Presiones altas 10-12 barg) y 10% (Presiones bajas 2-4 barg)						
FLUJO DE AGUA							
PRESIÓN	1.5 bar						
Caida de presión - DP MAX (bar)	1.5 bar						
Caida de presión - DP MAX [PSI]	21.76 psi						
IDEAL							
Apertura [%]	0%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Cv	39.6						
[W] = Flujo max [gal/min]	0,00						
[W] = Flujo max [L/min]	184,71						
STANDARD							
Apertura [%]	0%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Cv	40,1						
[W] = Flujo max [gal/min]	0,00						
[W] = Flujo max [L/min]	187,04						
FULL							
Apertura [%]	0%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Cv	48,03						
[W] = Flujo max [gal/min]	0,00						
[W] = Flujo max [L/min]	224,03						
	848,03						

Figura 9. Dimensionamiento de las válvulas de control FV01 y FV02

2.48	4.59	8.74	14.55	20.63	30.07	44.25	57.75
1.02	2.03	3.36	4.92	7.2	9.88	13.2	15.8
1.72	3.65	6.00	8.26	12.1	16.6	22.2	29.00
2.64	4.90	9.32	15.5	22.2	32.1	47.2	61.6
3.30	6.13	11.65	19.4	27.5	40.1	59	77
1.50	3	4.80	7.2	10.37	14.42	19.38	23.39
---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 10. Valor de Cv seleccionado de la válvula Standard 2" a 90°

5. Arquitectura de control.

El sistema de automatización diseñado para el módulo de instrumentación industrial utiliza una arquitectura de control centralizada basada en un PLC Siemens S7-1500, que actúa como el controlador principal. Este sistema integra múltiples niveles de comunicación mediante buses de campo, redes industriales y redes administrativas para garantizar un control eficiente y escalable del proceso.

Buses de Campo.

Los buses de campo empleados en esta arquitectura incluyen señales analógicas bajo el estándar 4-20 mA/HART, utilizadas para la conexión con transmisores de presión, temperatura, nivel y caudal. La tecnología HART permite la configuración y el diagnóstico remoto de los dispositivos de campo, optimizando el mantenimiento y reduciendo tiempos de inactividad.

Redes Industriales.

Para la comunicación entre el PLC y el sistema SCADA, se utiliza el protocolo PROFINET PN, una red industrial Ethernet ampliamente utilizada en entornos de automatización industrial. PROFINET PN garantiza altas velocidades de transmisión y baja latencia, lo que es esencial para aplicaciones en tiempo real. Adicionalmente, esta red industrial soporta la integración de otros equipos como módulos de expansión y dispositivos de control, ofreciendo flexibilidad y escalabilidad al sistema.

Descripción General del Sistema.

El diseño incluye un tablero eléctrico donde se concentran las entradas y salidas del PLC, que recopilan señales de los sensores y actuadores del módulo de proceso. La comunicación eficiente entre los componentes del sistema permite el monitoreo y control de las variables del proceso, así como la generación de alarmas y registros históricos desde la interfaz gráfica del sistema SCADA.

Esta arquitectura modular y jerárquica asegura una operación confiable, mejora la seguridad del proceso y permite su futura expansión, adaptándose a las necesidades de automatización del entorno industrial.

