

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
División de Estudios de Posgrado e Investigación



**CONTROL AUTOMÁTICO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL
CUARTO DE BOMBAS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA
MECÁNICA DEL ITCM.**

Opción I
Tesis

Que para obtener el Título de:
Maestro en Ingeniería Mecánica

Presenta
Ing. José Emilio Cisneros Ramírez.
G97070168

Asesor
M.C. Marcela Castillo Juárez

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

Cd. Madero, Tamps; **12 de Octubre de 2017.**

OFICIO No.: U4.062/17
ÁREA: DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

ING. JOSÉ EMILIO CISNEROS RAMÍREZ
NO. DE CONTROL G97070168
PRESENTE

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su examen de grado de Maestría en Ingeniería Mecánica, el cual está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE :	M.C. MARCELA CASTILLO JUÁREZ
SECRETARIO :	M.C. INÉS EDUARDO GALLEGOS SILVA
VOCAL :	M.C. EDUARDO VEGA VÁZQUEZ
SUPLENTE:	M.C. JAVIER RESÉNDIZ HIDALGO
DIRECTOR DE TESIS:	M.C. MARCELA CASTILLO JUÁREZ
CO-DIRECTOR DE TESIS:	M.C. INÉS EDUARDO GALLEGOS SILVA

Se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

"CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DEL ITCM"

Es muy satisfactorio para la División de Estudios de Posgrado e Investigación compartir con Usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

ATENTAMENTE

"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"®



DRA. ADRIANA ISABEL REYES DE LA TORRE
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

c.c.p.- Minuta
Archivo

AIRT 'ICS' m



Ave. 1° de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz Col. Los Mangos, C.P. 89440 Cd. Madero, Tam.
Tel. (833) 357 48 20. e-mail: itcm@itcm.edu.mx
www.itcm.edu.mx



ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1.	Introducción	Pagina	
	1.1	Introducción	1
	1.2	Planteamiento del problema	3
	1.3	Justificación	4
	1.4	Objetivo General	4
	1.5	Hipótesis	5
Capítulo 2.	Marco Teórico		
	2.1	Automatización	6
	2.1.1	Definición de Automatización	6
	2.1.2	Historia de la Automatización	6
	2.1.3	Evolución de la Automatización	7
	2.1.4	Objetivos de la Automatización	8
	2.2	Estado del Arte	9
	2.3	Máquinas de fluidos incomprensibles	14
	2.3.1	Definición de Bomba	14
	2.3.2	Historia	14
	2.3.3	Objetivo de una bomba	14
	2.3.4	Clasificación de las bombas	15
	2.3.5	La bomba centrífuga	16
	2.3.6	Tipos de bombas centrífugas	17
	2.4	Medición de Presión	18
	2.4.1	Concepto y Tipos de Presión	18
	2.4.1.1	Presión Absoluta	18
	2.4.1.2	Presión Atmosférica	19
	2.4.1.3	Presión Manométrica	19
	2.4.1.4	Presión de Vacío	19
	2.4.2	Clasificación de Instrumentos para Medición de Presión.	19
	2.4.2.1	Mecánicos	19
	2.4.2.2	Electromecánicos	19
	2.4.2.3	Neumáticos	20
	2.4.2.4	Electrónicos	20
	2.4.3	Instrumentos de Medición mas empleados	21
	2.4.3.1	Manómetro Tubo Bourdon	21
	2.4.3.2	Tubo Manométrico o Manómetro Tipo U	21
	2.4.3.3	Vacuometro	22
	2.4.3.4	Manómetro Tipo Presión Diferencial	22
	2.4.3.5	Transductores de Presión	23
	2.4.3.6	Transmisor Indicador de Presión	24

2.5	Medición de flujo	26
2.5.1	Conceptos y Tipos de flujo	26
2.5.1.1	Flujo Volumétrico	26
2.5.1.2	Flujo Másico	26
2.5.2	Clasificación de los instrumentos para Medición de Flujo	27
2.5.3	Factores para la correcta selección de un medidor de flujo	29
2.5.4	Instrumentos de medición de flujo mas empleados	29
2.5.4.1	Medidor de Flujo Oscilante	29
2.5.4.2	Medidor de Flujo de Engranés	30
2.5.4.3	Caudalímetro Electromagnético	30
2.5.4.4	Rotámetro	31
2.5.4.5	Caudalímetro Vortex	31
2.5.4.6	Caudalímetro de Turbina	32
2.5.4.7	Transmisor Indicador de Flujo por Presión Diferencial.	33
2.5.4.8	Transmisor de Caudal Ultrasónico	33
2.4.5.9	Transmisor de Caudal Másico	34
2.6	Transmisores	35
2.6.1	Definición de Transmisor	35
2.6.2	Tipos de Transmisores	35
2.6.2.1	Transmisores Neumáticos	35
2.6.2.2	Transmisores Electrónicos	36
2.6.2.3	Transmisores Digitales	36
2.6.2.4	Transmisores Hidráulicos	37
2.6.2.5	Transmisores Telemétricos	37
2.6.3	Características de los Transmisores	38
2.7	Elemento Final de Control	40
2.7.1	Válvula de Control	40
2.7.2	Válvula de Control con Actuador Neumático	40
2.7.3	Válvula de Control con Actuador Eléctrico	42
2.7.4	Criterio para Selección de Válvula de Control	44
2.7.5	Tipos de Válvulas de Control	44
2.8	Controlador Lógico Programable (PLC)	46
2.8.1	Historia del PLC	46
2.8.2	Componentes de un PLC	47
2.8.3	Ventajas y Desventajas del PLC	48
2.8.4	Aplicaciones del PLC	48
2.9	Interfaz Hombre Maquina (HMI)	51
2.9.1	Funciones de HMI	51
2.9.2	Tareas de Supervisión y Control de un HMI	52
2.9.3	Tipos de Software para un HMI	53
2.10	Matriz de Funcionalidad	54
2.10.1	Medición de Presión	54
2.10.2	Medición de Flujo	55
2.10.3	Control de Flujo	56

	2.10.4	Control Programable	58
	2.10.5	Interfaz Hombre Maquina	61
	2.10.6	Tabla Matriz de Funcionalidad	62
Capítulo 3.	Metodología		
	3.1	Identificación del Problema o Área de Mejora	64
	3.2	Identificación y Reconocimiento del Sitio	64
	3.3	Desarrollo del diseño e Ingeniería	65
	3.4	Selección de Equipos, Instrumentos, Accesorios y Materiales	66
	3.5	Normativa y Códigos Aplicables.	67
	3.6	Programación	67
	3.7	Simulación	68
Capítulo 4.	Modelo Analítico, Diseño y Simulación.		
	4.1	Selección de Equipos e Instrumentos de Medición	69
	4.1.1	Hoja de Datos del Transmisor Indicador de Presión	70
	4.1.2	Hoja de Datos del Transmisor Indicador de Flujo	75
	4.1.3	Hoja de Datos de Válvula de Control Proporcional	82
	4.1.4	Hoja de Datos del Controlador Lógico Programable (PLC)	91
	4.1.5	Hoja de Datos de la Interface Hombre Maquina (HMI)	95
	4.1.6	Selección de Tableros, Equipo Eléctrico y Botoneras	98
	4.2	Operaciones y Acciones de Control Ejecutables en el Programa	101
	4.3	Software de Programación	102
	4.3.1	Descripción del Software para Programación del PLC	102
	4.3.2	Protocolo de Comunicación	102
	4.3.3	Desarrollo del Programa y Simulación de Acciones de Control	103
	4.4	Diagramas, Esquemas y Detalles de la Ingeniería de Diseño	104
	4.5	Análisis Efecto-Falla	105
Capítulo 5.	Resultados y Análisis		
	5.1	Resultados y Análisis	108
Capítulo 6.	Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos a Futuro.		
	6.1	Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos a Futuro	109
I.	Anexos.		A-1
II.	Referencia bibliográfica.		A-14

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1.	Introducción	Página
	1.1	Equipos correspondientes al cuarto de bombas del laboratorio de Ingeniería Mecánica. 1
	1.2	Condición actual de la instalación de la bomba centrífuga del laboratorio de Ingeniería Mecánica. 3
Capítulo 2.	Marco Teórico	
	2.1	Etapas de la Automatización. 7
	2.2	Prototipo didáctico para control automático de nivel y caudal. 10
	2.3	Banco didáctico de control de proceso. 11
	2.4	Condiciones del sistema de bombeo antes del rediseño y automatización. 12
	2.5	Condiciones del sistema de bombeo después del rediseño y automatización. 13
	2.6	Clases y tipos de bombas empleadas en la industria. 16
	2.7	Motor y bomba centrífuga para procesos industriales. 17
	2.8	Presión ejercida por un fluido en diferentes recipientes. 18
	2.9	Manómetro tipo tubo de bourdon para aplicaciones industriales. 21
	2.10	Manómetro Tipo "U" o Tubo Manométrico. 22
	2.11	Vacuometro (Medición de Vacío). 22
	2.12	Manómetro de presión diferencial. 23
	2.13	Diferentes clases y tipos de transductores de presión. 23
	2.14	Transmisor indicador de presión y transmisor de presión diferencial. 25
	2.15	Medidor de flujo de disco oscilante análogo y digital. 29
	2.16	Medidor de flujo de engranes. 30
	2.17	Caudalímetro electromagnético. 30
	2.18	Rotámetro indicador de flujo. 31
	2.19	Caudalímetro Vortex. 32
	2.20	Medidor de flujo tipo turbina. 32
	2.21	Transmisor de flujo mediante presión diferencial. 33
	2.22	Transmisor de flujo ultrasónico. 34
	2.23	Transmisor de flujo másico tipo Coriolis. 34
	2.24	Transmisor neumático. 35
	2.25	Transmisor electrónico – digital. 37
	2.26	Transmisor Hidráulico. 37
	2.27	Transmisor telemétrico y transmisor telemétrico con indicador local. 38
	2.28	Desplegado en HMI para monitoreo y control de un sistema de producción. 39

	2.29	Diagrama de bloques de la acción de control de una válvula con actuador neumático.	41
	2.30	Corte esquemático de una válvula de control con actuador neumático.	41
	2.31	Corte esquemático de una válvula de control con actuador eléctrico.	43
	2.32	El controlador lógico programable (PLC)	46
	2.33	Automatización de procesos a través del controlador lógico programable.	50
	2.34	Diagrama de bloques para supervisión y control de un HMI	51
	2.35	PC y Panel View como un HMI.	52
	2.36	HMI para supervisión y control de procesos de producción.	52
	2.37	Instrumentos para medición de presión en la industria.	54
	2.38	Instrumentos para medición de flujo en la industria.	56
	2.39	Válvula de control con actuador neumático y actuador eléctrico.	57
	2.40	Autómatas programables (controlador lógico programable y relevador lógico programable).	60
	2.41	HMI (Computadora personal y Panel View).	61
Capítulo 3.	Metodología		
	3.1	Fotografías actuales de la instalación de la bomba centrífuga.	64
	3.2	Elementos propuestos para conformar la automatización de la bomba centrífuga.	66
Capítulo 4.	Modelo Analítico, Diseño y Simulación		
	4.1	Transmisor de Presión Rosemount mod. 3051t In-Line.	70
	4.2	Dimensiones del Transmisor Rosemount Modelo 3051T.	73
	4.3	Cableado de conexiones del Transmisor Rosemount Modelo 3051T.	74
	4.4	Caudalímetro Rosemount mod. 3051CFC Compact.	75
	4.5	Dimensiones del Caudalímetro Rosemount 3051 CFC.	79
	4.6	Partes del Caudalímetro Rosemount 3051 CFC.	80
	4.7	Válvula de bola de regulación modulante con actuador eléctrico.	83
	4.8	Dimensiones de la válvula de control VL-2R-HP-CMAP.	85
	4.9	Dimensiones del actuador de la válvula de control.	86
	4.10	Partes y accesorios de la válvula de regulación de flujo.	87
	4.11	Conexiones eléctricas para el actuador de la válvula de regulación de flujo.	88
	4.12	Elementos de la tarjeta electrónica para control del actuador.	89
	4.13	Grafica gasto vs porcentaje de apertura de la válvula.	90

	4.14	Identificación de partes del PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.	92
	4.15	PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.	94
	4.16	Componentes de un Panel View C1000 Allen Bradley.	95
	4.17	Terminales Panel View Allen Bradley component modelo C1000.	97
	4.18	Esquema de comunicación entre los elementos incluidos en el control automático de la bomba centrífuga.	102
	4.19	Diagrama de bloques de función representado los elementos en el programa Zelio Soft.	103
	4.20	Simulación de las acciones de control ejecutables mediante el programa.	104
Capítulo 6.	Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos a Futuro.		
	6.1	Instrumentos para futura instalación en el sistema de bomba centrífuga posterior al proyecto.	109
Anexos	Diagramas, Planos y Detalles		
	A-1	DTI actual del cuarto de bombas del laboratorio Ing. Mecánica.	
	A-2	DTI del proyecto automatización de la bomba centrífuga del cuarto de bombas del laboratorio Ing. Mecánica.	
	A-3	Diagrama Arquitectura del proyecto.	
	A-4	Detalle de instalación de válvula e instrumentos montados en tubería.	
	A-5	Isométrico para fabricación y lista de materiales.	
	A-6	Esquema del tablero de fuerza.	
	A-7	Esquema del tablero de control.	
	A-8	Diagrama Eléctrico.	
	A-9	Diagrama de lazo para instrumentos.	
	A-10	Detalle de instalación del transmisor indicador de presión.	
	A-11	Detalle de instalación del transmisor indicador de flujo.	
	A-12	Detalle del soporte dual para instrumentos.	
	A-13	Practica de simulación.	

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1	Introducción	Página
	1.1	Datos de operación de la bomba centrífuga horizontal del cuarto de bombas.
		3
Capítulo 2	Marco Teórico	
	2.1	Clasificación y características de los transmisores.
		38
	2.2	Clasificación y tipos de actuadores de válvulas de control.
		44
	2.3	Matriz de funcionalidad.
		62
Capítulo 4	Modelo Analítico, Diseño y Simulación.	
	4.1	Datos técnicos del transmisor de presión Rosemount modelo 3051T.
		70
	4.2	Datos técnicos del transmisor de flujo Rosemount modelo 3051CFC.
		75
	4.3	Datos técnicos de la válvula de control ESA Pyronics modelo VL-2R-HP.
		84
	4.4	Identificación de partes del PLC Allen Bradley Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.
		92
	4.5	Datos técnicos de PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.
		93
	4.6	Identificación de partes del Panel View Allen Bradley modelo C1000.
		95
	4.7	Datos técnicos del Panel View Allen Bradley modelo component C1000.
		96
	4.8	Equipos y accesorios eléctricos seleccionados para el tablero de alimentación de fuerza y el tablero de control.
		98
	4.9	Análisis efecto-falla, para dar solución a desviaciones en la operación del proyecto de la bomba centrífuga.
		105

RESUMEN.

La siguiente tesis proporciona un trabajo de investigación con la finalidad de aprovechar una de las áreas del laboratorio de Ingeniería Mecánica de mayor recurrencia para la realización de prácticas, como lo es la bomba centrífuga del cuarto de bombas.

La bomba centrífuga fue instalada en el laboratorio alrededor de 30 años atrás, por lo que se propone realizar una actualización, con elementos de última generación, como instrumentos de medición, equipo eléctrico, equipo para monitoreo y control. Otro de los objetivos es asemejarlo a la industria actual, para que el alumno tenga una visión de lo que encontrara al pasar a su etapa como ingeniero en la industria.

Con la actualización del sistema de la bomba centrífuga del laboratorio, se incluirán un número mayor de actividades para las prácticas de las materias como automatización, instrumentación, historia de la ingeniería y algunas adicionales para el área de electricidad y electrónica.

El desarrollo de esta tesis consta fundamentalmente en los siguientes pasos:

Identificar el problema. Aquí se define bien el propósito de lo que queremos realizar y tener claros los resultados que queremos obtener.

Marco teórico y Metodología. Se definen conceptos, teoría y tipos de los elementos involucrados en la automatización de la bomba centrífuga, así como establecer una estructura de cómo realizarlo.

Ingeniería de Diseño. Selección de equipos e instrumentos, se incorporan datos técnicos de los equipos seleccionados, diagramas, esquemas, planos de detalle e isométricos, para establecer como quedara construido el proyecto.

Programación y Simulación. Selección de software y configurar un programa para establecer la secuencia de operaciones la cual realizara el control automático de la bomba mediante el PLC-HMI.

Resultados, conclusiones y trabajos a futuro. Se describen los resultados obtenidos del proyecto, las ventajas, aportación al instituto y modificaciones a futuro.

Este desarrollo del proyecto será mostrado explicita y detalladamente en 6 capítulos dentro del contenido de la tesis que a continuación se presenta.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

El laboratorio de Ingeniería Mecánica del ITCM es un centro de estudios el cual busca la formación para los alumnos de las diferentes carreras del Instituto, busca darles una perspectiva mediante la enseñanza teórico-práctica de lo que podrán encontrar en la Industria, a la cual los alumnos partirán en un tiempo no muy lejano y pondrán en práctica los conocimientos adquiridos.

De tal manera, es conveniente contar en el laboratorio, con los equipos, elementos e instrumentos actualizados de última generación para dar una mejor visión al alumno de lo que está sucediendo en el medio en cual se desenvolverá.

Dentro de laboratorio existe un cuarto de bombas didáctico para realizar las diferentes prácticas de las materias de ingeniería correspondientes. Se cuenta con diferentes tipos de equipos de bombeo (fig. 1.1) algunos de estos equipos son de por lo menos 3 décadas atrás, los cuales aún operan correctamente, pero su encendido-apagado es de modo manual y el monitoreo de sus variable es de modo análogo y local.



Fig. 1.1. Equipos que conforman el cuarto de bombas del laboratorio de Ingeniería Mecánica del laboratorio del ITCM. (a) Bomba centrífuga horizontal. (b) Bomba de pistón, bomba de engranes y bomba de membrana (c) Bomba vertical de pozo profundo (d) Tanque hidroneumático (e) Tablero de control de bombas.

Lo que se busca implementar con este proyecto, es aprovechar esta área didáctica del laboratorio, actualizando el sistema de control, monitoreo y encendido-apagado.

En primer plano tenemos y la cual es la finalidad de esta investigación, la bomba centrífuga, siendo la más empleada para la realización de prácticas dentro del laboratorio, y la cual marcará la pauta para posteriormente llevarlo a cabo en los demás equipos de bombeo didáctico que se encuentran dentro del laboratorio. Este equipo de bombeo, el cual además de estar actualizado servirá para prácticas de materias relacionadas con automatización, instrumentación y control. Llevándonos a una simulación más apegada de lo que sucede hoy en día en industrias actualizadas de nuestro medio.

La investigación inicia con el capítulo 1, el cual comprende la introducción, el planteamiento del problema, la justificación del porque realizar este proyecto, el objetivo general y la hipótesis principal a resolver.

El capítulo 2 representa el marco teórico que comprende la descripción, clasificación, tipos, propiedades, ventajas y desventajas de los elementos y especialidades que comprenden el proyecto.

En el capítulo 3 se abordará la metodología implementada, como lo son, los pasos a seguir, estructura, lineamientos que nos llevan a la realización del diseño de ingeniería y automatización del sistema.

El capítulo 4 comprende el modelo analítico, diseño y simulación, aquí se representa la ingeniería de diseño de las diferentes especialidades involucradas, eléctrica, mecánica, instrumentos y programación. La ingeniería de diseño constará de la selección de equipos e instrumentos, hojas técnicas, diagramas de tubería e instrumentación, planos y típicos de instalación, diagramas eléctricos, software, programación y simulación del control automático del sistema.

En el capítulo 5 se dan a conocer los resultados y análisis obtenidos con la implementación del proyecto, cuál fue su repercusión y los logros obtenidos para la comunidad estudiantil.

Por último en el capítulo 6 se habla de conclusiones, recomendaciones y trabajos que se pueden realizar a futuro tomando como base este proyecto.

1.2 Planteamiento del problema.

En el cuarto de bombas del laboratorio de Ingeniería Mecánica se cuenta con 5 equipos bombeo, de los cuales sobresale la bomba centrífuga horizontal como la más utilizada para realización de prácticas de ingeniería.

Con este equipo se realizan prácticas para determinadas materias de ingeniería, estas prácticas involucran características de estudios, como son eficiencia de una bomba, medición de flujo y presión, medición de corriente, medición de voltaje, descripción de equipos, sus partes, y características.

Al ser un equipo con casi ya 30 años de vida útil, se busca un rediseño y automatización de la misma, para su actualización acorde a lo que encontramos hoy en día en la industria.

Lo que se busca con este proyecto es actualizar de este equipo, la instalación eléctrica, tablero de mando, los instrumentos de medición, monitoreo y control. Al implementar este proyecto daría paso a la impartición de un número mayor de prácticas, y orientarlas a otras materias, donde se involucre la automatización, la instrumentación y el control.

A continuación se describirán características y datos básicos del equipo en el cual se basará nuestro estudio y se muestran fotografías recientes de las instalaciones.

Tabla 1.1. Datos de operación de la bomba centrífuga horizontal del cuarto de bombas.

<u>Motor Eléctrico</u>	<u>Bomba.</u>
Voltaje: 220 / 440 vca	Tipo: SB 82
Amperaje: 27.6 / 13.6	Capacidad: 1070/1500 lts. / min.
RPM: 3500	RPM: 3500
CV: 11 (10.8 HP)	Presión: 3 kg/cm2
Fases: 3	
Hz: 60	
Servicio: Continuo	

Fuente: Datos tomados de placas de datos de equipos.



Fig. 1.2 Condición actual de la instalación de la bomba centrífuga del laboratorio.

1.3 Justificación.

Hoy en día las empresas del sector industrial cuentan con la mayor tecnología para llevar a cabo sus procesos de producción, mantenerse competitivos en el mercado, buscan que sus procesos sean automatizados y eficientes, para ello echan mano de los equipos más sofisticados y recientes en todas sus áreas. En el laboratorio de Ingeniería Mecánica se cuenta con equipos de bombeo, el cual simula una parte real con la que toda empresa del sector industrial cuenta para sus procesos de producción, es por ello que se busca actualizar este equipo en la parte de control, lo más cercano, a lo que los alumnos y practicantes encontraran en el medio productivo.

La justificación primordial es que mediante la actualización de las instalaciones de la bomba centrífuga, se añaden prácticas de automatización y control al laboratorio, las cuales traerán beneficios para la capacitación y actualización de los conocimientos del alumnado este instituto.

1.4 Objetivo General.

El objetivo es contar con un área de cuarto de bombas automatizada, la cual servirá de soporte para clases y prácticas involucradas con instrumentación, automatización y control.

Lograra beneficios para los alumnos de ingeniería del instituto, se modernizara el área y dará una perspectiva real a la industria.

Al término de la investigación del proyecto, y plasmar la obra físicamente en el cuarto de bombas del laboratorio, estas son los principales alcances que obtendremos como resultado de la implementación del proyecto.

Objetivos específicos.

- Actualizar la instalación de la bomba centrífuga.
- Automatización del equipo de bombeo.
- Capacitar al alumnado acorde al medio actual laboral.

1.5 Hipótesis.

La principal hipótesis derivada ante la implementación de este proyecto es:

“La automatización de la bomba centrífuga actualizará el conocimiento teórico - práctico de los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.”

Esto se demostrara con los capítulos contenidos en la publicación de esta investigación.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO.

2.1 Automatización.

2.1.1 Definición de Automatización.

La palabra Automatización viene del griego antiguo auto: guiado por uno mismo, es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

2.1.2 Historia de la Automatización.

Las primeras máquinas simples sustituían una forma de esfuerzo en otra forma que fueran manejadas por el ser humano, tal como levantar un peso pesado con sistema de poleas o con una palanca. Posteriormente las máquinas fueron capaces de sustituir formas naturales de energía renovable, tales como el viento, mareas, o un flujo de agua por energía humana.

Los botes a vela sustituyeron a los botes de remos. Todavía después, algunas formas de automatización fueron controladas por mecanismos de relojería o dispositivos similares utilizando algunas formas de fuentes de poder artificiales -algún resorte, un flujo canalizado de agua o vapor- para producir acciones simples y repetitivas, tal como figuras en movimiento, creación de música, o juegos. Dichos dispositivos caracterizaban a figuras humanas, fueron conocidos como autómatas y datan posiblemente desde 300 a. c.

Para mediados del siglo XX, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo el concepto solamente llegó a ser realmente práctico con la adición y evolución de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cálculo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960.

Antes de ese tiempo, las computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Desde entonces las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos. Como un famoso dicho anónimo dice; "Para muchas y muy cambiantes tareas, es difícil remplazar al ser humano,

quienes son fácilmente vueltos a entrenar dentro de un amplio rango de tareas, más aún, son producidos a bajo costo por personal sin entrenamiento”.

2.1.3 Evolución de la Automatización.

Con el paso de los años la automatización evoluciona constantemente en un mundo globalizado donde se requiere mejores procesos de producción, mayor eficiencia, rapidez, calidad y mejores precios de los productos. La automatización ha venido a revolucionar el sector industrial, el cual necesita de esta, para cumplir los objetivos arriba mencionados. A continuación describimos como se ha presentado generacionalmente la evolución de los procesos de producción.

1745: Máquinas de tejido controladas por tarjetas perforadas.

1817-1870: Máquinas especiales para corte de metal.

1863: Primer piano automático, inventado por M. Fourneaux.

1856-1890: Sir Joseph Whitworth enfatiza la necesidad de piezas intercambiables.

1870: Primer torno automático, inventado por Christopher Spencer.

1940: Surgen los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos para máquinas de corte automáticas.

1945-1948: John Parsons comienza investigación sobre control numérico.

1960-1972: Se desarrollan técnicas de control numérico directo y manufactura computarizada.

1980: Aparece la computadora personal, el procesador y sistemas operativos.

1990: La robótica, el controlador lógico programable y el control de procesos toman posesión del sector industrial como parte indispensable para la producción.



Fig. 2.1. La Automatización vino a revolucionar los procesos de producción en el sector industrial, a partir de los años 90's, generando mayores volúmenes de producción, eficiencia, calidad, competitividad, mejorando los precios y oferta de mercado.

2.1.4 Objetivos de la automatización.

El objetivo principal de la automatización es el de integrar los elementos y aspectos de las operaciones de manufactura para:

- Mejorar la calidad y uniformidad del producto.
- Minimizar el esfuerzo y los tiempos de producción.
- Mejorar la productividad reduciendo los costos de manufactura mediante un mejor control de la producción.
- Mejorar la calidad mediante procesos repetitivos.
- Reducir la intervención humana, el aburrimiento y posibilidad de error humano.
- Reducir el daño en las piezas que resultaría del manejo manual.
- Aumentar la seguridad para el personal.
- Ahorrar área en la planta haciendo más eficiente:
 - El arreglo de las máquinas.
 - El flujo de material.

Generalmente las empresas toman la decisión de dar el paso a la automatización, debido a la necesidad de los siguientes indicadores, que justifican y hacen necesaria la implementación.

- Requerimientos de un aumento en la producción
- Requerimientos de una mejora en la calidad de los productos
- Necesidad de bajar los costos de producción
- Escasez de energía
- Encarecimiento de la materia prima
- Necesidad de protección ambiental
- Necesidad de brindar seguridad al personal
- Desarrollo de nuevas tecnologías

Aunque es evidente que la automatización sustituye a un alto porcentaje de la fuerza laboral no calificada, reduciendo la participación de los salarios en total de costos de producción, las principales razones para automatizar no incluye necesariamente la reducción del costo del trabajo.

2.2 Estado del arte.

Aquí describiremos tres proyectos semejantes a nuestra investigación, desde sus inicios hasta lo más actual, expondremos sus características, similitudes y objetivos.

A) Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos.

El estudio se fundamenta en el análisis de un prototipo autómatas que será implementado en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito, específicamente en el campus Kennedy, en la carrera de Ingeniería Mecánica fue realizado por los alumnos Joshep Vergara, Robinson Molina, Cesar Machado. Se describe un prototipo que fue desarrollado para observar y controlar las variables de nivel y de flujo mediante una interfaz hombre máquina (HMI).

Se compone principalmente de una estructura diseñada para contener los elementos necesarios y del software de visualización y control. El objetivo del proyecto es encontrar lazos de control apropiados para el control efectivo de dos de las variables ampliamente utilizadas en la industria, nivel y flujo, con equipos que fácilmente pueden ser escalados hacia una operación industrial.

El prototipo construido da la facilidad al estudiante de cambiar los valores de las variables de un proceso y obtener diferentes resultados de control con pequeñas variaciones de acuerdo al algoritmo de control cargado al PLC. La meta es conseguir la mayor exactitud posible en el control de nivel, caudal y volumen, sin sacrificar excesivamente la velocidad que debe guardar el proceso.

- CPU Intel Core i3 540 a 3.07 Ghz, 3.17 GB RAM.
- Monitor LG Flatron de 19 pulgadas.
- Variador de frecuencia Sinamics G110 ¾ HP con panel de control BOP.
- PLC Siemens S7200 CPU 224 DC/DC/DC con cable de conexión PPI/USB y módulo analógico Siemens EM 235.
- Panel de luces de 24 V.
- Tanque para ensayo o medición, diámetro interno 161 mm, altura de 1100 mm, capacidad de 20 lts.
- Transmisor de flujo marca Kobold, modelo DRS-0350..K0000. Rango de medición de dos a cuarenta litros por minuto. Rango de salida pulsos NPN de 0-320 Hz.
- Transmisor de presión marca Endress+Hauser; modelo P MC131-A32F1D10. Rango de medición de 0 a 100 mbar. Rango de salida 4-20 mA.
- Bomba centrífuga de 1/2HP THEBE TH16AL trifásica 220 V.
- Tanque reservorio capacidad 50 litros.

Se usa el siguiente software:

- Windows XP Profesional, versión 2002 Service pack 2.
- STEP 7 MicroWin V4.0.5.08.
- S7-200 PC Access 1.0.2.26.
- Kepware Communications Server V5.4.135.0.
- Wonderware Intouch versión 10.0.002
- Microsoft Office Excel 2007SP2.

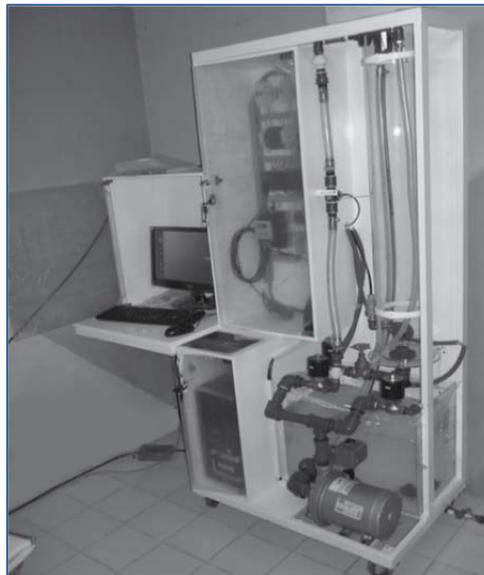


Fig. 2.2 Prototipo didáctico para control automático de nivel y caudal.

B) Banco didáctico de control de proceso.

Este es un banco didáctico de control de procesos que permite realizar experiencias de control de nivel, temperatura, presión y caudal. El proyecto se llevó a cabo en la universidad austral de Chile, dentro de la facultad de ciencias de la ingeniería, para obtener el título de ingeniero mecánico por parte del alumno Jaime Andrés Santamarina Reyes.

Este banco puede determinar la presión en las tuberías, a través de un transmisor de presión el cual le envía la medición al PLC, esta presión es mostrada en la pantalla HMI. El caudal es medido por un medidor de caudal, en el mismo medidor es posible observar el caudal, el cual también está conectado al PLC. La válvula proporcional también está conectada al PLC y esta información es mostrada en la pantalla HMI.

El calefactor que tiene el banco didáctico es controlado por el PLC, este recibe la medición de temperatura del estanque por medio de un sensor de temperatura.

Una de las formas de alterar el caudal en las experiencias es modificando la frecuencia en el variador, esto provoca la variación de giro del motor de la bomba y a su vez una variación en el caudal de la experiencia.

El banco de control permite realizar lazos de control de las diversas variables medidas en la industria, tales como nivel, temperatura, caudal y presión.

Fundamentalmente se basa en la manipulación por parte del alumno de las variables proporcional, integral y derivativa permitiendo la modificación de dichos parámetros y la visualización por medio de dos vías.

Monitoreo HMI: Permite activar señales de control (partida para variador, activación de salidas de relé), manipular y visualizar la modificación de los parámetros PID y como su cambio afecta la variable medida en diversas pantallas asociadas a nivel, temperatura, caudal y presión.

Monitoreo SCADA : Permite manipular y visualizar la modificación de los parámetros PID y como su cambio afecta la variable medida en diversas pantallas asociadas a nivel, temperatura, caudal y presión, esto será realizado vía PC, con la posibilidad adicional de generar un registro que puede ser impreso. El software utilizado es el Scada32.

La visualización e interacción con estos 2 medios (HMI / Scada) entrega al alumno una manera extremadamente útil de aprendizaje en forma amigable del control PID.

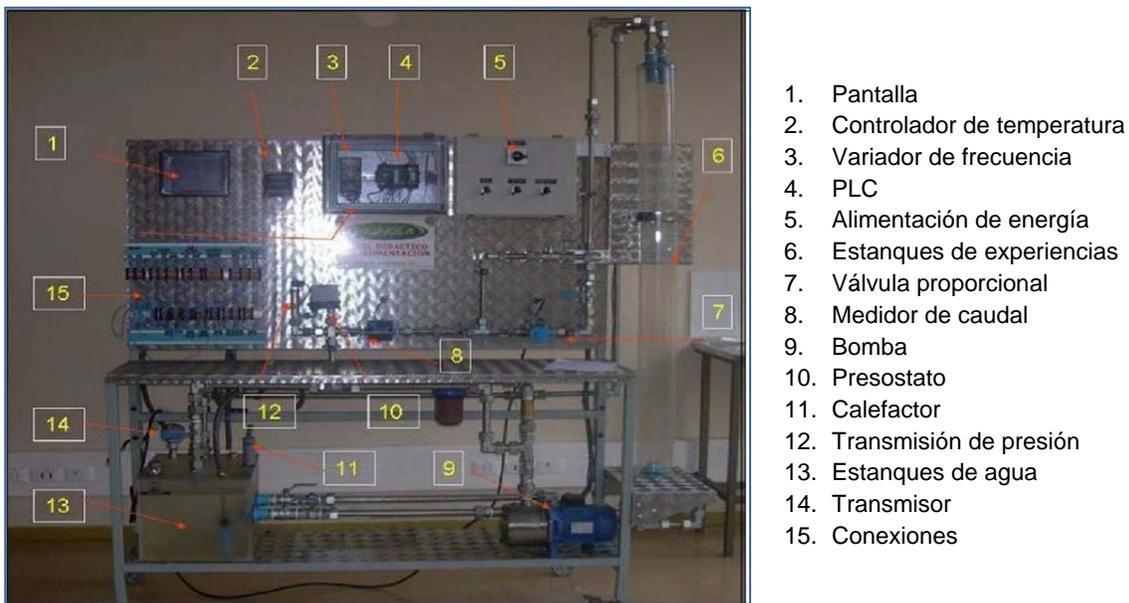


Fig. 2.3 Banco didáctico de control de proceso y elementos que lo componen.

C) Rediseño y automatización de sistema de bombeo.

El proyecto se desarrolló dentro de la Universidad Tecnológica de Querétaro por parte del alumno Daniel Guadalupe de Santiago Gutiérrez de la carrera de ingeniería en mantenimiento industrial, el área de aplicación de este proyecto fue en el sistema de bombeo de agua potable. Para llevar a cabo este proyecto se dividió en tres etapas fundamentales:

1. Rediseño del sistema de bombeo de agua potable.
2. Mantenimiento a los componentes del sistema de bombeo.
3. Automatización del sistema de bombeo.

Una parte importante para realizar este proyecto, fue la adaptación conforme a la normatividad NEMA, ya que esta norma nos explica las reglas para instalaciones eléctricas. Por último, se realizó una serie de comparaciones entre los meses anteriores y posteriores al proyecto.



Fig. 2.4. Condiciones del sistema de bombeo antes del rediseño y automatización.

Los resultados obtenidos posteriores a la implementación del proyecto, fueron los siguientes:

- a. Se cumplió con el mantenimiento mecánico a las bombas recirculadoras.
- b. Se cumplió en un 100% con el rediseño del tablero de control y se instalaron todos los componentes de acuerdo a la norma NEMA.
- c. Se realizó la automatización del sistema de bombeo de agua potable.
- d. La elaboración de este proyecto arrojó experiencia y aprendizaje en cuanto al mantenimiento y automatización de un sistema de bombeo, para el alumnado implicado, también sirvió como apoyo al personal de mantenimiento, y la actualización de un área importante de la institución.



Fig. 2.5. Condiciones del sistema de bombeo después del rediseño y automatización.

Se consultan y se estudian estos tres proyectos con la finalidad de adquirir conocimientos, métodos y experiencias de lo realizado en ellos, para la elaboración del control automático de la bomba centrífuga del cuarto de bombas del laboratorio de Ing. Mecánica, ya que su contenido es en ciertos puntos similar al nuestro.

2.3 Máquinas de fluidos incompresibles (Bombas).

2.3.1 Definición.

Un equipo de bombeo es una maquina hidráulica que actúa como transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, motor de combustión, un compresor, energía neumática (por aire comprimido), transmisión eólica, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de movimiento, presión, posición o de velocidad.

2.3.2. Historia.

Las bombas de agua han existido desde el año 3000 A.C. Las primeras bombas se hicieron con ruedas de agua y rampas y usaban animales para darles la energía necesaria para mover las ruedas. Los mesopotámicos fueron los responsables de crear la primera bomba, alrededor del año 3000 A.C. Usaron una palanca de madera al lado del banco de agua, con un contrapeso en un extremo y un balde en el otro. Cuando la palanca se empujaba hacia abajo, el contrapeso subía el balde y se vaciaba en una batea.

2.3.3 Objetivo de una bomba.

El objetivo de una bomba, básicamente constituye en el bombeo de agua, o de un líquido bombéale, transportándolo desde un punto a otro, generalmente de una cota baja a otra más elevada, venciendo presiones, desniveles, fricciones y caídas.

Una bomba puede impulsar líquidos y gases de distintas características como peso específico, densidad, viscosidad entre otras, por ejemplo: agua, alcohol, gasolina, gas natural, hidrogeno, etc., a una misma altura, afectando tan sólo a la altura manométrica y potencia absorbida que se verán modificadas en relación directa al peso específico.

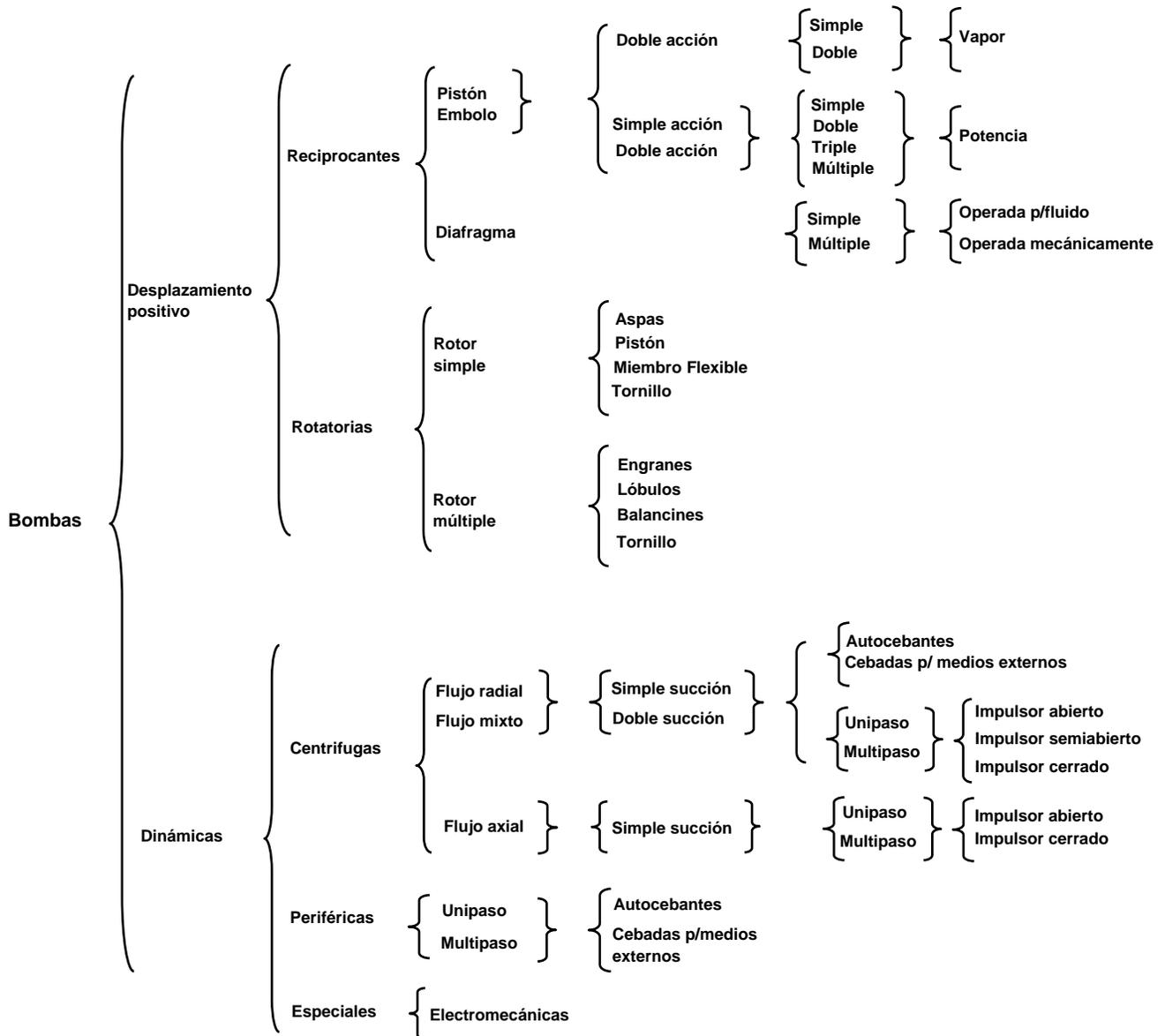
Se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica.

El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa, y que se usara en esta investigación es la del "Hidraulic Institute".

2.3.4 Clasificación de las bombas.

La clasificación siguiente, nos permite apreciar la gran diversidad de tipos de bombas que existen y si a ello agregamos materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, etc., entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria y sus aplicaciones.



Fuente: Libro Bombas, teoría, diseño y aplicaciones: Autor Manuel Viejo Zubicara.



Fig. 2.6. Clases y tipos de bombas regularmente empleadas en la industria.

2.3.5 La bomba centrífuga.

Las bombas centrífugas también llamadas rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor. Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Es aquella máquina que incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga, y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática, la cual tiene forma de voluta y/o difusor.

Características.

La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión.

Existen bombas centrífugas de una y varias etapas. En las bombas de una etapa se pueden alcanzar presiones de hasta 5 atm, en las de varias etapas se pueden alcanzar hasta 25 atm de presión, dependiendo del número de etapas.

Las bombas centrifugas sirven para el transporte de líquidos que contengan sólidos en suspensión, pero poco viscosos. Su caudal es constante y elevado, tienen bajo mantenimiento. Este tipo de bombas presentan un rendimiento elevado para un intervalo pequeño de caudal pero su rendimiento es bajo cuando transportan líquidos viscosos.

Este tipo de bombas son las usadas en la industria química y petroquímica, siempre que no se manejen fluidos muy viscosos.

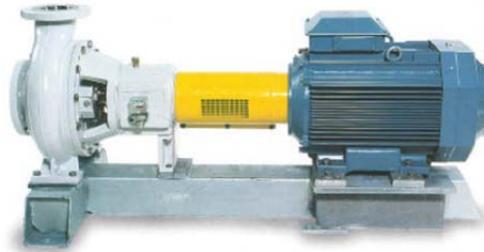


Fig. 2.7 Motor y bomba centrifuga para procesos industriales.

2.3.6 Tipos de bombas centrifugas.

a) Bomba centrifuga flujo radial.

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generando angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas. El flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrifuga.

b) Bomba centrifuga de flujo axial.

Las bombas de flujo axial se emplean para bombear grandes caudales a poca altura. Son más baratas que las bombas de flujo radial o mixto. Son llamadas también de propela, el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica.

Con frecuencia se emplean para el bombeo del efluente tratado de una estación depuradora o aguas pluviales sometidas a un desbaste previo. No deben utilizarse para bombear agua residual sin tratar.

c) Bomba centrifuga flujo mixto.

En las bombas de flujo mixto el flujo cambia de axial a radial. Son bombas para gastos y cargas intermedias y la velocidad específica de los impulsores es mayor que la de flujo radial.

2.4 Medición de Presión.

La medición de presión es quizá la variable más importante a controlar dentro de un sistema de producción, ya que de allí partimos hacia la manipulación de otras variables como son flujo y nivel para mantener la estabilidad y seguridad de un proceso.

La teoría de flujo de fluidos nos dice que es de vital importancia conocer la presión, ya que con su conocimiento puede controlarse y medir el flujo.

2.4.1 Concepto y Tipos de Presión.

La presión en un punto se define como el valor absoluto de la fuerza por unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto. Mientras que en el caso de los sólidos en reposo, las fuerzas sobre una superficie debe ser siempre perpendicular a la superficie, ya que si hubiera una fuerza tangencial el fluido fluiría.

En pocas palabras definimos presión como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Y la vemos representada por la siguiente ecuación.

$$P = \frac{F}{A}$$

Dónde:

P = Presión ejercida (kg/cm², lb/plg² (psi), Pascales, N/m², bar, entre los más utilizados).

F = Fuerza empleada en la superficie (kg, Ton, lb, N).

A = Área de superficie (m², cm², plg², ft²).

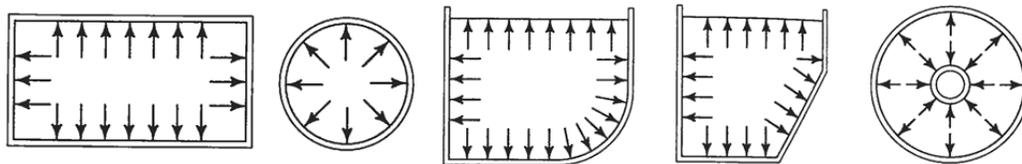


Figura 2.8. El fluido ejerce una presión uniforme en todas direcciones sobre el área del recipiente que lo contiene.

Fuente: Mecánica de Fluidos, Autor Robert L. Mott.

La presión puede dividirse en 4 tipos que son los siguientes:

2.4.1.1 Presión absoluta.

Es la presión de un fluido medida con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

2.4.1.2 Presión atmosférica.

Es la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). A nivel del mar o en alturas próximas a éste, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg² (760 mmHg), disminuyendo este valor con la altitud.

2.4.1.3 Presión manométrica.

Es la presión superior a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica que existe. El valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

2.4.1.4 Presión de vacío.

Es la presión menor que la Presión atmosférica. Su valor está comprendido entre el Cero absoluto y el valor de la Presión atmosférica. La presión de vacío se mide con el Vacuómetro.

2.4.2 Clasificación de los Instrumentos para medición de presión.

Dentro de la industria existen una gran variedad de instrumentos primarios para la medición de presión, los cuales se basan en diferentes principios de funcionamiento para obtener dicha medida, de entre los cuales tenemos los:

- Mecánicos
- Electromecánicos
- Neumáticos
- Electrónicos.

2.4.2.1 Mecánicos.

Se divide en dos tipos que son:

a) Primarios de medición directa. Miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida. Dentro de los cuales tenemos, barómetro, manómetro tipo u, manómetro tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana.

b) Primarios elásticos. Se deforman por la presión interna del fluido que contienen, como por ejemplo tenemos, manómetro tubo de bourdon, elemento en espiral, elemento helicoidal, el de diafragma y el fuelle.

2.4.2.2 Electromecánicos.

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera una señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo de bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos, que a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o un desplazamiento mecánico.

De este tipo tenemos entre los más usuales, transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas, resistivos, magnéticos, capacitivos, extensiométricos, piezo eléctrico.

2.4.2.3 Neumáticos.

Utilizan elementos mecánicos con desplazamiento de gases. Los más importantes en este tipo son los transmisores neumáticos, se basan en el sistema tobera obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática. El sistema tobera obturador, consiste en tubo neumático aumentado a una presión constante P , con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lamina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.

2.4.2.4 Electrónicos.

Por lo general se clasifican según la técnica utilizada en la conversión mecánica de la presión en una señal electrónica proporcional. Todas las tecnologías tienen un solo objetivo, que es transformar la presión aplicada en un sensor, en señal electrónica proporcional a la misma, de entre los cuales encontramos la siguiente clasificación:

- Capacitancia Variable (Capacitivos)
- Piezo-resistivo (Strain Gauge)
- Potenciométrico
- Piezo-eléctrico
- Reluctancia Variable
- Resonante
- Óptico
- Otros

De aquí podemos resaltar los capacitivos que son los sensores más confiables y son usados en millones de aplicaciones. Se basan en transductores donde la presión aplicada a diafragmas sensores produce una variación de la capacitancia entre ellos y un diafragma central, por ejemplo. Esta variación es usada principalmente para variar la frecuencia de un oscilador o usada como elemento de un puente de capacitores.

Esta variación de capacitancia es usada para variar la frecuencia de un oscilador. La frecuencia puede medirse directamente por la CPU y convertida en presión. En este caso no existe conversión A/D, lo que contribuye a la exactitud y a la eliminación de drifts embutidos en las conversiones analógicas y digitales. Algunas de sus ventajas son:

- Ideales para aplicaciones de baja y alta presión.
- Minimizan el error total probable y consecuentemente la variabilidad del proceso.
- Ideales para aplicaciones de flujo y presión.
- Por su respuesta lineal, permite alta flexibilidad y exactitud.

2.4.3 Instrumentos de medición de presión más empleados en la industria.

Dada la clasificación de los instrumentos de medición de presión debido a su principio de funcionamiento, en breve se describen los más empleados actualmente en la industria.

2.4.3.1 Manómetro tubo de Bourdon o de reloj.

El manómetro de bourdon o de reloj basa su principio de funcionamiento, en donde la entrada la presión produce una deformación en un tubo o espiral curvo (tubo Bourdon) cuyo movimiento se transmite mediante engranajes en una escala graduada. Habitualmente en su escala toman como cero la presión atmosférica, así que deberá sumársele siempre la presión atmosférica pues el cero de su escala corresponde a esta última.

En ocasiones, se le añade las letras “man” a la unidad de la escala para poner de manifiesto este hecho. Muy ocasionalmente ocurre el hecho contrario, en que la escala tiene en cuenta la suma de la presión atmosférica. En los Bourdon en psi, se sabe si la escala de presión que miden es la absoluta si pone “psi” o sobre atmosférica si pone “psig” (psi gauge).



Figura 2.9 Manómetro tipo tubo de bourdon para aplicaciones industriales.

2.4.3.2 Tubos manométricos o manómetro tipo U.

Los tubos manométricos son utilizados para bajas presiones. Son tubos de vidrio en forma de U que se llenan con un fluido de densidad conocida e inmiscible con el fluido cuya presión se desea medir.

Para la medida de la presión en un punto de la conducción, una de sus ramas se comunica con el mismo y la otra con la atmósfera (su medida da la presión sobre atmosférica o manométrica). Para la medida de diferencias de presiones entre dos puntos, cada una de las ramas del tubo en U se comunica con los puntos de la conducción que corresponda.

En un tubo manométrico en U, el fluido manométrico está en reposo (no circula), por lo que la presión en ambas ramas es la misma a igualdad de altura si está ocupado por el mismo fluido manométrico. Así, para medir la presión mediante un tubo en U, se parte de aquella altura máxima en que exista fluido manométrico en ambas ramas (puntos de idéntica presión).

A partir de esa altura, se contabilizan las diferentes contribuciones de presión en cada rama, que son las mismas sobre la altura en que empieza a haber fluido manométrico en ambas ramas.



Figura 2.10 Manómetro tipo "U" o tubo manométrico.

2.4.3.3 Vacuometro.

Se denomina vacuometro al instrumento que realiza la medición de presión cuando esta resulta menor a la presión de la atmosfera, miden el vacío. La medida del vacío y de las presiones absolutas, es muy importante sobre todo en plantas de frío, gases licuados, turbinas, etc., ya que los puntos críticos de los gases y del vapor están calculados en base a presiones y temperaturas absolutas. El problema de estas dos presiones no es como medirlas, si no como ajustar las indicaciones, ya que la presión atmosférica es variable y nos afecta a las medidas.



Figura 2.11 Vacuometro (medición de presión de vacío).

2.4.3.4 Manómetro de presión diferencial.

Es un dispositivo que mide la diferencia de presión entre dos lugares. El fluido manométrico que forma la columna líquida en estos indicadores puede ser cualquier líquido que no se mezcle con el fluido a presión. Para altos vacíos o presiones elevadas y grandes diferencias de presión el líquido del medidor debe ser de una gran densidad por esto casi siempre se utiliza como fluido manométrico el mercurio y para las bajas presiones líquidos de menor densidad como el agua, alcohol, kerosén, etc. Su uso es muy frecuente en filtros en líneas.

De esta forma se puede observar fácilmente lo obturado que se encuentra el filtro midiendo la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro.



Figura 2.12 Manómetro de presión diferencial.

2.4.3.5 Transductores de presión.

Son aquellos equipos en los que la presión medida se lee con la ayuda de un circuito eléctrico en un display numérico. Estos están basados en señales eléctricas, aunque el fundamento por el cual miden la presión está basado en la deformación o elongación de un material elástico conductor por la acción de una fuerza transmitida por una membrana elástica en contacto con el fluido.

Cuando un conductor eléctrico es estirado por la acción de una fuerza, se produce un incremento de su longitud y una disminución de su sección, con lo que varía la resistencia eléctrica, que se puede medir mediante un puente de Wheatstone, y que finalmente, tras el calibrado es observada en una pantalla o es recogida como dato en un ordenador. En este tipo de transductores, el circuito eléctrico es necesariamente de corriente continua.

Se denominan transductores de presión piezo resistivos a aquellos que usan un cristal semiconductor (normalmente silicio), en vez de conductores eléctricos convencionales. En este caso la elongación o deformación de un cristal semiconductor en el seno de un campo magnético perpendicular produce un cambio de frecuencia resonante, detectada cuando se conecta el cristal en un circuito de corriente alterna. Estos transductores presentan la ventaja de ser pequeños y producir señales analógicas de potencial muy superiores respecto a los convencionales. Existen transductores que miden la presión en un punto, denominados de presión absoluta, y otros que miden la diferencia de presión entre dos puntos, denominados transductores de presión diferencial.



Figura 2.13. Diferentes clases y tipos de transductores de presión.

2.4.3.6 Transmisor indicador de presión.

Consta principalmente de tres elementos fundamentales interactuando entre sí, para llevar a cabo su operación.

El sensor, generalmente un sensor piezo eléctrico es el elemento primario sensible a una propiedad física relacionada con la variable que se quiere medir. El transmisor es el sistema que está unido al sensor que convierte, acondiciona y normaliza su señal mediante un circuito electrónico para transmitirla a distancia. Y por último el indicador quien interpreta en valor numérico la señal digital o analógica recibida.

Los cuatro principios más importantes mediante su forma de sensar son los siguientes:

A) Sensores resistivos. El principio de medida con sensores resistivos se basa en la medida de la variación de la resistencia inducida por la deformación en función de la presión. Una tracción del conductor aumenta la longitud y reduce la superficie de sección con la consecuencia de un aumento de la resistencia eléctrica, ya que la resistencia específica se mantiene constante.

Una deformación provocada por recalado tendría el efecto contrario. Para la realización del principio se utiliza un cuerpo base que se deforma de manera controlado al someterle a presión. A menudo este cuerpo consiste en una membrana con una parte fina. El valor de la deformación en función de la presión se mide mediante una cinta extensométrica es decir conductores eléctricos metálicos tipo meandro.

B) Sensores piezo resistivos. El principio de la medida con sensores piezo resistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. Según la ecuación indicada arriba, la resistencia eléctrica varía proporcional con la resistencia específica. Este efecto piezo resistivo con semiconductores es de un factor 10 hasta 100 veces mayor que con metal.

Las cintas metálicas pueden colocarse en cualquier material mientras las cintas semiconductoras están incorporadas como micro estructura en la membrana. Por lo tanto las cintas extensométricas y el cuerpo expuesto a la deformación están compuestos del mismo material. Normalmente se incorpora cuatro cintas en una membrana de silicio formando un puente de Wheatstone. La transmisión de la presión se efectúa en este caso de manera indirecta, por ejemplo mediante una membrana metálica o mediante aceite como medio de transmisión.

C) Sensores capacitivos. Este principio está basado en la medición de la capacidad de un condensador que varía en función de la aproximación a la superficie activa. El principio de la medición capacitiva se realiza mediante un cuerpo base cuya membrana metálica, con recubrimiento metálico, constituye una de las placas del condensador. La deformación de la membrana, inducida por la presión, reduce la distancia entre las dos placas con el efecto de un aumento de la capacidad, manteniendo igual la superficie y la constante dieléctrica.

Este sistema permite la medición de presión con elevada sensibilidad y por lo tanto la medición de rangos muy bajos hasta unos pocos milibar. Dado que la membrana permite una deformación máxima hasta apoyarse a la placa estática resulta una elevada seguridad contra sobrecarga. Las limitaciones prácticas están determinadas por el material y las características de la membrana y las técnicas de unión y sellado.

D) Sensores piezoeléctricos. El principio de los sensores piezoeléctricos se basa en un efecto físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una (aparente) carga de superficies. La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección.

La tensión eléctrica generada por la carga de la superficie puede captarse y amplificarse. El efecto piezoeléctrico es apto únicamente para la medida de presiones dinámicas. En la práctica se limita el uso de sensores piezoeléctricos a aplicaciones especiales.



Figura 2.14. (a) Transmisor indicador de presión. (b) Transmisor indicador de presión diferencial.

Estos fueron algunos de los instrumentos más comúnmente utilizados para la medición de presión en la industria cada uno de ellos dispone de diferente principio de funcionamiento y elemento de sensado para llevar a cabo el registro.

La selección de un buen y adecuado instrumento medidor indicador de presión dependerá del proceso, sistema, fluido, diámetro de tubería y medio ambiente al que sea sometido, así como también el rango de precisión, exactitud y linealidad que requiere obtener en la lectura. Todos estos factores deberán ser puestos en análisis y evaluación para encontrar el instrumento correcto.

2.5 Medición de flujo.

Siempre que se trabaja con un fluido, existe la necesidad de realizar un conteo de la cantidad que se transporta por un determinado punto, dentro de un período específico de tiempo, para lo cual se utiliza los medidores de flujo.

Algunos de ellos miden la velocidad de flujo de manera directa y otros miden la velocidad promedio, aplicando la ecuación de continuidad y la de energía se calcula la velocidad.

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales, en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

La medición de flujo es uno de los más importantes aspectos cuando se requiere un óptimo control de un proceso dinámico. Determinar volúmenes en unidad de tiempo y volúmenes totales, permite a un sistema de control, regular con alta precisión, las cantidades de sustancias que van a conformar un producto; además aumentar la eficiencia de producción.

2.5.1 Concepto y Tipos de Flujo.

En dinámica de fluidos, el flujo o caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo.

El flujo de acuerdo a su condición puede presentarse como:

2.5.1.1 Flujo volumétrico.

Flujo volumétrico significa el volumen de un fluido que se mueve a través de una sección transversal dentro de un período de tiempo dado. Concretamente es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado. Y este puede determinarse la siguiente ecuación:

$$Q = V A$$

Donde:

Q = Es el flujo volumétrico que circula en una sección por unidad de tiempo. Las unidades más comúnmente utilizadas son: m³/hr, gal/min, litros/min, barriles/día, ft³/seg, PCM (ft³/min).

V = Es la velocidad promedio del flujo. Se expresa en unidades de longitud entre tiempo como pueden ser, m/s, ft/min, m/hr, ft/hr, plg/min entre las más utilizadas.

A = Es el área de la sección por donde circula el fluido. Y se representa en unidades de longitud al cuadrado, comúnmente se representan para esta ecuación en m², cm², ft², plg².

2.5.1.2 Flujo másico.

Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada. Cantidad de material expresado en unidades de masa, que atraviesa una sección transversal de área en un ducto por unidad de tiempo. Y se puede representar por la ecuación:

$$M = \rho Q \quad \text{ó} \quad M = \rho V A$$

Dónde:

M = Flujo másico, que es la cantidad de masa que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo, y las unidades con que se representa pueden ser: kg/s, lb/min, kg/hr, ton/día.

ρ = Es la densidad del fluido y se representa comúnmente con unidades de peso entre unidades de longitud al cubo como pueden ser kg/m³, lb/ft³.

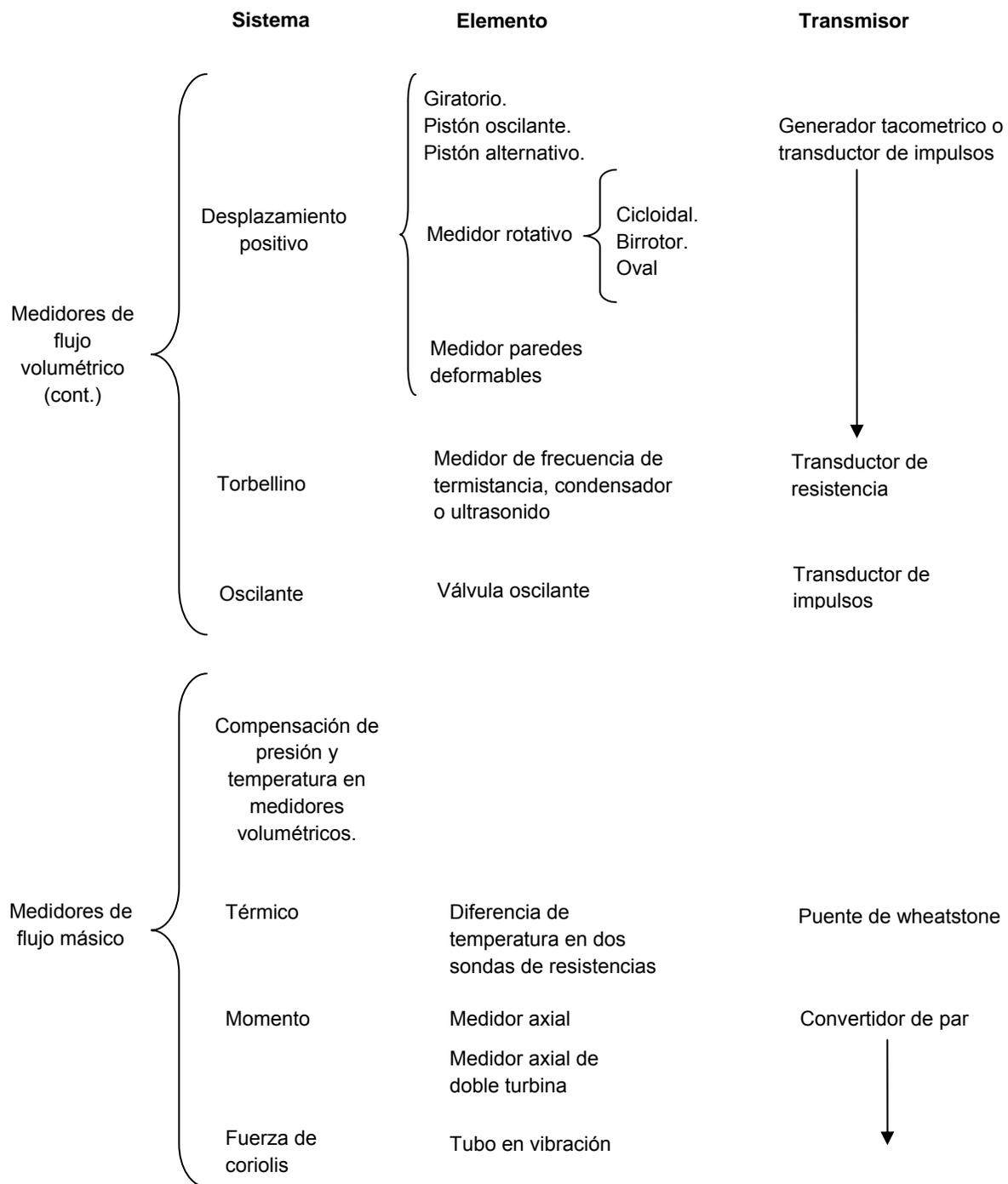
V = Velocidad de flujo. Para esta ecuación las unidades más empleadas son; m/s, m/hr, ft/min., ft/hr.

A = Área de la sección transversal expresada en unidades de longitud al cuadrado, m², ft², plg².

2.5.2 Clasificación de los Instrumentos para medición de flujo.

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo, volumétrico o másico. Clasificados de acuerdo a su principio de operación, encontramos:

	Sistema	Elemento	Transmisor	
Medidores de flujo volumétrico	Presión diferencial	<ul style="list-style-type: none"> Placa – Orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Annubar 	Conectados a Tubo U, a un elemento de Fuelle o de diafragma.	Equilibrio de fuerzas
	Área variable	Rotámetro		<ul style="list-style-type: none"> Equilibrio de movimientos. Potenciometrico. Puente de impedancias
	Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> Vertedero con flotador en canales abiertos. Turbina. Sondas ultrasónicas. 		Potenciometrico. Piezo eléctrico
	Fuerza	Placa de impacto		<ul style="list-style-type: none"> Equilibrio de fuerzas. Galgas extensiométricas.
	Tensión inducida	Medidor magnético		Convertidor potenciometrico



Fuente: Libro Instrumentación, Autor Creus

Dada la clasificación de los instrumentos de medición de flujo debido a sus características y principio de funcionamiento, en breve se describen los factores para selección y los medidores de flujo más empleados actualmente en la industria.

2.5.3 Factores para la correcta selección de un medidor de flujo.

Para realizar una selección de un instrumento de medición de flujo apropiado a nuestro sistema, debemos considerar diferentes factores y parámetros como son:

- Rango del flujo a cubrir.
- Precisión requerida (debe especificarse para todo el rango).
- Repetibilidad requerida.
- Ambiente en que se realizará la medición.
- Tipo de salida eléctrica requerida.
- Ambiente en que se realizará la medición
- Pérdida de carga aceptable
- Presupuesto (debe considerarse no solo el costo del instrumento)
- Costo del instrumento
- Costo de la energía necesaria para operarlo
- Costo de la instalación (adaptación de sistemas de control, paneles, etc.)
- Costo de mantenimiento
- Costo de la instrumentación asociada
- Costo de mano de obra calificada
- Tipo de fluido a medir
- Linealidad
- Velocidad de respuesta

2.5.4 Instrumentos de medición de flujo más empleados en la industria.

A continuación se mencionan algunos instrumentos de medición de flujo que han sido y son más utilizados en la industria debido a la adaptación a sus sistemas de producción.

2.5.4.1 Medidores de flujo de disco oscilante.

Considerados para líquidos de baja viscosidad. Para casos donde se busca una exactitud moderada, estos medidores son la alternativa más económica. Aunque originalmente limitados a su uso con productos refinados del petróleo, los modelos ofrecidos hoy en día cubren muchas otras aplicaciones en todo tipo de industrias.



Fig. 2.15 Medidor de flujo de disco oscilante análogo y digital.

2.5.4.2 Medidor de flujo de engranes.

Es uno de los tipos más populares de medidor de desplazamiento positivo. Consiste de dos ruedas maquinadas y una cavidad de medición. El paso del fluido a través del medidor hace girar las ruedas ovaladas. Cada rotación de las ruedas corresponde al paso de una cantidad conocida de fluido a través del medidor. La rotación de las ruedas suele ser detectada por un sensor de proximidad que genera una señal eléctrica con una frecuencia proporcional al caudal. Esta señal es acondicionada luego en una salida de pulsos y/o analógica.



Fig. 2.16 Medidor de flujo de engranes.

2.5.4.3 Caudalímetro electromagnético.

Su funcionamiento se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión que es perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula. Dado que un líquido conductor contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday).

Los caudalímetros magnéticos generan un campo magnético perpendicular a la corriente de flujo y miden la tensión producida por el fluido que pasa a través del instrumento. La tensión producida es proporcional a la velocidad media del fluido. Esta tensión es acondicionada y suministrada como salida analógica. Suelen venir instalados en un carrete adaptador. Los diámetros libres son críticos para su correcto funcionamiento. Solo sirven para fluidos polares.

Mide caudal instantáneo y volumen total. Opera perfectamente en cañerías parcialmente llenas. Resiste altas temperaturas hasta 180°C, y altas presiones hasta 300 bar, líquidos abrasivos o erosivos, limpieza y esterilización con vapor.

No ofrece restricción al paso de líquidos conductores de la electricidad aun cuando son viscosos, sucios o arrastran sólidos en suspensión. Se fabrica desde 3/4" a 40". Aptos para operación con paneles solares.



Fig. 2.17 Caudalímetro electromagnético.

2.5.4.4 Rotámetro.

El rotámetro metálico de acuerdo al modelo, es apropiado para bajos y grandes caudales en líquidos y gases, mide e indica el flujo instantáneamente. Construido con tubo de medición metálico en lugar de vidrio, es un medidor A/V (área variable) confiable y exacto, apto para altas presiones y fluidos agresivos o difíciles de manejar.

Es muy utilizado para dosificar aditivos o ingredientes costosos en especialidades químicas, farmacéuticas, cosméticas, alimenticias, así como en investigación y desarrollo. Indicador acoplado magnéticamente con escalas intercambiables. Es utilizado para líquidos como para gases, la caída de presión es baja, su mantenimiento e instalación son simples.

Entre las desventajas de este instrumento son; solamente son utilizados en tuberías de diámetros menores, limitado para cierta posición ya que siempre debe instalarse en sentido vertical de modo que el caudal se ascende, son de baja precisión y puede haber fluctuación en la lectura.



Fig. 2.18. Rotámetro indicador de flujo.

2.5.4.5 Caudalímetro Vortex.

Se usan para medir el caudal con la ayuda de un cuerpo que genera vórtices. El principio básico de un medidor de vórtices es que los remolinos se desprenden del cuerpo a una frecuencia proporcional, al caudal volumétrico que está circulando. Los vórtices son detectados por distintos medios.

A medida que los vórtices se van desplazando a través del medidor, crean áreas alternadas de baja y alta presión. Estas presiones alternadas hacen responder al elemento de detección produce una señal eléctrica de la misma frecuencia con que se generan los vórtices.

Esta frecuencia es acondicionada en una salida de pulsos y/o analógica. La señal de salida es proporcional a la velocidad del fluido. Al igual que en los másicos, las vibraciones pueden interferir con la medición. Los diámetros libres de tubería son un factor crítico para su correcto funcionamiento.

Mediante sensores piezoeléctricos mide la cantidad de los vórtices provocados por una obstrucción. Se destaca para procesos químicos debido a una combinación de gran exactitud (1%), robustez con gran resistencia al ataque químico (carcaza de plástico de una sola pieza), ausencia de mantenimiento (no tiene partes móviles), y practicidad (se instala en

cualquier posición). Mide líquidos no conductivos que los medidores magneto inductivos no pueden medir. Emite pulsos para medir caudal Instantáneo.



Fig. 2.19 Caudalimetro Vortex.

2.5.4.6 Caudalimetro de turbina.

Se usa para medir caudal de líquidos limpios mediante la detección de la rotación de los álabes de una turbina colocada en la corriente de flujo. Las partes básicas del medidor son el rotor de turbina y el detector magnético. El fluido que circula sobre los álabes del rotor lo hace girar y la velocidad rotacional es proporcional al caudal volumétrico.

El detector magnético consiste de un imán permanente con devanados de bobina que capta el pasaje de los álabes de turbina. El paso de los álabes delante del detector hace interrumpir el campo magnético y produce una tensión en la bobina. La frecuencia con que se genera esta tensión es proporcional al caudal y se la acondiciona en una salida de pulsos y/o analógica.

Es el instrumento más preciso disponible para medir caudal, por su excelente linealidad y repetitividad, además de adecuarse a un rango amplio de presiones y temperaturas.

Entre las desventajas de este instrumento es que solamente se recomienda para diámetros pequeños y que debido a sus partes móviles existe un desgaste el cual lo limita a un determinado periodo de mantenimiento, tampoco es compatible con fluidos de alta viscosidad, es un instrumento delicado en comparación con otros instrumentos.



Fig. 2.20 Medidor de flujo tipo turbina.

2.5.4.7 Transmisor indicador de flujo de presión diferencial.

Como su nombre lo indica basa su funcionamiento en una presión diferencial entre la entrada y la salida del fluido en el instrumento. Presenta dos elementos básicos: el elemento sensor y un transmisor de presión diferencial.

Dentro del elemento sensor aplicable para este instrumento están aquellos que producen un diferencia de presiones, y los más empleados son, la placa de orificio, tubo Venturi, tubo pitot, tubo annubar. La placa orificio es una placa delgada con un orificio que actúa como restricción en la corriente de flujo.

Como el área de la corriente de flujo disminuye a medida que el fluido pasa a través del orificio, su velocidad aumenta. La energía requerida para incrementar la velocidad del fluido se obtiene a través de una reducción en la presión estática.

Midiendo el cambio que se produce en la presión estática con un transmisor de presión diferencial, se puede inferir el caudal volumétrico. La raíz cuadrada de la salida del transmisor de presión diferencial es proporcional al caudal.



Fig. 2.21 Transmisor de flujo mediante presión diferencial.

2.5.4.8 Transmisor de caudal ultrasónico.

El transmisor de flujo por ultrasonido es un sensor de medición que trabaja sin contacto. El transmisor de flujo por ultrasonido es el sensor de caudal ideal cuando la duración de vida y la resistencia revistan gran importancia.

La medición de caudal le permite la detección precisa del flujo sin tener que contar con piezas en movimiento. Es ideal para usarlo en lugares donde no se pueden usar un transmisor de flujo con piezas en movimientos, como por ejemplo, ruedas aladas. El líquido fluye a través de un tubo de acero inoxidable recto, aislado respecto a cualquier elemento externo. El transductor ultrasónico está situado en la parte exterior de la tubería, y no tiene ningún contacto con el medio.

El principio de medición del transmisor de flujo por ultrasonido está basado en el tiempo de tránsito ultrasónico. En el tubo exterior de medición se encuentran dos elementos ultrasónicos. Ambos transductores se usan como transmisor y receptor, enviando una señal ultrasónica en el sentido de la corriente y posteriormente en sentido inverso. La diferencia entre ambas velocidades ultrasónicas es proporcional a la velocidad media del flujo.

Suele venir instalado en un carrete adaptador (spool). Los diámetros libres son críticos para su correcto funcionamiento. Al igual que las placas orificio, existen versiones para medición fiscal y para medición de proceso.



Fig. 2.22. Transmisor de flujo ultrasónico.

2.5.4.9 Transmisor de caudal másico.

Usa el principio Coriolis (movimiento de cuerpos y rotación de la tierra). La rotación se reemplaza por vibración de uno ó dos tubos en U, anclados en sus extremos. Miden directamente el caudal másico, en base a la frecuencia de resonancia de los tubos, la densidad y la temperatura.

Entre sus ventajas están, es el instrumento más preciso en su género, es apto para operar en campo con casi todo tipo de fluidos, tiene buena exactitud en líquidos y en gases, alta estabilidad en un amplio rango de operación, rango de temperatura de proceso desde -200°C hasta 350°C . Es apto para uso en áreas clasificadas. Posee un sistema que independiza al dispositivo contra las cargas y vibraciones externas. No requiere tramos rectos de cañería. Es muy sensible a vibraciones que existen en la línea. Puede tener el transmisor local o remoto.



Fig. 2.23 Transmisor de flujo másico tipo Coriolis.

2.6 Transmisores.

2.6.1. Transmisor (Definición).

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las más empleadas en la industria son las tres primeras, las señales hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales telemétricas se emplean cuando hay una distancia de varios kilómetros entre el transmisor y el receptor.

2.6.2. Tipos de Transmisores.

2.6.2.1. Transmisores Neumáticos.

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

El sistema tobera-obturador consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante P , con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.

Los componentes básicos de un transmisor neumáticos son:

- Elemento primario de medición.
- Sistema Tobera-Obturador.
- Amplificador Neumático.



Fig. 2.24. Transmisor neumático son aquellos que utilizan como energía el aire comprimido o el gas, empleados en válvulas de control, electroválvulas, actuadores entre otros.

2.6.2.2. Transmisores Electrónicos.

Los transmisores electrónicos son generalmente de equilibrio de fuerzas. Consisten en su forma más sencilla en una barra rígida apoyada en un punto sobre la que actúan dos fuerzas en equilibrio:

- La fuerza ejercida por el elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle).
- La fuerza electromagnética de una unidad magnética.

El desequilibrio entre estas dos fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial.

Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable del proceso.

Estos instrumentos, debido a su constitución mecánica, presentan un ajuste del cero y del alcance complicado y una alta sensibilidad a vibraciones. Su precisión es del orden del 0.5-1%.

2.6.2.3. Transmisores digitales.

Hacia 1983 la firma Honeywell presentó en el mercado el primer transmisor digital denominado inteligente (Smart transmitter). Este término indica que el sensor tiene incorporadas funciones adicionales que se añaden a las propias de la medida exclusiva de la variable.

Lógicamente dichas funciones son proporcionadas por un microprocesador, pero esto no es esencial para que al instrumento pueda aplicársele la denominación de "inteligente".

Hay dos modelos básicos de transmisores inteligentes:

El capacitivo está basado en la variación de capacidad que se produce en un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma sensible interno y unido a las mismas, cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas externos. La transmisión de la presión del proceso se realiza a través de un fluido (aceite) que rellena el interior del condensador.

El desplazamiento del diafragma sensible es de sólo 0,1 mm como máximo. Un circuito formado por un oscilador y demodulador transforma la variación de capacidad en señal analógica. Ésta a su vez es convertida a digital, y pasa después a un microprocesador inteligente que la transforma a la señal analógica de transmisión de 4-20 mA c.c.



Fig. 2.25. Transmisor electrónico-digital adecuado para flujo/presión/nivel con indicador local en área de proceso.

2.6.2.4. Transmisores Hidráulicos.

Especialmente diseñado para el uso en vehículos todo terreno, tractores, transporte terrestre para construcción, compresores y control de bombas, los transmisores de presión hidráulicos, son la elección ideal para los fabricantes de equipos con alto volumen de unidades que requieren un transmisor durable, económico para presiones de hasta 20,000 psi.



Fig. 2.26. (a) Transmisor hidráulico generalmente utilizado para vehículos de carga pesada, todo terreno, grúas y vehículos para construcción (b) transmisor hidráulico para plantas industriales.

2.6.2.5. Transmisores Telemétricos.

Los transmisores telemétricos no son muy utilizados en la industria, por lo general se utilizan en lugares de la planta donde las condiciones son duras (campos magnéticos intensos que influyen sobre la señal).

Los módulos de transmisión pueden ser excitados por fuentes de led o diodo laser. Los módulos receptores disponen de foto detector y pre-amplificador. Con los cables o multicables de fibra óptica y con convertidores electro ópticos.

La transmisión de datos puede efectuarse con multiplexores transmitiendo simultáneamente a la velocidad máxima definida. Las desventajas de la transmisión por fibra óptica incluyen la inmunidad frente al ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas), el aislamiento eléctrico

total, una anchura de banda mayor que la proporcionada por los correspondientes hilos de cobre, ser de pequeño tamaño y de poco peso, sus bajas pérdidas de energía, y que las comunicaciones sean seguras.



Fig. 2.27. (a) Transmisor telemetrico y (b) transmisor telemetrico con indicador local.

2.6.3 Características y comparativa de los transmisores más convencionales.

Tabla 2.1 Clasificación y características de los transmisores.

Transmisor	Señal	Precisión	Ventajas	Desventajas
Neumático	3-15 psi 0,2-1 bar	$\pm 0.5\%$	Rapidez Sencillo	Aire limpio No guardan información Distancia limitadas Mantenimiento costoso Sensible a variaciones
Electrónico convencional	4-20 mA c.c.	$\pm 0.5\%$	Rapidez	Sensible a vibraciones deriva térmica
Electrónico inteligente	4-20 mA c.c.	$\pm 0.2\%$	Mayor precisión Intercambiable Estable, fiable Campo de medida más amplio Bajo costo de mantenimiento	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas)
Electrónico inteligente señal digital	Digital	$\pm 0.1\%$	Mayor precisión. Más estabilidad Fiable Autodiagnóstico Comunicación Bidireccional Configuración remota Campo de medida más amplio Bajo costo de mantto.	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas. Falta normalización de las comunicaciones. No intercambiable con otras marcas.

Fuente: Libro Instrumentación, Autor Antonio Creus

La comparación efectuada arriba es entre características de los transmisores neumáticos, electrónicos convencionales, e inteligentes; estos últimos en las versiones de señal de salida de 4-20 mA c.c. y de señal de salida digital.

En resumen, las ventajas del transmisor inteligente con relación a los instrumentos electrónicos analógicos convencionales (señal de salida 4-20 mA c.c.) son:

- Mejora de la precisión (2:1 como mínimo).
- Mejora de la estabilidad en condiciones de trabajo diversas (3:1 a 15:1).
- Campos de medida más amplios.
- Mayor fiabilidad.
- Bajos costos de mantenimiento.

Y si se emplea el transmisor digital inteligente (comunicación digital directa), las ventajas adicionales son:

- Menor desviación por variaciones de la temperatura ambiente o de la tensión de alimentación.
- Diagnóstico continuo del circuito (estado del instrumento).
- Comunicación bidireccional.
- Configuración remota desde cualquier punto de la línea de transmisión.

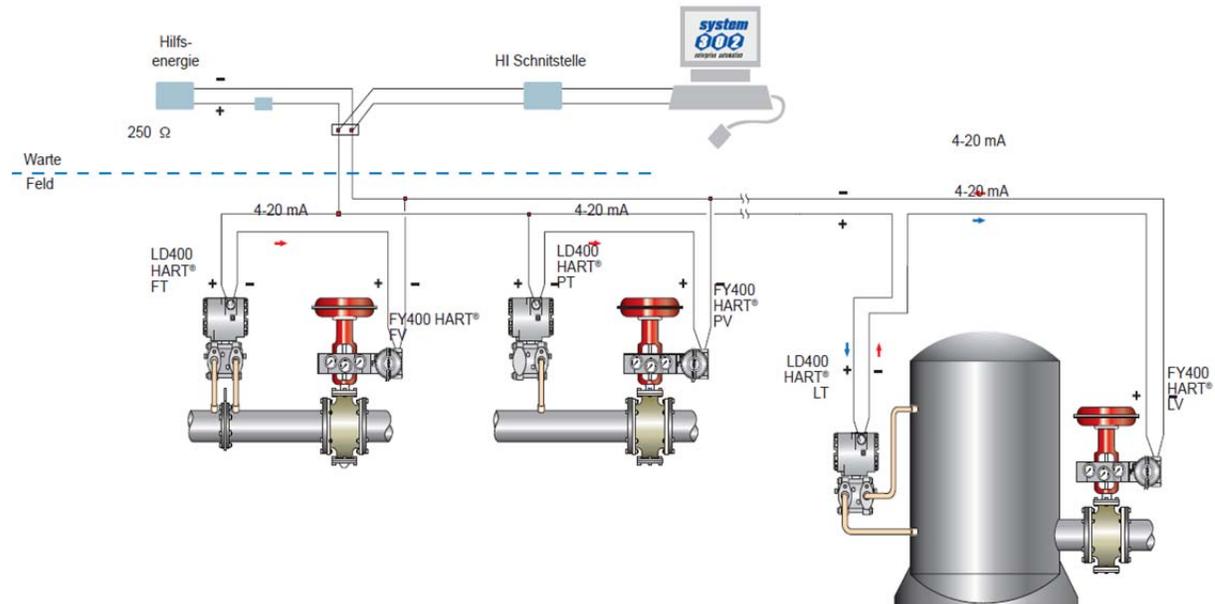


Fig. 2.28. Esquema desplegado en HMI para monitoreo y control de un sistema de producción involucrando equipos, tuberías, transmisores-indicadores, válvulas de control, señales de control, para la obtención de las diferentes variables del proceso.

2.7 Elemento final de control.

Para entender que es una válvula de control empezaremos por definir que son los elementos finales de control, de aquí partimos para comprender el significado, función, objetivo y tipos.

Los elementos finales de control son los dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada). Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. Lo más común en procesos es que la manipulación sea presión y caudal, aunque también se manipulan otras variables. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen primariamente dos mecanismos:

- Modificar la *energía entregada* al fluido (bombas y ventiladores de velocidad variable)
- Modificar la *resistencia* al paso del fluido (válvulas, registros en ductos de gases)

2.7.1 Válvula de control.

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el caudal de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable.

Una válvula de control se describe como un mecanismo compuesto de dos partes fundamentales denominadas, el actuador y el cuerpo de la válvula. El actuador es la parte superior o carcasa que encierra al cabezal, el resorte o motor y el vástago de desplazamiento. El cuerpo de la válvula o asiento es el bloque a través del cual se mueve el líquido desde la entrada hasta la salida, con un flujo que depende del tamaño de la abertura permitido por el vástago y su plumada.

La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones industriales.

Entre los diversos elementos finales de control, encontramos como los más empleados en la industria:

- *Válvula de control con actuador neumático.*
- *Válvula de control con actuador eléctrico.*

2.7.2 Válvula de control con actuador neumático.

La válvula de control con actuador neumático utiliza una señal externa que puede ser aire comprimido (el más comúnmente empleado) o algún tipo de gas, proveniente de un compresor y dirigido por una electroválvula o una válvula solenoide hacia el cabezal de la válvula para convertirla en una acción o fuerza mecánica sobre el vástago quien permite o restringe el paso del fluido de proceso. Las partes principales de un actuador neumático son:

Actuador: Recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) a merced de un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.

Cuerpo: El diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal.

Mediante la figura 2.29 se muestra con un diagrama de bloques la secuencia de la acción de control de una válvula de control con actuador neumático.

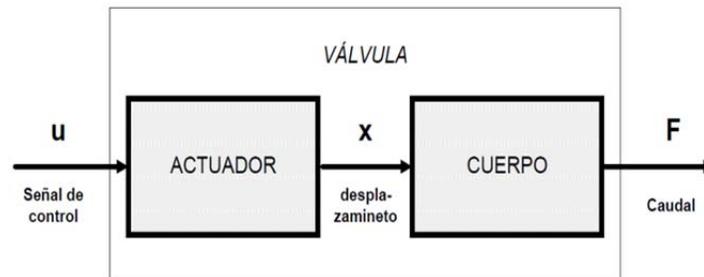


Figura 2.29. Diagrama de bloques, acción de control de una válvula con actuador neumático.

En la figura 2.30 se muestra una válvula globo con un actuador neumático de diafragma en donde se indican las diversas piezas que la constituyen.

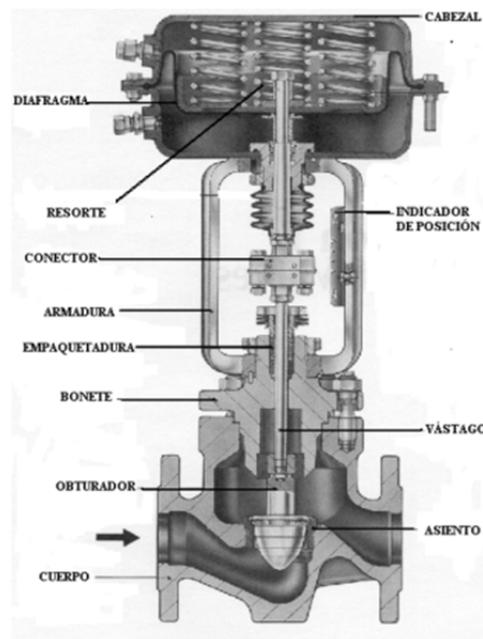


Figura 2.30 Corte esquemático de una válvula de control con actuador neumático y los elementos que la constituyen.

Cuando se produce un cambio en la presión sobre el área diafragmática, el vástago se desliza junto con la plomada ensamblada en su extremo y se efectúa un cambio en el tamaño de la abertura a través de la cual se permite el paso de un fluido desde la entrada hasta la salida de la válvula. Es decir, la magnitud del flujo del fluido a través de la válvula depende de la fracción de la abertura total disponible.

2.7.3 Válvula de control con actuador eléctrico.

La válvula de control con actuador eléctrico ejecuta la acción de control a partir de un motor eléctrico accionado por señales eléctricas, cuando se recibe la señal eléctrica el motor gira en sentido abrir o cerrar. Gira hasta que la leva interna presiona el correspondiente micro de parada. Cuando la siguiente señal es recibida, el motor gira en sentido contrario y con esto aumentando o disminuyendo el diámetro de apertura de la válvula por donde circula el fluido. Los componentes principales de una válvula de control con actuador eléctrico.

a) Motor.

Este motor esta específicamente adaptado para la actuación de la válvula proporcionando un torque alto necesario para operar una válvula atascada. El motor también está diseñado para operar en condiciones ambientales extremas. El motor no está diseñado para una operación continua.

b) Sensor de torque y limite.

Se provee un sensor de límite para actuar cuando la posición de final de carrera se ha alcanzado. El sensor de Torque mide el torque en la válvula. Cuando se excede el torque máximo se señala esta condición. Los actuadores a menudo están equipados con un sensor de posición el cual indica la posición actual de la válvula.

c) Engranaje.

Frecuentemente es del tipo tornillo sinfín con la finalidad de reducir la alta velocidad de salida del motor eléctrico. También puede ser una cuerda o un percutor.

d) Válvula.

La válvula consiste en dos elementos: Primero, el acoplamiento usado para conectar firmemente el actuador a la válvula. Entre mayor sea el torque a ser aplicado a la válvula más robusto deberá ser este acoplamiento. Segundo, el eje de salida que transmite el torque del actuador al eje de la válvula.

El diseño y las dimensiones estándar del montaje del acoplamiento y el eje está definido por el estándar EN ISO 5210 para actuadores multi-vuelta o EN ISO 5211 actuadores parciales. El diseño de la interface de la válvula esta generalmente basado en la norma DIN 3358.

e) Operación Manual.

La mayoría de las válvulas motorizadas están equipadas con una manivela para operar la válvula manualmente en caso de puesta en marcha o en caso de una falla eléctrica. La manivela no se debe operar cuando el motor eléctrico está funcionando.

f) Control del actuador.

El actuador se debe controlar a través de un control externo que puede llegar a ser un PLC. Algunas actuadores poseen controles integrados para ser controlados con señales de baja potencia.

g) Conexión eléctrica.

Los cables de alimentación y los cables de control se utilizan para alimentar y controlar las señales del actuador. Las terminales pueden ser del tipo atornillable o puede estar provisto de un conector.

h) Conexión de bus campo.

La tecnología Bus de campo es utilizada para transmitir los datos de la válvula como su posición, porcentaje de apertura, modo de operación.

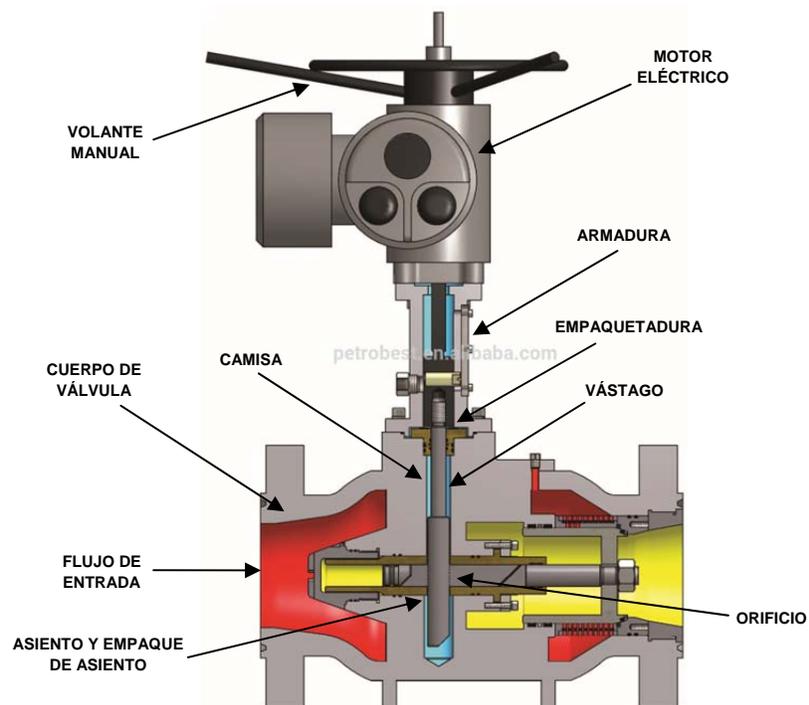


Figura 2.31 Corte esquemático de una válvula de control con actuador eléctrico y elementos que la constituyen.

2.7.4. Criterios para selección de una válvula de control.

Para la selección de una válvula de control implica determinar y tomar en cuenta las siguientes características las cuales deben adaptarse al sistema o proceso donde será instalada:

•**Cuerpo e internos:** Indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar. También hay que indicar el diámetro que está relacionado con la capacidad y a esto se lo denomina dimensionamiento. Por último, algunos tipos de válvula permiten elegir la característica del Flujo.

•**Actuador:** Una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de fuerza motriz para desplazamiento del vástago, como podría ser neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc., la acción ante falla y el tamaño.

•**Accesorios:** Corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.

2.7.5 Tipos de válvulas de control.

Existen diversos tipos de cuerpos y actuadores, que se adaptan a la aplicación. Los que más se emplean en la práctica industrial se muestran en la tabla (2.7.5) siguiente.

Tabla 2.2 Clasificación y tipos de actuadores de válvulas de control.

<i>TIPO</i>	<i>CARACTERÍSTICA</i>
<p data-bbox="370 1150 448 1182"><i>Globo</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo en relación al CV. • Aplicación limitada para fluidos con partículas en suspensión • Diámetros hasta 24 pulgadas • Disponible en diversos modelos (simple y doble asiento, guiado en caja, etc.) • Existen tipos especiales para aplicaciones criogénicas, para vaporización, etc. • Rangeabilidad 35:1 a 50:1 • Amplia disponibilidad de características de flujo
<p data-bbox="347 1501 470 1533"><i>Mariposa</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena disponibilidad para grandes diámetros • Bajo costo en la versión estándar • Bajo costo en relación a Cv • Característica igual porcentaje salvo diseños especiales del plato • Susceptibles a cavitación y ruido • Baja pérdida de carga • Diámetros hasta 150 pulgadas • El cierre hermético requiere de recubrimientos especiales

<p><i>Esférica (ball)</i></p>  <p><i>Tapón (plug)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Característica igual porcentaje salvo que el obturador tenga una sección especial • Apta para el manejo de suspensiones muy viscosas o con fibras y sólidos • Requiere motores de gran tamaño • Precisan posicionadores • Deben ser extraídas de la línea para mantenimiento • Rangeabilidad típica de 50:1
<p><i>Saunders</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliamente usadas para el manejo de fluidos corrosivos o erosivos • Construcción simple • Cierre hermético y las partes móviles no tienen contacto con el fluido • Limitado rango para presiones y temperaturas de trabajo • Rangeabilidad entre 3:1 a 15:1

Fuente: Ensayo Control de procesos, Universidad FACET - UNT

Teóricamente el tipo de válvula debe adaptarse en función de las necesidades del proceso, aunque a veces hay razones, económicas por ejemplo, que obligan a usar otro tipo aunque éste no sea el más adecuado.

2.8 Controlador lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable (PLC) es un aparato digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como: lógica, secuencias, temporizado, conteo, aritmética, con el objeto de controlar máquinas y procesos. Aumenta la producción, ahorra costos en mantenimiento y aumenta la confiabilidad de los equipos.

El PLC es un “Sistema” porque contiene todo lo necesario para operar, “Industrial” por tener los requisitos necesarios para trabajar en ambientes hostiles, y “Control Automático” se refiere a la posibilidad de comparar las señales provenientes del equipo controlado con algunas reglas programadas con anterioridad para emitir señales de control y mantener la operación estable de dicho.

2.8.1 Historia del PLC.

El PLC (Control Lógico Programable) apareció con el propósito de eliminar el enorme costo que significaba el reemplazo de un sistema de control basado en relés (relays) a finales de los años 60. La empresa Bedford Associates (Bedford, MA) propuso un sistema al que llamó Modular Digital Controller o MODICON a una empresa fabricante de autos en los Estados Unidos.

El MODICON 084 fue el primer PLC producido comercialmente. Con este Sistema cuando la producción necesitaba variarse, entonces se variaba el sistema y este estaba listo para seguir trabajando.

En el sistema basado en relés, estos tenían un tiempo de vida limitado y se necesitaba un sistema de mantenimiento muy estricto. El alambrado de muchos relés en un sistema muy grande era muy complicado, si había una falla, la detección del error era muy tediosa y lenta. Este nuevo controlador (el PLC) tenía que ser fácilmente programable, su vida útil tenía que ser larga y ser resistente a ambientes difíciles.

Esto se logró con técnicas de programación conocidas y reemplazando los relés por elementos de estado sólido.



Fig. 2.32. El controlador lógico programable (PLC) vino a mejorar y aumentar los sistemas de producción de las empresas, pasando sus procesos del modo manual al modo automático.

2.8.2 Componentes de un PLC.

Un PLC se compone básicamente de las siguientes partes:

- **CPU o Unidad de Proceso Lógico:** En el caso del PLC reside en un circuito integrado denominado Microprocesador o Micro controlador, y es el encargado de controlar las operaciones del mismo. El CPU se especifica mediante el tiempo que requiere en procesar 1K de instrucciones, y por el número de operaciones diferentes que puede procesar, normalmente el primer valor va desde menos de un milisegundo a unas decenas de milisegundos, y el segundo de 40 a más de 200 operaciones diferentes.
Después de procesar las instrucciones, el PLC se comunica externamente, realiza funciones de mantenimiento, actualiza las salidas y por último lee las entradas. Con lo que el tiempo de proceso total, puede llegar a ser el doble del de ejecución del programa.
- **Memoria:** Es el lugar de residencia tanto del programa como de los datos que se van obteniendo durante la ejecución del programa. Existen dos tipos de memoria según su ubicación: la residente, que está junto o en el CPU y, la memoria exterior, que puede ser retirada por el usuario para su modificación o copia.
- **Procesador de comunicaciones:** Las comunicaciones del CPU se llevan a cabo por un circuito especializado con protocolos de tipo RS-232C, RS-485, Profibus, etc. según el fabricante y la sofisticación del PLC.
- **Entradas y salidas:** Para llevar a cabo la comparación necesaria en un control automático, es preciso que el PLC tenga comunicación al exterior. Esto se logra mediante una interface de entradas y salidas, el número de entradas y salidas va desde 6 en los PLC de tipo micro, a varios cientos en PLC modulares.
- **Tarjetas modulares inteligentes:** Existen para los PLC modulares, tarjetas con funciones específicas que relevan al microprocesador de las tareas que requieren gran velocidad o gran exactitud. Estas tarjetas se denominan inteligentes por contener un microprocesador dentro de ellas para su funcionamiento propio.
- **Fuente de poder:** Se requiere la fuente de voltaje para la operación de todos los componentes mencionados anteriormente, pudiendo ser externa o interna. Además, en el caso de una interrupción del suministro eléctrico, para mantener la información en la memoria volátil de tipo RAM, (hora, fecha y registros de contadores entre otros), se utiliza una fuente auxiliar, pudiendo ser esta una pila interna o una batería externa.
- **Elemento programador:** Es un dispositivo de uso eventual que se utiliza para programar el PLC, el dispositivo va desde un teclado con una pantalla de línea de caracteres hasta una computadora personal siempre y cuando sean compatibles los sistemas y los programas empleados

2.8.3 Ventajas y desventajas del controlador lógico programable.

Ventajas:

- Flexibilidad
- Implementación de cambios, corrección de errores
- Reducción de espacio físico, menos cableado
- Costo
- Ingeniería offline
- Prueba-simulación en laboratorio
- Visualización online
- Rápidos tiempos de scan
- Programación amigable
- Confiabilidad: Un PLC estándar tiene una tasa de falla aprox. de 0.16 fallas/año, mientras que un sistema triple redundante (tanto CPUs como módulos de entrada-salida) 0.003 fallas/año.
- Libre o nulo mantenimiento
- Documentación
- Seguridad (llave)

Desventajas:

- Capacitación en aplicaciones complejas
- Resistencia a los cambios.
- Aplicaciones con funciones fijas implementadas con PCs
- Ambientes muy agresivos
- Seguridad ante riesgo de vida humana, hardware externo, o redundancia.

2.8.4 Aplicaciones del PLC.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

Espacio reducido, procesos de producción cambiantes, procesos complejos y amplios, y que requieren de una programación centralizada de las partes del proceso.

Ejemplos de Aplicaciones del PLC

A) Maniobras de Máquinas

- Maquinaria industrial del mueble y la madera.
- Maquinaria en proceso de grava, arena y cemento.
- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinas-herramientas complejas.
- Maquinaria de ensamblaje.
- Maquinas de transferencia.

B) Maniobra de Instalaciones

- Instalaciones de aire acondicionado y calefacción.
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de almacenamiento y transporte.
- Instalaciones de plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria automotriz
- Instalación de tratamientos térmicos.
- Instalaciones de la industria azucarera.

C) Automóvil

- Cadenas de montaje, soldadura, cabinas de pintura, etc.
- Máquinas herramientas: Tornos, fresadoras, taladradoras, etc.

D) Plantas químicas y petroquímicas

- Control de procesos (dosificación, mezcla, pesaje, etc.).
- Baños electrolíticos, oleoductos, refinado, tratamiento de aguas residuales, etc.

E) Metalurgia

- Control de hornos, laminado, fundición, soldadura, forja, grúas,

F) Alimentación

- Envasado, empaquetado, embotellado, almacenaje, llenado de botellas, etc.

G) Papeleras y madereras

- Control de procesos, serradoras, producción de conglomerados y de laminados, etc.

H) Producción de energía

- Centrales eléctricas, turbinas, transporte de combustible, energía solar, etc.

I) Tráfico

- Regulación y control del tráfico, ferrocarriles, etc.

J) Instalaciones

- Iluminación, temperatura ambiente, sistemas anti robo, etc.

K) Fabricación de Neumáticos

- Control de calderas, sistemas de refrigeración, prensas que vulcanizan los neumáticos.
- Control de las máquinas para el armado de las cubiertas, extrusoras de goma.
- Control de las máquinas para mezclar goma.

Una última consideración importante en la aplicación de un PLC es el futuro crecimiento del sistema. Los PLC están diseñados modularmente y por lo tanto con posibilidades de poder expandirse para satisfacer las necesidades de la industria. Es importante que a la aplicación de un PLC se pueda considerar los beneficios de las futuras expansiones.

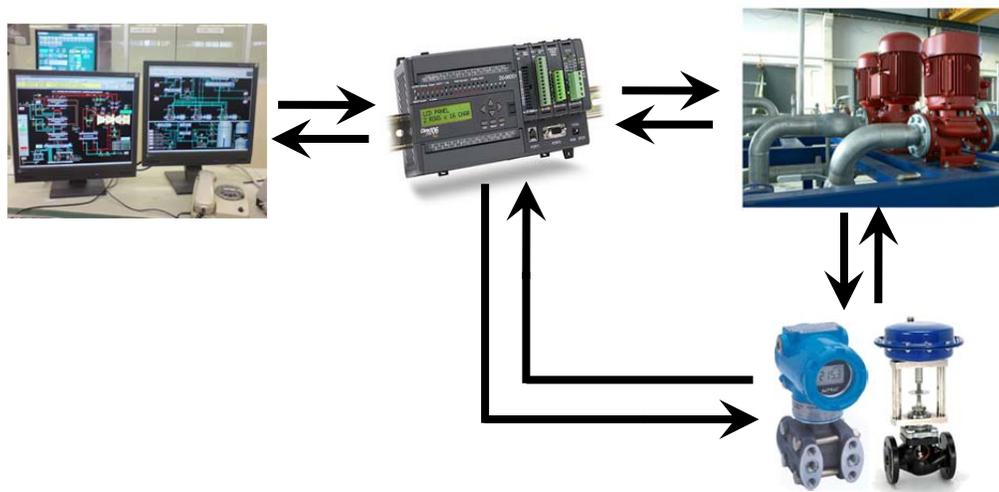


Fig. 2.33. La automatización de los procesos a través del controlador lógico programable (PLC) ha generado mejores resultados y ganancias para los sistemas de producción de las empresas.

2.9 HMI (Interfaz Hombre Maquina).

Las siglas HMI en su traducción al español significan interfaz hombre máquina. Los sistemas HMI podríamos concluir que son una ventana para la visualización y control del proceso. Esta visualización y control se realiza de dispositivos especiales como son una computadora, un panel view, un display, paneles de operación.

Las señales generadas en el proceso son dirigidas al HMI mediante dispositivos como tarjetas de entradas y salidas de una Computadora, un PLC (controlador lógico programable), RTU (unidades remotas de I/O), el variador de velocidad de un motor (como se muestra en la fig. 2.34), cabe mencionar que todos estos dispositivos deben tener un lenguaje de comunicación apropiado al HMI.

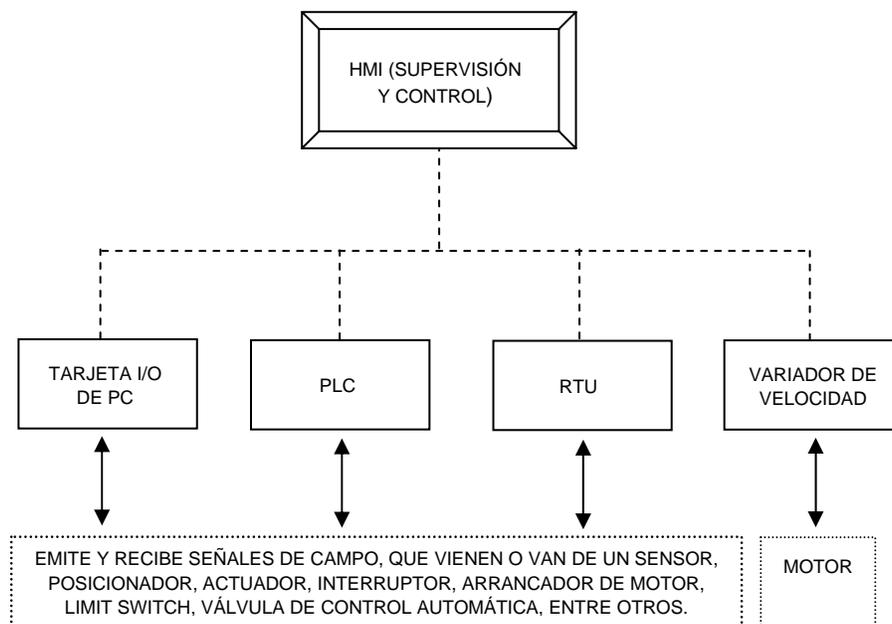


Fig. 2.34 Diagrama de bloques para supervisión y control de un HMI

2.9.1 Funciones de un HMI.

a) Monitoreo. Es la habilidad de obtener y mostrar todos los datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, textos gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

b) Supervisión. Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

c) Alarmas. Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.

d) Control. Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. El control desplaza la necesidad de la interacción humana. Como desventaja se puede mencionar que la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.

e) Históricos. Es la capacidad de mostrar y almacenar archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una herramienta para la optimización y corrección de procesos.



Fig. 2.35. PC y Panel View desempeñan la función de un HMI en un proceso de producción.

2.9.2 Tareas de Supervisión y Control de un HMI.

- Permitir una comunicación con dispositivos de campo.
- Actualizar una base de datos “dinámica” con las variables de proceso.
- Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados (mímicos)
- Permitir que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles on/off, ajustes continuos con el mouse o teclado.
- Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los límites normales.
- Almacenar los valores de las variables para análisis estadístico y/o control.
- Controlar en forma limitada ciertas variables de proceso.



Fig. 2.36. Desde el HMI se supervisa, controla y si es necesario se corrige el proceso de producción, despliega entre otras cosas las variables, etapas y condiciones del proceso.

2.9.3 Tipos de Software de Supervisión y Control para un HMI.

a) Lenguajes de programación visual como Visual C++ o Visual Basic. Se utilizan para desarrollar Software HMI a medida del usuario. Una vez generado el software el usuario no tiene posibilidad de re-programarlo.

b) Paquetes de desarrollo que están orientados a tareas de HMI. Pueden ser utilizados para desarrollar un HMI a medida del usuario y/o para ejecutar un HMI desarrollado para el usuario. El usuario podrá re-programarlo si tiene llave (software) como para hacerlo. Ejemplos son FIX Dynamics, Wonderware, PCIM, Factory Link, WinCC.

2.10 MATRIZ DE FUNCIONALIDAD.

En este punto realizaremos una sinopsis comparativa de los instrumentos y equipos que surgen como una opción, para integrar el sistema propuesto. Se analizarán cada una de sus ventajas y características y el más conveniente y adaptable al proceso, será el seleccionado.

2.10.1 Medición de presión

La medición y el control de presión son las variables de proceso más usadas en los distintos sectores de la industria donde se aplica control de procesos. Además, a través de la presión se puede inferir fácilmente una serie de otras variables, tales como, nivel, volumen, flujo y densidad.

Para la selección del instrumento indicador de presión, se toma en cuenta que la finalidad del proyecto es la reconfiguración y modernización de un proceso, es por eso que se busca el instrumento indicador de presión, que en la actualidad sea el más empleado en el control de un sistema automatizado, como lo es **el transmisor indicador de presión**.

Sabemos que un **manómetro indicador de presión** solo nos muestra una lectura local, siendo un equipo análogo, que no puede ser adaptado a un proceso automatizado.

Con **el transductor de presión**, la diferencia radica principalmente en la señal emitida o la amplificación de la señal. Un transductor emite señales sin amplificar como 2 mV o 10 mV, teniendo que pasar por un amplificador para poder lograr la comunicación con un controlador lógico programable (PLC), esto nos conlleva, a tener que incluir más equipo, más cableado, más mantenimiento, más costos, siendo una opción no tan viable para el proyecto.

El transmisor indicador de presión a diferencia de los dos instrumentos mencionados anteriormente, proporciona las características adecuadas como lo son una señal de control estandarizada, compatibilidad con controladores lógicos programables además de una indicación local y remota.

Debido a estas sencillas razones es por lo que el transmisor indicador de presión será el instrumento adecuado, para la medición de presión dentro del proyecto de automatización de la bomba centrífuga del laboratorio de ingeniería mecánica.



Fig. 2.37 Instrumentos como el transmisor de presión (a), el manómetro de indicación local (b) y el transductor de presión (c) son los instrumentos más empleados para la medición de presión en la industria.

2.10.2 Medición de flujo.

La medición de flujo constituye tal vez, la variable de medición industrial mas medida. Ninguna otra variable tiene la importancia de esta, ya que sin mediciones de flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y aún la operación de procesos continuos.

Un transmisor indicador de flujo PD (presión diferencial) es el ideal para mantener el control y monitoreo de un proceso automatizado, cuenta con señales estandarizadas para una adecuada comunicación con el controlador lógico programable y proporciona una indicación local y remota.

El rotámetro solo nos indica una lectura local y no es adaptable a un proceso automatizado.

El transmisor indicador de flujo ultrasónico mide la velocidad del flujo por la diferencia de velocidad del sonido al propagarse ésta en el sentido del flujo y en sentido contrario, es por eso que su principal desventaja es la precisión ya que presenta oscilación entre la emisión y recepción de la señal ultrasónica, además que no es recomendable para diámetros de tuberías pequeñas.

El transmisor indicador de flujo electromagnético se basa en la ley de Faraday la cual nos dice que al pasar un fluido conductivo por un campo magnético se produce una Fem (Fuerza electromotriz) directamente proporcional a la velocidad del fluido debido a esto podemos medir el caudal, es por esto que la principal desventaja es que el líquido cuyo caudal se mide, tiene que tener una razonable conductividad eléctrica, el cual no cumplen los líquidos orgánicos, otra desventaja de este instrumento es que la energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.

Caudalimetro de turbina emplea un elemento rotativo el cual gira en proporción a la velocidad del fluido que pasa a través del mismo, un detector magnético es usado para captar la velocidad del rotor, una de las principales desventajas es que el fluido deber ser totalmente limpio el cual no cause una obstrucción de la turbina, y con un flujo turbulento puede llegar a dañarse la turbina, requiere inspección y mantenimiento constante en operaciones continuas, la partes internas están sujetas a corrosión, si el fluido es de antemano sucio necesita filtrado antes del medidor.

Medidor de flujo de tubo Venturi su principio de operación es mediante la diferencia de presiones, la principal desventaja es el tamaño, ya que su adaptación al proceso consideraría varias modificaciones en obra mecánica, además de ser la instalación de tubería de dimensión corta, la cual no cumple con las condiciones para el correcto funcionamiento de este instrumento.

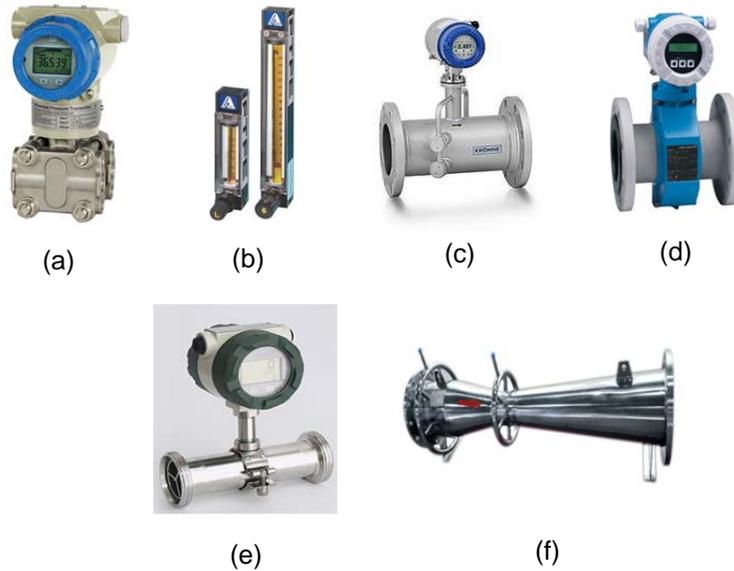


Fig. 2.38. Se muestran los tipos de instrumentos más comunes para la medición de flujo en la industria (a) transmisor indicador de flujo PD (b) rotámetro (c) transmisor indicador de flujo ultrasónico (d) caudalímetro electromagnético (e) caudalímetro de turbina (f) medidor de flujo tubo venturi.

2.10.3 Control de flujo.

Para la selección de la válvula de control de flujo, hay que tomar cuenta, su adaptación al control de proceso automatizado propuesto, mostrar compatibilidad en tipo de señal con el controlador lógico programable, versatilidad y ergonomía con la instalación de tuberías y servicios existentes.

La válvula de control con actuador hidráulico. Las válvulas de control hidráulico son opción cuando necesitamos controlar o regular casi cualquier variable en una línea de agua.

Ofrecen mediante la combinación de un cuerpo de válvula estándar más diferentes pilotos la versatilidad más alta para los controles más precisos.

Podemos dividir las mismas en dos grandes series: las de cámara única y las de cámara doble, siendo las más usadas en aplicaciones complejas y grandes diámetros las de cámara doble. Debido a ser válvulas de regulación local las descartaremos como opción para incluirla en el proyecto.

La válvula de control de flujo neumática. Es una válvula la cual utiliza la presión de aire comprimido para ejercer la acción sobre el actuador el cual permite el paso o restricción del fluido, los elementos fundamentales para el funcionamiento de esta válvula son aire comprimido generado por un compresor, líneas o mangueras neumáticas para conducción del aire comprimido del compresor a la válvula, filtros de aire, electroválvulas, conectores, posicionadores entre otros accesorios, esto hace más numeroso el número de elementos para esta acción de control, más complejo por el número de conexiones y accesorios a utilizar y por consiguiente aumenta costos y mantenimiento.

La válvula de control con actuador eléctrico, se considera que es la válvula propuesta adecuada para este proyecto de automatización, ya que su actuador trabaja con corriente eléctrica, evitando el servicio de un compresor para generación de aire comprimido, instalación y mantenimiento de líneas de conducción, filtros y accesorios entre otros, los cuales son indispensables para **la válvula de control de flujo neumática**.

Además **la válvula de control con actuador eléctrico** cumple con otros factores, como el torque de apertura-cierre ante la presión predominante del sistema, el tamaño, evita menos conexiones que las que presentaría una **válvula de control de flujo neumática**, al ser únicamente las líneas alimentación de corriente eléctrica las indispensables para manipulación del actuador. Además muestra compatibilidad para trabajar con el controlador lógico programable propuesto.



Fig. 2.39. Ejemplo típico de una válvula de control con actuador neumático (a) y una válvula de control con actuador eléctrico (b), comúnmente utilizadas en la industria.

Características y ventajas de la válvula con actuador eléctrico en comparación con la válvula de control con actuador neumático.

- Incorpora más opciones de serie (finales de carrera, no requiere electroválvula, mando manual).
- No requiere de instalación de aire comprimido (sólo electricidad).
- Facilidad de instalación.
- Especialmente indicado cuando se requieran uno o pocos actuadores.
- Sistemas modulares. En caso de requerir posicionador quedará incorporado en su interior, sin necesidad de otros elementos que ocupen espacio.
- Tiempo de maniobra medio/alto (mínimo 7-8 s), eficaz para evitar los golpes de ariete.
- Posibilidad de incorporar bloque de seguridad (BSR) con baterías para la máxima seguridad.
- Ofrece un par constante.
- Menor peso / dimensiones.
- No requiere de presión mínima como las electroválvulas (aire).

Desventajas.

- Tiempos de maniobra poco más largo que la neumática.
- No apropiado para ambientes con posibilidad de explosiones, muy húmedos o salinos.
- Ciclo de vida menor.

Características y ventajas de la válvula con actuador neumático en comparación con la válvula de control con actuador eléctrico.

- Bajo tiempo de maniobra (para aquellas aplicaciones que así lo requieran). En cualquier caso el tiempo de maniobra es regulable a través de los reguladores de escape incorporados en la electroválvula.
- Permite obtener la máxima seguridad contra posibles fallos de suministro (aire o electricidad) gracias al retorno por muelle (Simple Efecto o Failsafe).
- Adecuado para ambientes con posibilidad de explosiones.
- Indicado para instalaciones con muchos actuadores.
- Ciclo de vida mayor al de la actuación eléctrica.

Desventajas.

- Requiere del suministro de aire comprimido (compresor, etc.). También de línea eléctrica para alimentar la electroválvula.
- En exteriores se necesita de transmisión de gran potencia para hacer llegar el aire comprimido a su objetivo. Cuando el actuador esté muy alejado se tendrá dificultad para hacerle llegar el aire.
- Requiere de accesorios adicionales: electroválvula, switch final de carrera, etc.
- La constancia en el par (y por lo tanto el tiempo de maniobra) depende de la presión de aire y por lo tanto del correcto funcionamiento de la instalación de aire comprimido (ejemplo: las válvulas cercanas tienen presión, pero las más lejanas no tienen presión suficiente, para lo cual se necesitaría realizar un diseño adecuado).

2.10.4 Control programable.

Relevador lógico programable (PLR).

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Ahora en día los relés lógicos programables (PLR) se han vuelto más comunes y aceptados. Estos son muy similares al PLC, y se utilizan en la industria ligera, donde sólo unos pocos puntos de entrada/salida (es decir, unas pocas señales que llegan desde el mundo real y algunas que salen) están involucrados, y el bajo costo es deseado.

Estos pequeños dispositivos se hacen típicamente en un tamaño físico y forma común por varios fabricantes, y con la marca de los fabricantes más grandes de PLC para completar su gama baja de producto final.

Características principales del relevador lógico programable:

- *Incluyen una pantalla LCD para visualización (sólo una porción muy pequeña del programa está visible en un momento dado).*
- *Conexión a través de RS-232 o RS-485.*
- *Son generalmente modulares y ampliables en gran medida, por lo general los PLR no son modulares o expansibles.*
- *Precio menor al del PLC.*
- *La mayoría de ellos tienen entre 8 y 12 entradas digitales, 4 y 8 salidas discretas, y hasta 2 entradas analógicas.*
- *El tamaño es por lo general alrededor de 10 cm de ancho y 7,5 cm de alto y 7,5 cm de profundidad.*
- *Tamaño compacto.*
- *Automatización flexible*
- *Fácil configuración y reducción del tiempo de cableado.*

Controlador Lógico Programable (PLC).

El PLC es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos. Es importante conocer sus generalidades y lo que un PLC puede hacer por un proceso, pues se podría estar gastando mucho dinero en mantenimiento y reparaciones, cuando estos equipos solucionan el problema y se pagan solos.

Como funciones básicas y más regularmente empleadas de un PLC encontramos:

Detección. El PLC detecta señales del proceso de diferentes tipos.

Mando. Elabora y envía acciones al sistema según el programa que tenga.

Dialogo hombre máquina. Recibe configuraciones y da reportes al operador de producción o supervisores.

Programación. El programa que utiliza permite modificarlo, incluso por el operador, cuando se encuentra autorizado.

Por todo esto es evidente, que por medio de la implementación de un sistema de control PLC es posible hacer automático prácticamente cualquier proceso, mejorar la eficiencia y confiabilidad de la maquinaria, y lo más importante bajar los costos.

Características y ventajas del PLC en comparación con el Relevador programable.

El PLC es un sistema de microprocesadores, en otras palabras una computadora de tipo industrial. Tiene una unidad central de procesamiento mejor conocido como CPU, interfaces de comunicación, puertos de salida y entrada de tipo digital o análogo, etc.

Un PLC es un dispositivo complejo y programable, ya que integra:

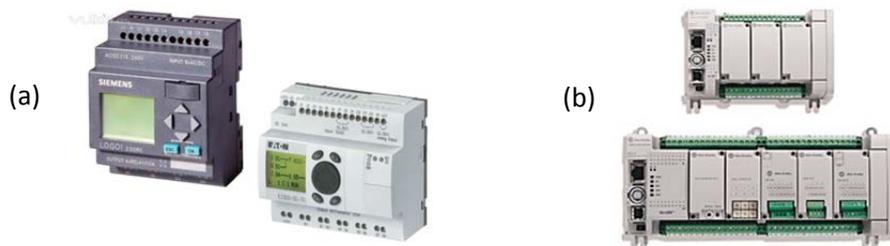
- *Módulos de entrada y salida de datos.*
- *Memoria interna volátil y no volátil.*
- *Controles para memoria externa.*
- *CPU con su procesador.*
- *Temporizadores.*

En cambio, un **relé programable** no interactúa con la planta recogiendo datos de la misma, se limita a realizar las operaciones básicas de apertura y cierre de contactos.

Hablar sobre las ventajas que ofrece un PLC sobre un relé lógico programable es un tema bastante extenso, aquí describimos las ventajas más importantes:

- *Ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, principalmente por su variedad de modelos existentes.*
- *Menor tiempo empleado en su elaboración.*
- *Podrás realizar modificaciones sin cambiar cableado.*
- *La lista de materiales es muy reducida.*
- *Mínimo espacio de aplicación.*
- *Menor costo.*
- *Mantenimiento económico por tiempos de paro reducidos.*

Un PLC se suele integrar de varios módulos que se pueden intercambiar, y que se comunican entre sí mediante protocolos industriales estándar, como el RS-232, Ethernet o Modbus. Se puede programar mediante lenguajes de segundo nivel, como el SCADA.



2.40. Autómatas programables más comunes en la industria. (a) Relevador lógico programable (PLR). (b) Controlador lógico programable (PLC).

2.10.5 Interfaz Hombre-Máquina (HMI).

En un proceso automatizado la visualización juega un papel muy importante ya que representa la retroalimentación entre hombre-máquina, es indispensable realizar la selección de un buen HMI, que sea dinámico, rápido y sencillo de manipular para realizar las variantes, correcciones y visualizaciones correspondientes al proceso.

Características y ventajas del Panel View en comparación con una PC.

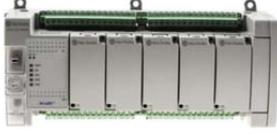
- *El espacio ocupado por el Panel View es menor al de una PC, ideal para espacios reducidos.*
- *Menos volumen de cableado en comparación a una PC.*
- *Compacto y ligero.*
- *Pantalla touch screen.*
- *Puesta en servicio sencilla, mantenimiento rápido.*
- *Pantalla brillante en formato panorámico.*
- *Diagnóstico de sistema integrado.*
- *Carga de proyectos al HMI vía PROFINET / Ethernet o USB.*
- *Más opciones de conexión en comparación con una PC.*
- *E/S digitales integradas.*
- *Flexible para el uso en exteriores.*
- *Adaptable a interfaz PROFINET y PROFIBUS.*
- *En caso de un corte de corriente almacenan de manera intermedia suficiente energía para poder finalizar correctamente el proceso.*
- *Alta frecuencia de refresco de imagen.*
- *Gran versatilidad con los controladores lógicos programables.*
- *Reconocimiento intuitivo del estado.*
- *Idóneos para entornos rudos.*



Fig. 2.41. El interfaz hombre-máquina (HMI) en una planta o proceso, puede ser mediante una PC o Panel View.

2.10.6 Tabla matriz de funcionalidad

Tabla 2.3. Matriz de funcionalidad entre las diferentes gamas de instrumentos y equipos que tenemos como opción para ser seleccionados.

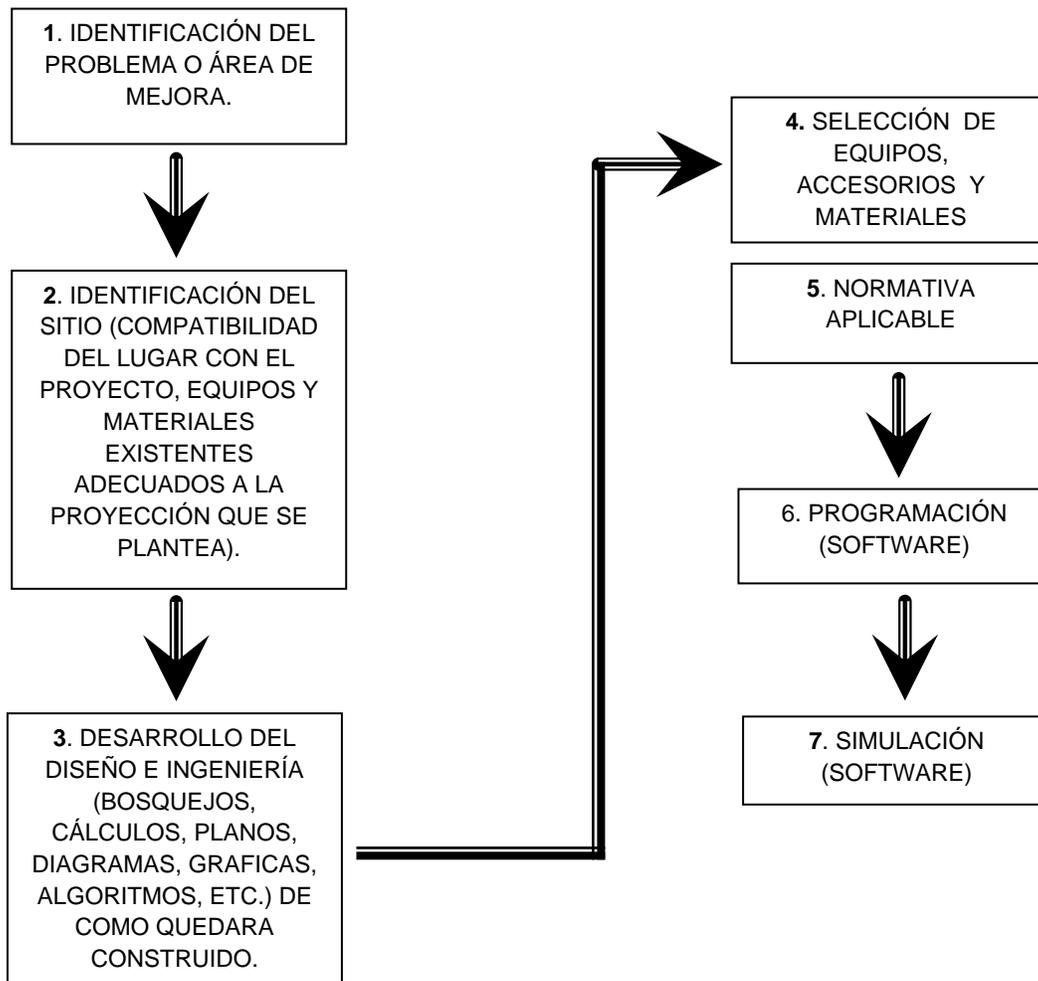
TABLA MATRIZ DE FUNCIONALIDAD						
Función	Elementos					
Medición de presión	 <p>Manómetro indicador de presión de local.</p>		 <p>Transmisor indicador de presión.</p>		 <p>Transductor de presión.</p>	
Medición de flujo	 <p>Rotámetro</p>	 <p>Medidor de flujo tipo turbina</p>	 <p>Transmisor indicador de flujo por presión diferencial.</p>	 <p>Transmisor indicador de flujo ultrasónico.</p>	 <p>Transmisor indicador de flujo electromag.</p>	 <p>Medidor de flujo tipo Venturi.</p>
Válvula de control de flujo	 <p>Válvula de control de flujo con actuador neumático</p>		 <p>Válvula de control de flujo con actuador eléctrico</p>		 <p>Válvula de control con actuador hidráulico</p>	
Controlador lógico	 <p>Controlador lógico programable (PLC)</p>			 <p>Relevador lógico programable</p>		
HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	 <p>Panel View</p>			 <p>Computadora Personal</p>		

Fuente: Figuras tomadas de Catalogos de proveedor, Rosemount, Allen Bradley, Siemens.

CAPITULO 3. METODOLOGIA.

Para la realización del proyecto del control automático de la bomba centrífuga del laboratorio de Ingeniería Mecánica del ITCM, tomaremos en cuenta las etapas e interrogantes fundamentales las cuales nos guiarán para conseguir el objetivo trazado de las cuales se deducen las siguientes.

Etapas fundamentales del proyecto.



3.1. Identificación del problema o área de mejora.

El cuarto de bombas del laboratorio de Ingeniería Mecánica, data de equipos e instalaciones de aproximadamente 30 años de haber sido instalados, por consiguiente cuenta con equipos, elementos y materiales, no de actualidad, y dado que la finalidad de esta instalación es instruir al alumnado de Ingeniería con prácticas de laboratorio semejantes a lo que presenta la industria actualmente, se plantea un rediseño de las instalaciones.

Empezaremos por la bomba centrífuga que es el equipo más utilizado para prácticas dentro del cuarto de bombas del laboratorio, por consiguiente se plantea una reconfiguración que involucra equipo eléctrico e instrumentos de monitoreo y control para su automatización, y así asemejar a la industria actual.



Fig. 3.1. Fotografías actuales de la instalación de la bomba centrífuga del cuarto de bombas del ITCM.

3.2 Identificación y reconocimiento del sitio.

En esta etapa verificaremos las condiciones actuales del sitio, se realizará un levantamiento de equipos y elementos existentes (eléctricos, mecánicos, instrumentos, etc.). De aquí se partirá para concluir que elementos permanecerán en el proyecto, y cuáles serán retirados debido a ser ya obsoletos e/o inoperantes para el rediseño propuesto, se verificarán espacios, dimensionamientos, condiciones físicas y de operación de los equipos, condiciones ambientales, el suministro eléctrico principal, tuberías (diámetros, cedula), además si hay compatibilidad de los elementos e instrumentos propuestos con la instalación actual.

3.3 Desarrollo del Diseño e Ingeniería.

Aquí se desarrolla la ingeniería y diseño del proyecto, incluye la documentación necesaria como podrían ser diagramas, planos, bosquejos, detalles de instalación, graficas, cálculos, dimensionamientos, normas, códigos de referencia, y todo aquello que sea necesario para la representación clara del mismo.

Todos las características estrictamente necesarias de los equipos, instrumentos, elementos y accesorios serán representados aquí, de una manera clara y concisa. La documentación no deberá dar pie a dudas sobre detalles de instalación, medidas, capacidades, descripción e identificación de cada uno de los elementos involucrados. Este con la finalidad de que el personal técnico tenga todas las bases correctamente descritas para llevar a cabo su instalación.

Requerimientos de Mano de obra.

Personal calificado llevará a cabo las actividades principales para la desinstalación e instalación de los elementos, de las diferentes ramas que comprende el proyecto. Las responsabilidades, actividades y conocimientos básicos que deberá cumplir cada uno de los técnicos serán las siguientes.

Técnico Eléctrico. Desinstalación de equipo eléctrico, cableado de potencia, instalación de gabinetes eléctricos, actividades de tablerista, montaje e instalación de tubería conduit o similar con soportería, manejo de equipo de medición, lectura de planos y diagramas, y conocimiento de normativas.

Técnico Electrónico / Instrumentista. Calibración y ajuste de Instrumentos de control, cableado de instrumentos, actividades de tablerista, montaje e instalación de tubería conduit o similar con soportería, montaje e instalación física de componentes eléctricos y electrónicos, lectura de planos y diagramas, conocimiento de normativas.

Técnico Mecánico. Pailería y soldadura calificada, Mecánica de piso, lectura de planos, conocimiento de normativas.

Programador. Realizar la arquitectura, el programa y la simulación del control del proceso, conocimientos de automatización, pruebas, arranque y puesta en marcha del proceso automatizado, ajuste de instrumentos de control, manejo de equipos de medición.

3.4 Selección de Equipos, Instrumentos, Accesorios y Materiales.

Para este apartado debe consultarse catálogos de proveedores, páginas de fabricantes en internet, visitas a sucursales, asesoramiento técnico de fabricantes y proveedores y cálculos para selección adecuada de los nuevos elementos que se incorporaran al proceso. Debe evaluarse por lo menos tres propuestas diferentes por cada elemento a adquirir, entre las características principales a evaluar deben estar, la calidad del producto, que las características y capacidades sean totalmente adecuadas al proyecto, el precio, su vida útil, costos de mantenimiento, grado complejidad para su instalación.

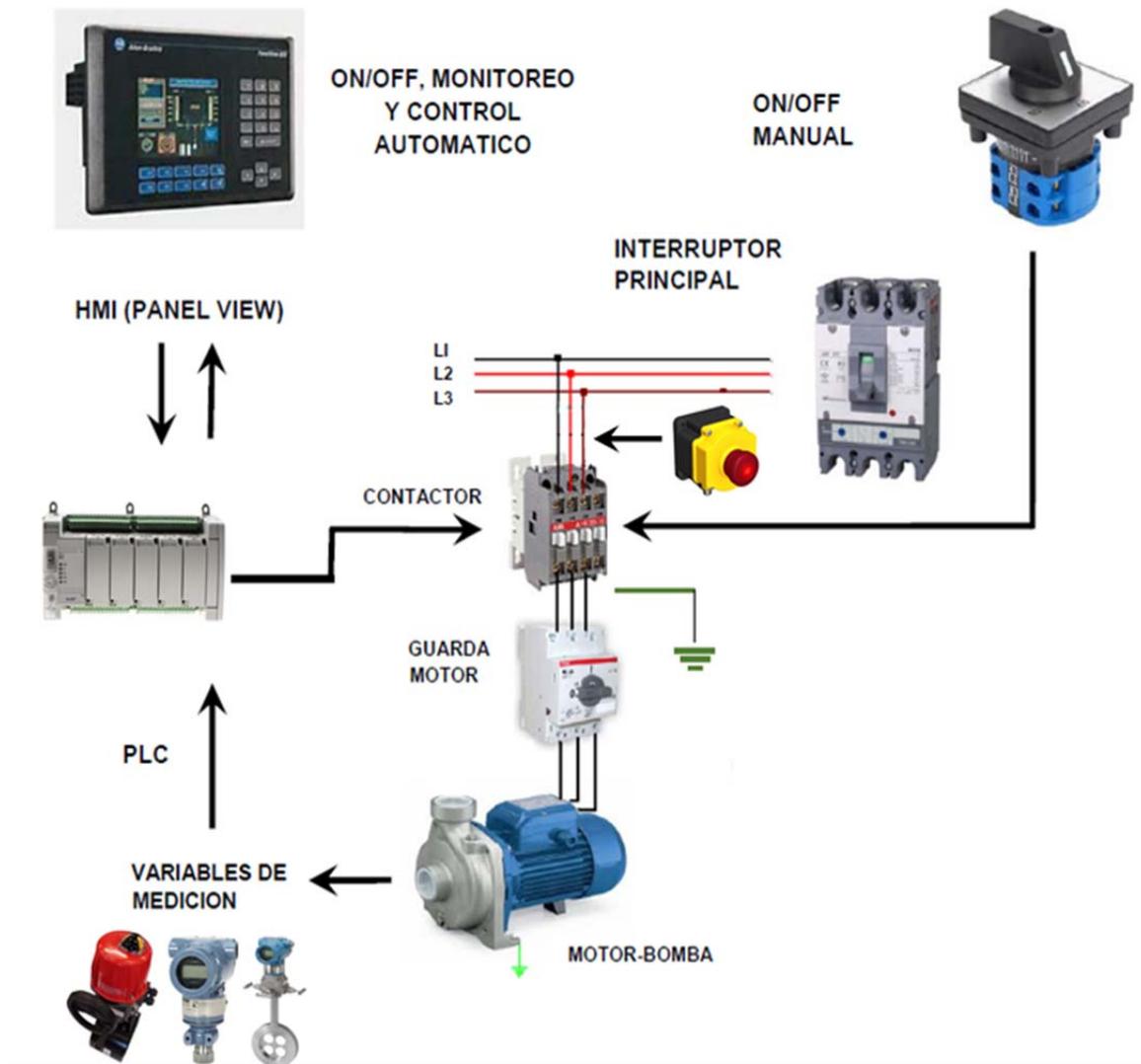


Fig. 3.2. Diagrama de los elementos propuestos para conformar la automatización de la bomba centrífuga.

3.5 Normativa y Códigos Aplicables.

La estandarización mediante normas y códigos es fundamental en la industria ya que esto nos lleva a una regulación y seguridad en los procesos. Debido que la finalidad del proyecto es semejar, la actualidad de la industria, debemos considerar las normas y códigos aplicables para su implementación, de las cuales podríamos resaltar las siguientes.

Obra en Instalaciones Eléctricas.

Involucra la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 (Instalaciones eléctricas), NOM.-021-028-029-STPS (Seguridad en Instalaciones Eléctricas), Código Internacional IEEE (Eléctrica - Electrónica), NEMA (Gabinetes de Control y Fuerza).

Instrumentación y Control.

Involucra a los códigos internacionales, ISA (Instrumentos de Medición y Automatización), IEEE (Eléctrica - Electrónica) , NEMA (Asociación de Fabricantes Eléctricos).

Obra Mecánica.

Involucra al Código ASME (Soldadura, Tubería, Equipo de bombeo), ASTM (Tecnología de los Materiales).

3.6 Programación.

En esta etapa se realiza la búsqueda y selección del software del programa conveniente para integrarlo al PLC y la arquitectura desplegada en el HMI, mediante el cual se ejecutarán las acciones de monitoreo y control sobre los elementos del sistema, en la ejecución del programa habrá que tomar en cuenta los instrumentos seleccionados, acciones, señales y tipo de control.

La selección debe hacerse para satisfacer los objetivos y operaciones. El programa debe tener en claro los siguientes objetivos:

- Exactitud
- Claridad
- Eficiencia

3.7 Simulación.

La simulación de procesos es una de las más grandes herramientas de la ingeniería industrial, la cual se utiliza para representar un proceso mediante un software que lo hace mucho más simple e entendible.

Es así, que conforme a la programación establecida, se selecciona un software, cual simulara las acciones de control para el proceso, desplegara los elementos en pantalla y podemos simular las diferentes acciones que podemos ejecutar en este.

La simulación hará la representación del proceso, permite analizar sus características, inclusive cambiar elementos, señales, parámetros entre otros.

CAPITULO 4. MODELO ANALÍTICO, DISEÑO Y SIMULACIÓN.

4.1 Selección de equipos e instrumentos de medición.

A continuación se muestran los datos técnicos de los equipos e instrumentos que fueron seleccionados para realizar la medición de variables, monitoreo y control dentro del proyecto implementado.

Estas hojas de datos describen cada una de las características de cada equipo e instrumento, los cuales han sido evaluados, analizados y aprobados, para determinar que estos son los adecuados para cubrir las funciones específicas del proceso.

Cabe mencionar que los parámetros principales a evaluar para la selección de estos equipos e instrumentos son:

- Señal de comunicación.
- Compatibilidad con el PLC Allen Bradley Serie Micro 850.
- Rendimiento.
- Precisión y/o Exactitud.
- Rango a medir.
- Tipo (electrónico, digital, inteligente, elemento sensor, presión manométrica o diferencial, lectura local, entre otros).
- Material de construcción.
- Temperatura ambiente.
- Protocolo de comunicación.
- Voltaje de alimentación.
- Precio.
- Par torsional.

Recomendaciones para Instalación y puesta en operación.

Debe consultarse obligatoriamente el manual de instalación, operación y mantenimiento (se anexan por separado a esta investigación) esto para poder llevar a cabo una instalación adecuada y eficiente, y no tener problemas de garantías o fallas en la instalación u operación, y obtener el mayor rendimiento de los instrumentos.

De acuerdo al modelo del instrumento, en el manual y la guía establecida por el fabricante, se debe seguir paso a paso las especificaciones para casos de instalación, operación, y mantenimiento, considerar que la mano de obra, debe ser por un instrumentista especializado con los conocimientos descritos en la capítulo 3.3 de la metodología.

Entre las principales características a considerar en la instalación de instrumentos y equipos destacan:

- Voltaje de alimentación.
- Calibre del cable de voltaje de alimentación
- Calibre del cable de comunicación.
- Cable de conexión a tierra.
- Soporte de montaje (dimensiones).
- Cableado, tubería para cableado y soportería de la tubería.
- Tubería y diámetros de conexión a proceso.
- Compatibilidad con entradas y salidas del PLC.

4.1.1 Hoja de datos técnica del transmisor indicador de presión.

Transmisor de presión Rosemount 3051T In-Line



Fig. 4.1 Transmisor de presión 3051t In-Line.

Los transmisores de presión Rosemount 3051T In-Line proporcionan una medición fiable de presión absoluta y manométrica con un diseño compacto. Seleccione a partir de las siguientes capacidades para una integración sin problemas:

- Rendimiento con una precisión de hasta el 0,04%
- Soluciones que emplean manifolds y sellos
- Protocolos HART de 4-20 mA, HART de 1-5 Vcc de baja potencia, fieldbus Foundation y Profibus PA
- Amplitudes/rangos calibrados entre 10,3 mbar y 689 bar (0,3 a 10.000 psi)
- Aislantes de proceso de acero inoxidable 316 y aleación C-276

A) Información técnica del Transmisor de presión 3051T In-Line.

Tabla 4.1. Datos técnicos del transmisor de presión Rosemount modelo 3051T.

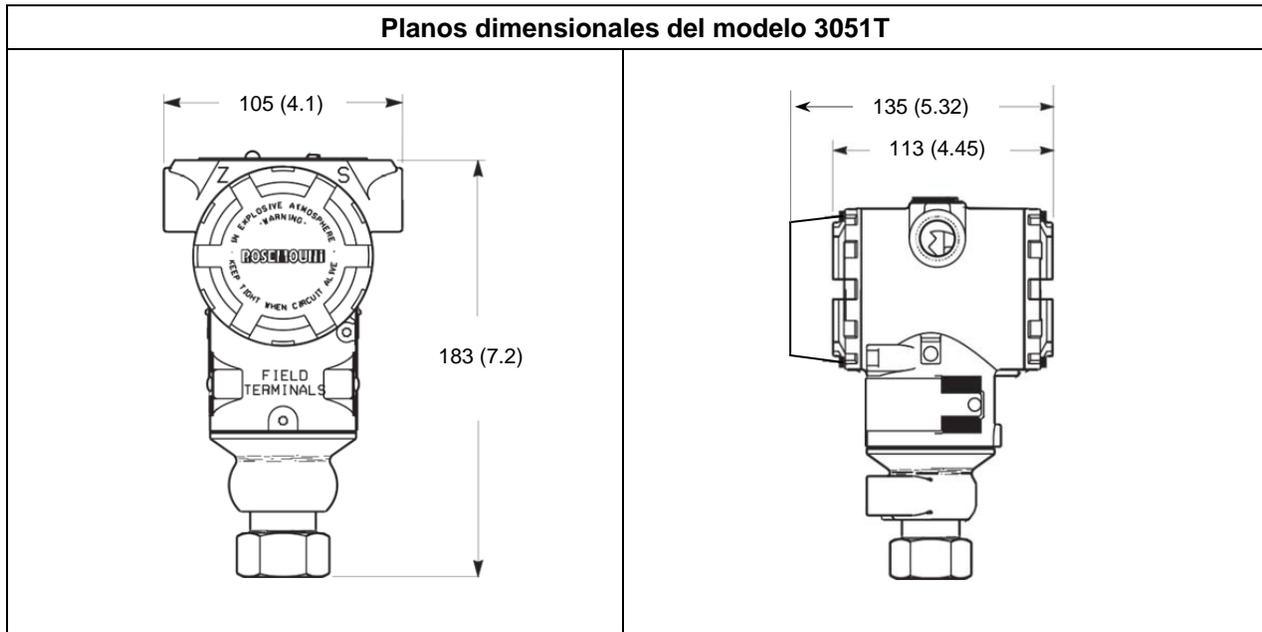
Modelo	Tipo de transmisor		
3051T	Transmisor de presión In-Line		
Tipo de presión			
Estándar			Estándar
G	Manométrica		★
A	Absoluta		★
Rango de presiones			
	3051TG⁽¹⁾	3051TA	
Estándar			Estándar
1	-1,0 a 2,1 bar (-14,7 a 30 psi)	0 a 2,1 bar (0 a 30 psia)	★
2	-1,0 a 10,3 bar (-14,7 a 150 psi)	0 a 10,3 bar (0 a 150 psia)	★
3	-1,0 a 55 bar (-14,7 a 800 psi)	0 a 55 bar (0 a 800 psia)	★
4	-1,0 a 276 bar (-14,7 a 4000 psi)	0 a 276 bar (0 a 4000 psia)	★
5	-1,0 a 689 bar (-14,7 a 10000 psi)	0 a 689 bar (0 a 10000 psia)	★
Salida del transmisor			
Estándar			Estándar
A	De 4 a 20 mA con señal digital basada en el protocolo HART		★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION		★
W ⁽²⁾	Protocolo Profibus PA		★
Ampliado			
M	Baja potencia, 1–5 Vcc con señal digital basada en el protocolo HART		
Estilo de conexión de proceso			
Estándar			Estándar
2B	¹ / ₂ –14 NPT hembra		★

2C	Macho G½ A DIN 16288 (disponible en acero inoxidable solo para el rango 1–4)	★
Ampliado		
2F	Con cono y rosca, compatible con autoclave tipo F-250-C (solo rango 5)	
61	Brida para instrumentos sin rosca (rango 1-4 solamente)	
K7 ⁽⁵⁾	Incombustible, a prueba de polvos combustibles, seguridad intrínseca y tipo n según IECEx (combinación de I7, N7 y E7)	★
K8 ⁽⁵⁾	Incombustible, seguridad intrínseca, tipo n y polvo (combinación de E8, I1 y N1), según ATEX	★
KB	Anti deflagrante, a prueba de polvos combustibles, intrínsecamente seguro y división 2 (combinación de K5 y C6), según FM y CSA	★
KD ⁽⁵⁾	Anti deflagrante e intrínsecamente seguro según FM, CSA y ATEX (combinación de K5, C6, I1 y E8)	★
N1 ⁽⁵⁾	Certificación tipo n y a prueba de polvo según ATEX	★
N3	Tipo n, según China	★
N7 ⁽⁵⁾	Certificación tipo n, según IECEx	★
Aprobación de agua potable		
Estándar		Estándar
DW ⁽⁶⁾	Aprobación para agua potable según NSF	★
Aprobaciones para instalación a bordo de una embarcación		
Estándar		Estándar
SBS	American Bureau of Shipping	★
Transferencia de custodia		
Estándar		Estándar
C5	Aprobación canadiense de precisión en medición (<i>disponibilidad limitada dependiendo del rango y tipo de transmisor. Contactar con un representante de Emerson Process Management</i>)	★
Certificación de calibración		
Estándar		Estándar
Q4	Certificado de calibración	★
QG	Certificado de calibración y certificado de verificación GOST	★
QP	Certificación de calibración y sello revelador de alteraciones	★
Certificado de trazabilidad del material		
Estándar		Estándar
Q8	Certificación de trazabilidad del material según EN 10204 3.1.B	★
Certificación de calidad para seguridad		
Estándar		Estándar
QS ⁽⁷⁾	Certificado de uso previo de datos FMEDA	★
Ajustes del cero y de la amplitud		
Estándar		Estándar
J1 ⁽⁸⁾⁽⁹⁾	Ajuste local de cero solamente	★
J3 ⁽⁸⁾⁽⁹⁾	Sin ajuste local de cero o amplitud	★
Ampliado		
D1	Ajustes del hardware (cero, amplitud, alarma, seguridad)	
Opciones de pantalla e interfaz		
Estándar		Estándar
M4 ⁽¹⁰⁾	Pantalla LCD con interfaz de operador local	★
M5	Pantalla LCD	★
M6	Pantalla LCD para carcasa de acero inoxidable (solamente códigos de carcasa J, K, L y M)	★
Tapón de conducto		
Estándar		Estándar
DO ⁽¹¹⁾	Tapón de conducto de acero inoxidable 316	★
Bloque de terminales de protección contra transitorios		
Estándar		Estándar
T1 ⁽¹²⁾	Bloque de terminales para protección contra transitorios	★
Configuración del software		
Estándar		Estándar

C1 ⁽⁸⁾	Configuración personalizada del software (se requiere un CDS 00806-0100-4001 completo con el pedido)	★
Ampliado		
C2 ⁽⁸⁾	Salida de 0,8 - 3,2 VCC con señal digital basada en el protocolo HART (solo código de salida M)	
Límite de alarma		
Estándar		Estándar
C4 ⁽⁸⁾⁽¹³⁾	Los niveles de salida analógica cumplen con la recomendación NAMUR NE 43, alarma de valor alto	★
CN ⁽⁸⁾⁽¹³⁾	Los niveles de salida analógica cumplen con la recomendación NAMUR NE 43, alarma de valor bajo	★
Prueba de presión		
Ampliado		
P1	Prueba hidrostática con certificado	
Limpieza de la zona de proceso⁽¹⁴⁾		
Ampliada		
P2	Limpieza para servicio especial	
P3	Limpieza para < 1 ppm de cloro/flúor	
Rendimiento		
Estándar		Estándar
P8 ⁽¹⁵⁾	Opción de alto rendimiento	★
Tornillo para conexión a tierra		
Estándar		Estándar
V5 ⁽¹⁶⁾	Conjunto de tornillos externos de conexión a tierra	★
Acabado de superficie		
Estándar		Estándar
Q16	Certificación de acabado superficial para sellos sanitarios remotos	★
Informes de eficacia total del sistema con el Juego de herramientas (Toolkit)		
Estándar		Estándar
QZ	Informe del cálculo de la eficacia del sistema de sellos remotos	★
Conector eléctrico del conducto		
Estándar		Estándar
GE	Conector macho M12 de 4 clavijas (eurofast [®])	★
GM	Miniconector macho, 4 clavijas (minifast [®])	★
Número de modelo típico:	3051T G 5 F 2A 2 1 A B4	

Fuente: Catalogo de transmisores Rosemount modelo 3051.

B) Dimensiones y montaje típico del transmisor Rosemount 3051T.



- A) Para transmisores fieldbus Foundation y Profibus PA con pantalla LCD, la longitud de la carcasa es 146 mm (5,78 pulg.).
 B) Dimensiones en milímetros (pulgadas) del transmisor Rosemount 3051T.

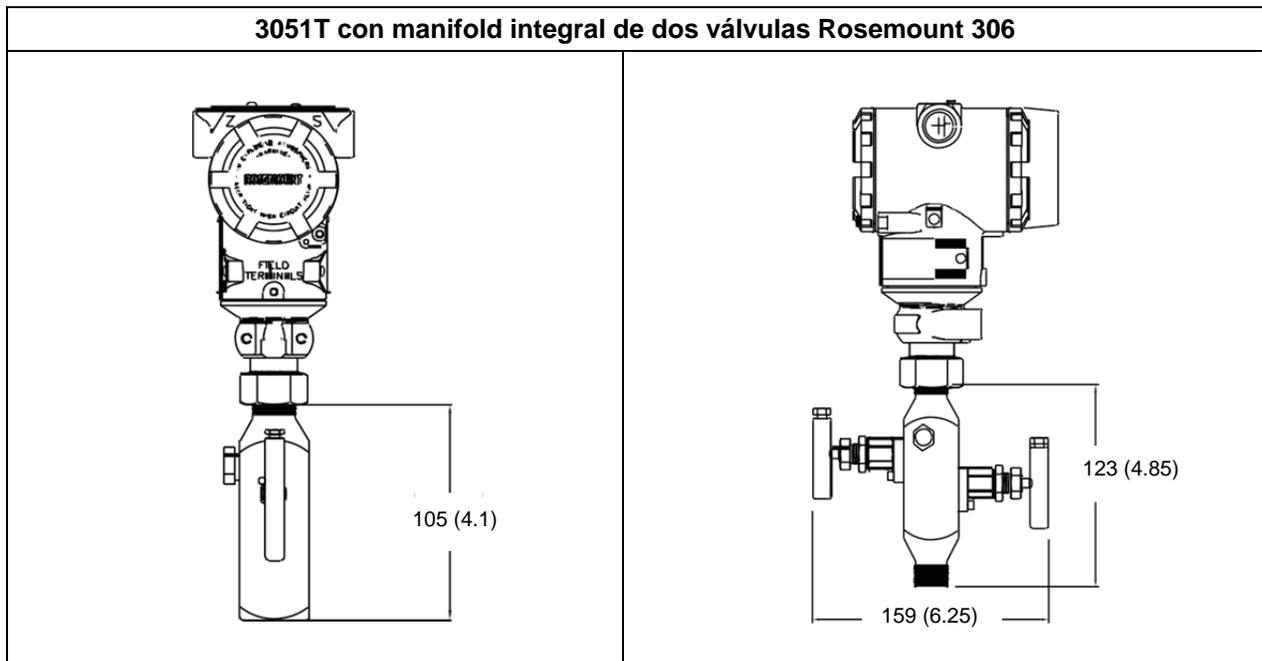


Fig. 4.2 Dimensiones del transmisor Rosemount Modelo 3051T.

C) Diagrama de conexiones para cableado de alimentación / comunicación del transmisor indicador de presión Rosemount 3051T.

Diagrama de cableado para HART 4-20 ma.

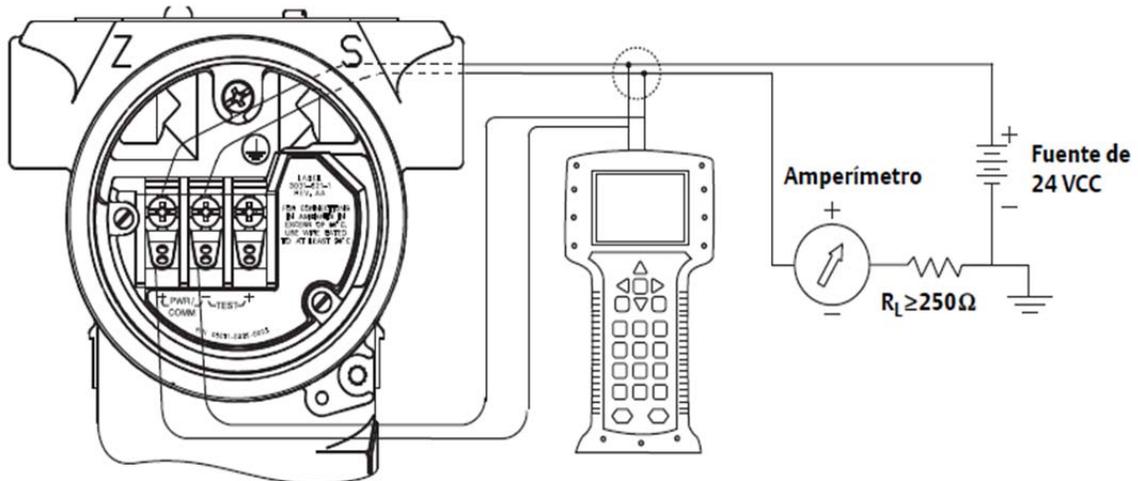


Diagrama de cableado HART 1-5 vcc baja potencia.

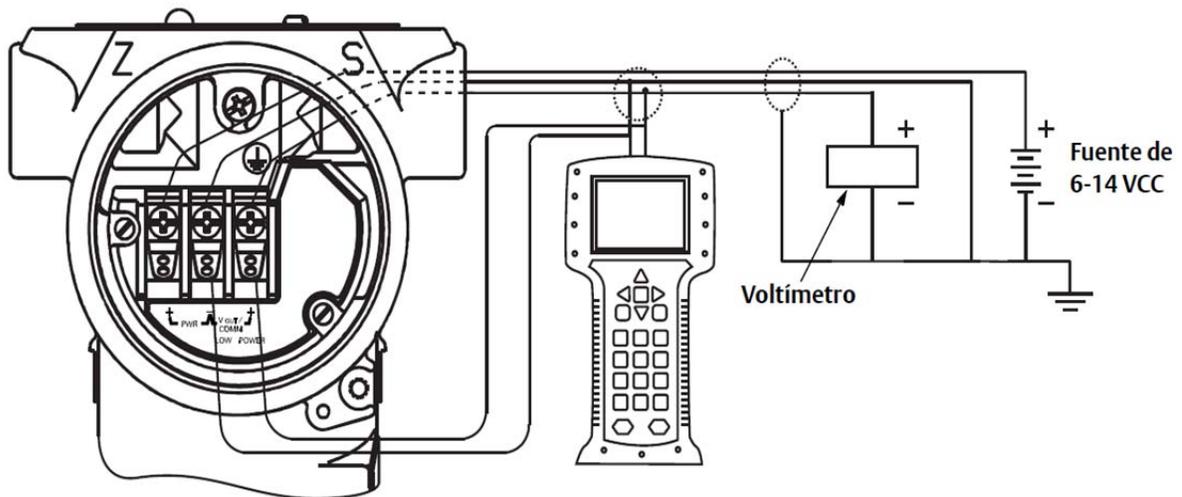


Fig. 4.3 Cableado de conexiones del Transmisor Rosemount Modelo 3051T.

4.1.2 Hoja de datos técnica del transmisor indicador de flujo.

Caudalímetro Rosemount 3051CFC Compact.



Fig. 4.4 Caudalímetro 3051CFC compact.

El caudalímetro Rosemount 3051 CFC proporciona una fiable y rápida instalación entre un juego de bridas. Dependiendo de la aplicación, reduce las pérdidas de energía con el modelo Annubar compacto o minimiza los requerimientos de flujo recto con la placa de orificio.

- Exactitud en medición de flujo superior al 1.8%.
- Disponible para diámetros de tubería de ½” hasta 12” (15 a 300 mm).
- Ensamble completo y prueba de fuga para instalación fuera de caja.
- Alerta que puede proactivamente detectar problemas de integridad en el lazo eléctrico (opción código DA0).
- Menú amigable y botones integrados para configuración con LOI (opción código M49).

A) Información Técnica del transmisor indicador de flujo 3051CFC Compact.

Tabla 4.2. Datos técnicos del transmisor de flujo Rosemount modelo 3051CFC.

Modelo	Descripción del producto	
3051CFC	Caudalímetro compacto	
Tipo de medición		
Estándar		Estándar
D	Presión diferencial	★
Tecnología de elementos primarios		
Estándar		Estándar
C	Placa de orificio acondicionadora	★
P	Placa de orificio	★
Tipo de material		
Estándar		Estándar
S	Acero inoxidable 316	★
Tamaño de la tubería		
Estándar		Estándar
005 ⁽¹⁾	15 mm (½ pulg.)	★
010 ⁽¹⁾	25 mm (1 pulg.)	★
015 ⁽¹⁾	40 mm (1 ½ pulg.)	★
020	50 mm (2 pulg.)	★
030	80 mm (3 pulg.)	★
040	100 mm (4 pulg.)	★
060	150 mm (6 pulg.)	★

080	200 mm (8 pulg.)	★
100	250 mm (10 pulg.)	★
120	300 mm (12 pulg.)	★
Estilo de elemento primario		
Estándar		Estándar
N	Bordes a escuadra	★
Tipo de elemento primario		
Estándar		Estándar
040	Relación beta de 0,40	★
065 ⁽²⁾	Relación beta de 0,65	★
Medición de temperatura		
Estándar		Estándar
0	No tiene sensor de temperatura	★
Ampliado		
R	Termopozo y termo resistencia remotos	
Plataforma de conexión del transmisor		
Estándar		Estándar
3	Montaje directo, manifold integral de 3 válvulas	★
7	Montaje remoto, conexiones de 1/4-pulg. NPT	★
Rango de presiones diferenciales		
Estándar		Estándar
1	0 a 62,3 mbar (0 a 25 pulg. H2O)	★
2	0 a 623 mbar (0 a 250 pulg. H2O)	★
3	0 a 2,5 bar (0 a 1000 pulg. H2O)	★

Salida del transmisor		
Estándar		Estándar
A	4-20 mA con señal digital basada en el protocolo HART	★
F	Protocolo del fieldbus FOUNDATION	★
W ⁽³⁾	Protocolo Profibus PA	★
Ampliado		
M	Baja potencia, 1-5 Vcc con señal digital basada en protocolo HART	
Material de la carcasa del transmisor		Tamaño de la entrada del conducto
Estándar		Estándar
A	Aluminio	1/2 -14 NPT
B	Aluminio	M20 x 1,5
J	Acero inoxidable	1/2 -14 NPT
K	Acero inoxidable	M20 x 1,5
Ampliado		
D	Aluminio	G ¹ /2
M	Acero inoxidable	G ¹ /2
Clase de ejecución del transmisor		
Estándar		Estándar
1	Precisión de caudal de hasta ±1,75%, reducción del caudal de 8:1, estabilidad durante 5 años	★

Opciones (incluir con el número de modelo seleccionado)

Accesorios de instalación		
Estándar		Estándar
AB	Anillo de alineación ANSI (n.º 150) (se requiere solo para los tamaños de línea de 250 mm (10 pulg.) y 300 mm (12 pulg.).	★
AC	Anillo de alineación ANSI (n.º 300) (se requiere solo para los tamaños de línea de 250 mm (10 pulg.) y 300 mm (12 pulg.).	★
AD	Anillo de alineación ANSI (n.º 600) (se requiere solo para los tamaños de línea de 250 mm (10 pulg.) y 300 mm (12 pulg.).	★
DG	Anillo de alineación DIN (PN16)	★
DH	Anillo de alineación DIN (PN40)	★

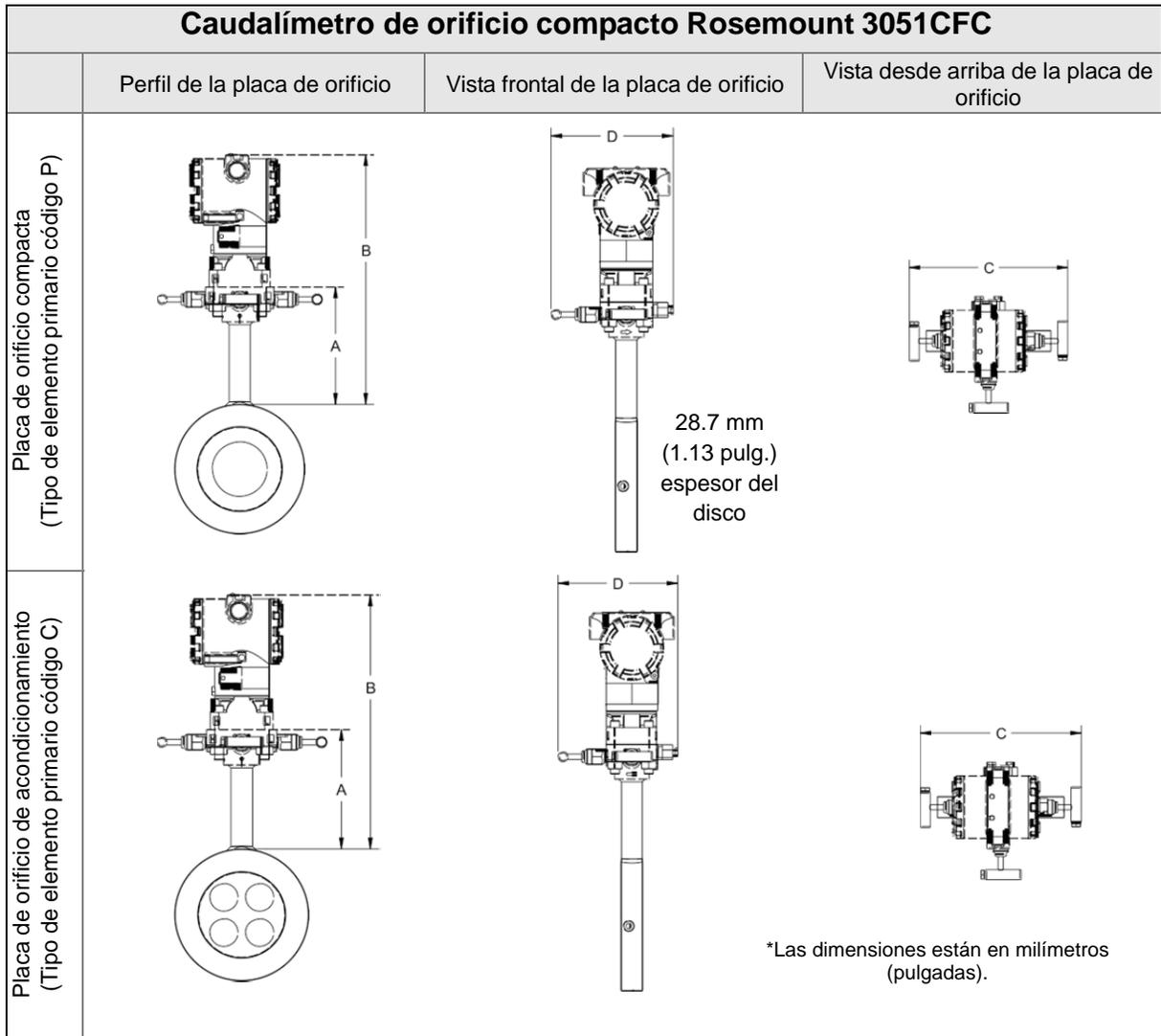
DJ	Anillo de alineación DIN (PN100)	★
Ampliado		
JB	Anillo de alineación JIS (10K)	
JR	Anillo de alineación JIS (20K)	
JS	Anillo de alineación JIS (40K)	
Adaptadores remotos		
Estándar		Estándar
FE	Adaptadores de bridas, acero inoxidable 316 (1/2 pulg. NPT)	★
Aplicación con altas temperaturas		
Ampliada		
HT	Empaquetadura de válvulas de grafito (Tmáx. = 850°F)	
Calibración de caudal		
Ampliado		
WC ⁽⁴⁾	Certificación de calibración del caudal (3 puntos)	
WD ⁽⁴⁾	Verificación del coeficiente de descarga (completa, 10 puntos)	
Prueba de presión		
Ampliado		
P1	Prueba hidrostática con certificado	
Limpieza especial		
Ampliado		
P2	Limpieza para servicios especiales	
PA	Limpieza según ASTM G93 nivel D (sección 11.4)	

Inspección especial		
Estándar		Estándar
QC1	Inspección visual y dimensional con certificado	★
QC7	Certificado de inspección y funcionamiento	★
Certificación de calibración del transmisor		
Estándar		Estándar
Q4	Certificado de datos de calibración para el transmisor	★
Certificación de calidad para seguridad		
Estándar		Estándar
QS ⁽⁵⁾	Certificado de uso previo de datos FMEDA	★
Certificado de trazabilidad del material		
Estándar		Estándar
Q8	Certificación de trazabilidad del material según EN 10204:2004 3.1	★
Cumplimiento de códigos		
Ampliado		
J2	ANSI/ASME B31.1	
J3	ANSI/ASME B31.3	
J4	ANSI/ASME B31.8	
Conformidad de los materiales		
Ampliado		
J5 ⁽⁶⁾	NACE MR-0175/ISO 15156	
Certificación de países		
Ampliado		
	Registro canadiense	
Certificaciones del producto		
Estándar		Estándar
C6	Antideflagrante, a prueba de polvos combustibles e intrínsecamente seguro, división 2, según CSA	★
E5	Antideflagrante y a prueba de polvos combustibles según FM.	★
E7 ⁽⁷⁾	Incombustible y a prueba de polvos combustibles según IECEx	★
E8	Incombustible y a prueba de polvo según ATEX	★
I1 ⁽⁷⁾	Seguridad intrínseca según ATEX	★
I5	Intrínsecamente seguro, división 2 según FM	★

IA	Seguridad intrínseca FISCO según ATEX; solo para el protocolo del fieldbus Foundation	★
K5	Antideflagrante, a prueba de polvos combustibles, intrínsecamente seguro, división 2 según FM (combinación de E5 e I5)	★
K6 ⁽⁷⁾	Antideflagrante, a prueba de polvos combustibles, intrínsecamente seguro, división 2 según CSA (combinación de E6 e I6)	★
K8 ⁽⁷⁾	Incombustible, seguridad intrínseca, tipo n y polvo (combinación de E8, I1 y N1), según ATEX	★
KB	Antideflagrante, a prueba de polvos combustibles, intrínsecamente seguro, división 2 (combinación de K5 y C6), según FM y CSA	★
KD ⁽⁷⁾	Antideflagrante e intrínsecamente seguro según FM, CSA y ATEX (combinación de K5, C6, I1 y E8).	★
N1 ⁽⁷⁾	ATEX Tipo n	★
Fluido de relleno del sensor y opciones de sello tórico		
Estándar		Estándar
L1	Fluido inerte de relleno del sensor	★
L2	Sello tórico de teflón rellena de grafito	★
LA	Fluido inerte de relleno del sensor y sello tórico de teflón (PTFE) con relleno de grafito	★
Aprobaciones para instalación a bordo de una embarcación		
Estándar		Estándar
SBS	American Bureau of Shipping	★
Opciones de pantalla e interfaz		
Estándar		Estándar
M4 ⁽⁸⁾	Pantalla LCD con interfaz de operador local	★
M5	Pantalla LCD	★
Protección contra transitorios		
Estándar		Estándar
T1 ⁽⁹⁾	Bloque de terminales con protección contra transitorios	★
Manifold para la opción de montaje remoto		
Estándar		Estándar
F2	Manifold de tres válvulas, acero inoxidable	★
F6	Manifold de cinco válvulas, acero inoxidable	★
Funcionalidad de control PlantWeb		
Estándar		Estándar
A01 ⁽¹⁰⁾	Paquete de bloques funcionales de control avanzado del fieldbus Foundation	★
Funcionalidad de diagnósticos PlantWeb		
Estándar		Estándar
D01 ⁽¹⁰⁾	Paquete de diagnósticos del fieldbus Foundation	★
Salida de baja potencia		
Estándar		Estándar
C2 ⁽¹¹⁾	Salida de 0,8-3,2 Vcc con señal digital basada en protocolo HART	★
Límite de alarma		
Estándar		Estándar
C4 ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾	Niveles de alarma y saturación según NAMUR, alarma de valor alto	★
CN ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾	Niveles de alarma y saturación según NAMUR, alarma de valor bajo	★
Tornillo para conexión a tierra		
Estándar		Estándar
V5 ⁽¹³⁾	Conjunto de tornillos externos de toma de tierra	★
Número de modelo típico: 3051CFC D C S 060 N 065 0 3 2 A A 1 WC E5 M5		

Fuente: Catalogo de transmisores Rosemount modelo 3051.

B) Dimensiones del Caudalímetro Rosemount 3051CFC



Tipo de elemento primario	A	B	Altura del transmisor	C	D
Tipo P y C	143 (5,62) Altura	Altura del transmisor + A	159 (6,27)	197 (7,75) – cerrada 210 (8,25) – abierta	152 (6,00) - cerrada 159 (6,25) - abierta

Fig. 4.5. Dimensiones del Caudalímetro Rosemount 3051 CFC

C) Despiece para identificación de partes y componentes del transmisor indicador de presión / flujo modelo 3051 para ajuste y mantenimiento.

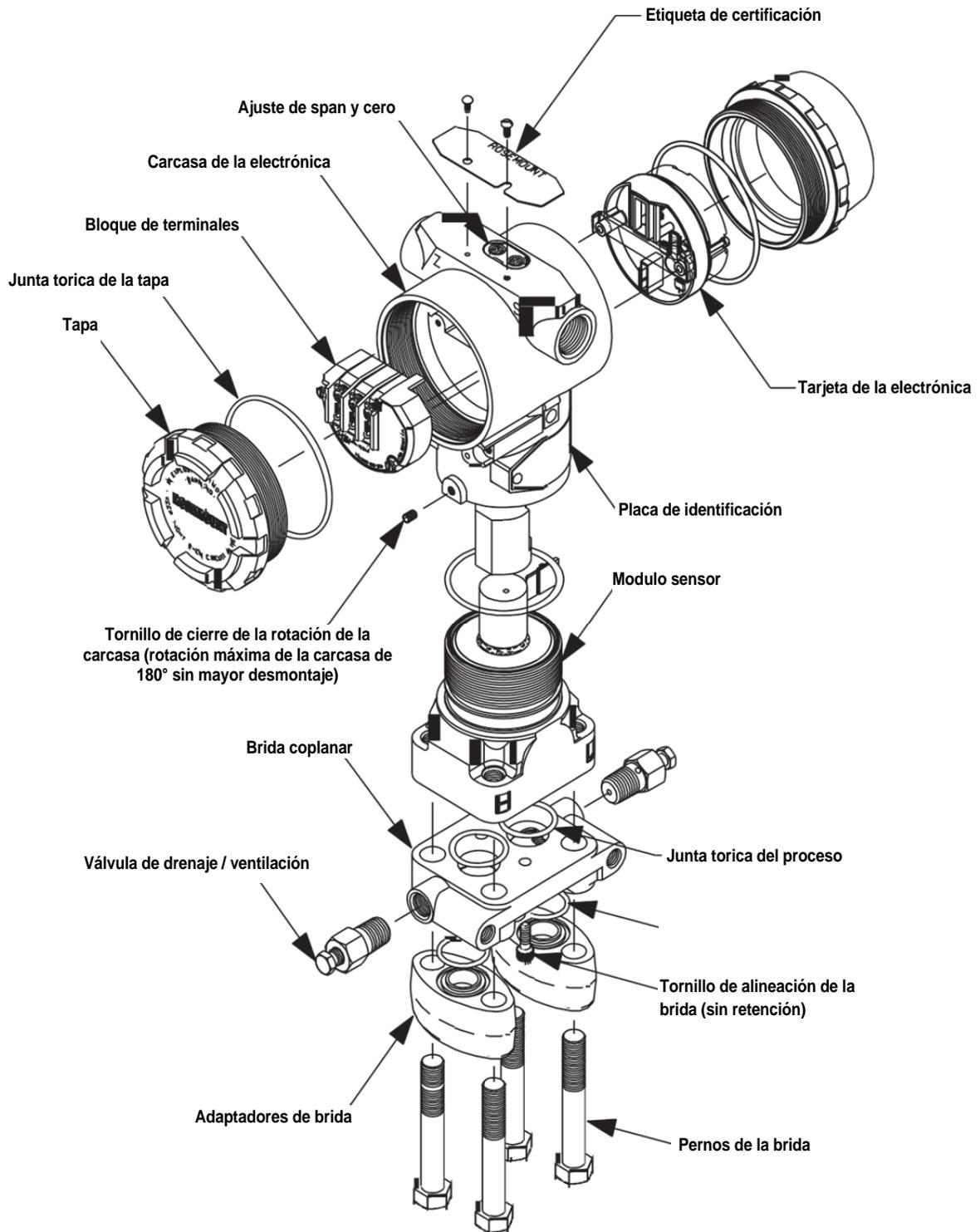
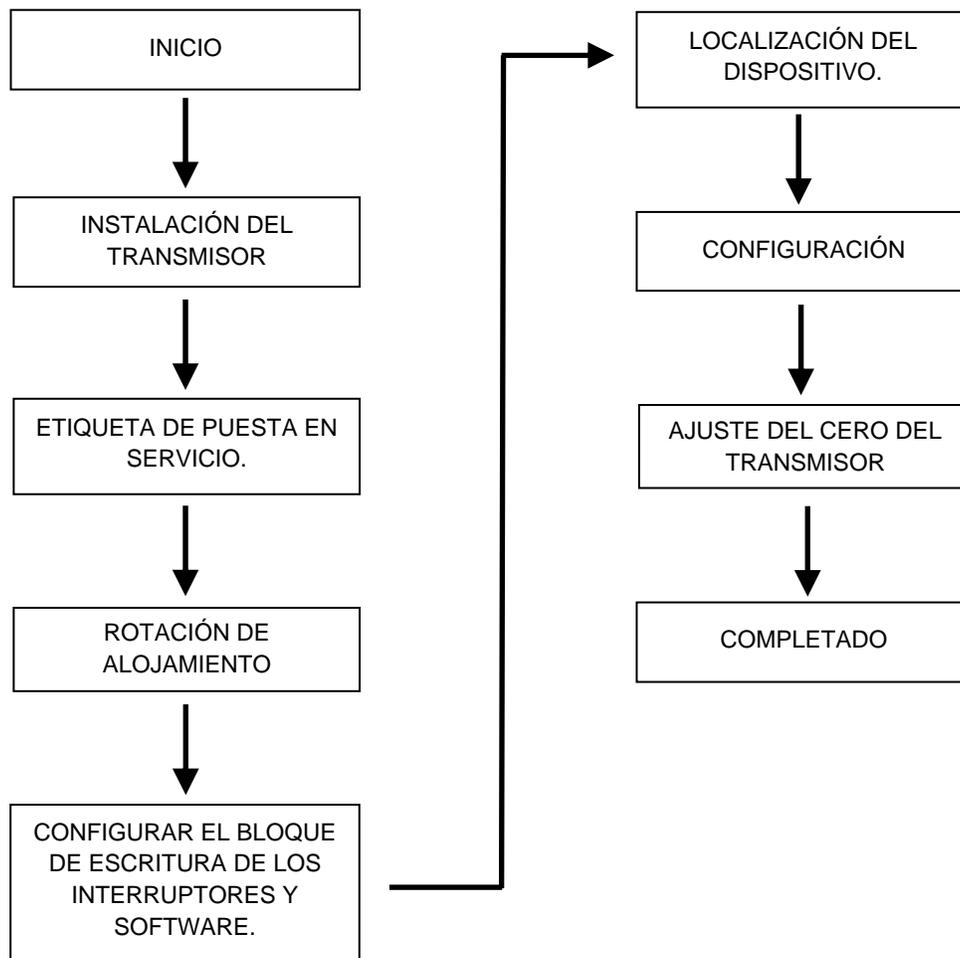


Fig. 4.6. Partes del Caudalimetro Rosemount 3051 CFC.

D) Diagrama de flujo recomendado para la instalación y puesta en marcha.

Se recomienda llevar a cabo el siguiente diagrama de flujo para una correcta instalación de los transmisores de presión /flujo, siempre tomando como prioridad la consulta del manual y guía de operación e instalación incluida por el proveedor de los instrumentos.



Fuente: Manual de operación, instalación y mantenimiento transmisores Rosemount modelos 3051.

4.1.3 Hoja de datos de la válvula de control proporcional.

La válvula de control proporcional está diseñada para regular la tasa de flujo a un nivel deseado. El diámetro del orificio de la válvula al aumentarse o reducirse por la acción de un actuador eléctrico, limita o eleva el caudal deseado automáticamente y lo mantiene fijo.

Para selección de la válvula de control se consultaron varias marcas y proveedores las cuales brindan las características esenciales y la compatibilidad con el proyecto.

Dichas características que deben tomarse en cuenta para operación e instalación de la válvula son:

- Que sea una válvula de control proporcional.
- Actuador eléctrico (motor eléctrico), para evitar el consumo de energía neumática.
- Torque de apertura y cierre adecuado y suficiente.
- Compatibilidad con el PLC Allen Bradley Serie Micro 850.
- Protocolo de comunicación.
- Precisión y/o Exactitud.
- Material de construcción.
- Voltaje de alimentación.
- Señal de comunicación 4-20 mA
- Dimensiones (largo x alto x diámetro).
- Conexiones.
- Marca.
- Precio.
- Ciclos de vida útil.
- Flujo de diseño.
- Presión de diseño.
- Fácil mantenimiento.
- Piezas para mantenimiento disponibles en el mercado.

El principio de operación de la válvula consta en regular el flujo de operación entregado por la bomba centrífuga, mediante un control proporcional, este valor se registra manualmente en el HMI pasa por el PLC quien envía la señal de control a la válvula, quien con su actuador (motor eléctrico) aumentara o disminuirá el diámetro de apertura en porcentajes que van desde 25%, 50%, 75% y 100%.

La instalación y puesta en operación de la válvula es consultando estrictamente el manual y/o guía de operación, instalación y mantenimiento.

A continuación se muestra la hoja de datos técnicos correspondiente a la válvula de control proporcional eléctrica seleccionada para el control o regulación de flujo de la bomba centrífuga del laboratorio de ingeniería mecánica.

A) Descripción.

Las válvulas de bola de la serie VL-2R-HP pueden dividirse en dos categorías: las válvulas manuales, que se identifican con el sufijo M y las válvulas automáticas con actuador eléctrico identificadas con el sufijo CMAP. Las válvulas VL-2R-HP-M se han realizadas y diseñadas para permitir un fácil uso por el operador.

Se componen de un cuerpo de válvula y una palanca manual que se coloca en el extremo de la válvula. Cada válvula tiene un dispositivo de bloque que puede bloquear la apertura en varias posiciones. Las VL-2R-HPCMAP se utilizan para aplicaciones automáticas, en la que la válvula de apertura y cierre es controlada por un actuador eléctrico.

El actuador está conectado directamente al vástago y está provisto de un volante de mano para la apertura y cierre de la válvula en condiciones de anomalía del servomotor. La perforación de la placa soporte permite el montaje de diferentes tipos de actuadores si el modelo W300 no es aplicable. ESA PYRONICS proporciona válvulas con actuador predispuestas por regulación de 0 a 90°.

Todos los actuadores tienen dos micro interruptores auxiliares calibrados a 10 ° y 80 ° y un señal de feedback de la posición alcanzada. En particular, en los modelos que tienen el mando abre / cierre, el feedback se produce a través de un potenciómetro óhmico, mientras que en los modelos de comandos proporcional, un comando analógico en voltios es disponible.



Figura 4.7. Válvula de bola de regulación modulante con actuador eléctrico.

B) Datos técnicos de válvula de regulación modulante de flujo.

La válvula para regulación de flujo seleccionada para integrar el proyecto, corresponde a la válvula de bola marca ESA PYRONICS INTERNATIONAL Modelo VL-2R-HP, son adecuadas para la regulación de flujos de fluidos gaseosos y líquidos en conductos en alta y baja presión. A continuación se muestra la tabla de datos técnicos correspondientes a la válvula.

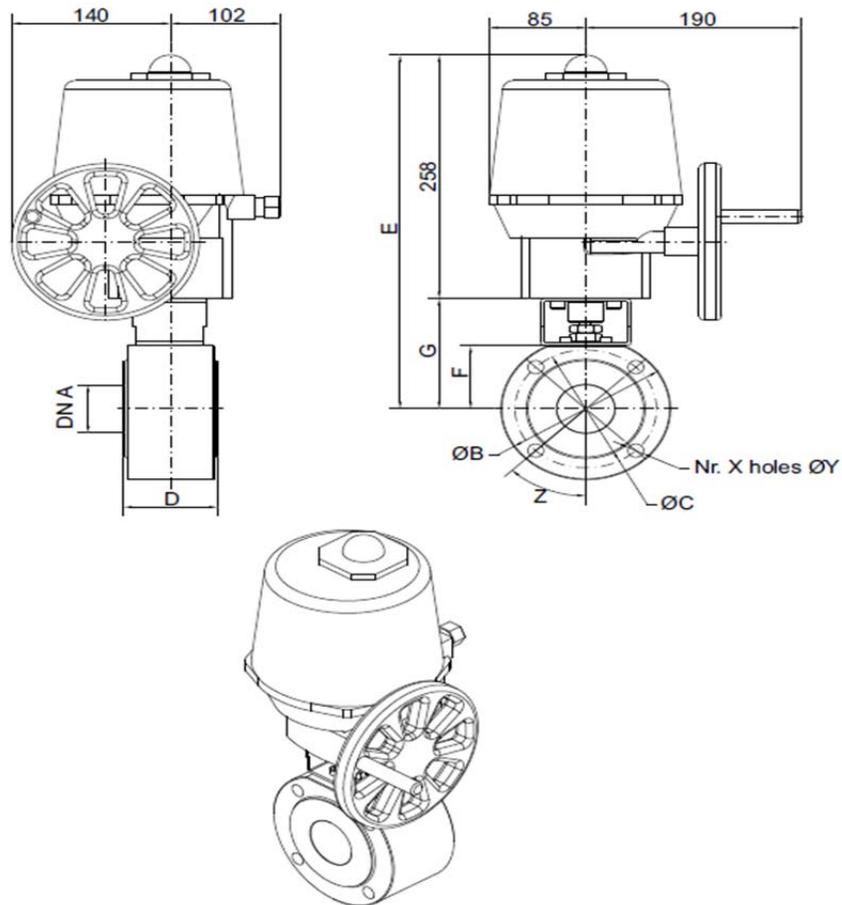
Tabla 4.3. Datos técnicos de la válvula de control ESA Pyronics modelo VL-2R-HP.

Marca:	ESA PYRONICS INTERNATIONAL
Modelo:	VL-2R-HP-CMAP
Tipo:	VÁLVULA DE BOLA DE REGULACIÓN MODULANTE CON ACTUADOR ELÉCTRICO
Numero para pedido	4-VL-2R-HP-CMAP-ASTM A 105-100-240-4-20 mA
Aplicaciones:	<ul style="list-style-type: none"> Regulación de flujo de agentes de la combustión y combustible. Parcialización de los agentes de la combustión y combustible. Gestión manual o con actuador eléctrico.
Características:	VÁLVULA
	Presión máxima de trabajo: 16 bar
	Temperatura máxima del fluido: 100°C
	Fuga de la válvula cerrada: Aproximadamente 1 %
	Tamaños disponibles: De DN15 PN16 a DN125 PN16
	Bridas de acoplamiento: No incluidas
	Guarniciones para bridas: No incluidas
	ACTUADOR ELÉCTRICO
	Modelo: W300
	Versiones disponibles: CE/UL/CSA/ATEX
	Par: 300Nm
	Fuente de alimentación: 24Vac/dc o 100-240Vac
	Frecuencia de alimentación: 50 ÷ 60Hz
	Señal de mando: Abre/Cierre o Proporcional
	Tipo de mando proporcional: 0-10V 4-20ma (opcional)
	Temperatura de funcionamiento: -20°C ÷ +70°C
	Temperatura almacenamiento: -20°C ÷ +80°C
	Absorción: 85VA
	Capacidad micro interruptores aux. : 5A/250Vac (4 piezas).
	Potenciómetro de feedback mod. abre / cierre: nr.1 1000 Ohm
	Señal de feedback mod. proporcional: 0-10Vcc , 0-20mA
	Ángulo de rotación: 90°
	Tiempo de rotación de 90°: 50s
	Acoplamiento del eje de palanca: Estrella 22 F07-F10 (ISO5211)
	Mando manual: Tipo volante
	Grado de protección: IP 67
	Masa: 5,6 Kg

	Entrada cables eléctricos:	nr.2 entradas roscadas ISO M20
	Posición de montaje:	Cualquiera
	Entorno de trabajo:	No es adecuado para entornos explosivos o corrosivos (versión ATEX disponible a solicitud).
Materiales:	Esfera:	Latón
	Guarniciones:	NBR
	Placa del soporte del actuador:	Fe360
	Vara de acoplamiento del actuador:	Fe360
	Cuerpo de la válvula	ASTM A 105

Fuente: Catalogo válvula de control ESA Pyronics modelo VL-2R-HP.

C) Dimensiones de válvula y actuador VL-2R-HP-CMAP.



Modelo	DN A	Ø B (mm)	Ø C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	X [mm]	Ø Y (mm)	Z [mm]	Masa kg.
4 VL-2R-HP-CMAP	15	90	65	36	330	32	72	4	M12	45°	7.5

Figura. 4.8. Dimensiones de la válvula de control VL-2R-HP-CMAP, (las acotaciones son en milímetros).

D) Dimensiones del actuador W300.

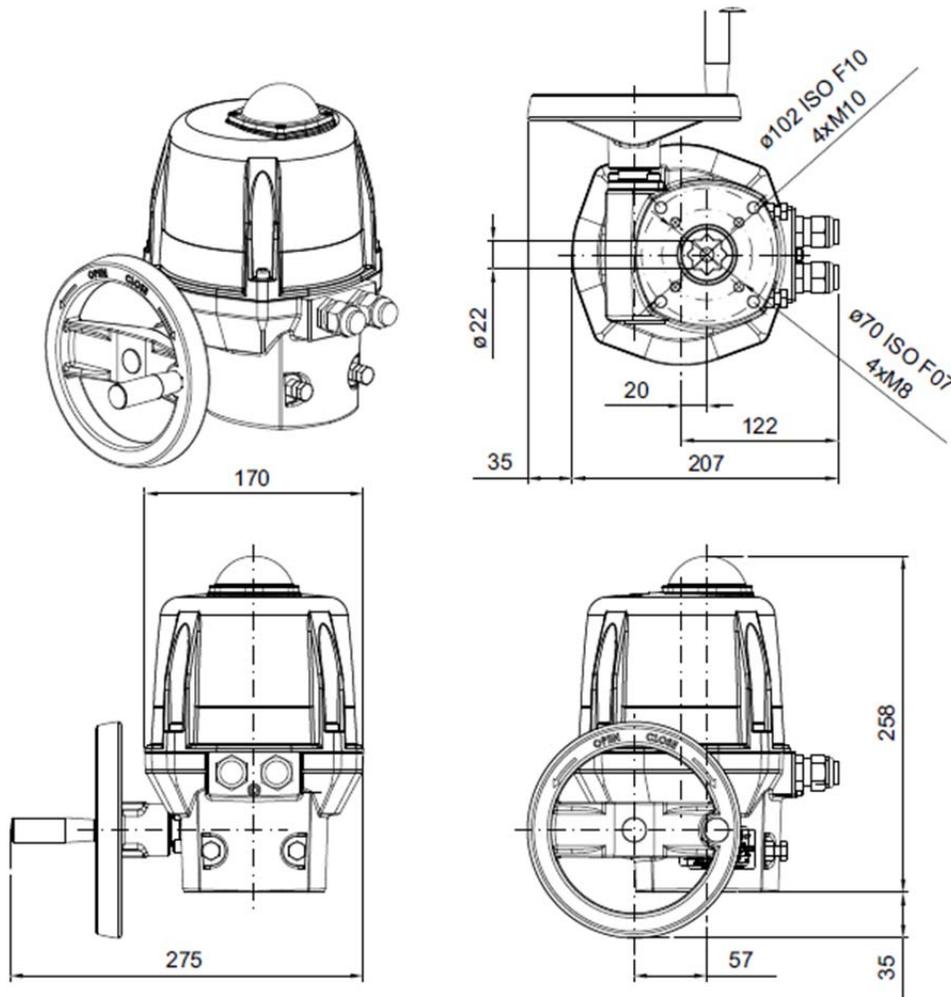


Figura. 4.9. Las figuras arriba muestran las dimensiones del actuador W300 correspondiente al modelo de válvula de control VL-2R-HP-CMAP, las acotaciones son en milímetros.

E) Instalación, regulación, calibrado, operación y mantenimiento de la válvula.

Antes que nada cabe mencionar que todas las operaciones de instalación, calibración-regulado y operación, deben realizarse siguiendo estrictamente el “manual de instalación, operación y mantenimiento de la válvula” y dichas operaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia y asesorados por el proveedor del equipo.

A continuación se mencionan recomendaciones elementales en la instalación, regulación, calibrado, operación y mantenimiento de la válvula VL-2R-HP-CMAP, estos pasos son mencionados en forma general, los cuales deberán ser complementados con lo descrito en el manual, la experiencia y conocimientos del proveedor y personal instrumentista.

F) Instalación obra mecánica.

1. Para el montaje e instalación debe tomarse en cuenta el tamaño y libraje de bridas a instalarse en la línea de proceso, para la conexión de la válvula.
2. La válvula debe permanecer lejos del calor excesivo y de productos como líquidos, disolventes o gases corrosivos.
3. La válvula (pos. 01) se puede instalar en cualquier posición. Mantenga una distancia del espacio circundante de manera que se permite una libre circulación del aire.
4. Compruebe que las bridas (pos. 02), las guarniciones (pos. 04) y tuberías (pos. 03) son compatibles con la válvula y el fluido.
5. Compruebe la correcta alineación de los tubos de conexión y comprobar la distancia correcta entre los tubos y el montaje (brida / guarniciones / cuerpo de la válvula), a fin de no ejercer la tensión en los tubos cuando se aprieta.
6. Soldar las bridas (pos.02) en los extremos de los tubos, eliminando las rebabas de soldadura.
7. Asegúrese de que ningún cuerpo extraño está presente dentro de la válvula o las tuberías antes del montaje, eliminar las posibles impurezas.
8. Posicionar la válvula entre las dos bridas, sucesivamente montar guarniciones (pos. 04) pernos (pos.05), arandelas y tuercas (pos. 06)
9. Utilizando utensilios adecuados, atornillar progresivamente los pernos de modo cruzado, evitando de apretar demasiado.

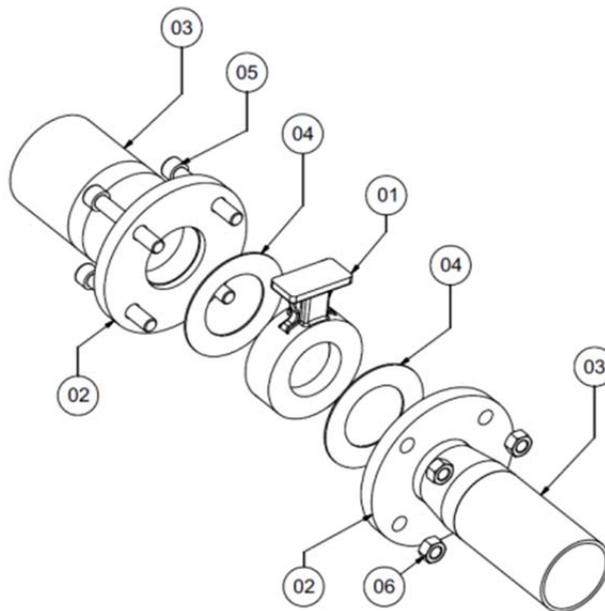


Figura. 4.10. Identificación de las partes que comprenden la válvula de regulación de flujo y accesorios, como guía para una correcta instalación.

G) Instalación obra eléctrica.

1. Compruebe que el actuador es compatible con el sistema de control, tanto para la tensión de alimentación para tipo de comando.
2. Para el paso de los cables eléctricos utilizar entradas de carga en el actuador, sin realizar otros agujeros en la carcasa. Coloque los sujetacables o prensa glándula para garantizar un nivel de protección igual a o no menos de IP40. Para los sistemas utilizados en el aire abierto el grado de protección debe ser igual a IP54. El grado de protección también puede ser proporcionado por el recipiente en el que se inserta el dispositivo.
3. El cable de la señal de control en caso de actuador proporcional debe estar apantallado y hay que ser depuesto separadamente de las líneas de alimentación, control de motor (inversor) y tensiones de alimentación, en particular, no se deben utilizar cables multipolares. Lo mismo se aplica para observar las señales de realimentación de posición para los dos modelos de actuadores, tanto aquellos con comando de apertura / cierre que proporcional.
4. Cuando la potencia de la instalación es de tipo fase-fase, es necesario instalar un transformador de aislamiento con secundario conectado a tierra.
5. Al llevar a cabo la conexión eléctrica referirse a la documentación técnica, de acuerdo a la polaridad entre fase y neutro. Los bornes para las conexiones eléctricas son tipo tornillo y pueden aceptar cables con una sección de 0,5 a 2,5 mm², la elección de los conductores y de su ubicación debe ser adecuado para la aplicación. Se recomienda la numeración y el uso de terminales correspondientes de los conductores.
6. Siempre asegúrese de que la toma de tierra se conecta a los terminales correspondientes y de la carcasa del actuador con conductores de sección adecuados.
7. Al final de la conexión, asegurarse de que los cables no interfieran con los engranajes internos del servomotor. Cerrar la tapa, controlando la correcta colocación de la guarnición y la verificación de que los conductores no permanecen presionados entre la tapa y la carcasa.

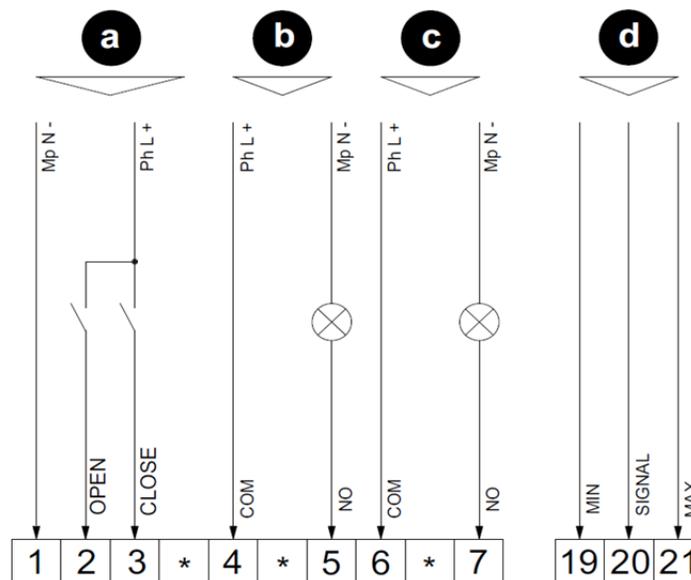


Figura. 4.11. Conexiones eléctricas para el actuador W300 de la válvula reguladora VL-2R-HP-CMAP.

H) Regulación y calibración.

La regulación y calibración de las válvulas motorizadas VL-2R-HP-CMAP define la apertura mínima, máxima e intermedia(s) de la válvula controlada por el actuador eléctrico. Las dos posiciones extremas del movimiento de la válvula deben corresponder al mínimo y máximo flujo querido.

El ajuste se lleva a cabo mediante la reducción de la carrera del actuador mediante la regulación de los microinterruptores. Se recomienda seguir al pie de la letra los siguientes incisos para una adecuada calibración y regulación de la válvula.

1. Debe asegurarse que el actuador no se encuentra energizado, además recordamos que la válvula es suministrada por ESAPYRONICS regulada de modo que la carrera de la válvula está completamente cerrada para abrir completamente (open / close).
2. Abrir la tapadera del actuador para poder acceder a los microinterruptores.
3. Usando la manija en el lado del actuador abrir la bola de la válvula hasta a alcanzar mitad de la abertura.
4. Anticipar la intervención del micro interruptor de mínima apertura válvula.
5. Enviar el comando de cierre para el accionador que cerrará la bola hasta que se alcanza el límite de la abertura mínima.
6. Comprobar el valor del flujo regulado, considerando si es necesario cambiar la posición de mínima apertura. Para obtener un flujo mínimo mayor o menor, actúa también en los del límite de la válvula de mínima apertura.
7. Controlar la válvula totalmente abierta una vez que haya regulada el mínimo de apertura.
8. Una vez alcanzado el máximo de apertura evaluar la capacidad máxima.
9. En caso de que sea excesiva adelantar la intervención del micro interruptor de máxima apertura válvula para conseguir el flujo máximo deseado.
- 10 - Averiguar que la regulación del flujo ejecutada por la válvula sea correcta, si necesario repetir todos los pasos indicados anteriormente "Regulación - Calibrado".

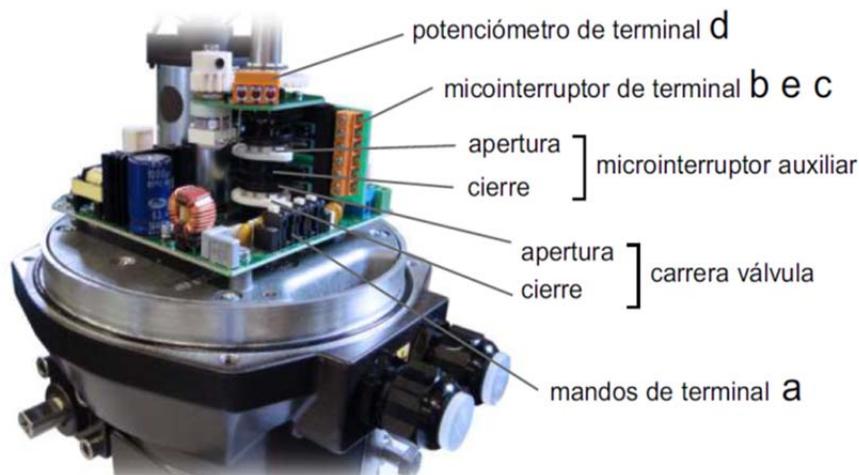


Figura. 4.12. Elementos que constituyen la tarjeta electrónica para control del actuador.

I) Operación y mantenimiento.

1. La presión de funcionamiento y la temperatura del fluido debe ser menor que el máximo permitido.
2. Operar el actuador y sus dispositivos manualmente sólo en ausencia de la tensión de alimentación. Antes de desconectar el dispositivo asegúrese de etiquetar todos los cables.
3. Cerciorarse de la correcta instalación de la válvula (check list) antes de iniciar el flujo en la tubería.
4. Reducir al menor grado posible los efectos de la vibración en la tubería de montaje.
5. Verificar que los mandos son respetados y que los microinterruptores y las señales de realimentación sean correctas.
6. Verificar mediante instrumentos de medición que la regulación de flujo ejecutada por la válvula está acorde a lo proyectado.
7. Todo trabajo de mantenimiento debe realizarse con la unidad desenergizada y respetando un tiempo para enfriamiento.
8. Cortar flujo y drenar tubería de manera que quede libre del fluido para evitar derrames y accidentes antes de iniciar operación de desmontaje o desarmado.
9. Un mantenimiento preventivo anual consta de un desarmado de la válvula y el actuador para verificar las condiciones de las piezas que los comprenden, de igual manera debe realizarse una limpieza interna con aire comprimido regulado y filtrado y trapo de algodón (no utilizar trapos con fibras).
10. Mantenimientos mayores como reemplazo de piezas, empaques, sellos de válvulas, circuitos eléctricos – electrónicos, mantenimiento del motor (actuador), etc., debe realizarse estrictamente por personal especialista en la materia.

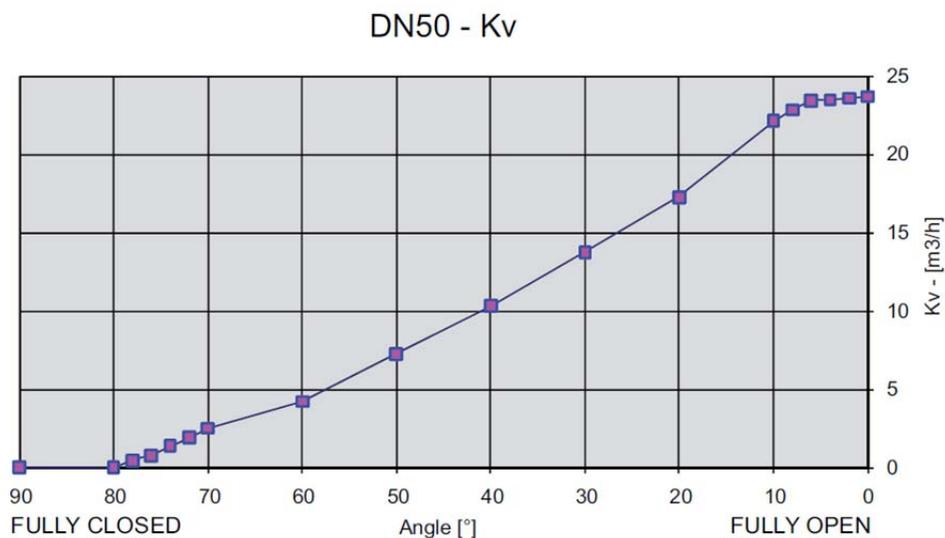


Figura. 4.13. Grafica de linealidad tomando en cuenta el porcentaje de apertura (ángulo) contra gasto, ante un flujo máximo de 25 m³/hr para una válvula DN 50.

Fuente: *Catálogo válvula de control ESA Pyronics modelo VL-2R-HP.*

4.1.4 Hoja de datos del Controlador Lógico Programable (PLC).

El controlador lógico programable efectuara la etapa de control en el proceso, por consiguiente debe hacerse una selección adecuada de este equipo. Recibirá y emitirá las señales de los instrumentos de medición, la válvula de control de flujo y desplegara las opciones de mando y monitoreo en conjunto con un HMI (Panel View) para visualización de las acciones.

A) Características del PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850.

Los controladores lógicos programables Serie Micro 850 están diseñados para aplicaciones de control de máquinas independientes que requieren comunicaciones flexibles y mayores capacidades de E/S. Estos controladores admiten desde 24 hasta 132 puntos con módulos de expansión de E/S de alto rendimiento, interrupciones y movimiento de PTO, además de Ethernet incorporado y E/S de expansión 2085.

Características principales:

- Ofrecer controladores de 24 puntos y 48 puntos de E/S (más módulos de expansión).
- Incluye entradas de contador de alta velocidad de 100 KHz de velocidad (HSC) en los modelos 24 VCC.
- Brinda comunicaciones integradas mediante el puerto de programación USB, puerto serie no aislado (para las comunicaciones RS-232 y RS-485) y puerto Ethernet.
- Admite hasta cinco módulos enchufables Micro800®.
- Admite hasta cuatro módulos de E/S de expansión Micro850®, hasta 132 puntos de E/S.
- Brinda capacidades de movimiento integradas al aceptar hasta tres ejes con Salidas de tren de impulso (PTO).
- Se comunica a través de EtherNet/IP™.
- Funciona en temperaturas de -20 a 65 °C (de -4 a 149 °F).

B) Descripción e Identificación de partes del PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

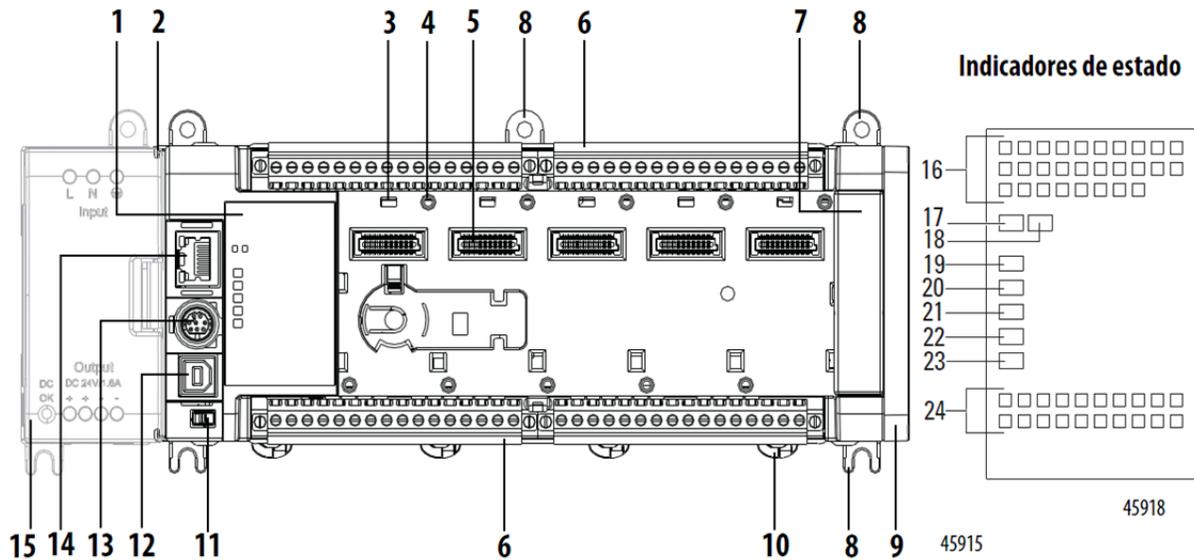


Fig. 4.14. Partes del PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

Tabla 4.4. Identificación de partes del PLC Allen Bradley Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

Descripción del controlador			
Numero	Descripción	Numero	Descripción
1	Indicadores de estado	9	Cubierta de ranura de E/S de expansión
2	Ranura de fuente de alimentación eléctrica opcional	10	Seguro de montaje en riel DIN
3	Seguro para módulo enchufable	11	Interruptor de modo
4	Agujero para tornillo de módulo enchufable	12	Puerto USB de conector tipo B
5	Conector enchufable de alta velocidad de 40 pines	13	Puerto serial combinado no aislado RS232/RS485
6	Bloque de terminales E/S extraíble	14	Conector RJ-45 Ethernet/IP (con indicadores LED amarillo y verde incorporados)
7	Cubierta de lado derecho	15	Fuente de alimentación eléctrica de CA opcional
8	Agujero para tornillo de montaje/pie de montaje		
Descripción de indicadores de estado			
16	Estado de entrada	21	Estado de fallo
17	Estado de modulo	22	Estado de forzado
18	Estado de red	23	Estado de comunicaciones seriales
19	Estado de alimentación eléctrica	24	Estado de salida
20	Estado de marcha		

Fuente: Catalogo y Manual del usuario Allen Bradley PLC's modelo Micrologix 830 y 850.

C) Especificaciones y Datos Técnicos del PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

Tabla 4.5 Datos técnicos de PLC Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

Unidad	Descripción
Suministro eléctrico	La unidad incluye una fuente de alimentación de 24VDC. Y una alimentación opcional externa de 120/240V AC vía Cat. No. 2080-PS120-240VAC.
Puerto para programación	Puerto USB 2.0 integrado (no-aislado). Puede utilizarse cualquier cable standard para impresora con entrada USB.
Puerto Ethernet	Ethernet / IP Clase 3, Modbus TCP (10/100Mbps)
No de contactos	5
Contadores de alta velocidad max.	6 HSC
Entradas / Salidas	
Entradas y salidas digitales I/O	48 (28/20)
Canales Análogos entradas y salidas I/O	Vía Plug en Módulos o con módulos de expansión I/O
Módulos Expansión I/O	Hasta 4 módulos
Máximo de entradas y salidas digitales I/O (contactos y módulos de Expansión)	132
Programación	
Software	Connected Components Workbench
Pasos del programa (o instrucciones)	10Ksteps
Datos (bytes)	20Kbytes
Lenguaje IEC 61131-3	Diagrama de escalera, Bloque de funciones, Texto estructurado
Bloque de funciones definido por el usuario	Si
Instrucciones ilustradas	Si
Punto flotante	32-bit y 64-bit
Lazo de control PID	Si
Protocolo integrado para puertos	RS232/485, Modbus RTU Maestro/esclavo, ASCII, CIP
Condiciones ambientales	
Certificaciones	C-UL-US CL1DIV2, CE, C-TICK, KC
Rango de Temperatura	-20°...65°C
Dimensiones (HxWxD, mm)	90 x 230 x 80

Atributo	Descripción
Peso de envío, aprox.	0.725 kg (1.60 lb)
Calibre de cable	0.2...2.5 mm ² (24...12 AWG) cable de cobre macizo o 0.2...2.5 mm ² (24...12 AWG) cable de cobre trenzado con clasificación de aislamiento a 90 °C (194 °F) max.
Categoría de cableado	2 – en puertos de señales 2 – en puertos de alimentación eléctrica 2 – en puertos de comunicación
Tipo de cable	Solamente use conductores de cobre.
Par de apriete de tornillos de terminales	0.4...0.5 Nm (3.5...4.4 lb-pulg.) con un destornillador plano de 0.6 x 3.5 mm.
Tipo de circuito de entrada	12/24 V drenadora/surtidora (estandar) 24 V drenadora/surtidora (alta velocidad)
Tipo de circuito de salida	Relé
Consumo de energía	33 W
Rango de voltaje de la fuente de alimentación eléctrica	20.4...26.4 VCC Clase 2
Clasificación de E/S	Entrada 24 V, 8.8 mA Salida 2 A 240 VCA, 2 A 24 VCC
Longitud a pelar del aislamiento	7 mm (0.28 pulg.)
Clasificación de tipo de envoltente	Cumple las especificaciones de IP20
Clasificación de servicio de piloto	C300, R150
Voltaje de aislamiento	250 V (continuos), tipo de aislamiento reforzado, salida a auxiliar y a red, entradas a salidas. Tipo probado durante 60 seg a 3250 VCC, salida a auxiliar y a red, entradas a salidas. 50 V (continuos), tipo aislamiento reforzado, entrada a auxiliar y a red. Tipo probado durante 60 seg a 720 VCC, entrada a auxiliar y a red.
Código de temp. de EE.UU.	T4



Fig. 4.15. Controlador lógico programable Allen Bradley Serie Micrologix 850 Modelo 2080-LC50-48QWB.

Fuente: Catalogo y Manual del usuario Allen Bradley PLC's modelo Micrologix 830 y 850.

4.1.5 Hoja de datos de la Interface Hombre Maquina (HMI).

El HMI realiza un papel muy importante dentro del cualquier proceso automatizado ya que realiza las funciones de supervisión, monitoreo- control y retroalimentación entre hombre y máquina, gracias a este hay una comunicación permanente entre ambas partes y junto al controlador lógico programable pueden corregir desviaciones en el proceso, regular flujos, apagar y encender un equipo, cerrar o abrir una válvula cuando sea necesario, regular presiones, y monitorear lo que sucede con casi todos los dispositivos de campo, durante los diferentes procesos de producción. Al ser incluido en el proyecto el PLC Allen Bradley Micrologix 850, se opta por manejar un HMI de la misma marca para opciones de tener una mejor eficiencia, calidad y comunicación entre ambos.

A) Descripción del Panel View Allen Bradley Component C1000.

Los terminales Panel View Component son dispositivos de interface de operador que permiten monitorear y controlar dispositivos conectados a un controlador. Las aplicaciones HMI se crean mediante una aplicación de web mientras su computadora está conectada directamente al terminal. Es posible ver el resultado directo en la pantalla del terminal sin tener que hacer primero una descarga.

B) Identificación de los componentes de un Panel View C1000.

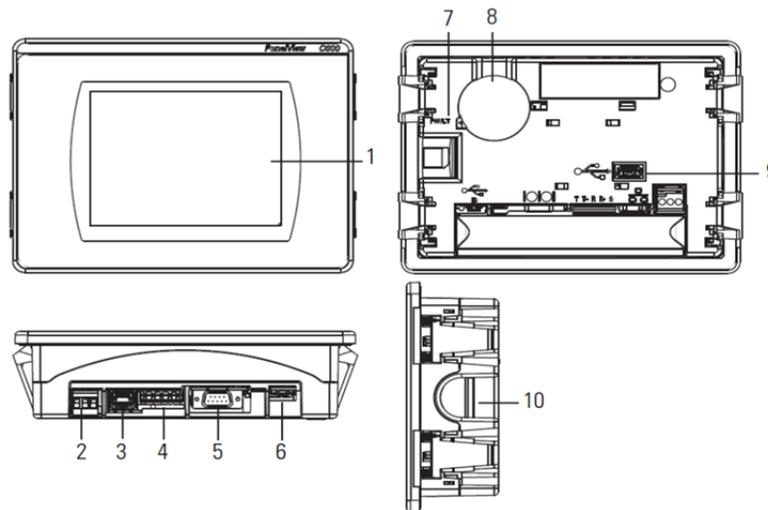


Fig. 4.16. Componentes de un Panel View C1000 Allen Bradley

Tabla 4.6. Identificación de partes del Panel View Allen Bradley modelo C1000.

ITEM	Descripción	ITEM	Descripción
1	Pantalla táctil	6	Puerto de dispositivo USB
2	Entrada de alimentación de 24 VCC	7	Indicadores de estatus de diagnóstico
3	Puerto Ethernet 10/100 Mbits	8	Batería reemplazable de reloj en tiempo real
4	Puerto RS-422 o RS-485	9	Puerto de computadora principal USB
5	Puerto en serie RS-232	10	Ranura para tarjeta digital segura (SD)

Fuente: Manual del usuario Allen Bradley Panel View modelo Component C1000.

C) Especificación Técnica del Panel View Component C1000.

La siguiente tabla muestra las principales características técnicas del HMI Panel View Component C1000.

Tabla 4.7. Datos técnicos del Panel View Allen Bradley modelo component C1000.

Especificaciones del Panel View Component Modelo C-1000	
Elemento	Descripción
Display	
Display	Pantalla LCD matriz activa color transmisible con luz de respaldo CCFL
Tamaño	10.4"
Área del Display	211 x 158 mm (8.31 x 6.22 in)
Resolución	640 x 480 mm
Luz de respaldo	Vida útil 50 000 hr. (mínimo), no reemplazable
Reloj	Batería de respaldo
Touch Screen	
Pantalla Táctil	Análogo Resistivo
Vida útil de Pantalla Táctil	1 000 000 de pulsaciones
Características Eléctricas	
Puertos de Comunicación	RS-232 (DH-485), RS-232 (DF1), RS485, Ethernet
Puerto de Programación	Dispositivo USB o Puerto Ethernet
Tarjeta de Memoria	USB flash drive y Tarjeta digital de seguridad (SD)
Voltaje de Entrada	18-30 VCD (24 VCD Nominal)
Potencia Max. de Consumo	18 W (0.75 amperes para 24 VCD)
Medio Ambiente	
Temperatura de Operación	0-50°C (32-122 °F)
Temperatura No Operable	Menor a -25°C , Mayor a 70°C (-13°F, 122°F)
Humedad Relativa	0-95 % sin condensación
Shock eléctrico en operación	15 g en 11 ms
Shock eléctrico en reposo	30 g en 11 ms
Vibración	2 g en 10 hasta 500 Hz
Protección enclaustramiento	NEMA / UL Tipo 4X (en interior), 12, 13 y IEC IP54, IP65.
Certificaciones	c-UL-us, CE marked, C-Tick
Peso Aproximado	
Peso	1.57 kg (3.41 lb.)
Dimensiones	
Dimensiones (H x W x D)	250 x 308 x 54 mm (9.84 x 12.13 x 2.13 in.)
Catalogo	
Numero de catalogo	2711C-T10C

Fuente: Manual del usuario Allen Bradley Panel View modelo Component C1000.

D) Opciones de Software y Sistema Operativo para Panel View Component C1000.

Los terminales pueden conectarse a un explorador mediante un puerto USB o una conexión de red Ethernet. La computadora debe tener por lo menos un procesador Intel Pentium M de 1400 MHz, con 512 MB de RAM.

Las opciones de software compatible para configuración de la terminal HMI, son las siguientes:

- Windows 2000 (sólo números de catálogo 2711C-T6M, 2711C-T6C y 2711C-T10C, usando una conexión Ethernet para conectar al terminal).
- Windows XP.
- Windows Vista.



Fig. 4.17. (A) Terminales Panel View Allen Bradley de la familia component (B) Modelo C1000 pantalla táctil a color.

E) Recomendaciones para instalación y operación.

La instalación debe realizarse estrictamente mediante mano de obra calificada, en este caso un tablerista o instrumentista para instalación eléctrica y física en sitio, y un programador especializado para la carga de programas y arquitectura del proceso a controlar.

Como se ha mencionado anteriormente con los equipos e instrumentos que componen el proyecto, debe seguirse paso a paso las indicaciones establecidas en el manual de operación, instalación y mantenimiento (Manual del usuario Allen Bradley para Terminales HMI Panel View Component) con el fin evitar daños perjudiciales y evitar problemas de validez de garantía.

4.1.6 Selección del Gabinete para distribución de fuerza, Gabinete de control, Interruptores, Arrancador y Accesorios Eléctricos.

Tabla 4.8. Equipos y accesorios eléctricos seleccionados para el tablero de alimentación de fuerza y el tablero de control de la bomba centrífuga.

Tipo	Función	Marca	Modelo	Descripción	Dimensiones Alto x Ancho x Prof. (mm)
Gabinete SR vacío 	Gabinete destinado a distribución de fuerza.	ABB	SRN7525K (Catalogo ABB general productos de baja tensión)	Gabinete Metálico Vacío SR con puerta ciega, platina de montaje y tapas pasacables superior e inferior, IP 65, IK 10, RAL 7035. Fabricados en lamina de acero de 1.5mm de espesor.	700 x 500 x 250
	Gabinete destinado para elementos de control.	ABB	SRN6425K (Catalogo ABB general productos de baja tensión)	Gabinete Metálico Vacío SR con puerta ciega, platina de montaje y tapas pasacables superior e inferior, IP 65, IK 10, RAL 7035. Fabricados en lamina de acero de 1.5mm de espesor. Puerta con ventana de acrílico.	600 x 400 x 250
Interruptor general 	Interruptor general del Tablero Eléctrico.	Square D	HDL36050	Interruptor Termomagnético, 50 amp, 50-60 Hz, 3 Fases, 600V	----
Interruptor para bomba centrífuga 	Interruptor para energizado / desenergizado bomba centrífuga.	ABB	Sace Tmax T1N E93565	3 Fases, 40 amp, 50-60 Hz, 240/500V	---

Tipo	Función	Marca	Modelo	Descripción	Dimensiones Alto x Ancho x Prof. (mm)
Contactor - Arrancador con Guardamotor 	Contactor - Arrancador de potencia con Guardamotor para bomba centrífuga.	SIEMENS	Modelo Sirius 3RT1016- 1AP01	3 Fases, 11 KW 400 v, 40amp, Tamaño S00, NA, 50-60 Hz, Bobina 24v, Protección IP20	---
Interruptor Termo magnético 	Interruptor Termo magnético para válvula de control.	SIEMENS	Modelo 5SL6110-7, No parte 612712	1 Fase, 10 amp, 50-60 Hz, 220/440v	---
Interruptor Termo magnético 	Interruptor Termo magnético para PLC Y HMI (Panel View).	SIEMENS	Modelo 5SX21 C4	1Fase, 4 amp, 50-60 Hz, 230/400v	---
Fuente de poder 127vca A 24vcd 	Fuente de poder 127vca A 24vcd para alimentación de HMI.	SIEMENS	Modelo 6EP1331- 1SH03	Entrada 127/220 VCA, Salida 24VCD, 1.3 amp, 38w, Proteccion IP	---
Relevador 24vcd 	Relevador 24vcd, para protección PLC (señal digital arranque de bomba)	OMRON	Modelo MKS2P1	Capacidad 24vcd, 10 amp, DPDT, MK-S	---

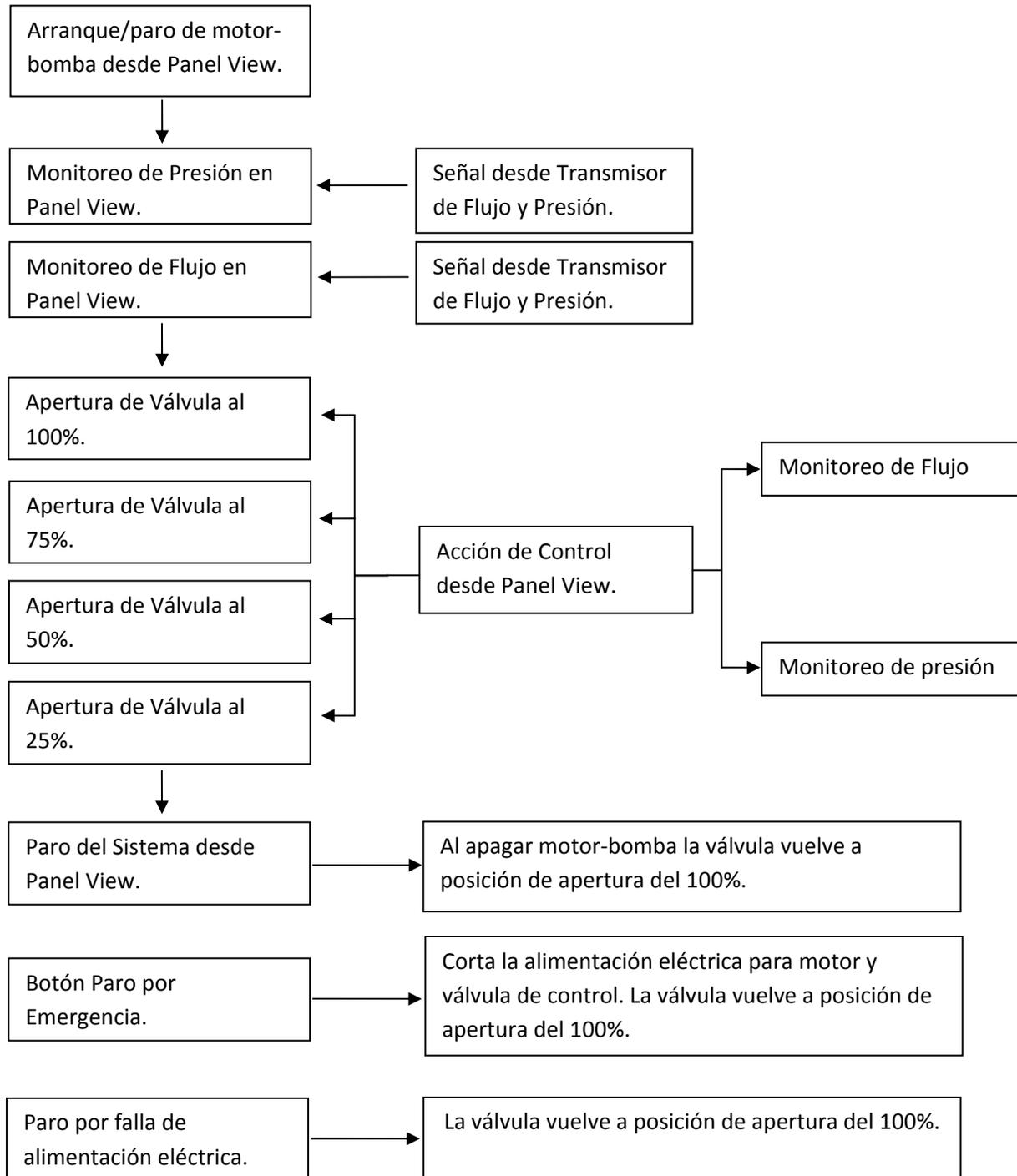
Tipo	Función	Marca	Modelo	Descripción	Dimensiones Alto x Ancho x Prof. (mm)
Selector Modo Manual/Automático 	Selector para operación de la bomba centrifuga en modo manual o automático	CLIPSAL BY SCHNEIDER	7G80/D53/U Rotary Cam Switch,	3 Fases, 80 amp, 415vca, 60°, Rotulado Man- Off-Auto	---
Botones Arranque/Paro iluminado 	Botón arranque y paro manual para bomba centrifuga.	AUBER	SW13-UL	127 vca, 5 amp, 6 conectores, Protección IP65 color verde (operación) rojo (paro), material cobre cromado	22.5 mm (7/8") para montaje
Botón Paro por emergencia 	Botón paro por emergencia interrumpe operación de la bomba centrifuga.	G & V ELECTRIC	XB4-BS542	Botón paro por emergencia medio giro, NC, 10 amp, 400vca.	40 mm Ø cabeza pulsador, 22mm cuerpo para montaje.

Fuente: Catalogo de proveedores para equipo eléctrico, marcas ABB, Square D, Siemens, Omron, Auber, Schneider.

Nota: Los elementos propuestos cuentan con marca, modelo y descripción en caso de no encontrarse disponibles por cualquiera que sea la causa, pueden ser reemplazados por uno de las mismas características descritas en la tabla, además es importante probar su compatibilidad al proyecto.

4.2 Operaciones y Acciones de Control Ejecutables en el Programa.

Mediante los siguiente diagrama de bloques se muestran las operaciones que se ejecutan como acción de monitoreo y control sobre los elementos y variables que involucran al proceso.



4.3 Software de programación.

4.3.1 Descripción del Software para programación del PLC.

El Software empleado para la programación es Connected Components Workbench, es un conjunto de herramientas de colaboración compatibles con controladores Micro 800 y 850. Se basa en tecnología de Rockwell Automation y Microsoft Visual Studio, y ofrece programación de controladores, configuración de dispositivos e integración con el editor HMI.

Este software se utiliza para programar controladores, configurar dispositivos y diseñar aplicaciones de interface de operador.

El software Connected Components Workbench proporciona elección de lenguajes de programación IEC 61131-3 (diagrama de lógica de escalera, diagrama de bloques de funciones, texto estructurado) con compatibilidad con bloques de funciones definida por el usuario que optimiza el control de la máquina.

Link para descarga gratuita: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/Connected-Components-Workbench-Software>

4.3.2. Protocolo de comunicación Modbus RTU.

El protocolo de comunicación utilizado para el enclavamiento entre PLC e instrumentos, es el protocolo Modbus, este es un protocolo de comunicación maestro-esclavo half-duplex.

El maestro de red Modbus lee y escribe bits y registros. El protocolo Modbus permite que un solo maestro se comunique con un máximo de 247 dispositivos esclavos. Los controladores Micro800/850 aceptan protocolos Modbus RTU Master y Modbus RTU Slave.

Para obtener más información sobre la configuración e instrucciones del controlador Micro 850 para el protocolo Modbus, consulte la ayuda en línea de Connected Components Workbench. La información acerca del protocolo Modbus, se consulta en línea Modbus Protocol Specifications <http://www.modbus.org>.

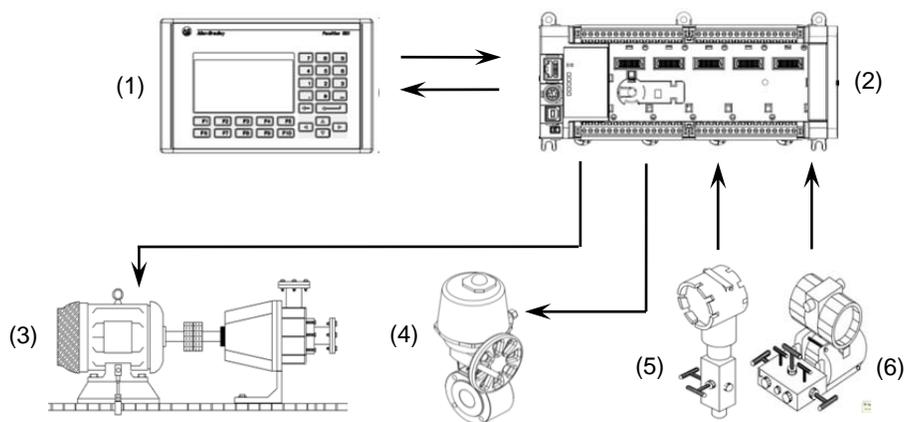


Fig. 4.18. Esquema de comunicación entre los elementos incluidos en el control automático de la bomba centrífuga (1) HMI Panel View, (2) PLC, (3) Bomba Centrífuga, (4) Válvula de control proporcional, (5) Transmisor de presión, (6) Transmisor de flujo.

4.3.3. Desarrollo del programa y simulación de acciones de control.

La finalidad de la programación es establecer en el controlador lógico programable (PLC) y en la visualización en Panel View (HMI), las acciones de control y monitoreo de variables, para la operación de la bomba centrífuga del laboratorio, pasando de un control manual el cual actualmente posee, a un control remoto.

En el capítulo 4.3.1 describimos el software Connected Components Workbench, ideal para la programación del PLC Allen Bradley serie Micro 850. Demostraremos mediante un programa alterno Zelio Soft la simulación de la ejecución de dicho programa, dado que Allen Bradley no posee un programa específico para simulación.

A) Diagrama de bloques de función.

El diagrama de bloques de función muestra los elementos en el programa, implicados en la acción de control, en la siguiente figura son representados, además de la interconexión entre ellos.

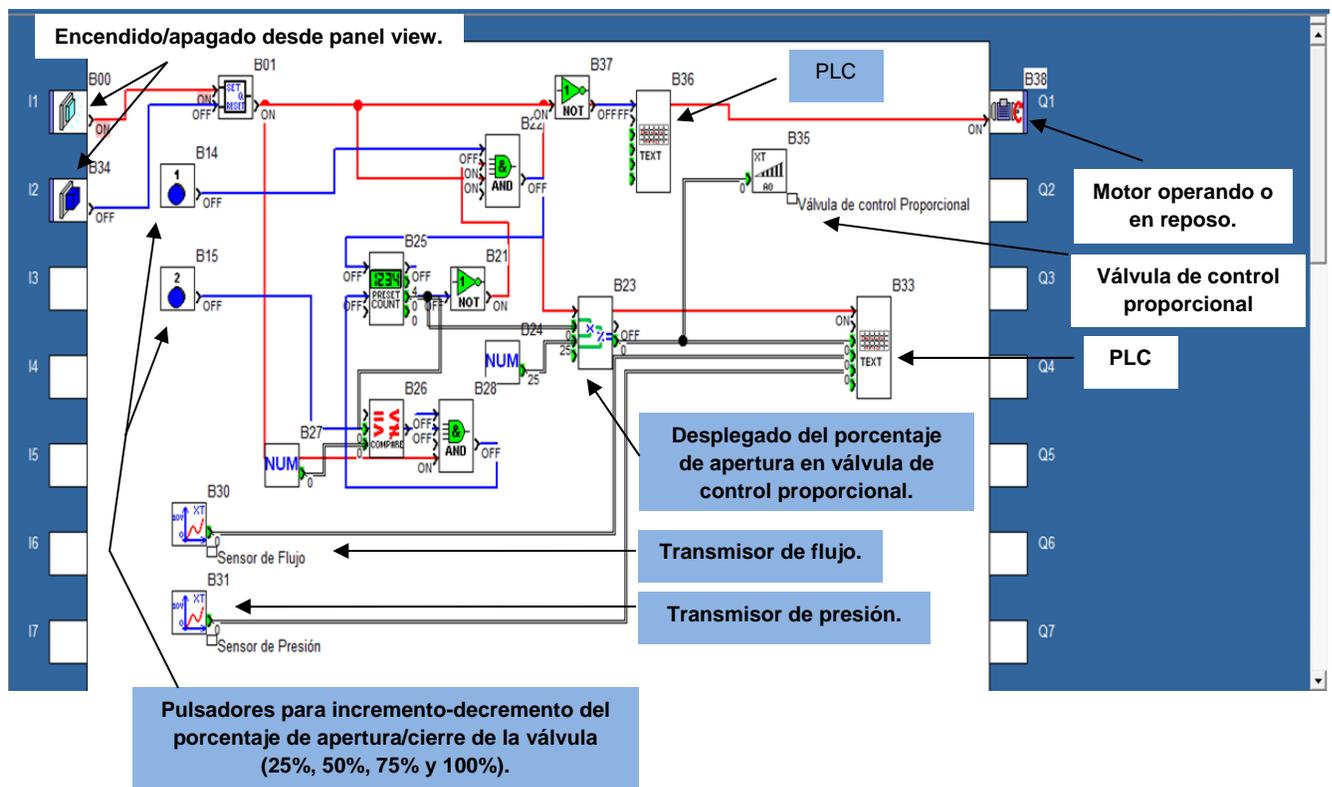


Fig. 4.19. Diagrama de bloques de función representado los elementos en el programa Zelio Soft.

B) Simulación de las acciones de control.

En la siguiente figura se muestra la simulación de las acciones ejecutables que pueden ser realizadas mediante el software.

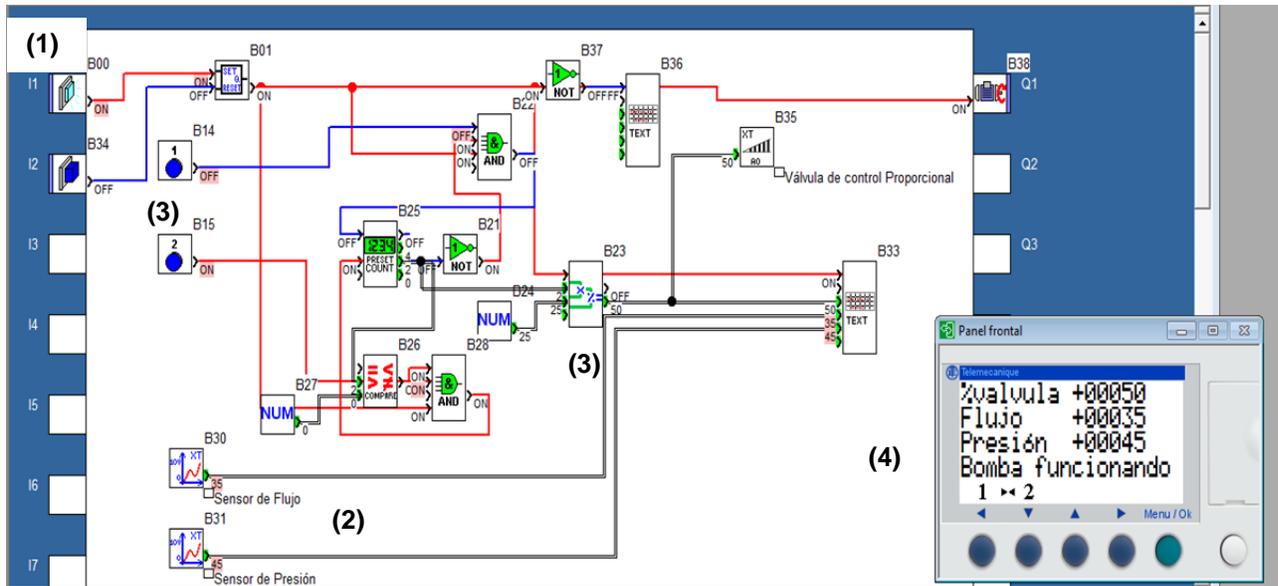


Fig. 4.20. Simulación de las acciones de control ejecutables mediante el programa.

Secuencia de Operaciones.

1. Encendido de la bomba desde panel view, el cual se comunica con el PLC y este manda una señal digital energizando la bobina del contactor eléctrico de la bomba.
2. Al iniciar la operación de la bomba los transmisores de flujo y presión inician el sensado, envían la señal de lectura análoga al PLC, este despliega el valor de la variable a través del Panel View.
3. El ajuste del porcentaje de apertura de la válvula de control proporcional, para regulación de flujo (25%, 50%, 75%, 100%), esto es con las teclas para decremento e incremento ubicadas en el panel view, mandamos una señal de salida análoga a través del PLC el cual ordenará a la válvula que porcentaje de apertura tomará.
4. Ante diferentes porcentajes de apertura de la válvula, observamos que las variables de flujo y presión tomaran diferentes lecturas y serán desplegadas en el HMI.

4.4 Diagramas, detalles y planos.

Para diagramas, detalles, planos e isométricos de cómo quedara construido el proyecto de automatización de la bomba centrífuga del cuarto de bombas del laboratorio de Ingeniería Mecánica ver Anexos I-1 al I-12.

4.5. Análisis de efecto y falla.

Como en todo proyecto habrá que considerar las posibles causas que generan desviaciones en el funcionamiento idóneo del sistema. A continuación se mencionan las posibles fallas y causas en los elementos principales que podrían generar estas desviaciones, se emiten algunas recomendaciones, esto con el fin de minimizar las posibilidades de su aparición.

Tabla 4.9. Análisis efecto-falla, para dar solución a desviaciones en la operación del proyecto de la bomba centrífuga.

Equipo o Instrumento	Falla presentada	Causa que la origino	Recomendación
Motor-Bomba centrífuga	No arranca el equipo.	Falla de alimentación eléctrica al equipo.	Revisar la alimentación principal al tablero eléctrico, revisar condición del interruptor general, la alimentación del tablero eléctrico al arrancador, realizar prueba manual al arrancador accionando la bobina, revisar cableado del arrancador a la bomba y todas las terminales de conexión.
	Flecha amarrada (bomba y/o motor).	Los baleros del equipo están dañados.	Revisar, lubricar o cambio baleros del equipo en caso de ser necesario
	Arranca el equipo pero se dispara al poco tiempo de iniciar operación.	Amperaje alto.	Falta de lubricación en baleros de bomba y/o motor originando consumo de alto de amperaje, revisar elementos del tablero eléctrico por posible calentamiento de alguno de ellos, revisar si no se presenta algún falso en terminales del circuito.
Válvula de control	No acciona	Válvula sin alimentación eléctrica	Revisar alimentación eléctrica a la válvula desde alimentación del tablero eléctrico
		Falla del convertidor de corriente la válvula	El convertidor de corriente presenta falla, deberá someterse a manto.
		PLC no envía señal a la válvula	Revisar la señal de control desde el PLC
		Desconfiguración	Revisar configuración del programa
		Falso en terminales	Revisar terminales de cableado de control y alimentación
		Accionamiento mecánico con soltura o dañado.	Revisar elementos de accionamiento mecánico como actuador, vástago, disco, coples, etc.

	No respeta los porcentajes de cierre y apertura programados.	Desconfiguración	Revisar configuración del programa
		Descalibración	Someter a calibración la válvula de control
		Elementos mecánicos con desgaste o dañados.	Someter a mantto. los elementos mecánicos
		Vástago de actuador o partes móviles obstruidas.	Desarmado para limpieza general de partes internas de la válvula.
Transmisor indicador de presión	No hay comunicación con el PLC (no emite registro)	Transmisor sin alimentación eléctrica.	Revisar alimentación eléctrica al transmisor desde alimentación del tablero eléctrico
		Falso en terminales de cableado de alimentación eléctrica o del cableado de control o posible daño en ellos.	Revisar cada una de las terminales del cableado de alimentación eléctrica y del cableado de control.
	Emite lectura errónea	Descalibración	El instrumento deberá someterse a calibración y mantto.
	Lectura intermitente	Tubing del transmisor tapado	Limpiar o destapar tubing del transmisor
		Alta vibración en la línea de proceso	Revisar bomba por cavitación (línea de succión y descarga)
		Variación de voltaje	La alimentación principal (CFE) presenta variación, esperar restablecimiento normal.
			Revisar equipo eléctrico/electrónico ya que presenta variación en su consumo de corriente (armónicos altos)
		Descalibración	El instrumento deberá someterse a calibración y mantto.
Transmisor indicador de flujo	No hay comunicación con el PLC (no emite registro)	Transmisor sin alimentación eléctrica.	Revisar alimentación eléctrica al transmisor desde alimentación del tablero eléctrico
		Falso en terminales de cableado de alimentación eléctrica o del cableado de control.	Revisar cada una de las terminales del cableado de alimentación eléctrica y del cableado de control.
	Emite lectura errónea	Descalibración	El instrumento deberá someterse a calibración y mantto.
	Lectura intermitente	Tubing del transmisor tapado	Limpiar o destapar tubing del transmisor
		Alta vibración en la línea de proceso	Revisar bomba por cavitación (línea de succión y descarga)
		Variación de voltaje	La alimentación principal (CFE) presenta variación, esperar restablecimiento normal.

			Revisar equipo eléctrico-electrónico ya que presenta variación en consumo de corriente (armónicos altos)
		Descalibración	El instrumento deberá someterse a calibración y mantto.
PLC	No enciende	Falla de alimentación eléctrica.	Revisar la alimentación principal desde el tablero eléctrico
			Revisar posible falso en conexiones eléctricas.
		Fusible de protección del PLC dañado	Cambiar fusible de protección del PLC
	Falla de comunicación o no se ejecutan las acciones de control.	Cable de comunicación entre el PLC y elementos o instrumentos de control se encuentra dañado, prensado, roto, o con falso en terminales de conexión.	Reparar o cambiar el cable de comunicación, o apretar terminales para eliminar falsos
		La falla se origina en los elementos o instrumentos de control.	Revisar cada una las causas de fallas descritas para estos elementos.
Desprogramado	El programa cargado al PLC no se puede ejecutar, o no realiza las acciones correspondientes.	Sera necesario cargar el programa de nueva cuenta al PLC para recuperar y ejecutar las acciones de mando.	
HMI	No enciende	Falla de alimentación eléctrica.	Revisar la alimentación principal desde el tablero eléctrico
			Revisar posible falso contacto en conexiones eléctricas.
		Fusible de protección del HMI dañado.	Cambiar fusible de protección del HMI

Fuente: Manual del usuario Allen Bradley (PLC y Panel View), Rosemount, Esa Pyronics, Guía de operación para bomba centrífuga.

CAPITULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

5.1 Resultados y Análisis.

Al implementar el proyecto de actualización de la bomba centrífuga del laboratorio de ingeniería Mecánica, obtenemos los siguientes resultados y beneficios para los estudiantes de la carrera.

- Se adicionan prácticas de automatización e instrumentación a las ya existentes en esta área.
- Con dichas prácticas se reforzaran fundamentos teóricos y prácticos, en control de procesos, electricidad, controladores lógicos programables, flujo de fluidos, instrumentos, programación de plc's, ampliando el conocimiento del alumno hacia otras ramas de la ingeniería.
- El alumno podrá manipular los elementos del sistema para una interacción hombre - máquina, siendo esto para incentivarlo en el manejo de los equipos los cuales en un futuro él será responsable.
- Alumnos de otras carreras de Ingeniería del ITCM como Eléctrica y Electrónica, podrán también considerar alguna serie de prácticas con este proyecto, al abarcar áreas de electricidad, instrumentos y programación.
- Muy importante saber que las instalaciones de la bomba centrífuga del laboratorio se actualizaran y con esto simularan una parte fundamental de las industria, a como es hoy en día, haciendo referencia a el control de procesos específicamente en equipos de bombeo.

Cabe mencionar que la inversión para este proyecto, redituara en beneficios para el instituto. Es muy importante mantener actualizadas las instalaciones, ya que al igual que las empresas y las industrias; las instituciones educativas también deben estar en constante mejora y modernización. ¿Esto por qué? Por el simple hecho de competir con otras instituciones educativas ya sean federales o privadas, ya que a final de cuenta, el alumno mantendrá su enfoque y hará su selección en base aquella institución en donde mayor calidad educativa, preparación y aprendizaje pueda obtener.

La actualización y modernización de las industrias educativas, da prestigio, da una visión que se está trabajando en la mejora continua y que lo más importante es la educación del alumno.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS A FUTURO.

Con la conclusión de este proyecto, nos podemos percatar que es posible dar paso a la actualización o modernización de los laboratorios de las diferentes carreras del ITCM, este proyecto refleja una pequeña muestra de lo mucho que se puede hacer con atributos como aplicación de ingeniería, creatividad y dedicación de los alumnos y maestros, así como una inversión moderada de la institución, puede lograrse una renovación poco a poco de instalaciones, para mayor aprovechamiento de las mismas.

Entre las recomendaciones específicamente para este proyecto es llevar a cabo:

- Mantenimientos programados y recomendados básicos de equipos e instrumentos.
- Limpieza mensual con aire comprimido regulado para remoción de polvo y partículas de tablero de control y tablero eléctrico.
- Los equipos como el PLC y Panel View, deberán desinstalarse y guardarse en un lugar seguro en periodos largos sin actividad, como vacaciones o periodos de ausencia.
- Desenergizar el interruptor principal del sistema al terminar la práctica y siempre que se manipule cableado o dispositivos dentro de los tableros.
- Siempre deberá haber una supervisión especializada por parte de un maestro.

Para trabajos futuros pueden agregarse a este proyecto, otra variedad de instrumentos, tal como, llevar a cabo un monitoreo mediante un indicador de temperatura, indicador de potencia y corriente, indicador de nivel para cisterna, crear lazos de control entre válvula y transmisores, al igual otro tipo de programación para el PLC y muchas variantes mas las cuales podemos encontrar para un control de un proceso de este tipo. Alumnos de futuras generaciones podrán trabajar en ello y hacer más amplio y moderno este sistema.

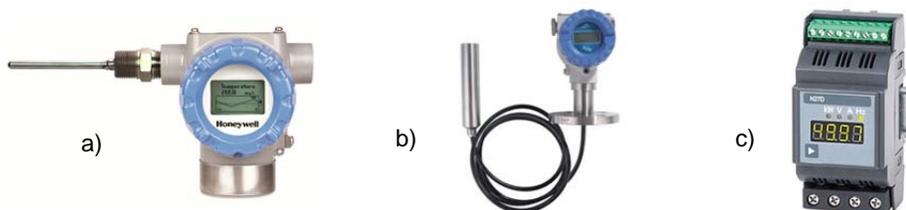
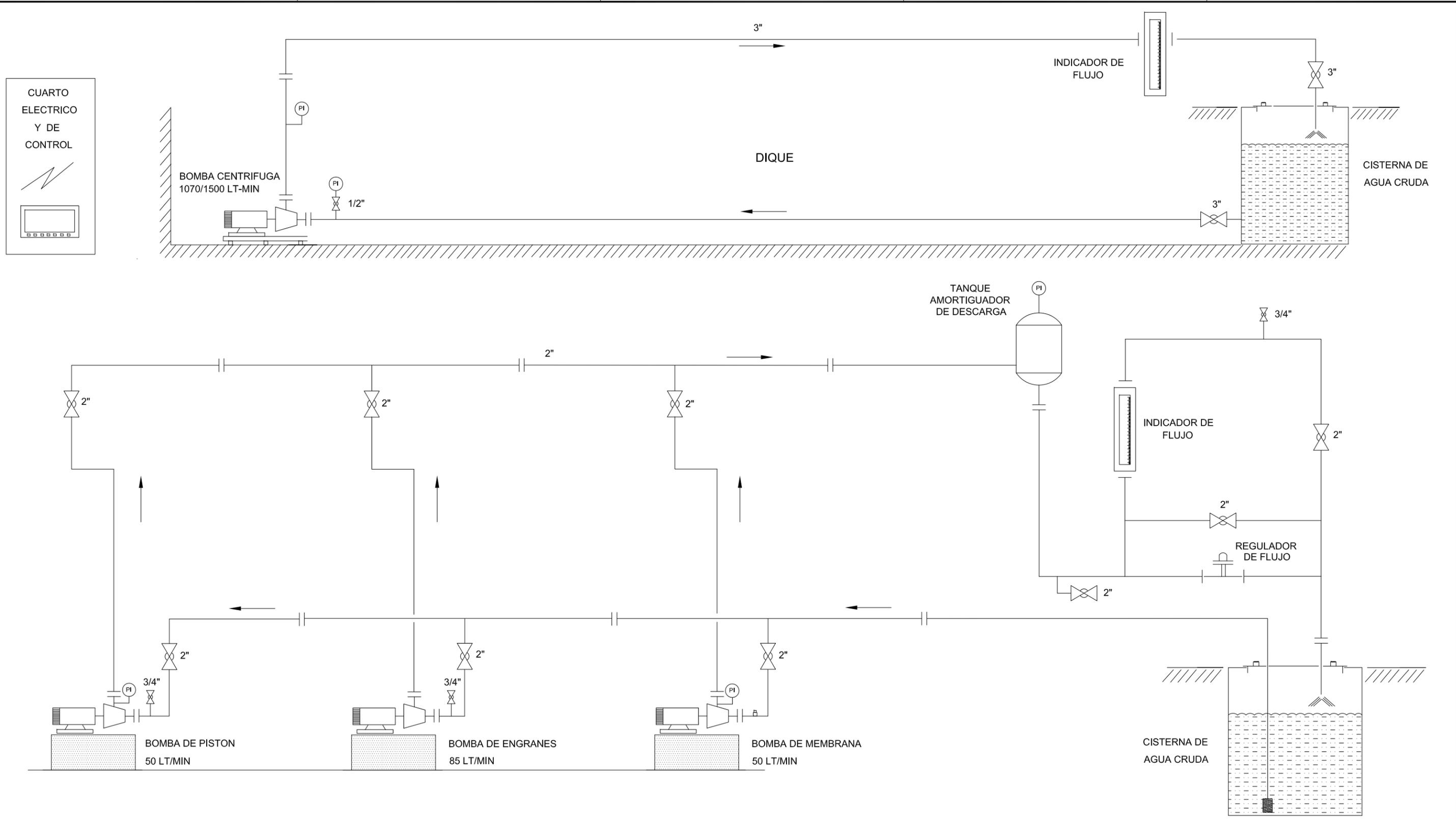


Fig.6.1. Instrumentos de medición que podrán agregarse al proyecto de actualización de la bomba centrífuga del laboratorio en un futuro a) Indicador de temperatura, b) Indicador de nivel, c) Indicador de corriente y potencia.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DEL CUARTO
 DE BOMBAS DEL LABORATORIO DE
 ING. MECANICA

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2016
 COMENTARIOS:

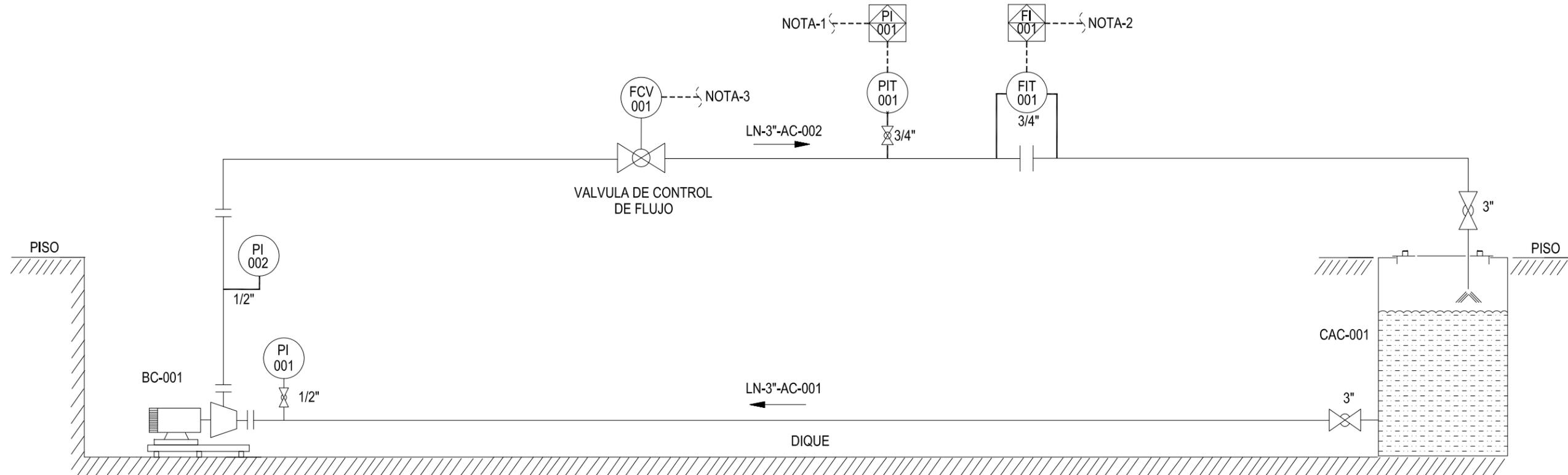
TITULO DEL PLANO:
 A-01. DIAGRAMA DE EQUIPOS, TUBERIA E
 INSTRUMENTACION DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA

BC-001
BOMBA CENTRIFUGA
FLUJO DE OPERACION: 1070/1500 LT-MIN
PRESION DE OPERACION: 3KG/CM2

CAC-001
CISTERNA DE AGUA CRUDA
CAP-2000 LTS.

NOTAS.

1. SEÑAL DE MEDICION DE PRESION ENVIADA AL PANEL VIEW A TRAVES DEL PLC UBICADO EN CUARTO DE CONTROL.
2. SEÑAL DE MEDICION DE FLUJO ENVIADA AL PANEL VIEW A TRAVES DEL PLC UBICADO EN CUARTO DE CONTROL.
3. SEÑAL DE MANDO ENVIADA DESDE EL PLC A TRAVES DEL PANEL VIEW UBICADO EN CUARTO DE CONTROL. PARA REGULACION DE FLUJO EN LA VALVULA.

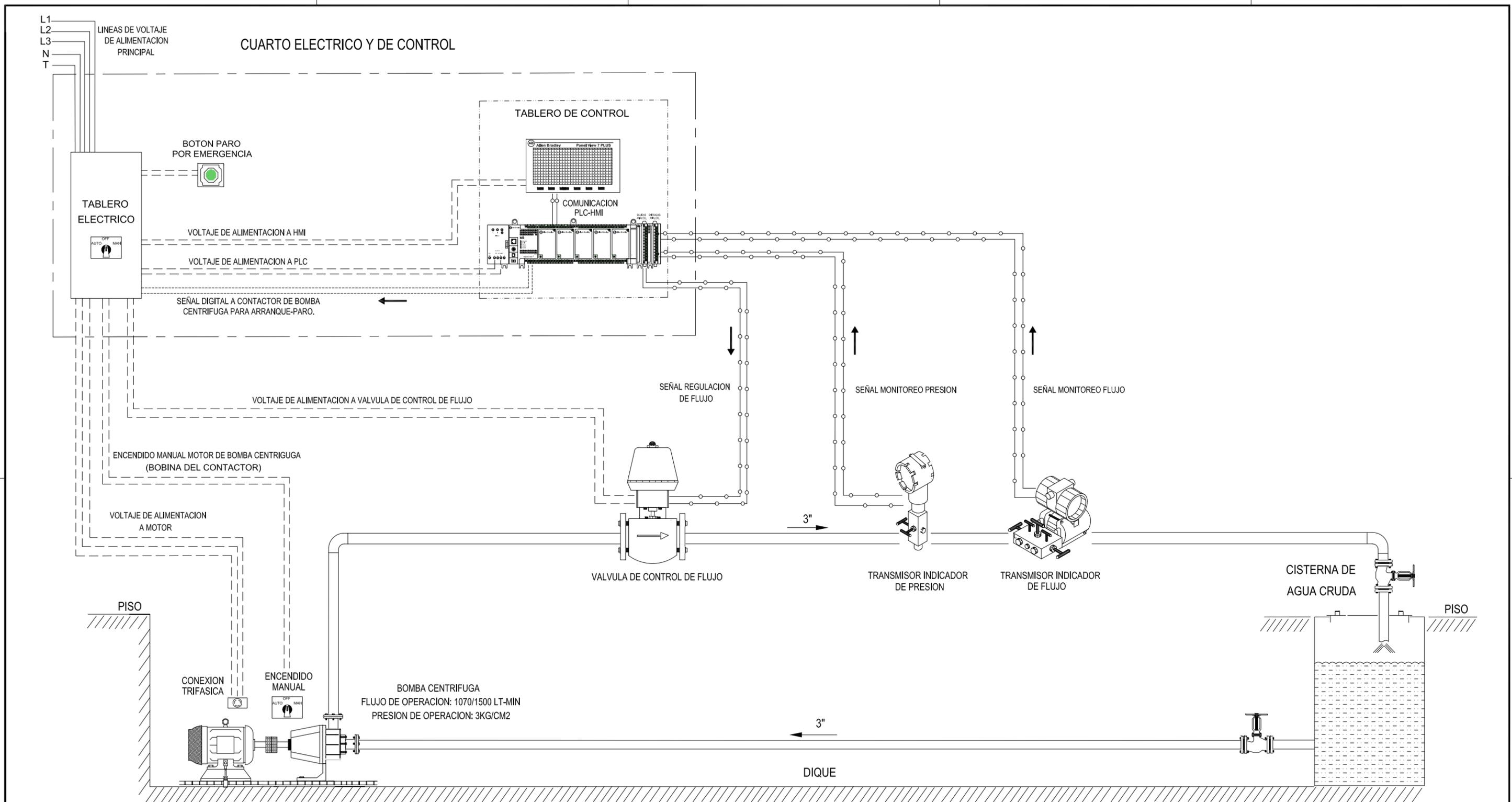


INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
E INVESTIGACION
MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
FECHA: 22/JUN/2017
COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
A-02. DIAGRAMA DE EQUIPOS, TUBERIA E
INSTRUMENTACION DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA (PROYECTO).

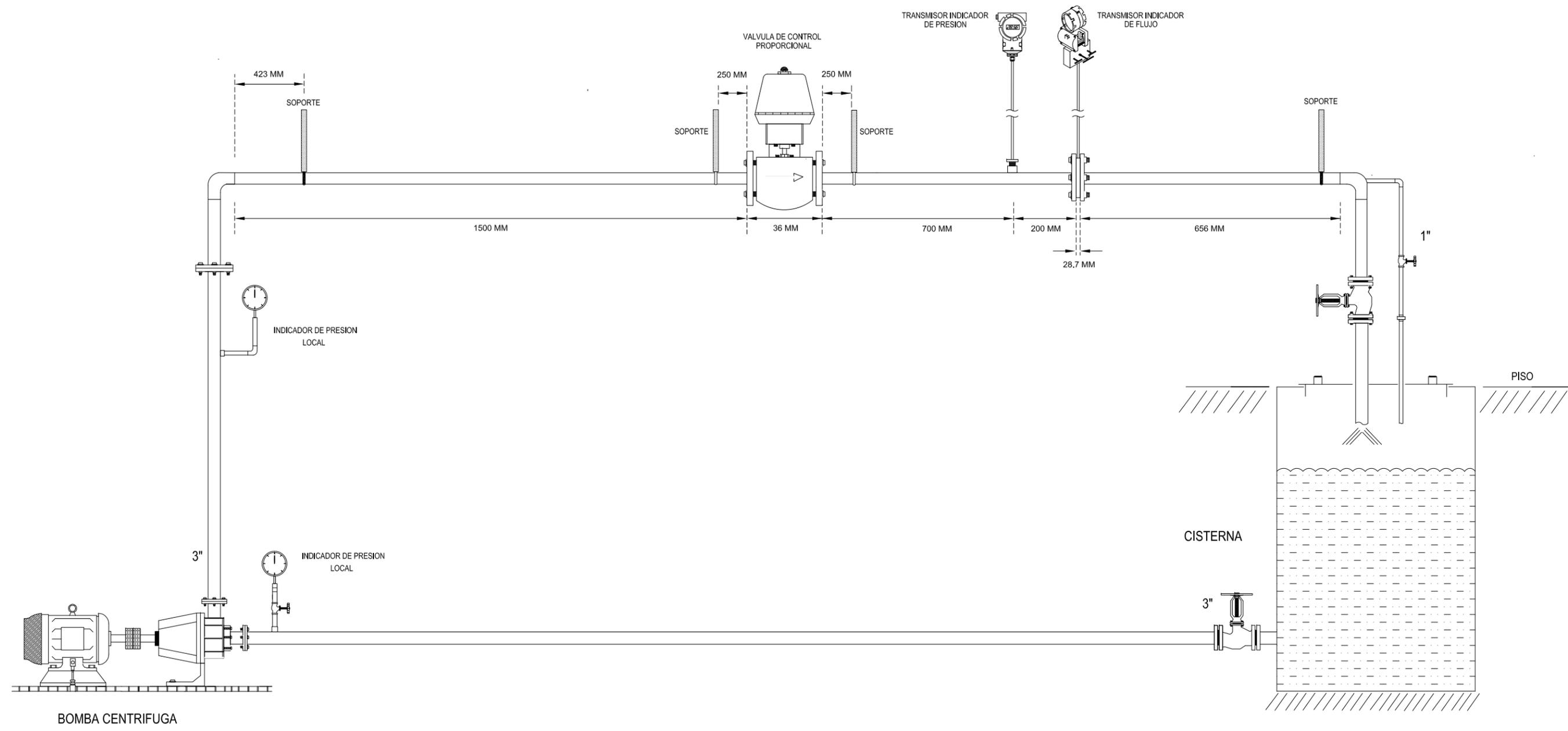


INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
 CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2016
 COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
 A-03. ARQUITECTURA ELECTRICA Y DE
 COMUNICACION PARA EQUIPOS E INSTRUMENTOS
 DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL LABORATORIO DE
 ING. MECANICA

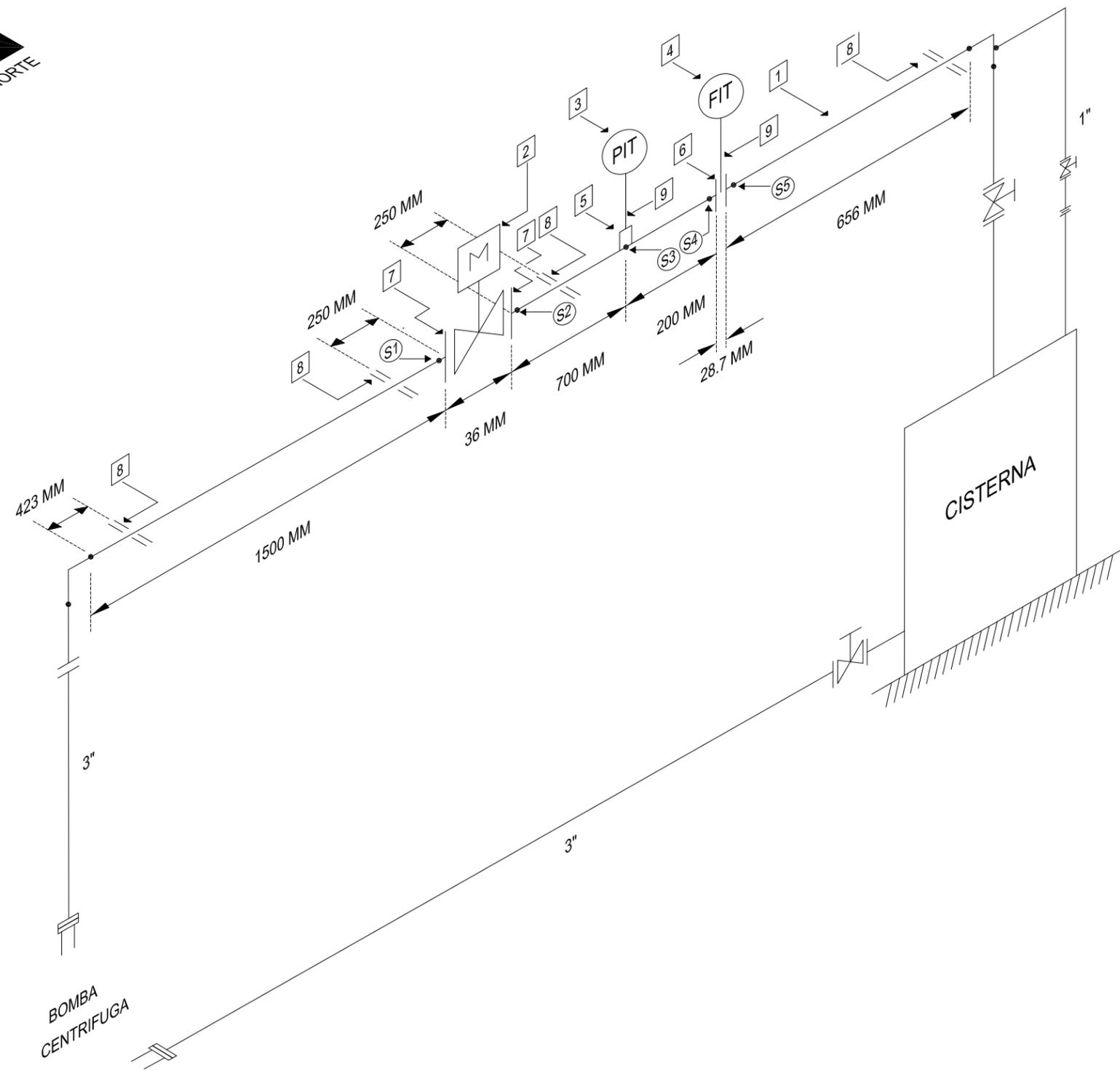


INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
 CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2017
 COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
 A-04. DETALLE DE INSTRUMENTADOS MONTADOS
 EN TUBERIA 3" DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA



LISTA DE MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS.		
PARTIDA	CANTIDAD	DESCRIPCION DEL ELEMENTO
01	3 MTS.	TUBERIA AC. AL CARBON 3" Ø ASTM A-106 GR. B CED. 40.
02	01	VALVULA REGULADORA DE FLUJO CON ACTUADOR ELECTRICO MCA. ESA PYRONICS INT.
03	01	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION ROSEMOUNT 3051 T IN LINE.
04	01	TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO ROSEMOUNT 3051 CFC COMPACT.
05	01	COPELLE SOLDADO AC. AL CARBON CED. 80, ROSCA STD. INTERIOR 1/2"
06	02	BRIDAS 3" ANSI B16.5 AC. AL CARBON, CLASE 600 LBS. SLIP ON, PARA PLACA DE ORIFICIO 4 ESPARRAGOS 3/4" AC. AL CARBON 3" LARGO, ROSCA STD, 4 TUERCAS CON RONDANA.
07	02	BRIDAS 3" ANSI150 LBS. SLIP ON, MAT. AC. CARBON, CON 8 TORNILLOS M12 MATERIAL AC. AL CARBON CON RONDANA, PARA MONTAJE DE LA VALVULA DE CONTROL.
08	04	SOPORTE COLGANTE PARA TUBERIA HECHO EN ANGULO DE 1 1/2" X 1 1/2" Y SOLERA 2" CON ABRAZADERA 3", 2 TORNILLOS HEXAGONAL 3/4" X 3" CON TUERCA Y 4 TAQUETES DE EXPASION PARA FIJACION EN MURO (TODO EN MAT AC. AL CARBON).
09	9 MTS.	TUBING EN ACERO INOXIDABLE 1/2", CON 5 CONECTORES MACHO-HEMBRA TIPO CAMPANA.

TABLA DE SOLDADURAS	
ID.	DESCRIPCION
S1	SOLDADURA AC. AL CARBON 7018 PARA BRIDA 3" S.O. CON SELLO INTERIOR.
S2	SOLDADURA AC. AL CARBON 7018 PARA BRIDA 3" S.O. CON SELLO INTERIOR.
S3	SOLDADURA AC. AL CARBON 7018 PARA COPLER 3/4".
S4	SOLDADURA AC. AL CARBON 7018 PARA BRIDA 3" S.O. CON SELLO INTERIOR.
S5	SOLDADURA AC. AL CARBON 7018 PARA BRIDA 3" S.O. CON SELLO INTERIOR.



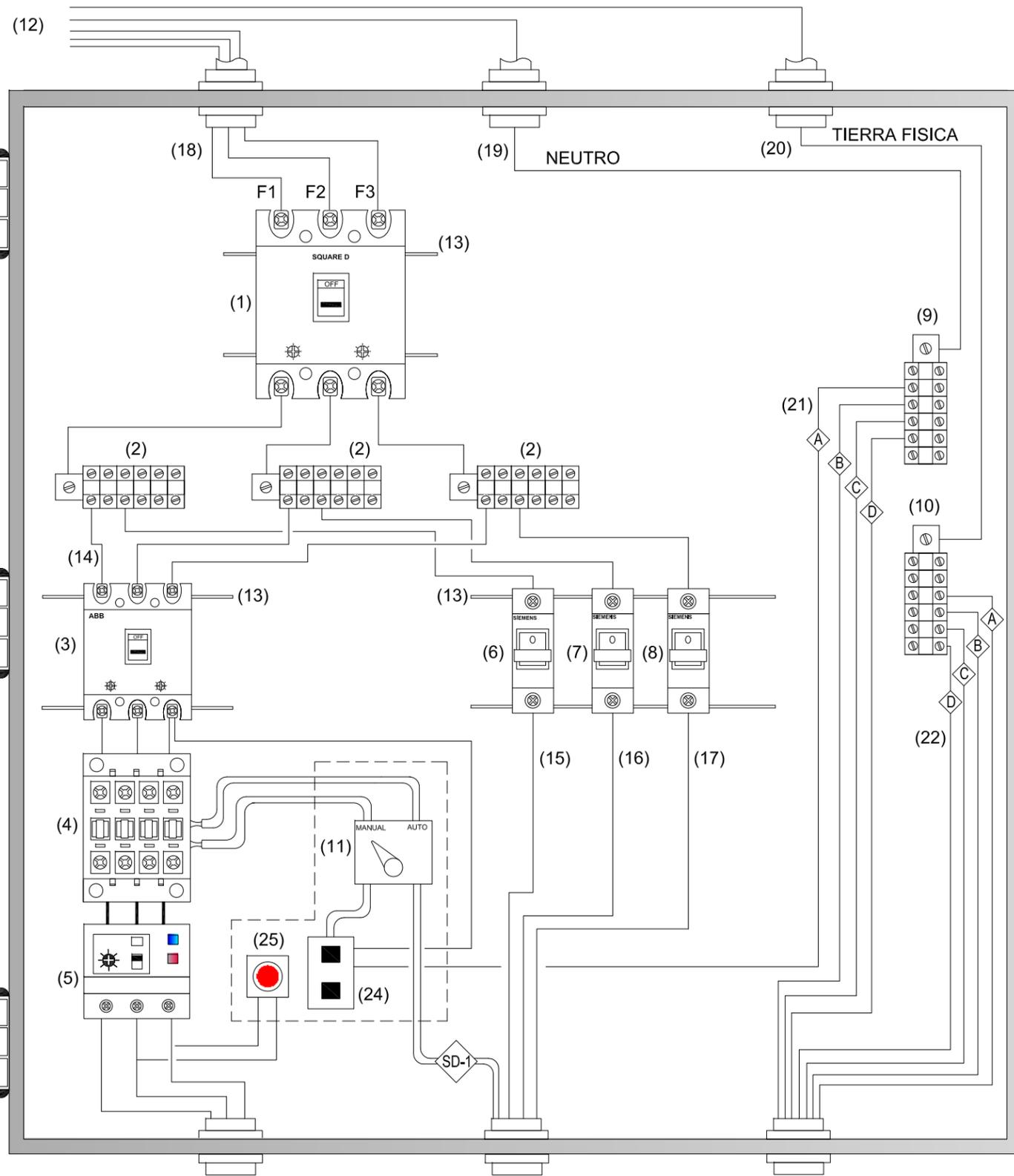
INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
 CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2017
 COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
 A-05: ISOMETRICO PARA REDISEÑO DE LA LINEA
 DESCARGA DE LA BOMBA CENTRIFUGA.

TEF-01



NOTAS:

1. INTERRUPTOR GENERAL DEL TABLERO DE FUERZA 3 FASES DE 127 VCA, 50 AMP.
2. BARRA DE FASES (F1, F2, F3).
3. INTERRUPTOR PARA MOTOR DE BOMBA CENTRIFUGA 3 FASES DE 127 VCA, 40 AMP.
4. ARRANCADOR 3 FASES, 40 A, 400v , BOBINA 24 VCD y 127 VCA PARA MOTOR DE BOMBA CENTRIFUGA.
5. GUARDAMOTOR DE BOMBA CENTRIFUGA.
6. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 127 VCA PARA VALVULA DE CONTROL PROPORCIONAL.
7. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 127 VCA PARA PLC.
8. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 127 VCA PARA PANEL VIEW.
9. BARRA CON TERMINALES PARA LINEA NEUTRO.
10. BARRA CON TERMINALES PARA DE TIERRA FISICA.
11. SELECTOR OPERACION MODO AUTOMATICO / MODO MANUAL PARA BOMBA CENTRIFUGA.
12. LINEAS DE VOLTAJE (3), NEUTRO Y TIERRA PROVENIENTES DEL TABLERO EXISTENTE.
13. RACK PARA MONTAJE DE INTERRUPTORES.
14. CABLE DE FUERZA CALIBRE ALIMENTACION DE MOTOR TRIFASICO DE BOMBA CENTRIFUGA
15. CABLE CALIBRE ALIMENTACION DE VALVULA DE CONTROL PROPORC.
16. CABLE CALIBRE ALIMENTACION DE PLC.
17. CABLE CALIBRE ALIMENTACION DE HMI (PANEL VIEW).
18. CABLE CALIBRE ALIMENTACION INTERRUPTOR GENERAL.
19. CABLE NEUTRO PRINCIPAL.
20. CABLE DE TIERRA PRINCIPAL.
21. CABLE NEUTRO (A) BOTONERA ENCENDIDO/APAGADO MANUAL, (B) VALVULA DE CONTROL, (C) PLC Y (D) HMI.
22. CABLE DE TIERRA FISICA PARA EQUIPOS (A) MOTOR DE BOMBA, (B) PLC, (C) HMI, (D) VALVULA DE CONTROL, TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION Y TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO.
23. TABLERO DE FUERZA PARA ALIMENTACION ELECTRICA.
24. CAJA BOTONERA PARA ENCENDIDO/APAGADO MANUAL DE BOMBA CENTRIFUGA.
25. BOTON PARO POR EMERGENCIA INTERRUMPE OPERACION DE BOMBA CENTRIFUGA.

SD-1 SEÑAL DIGITAL 24 VCD DESDE PLC A BOBINA DEL CONTACTOR PARA ARRANQUE - PARO DE MOTOR DE BOMBA CENTRIFUGA.

--- ESTA DIVISION INDICA QUE ESTOS ELEMENTOS SE ENCUENTRAN EN EXTERIOR DEL TABLERO ELECTRICO.

TEF TABLERO ELECTRICO DE FUERZA.



INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
E INVESTIGACION
MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

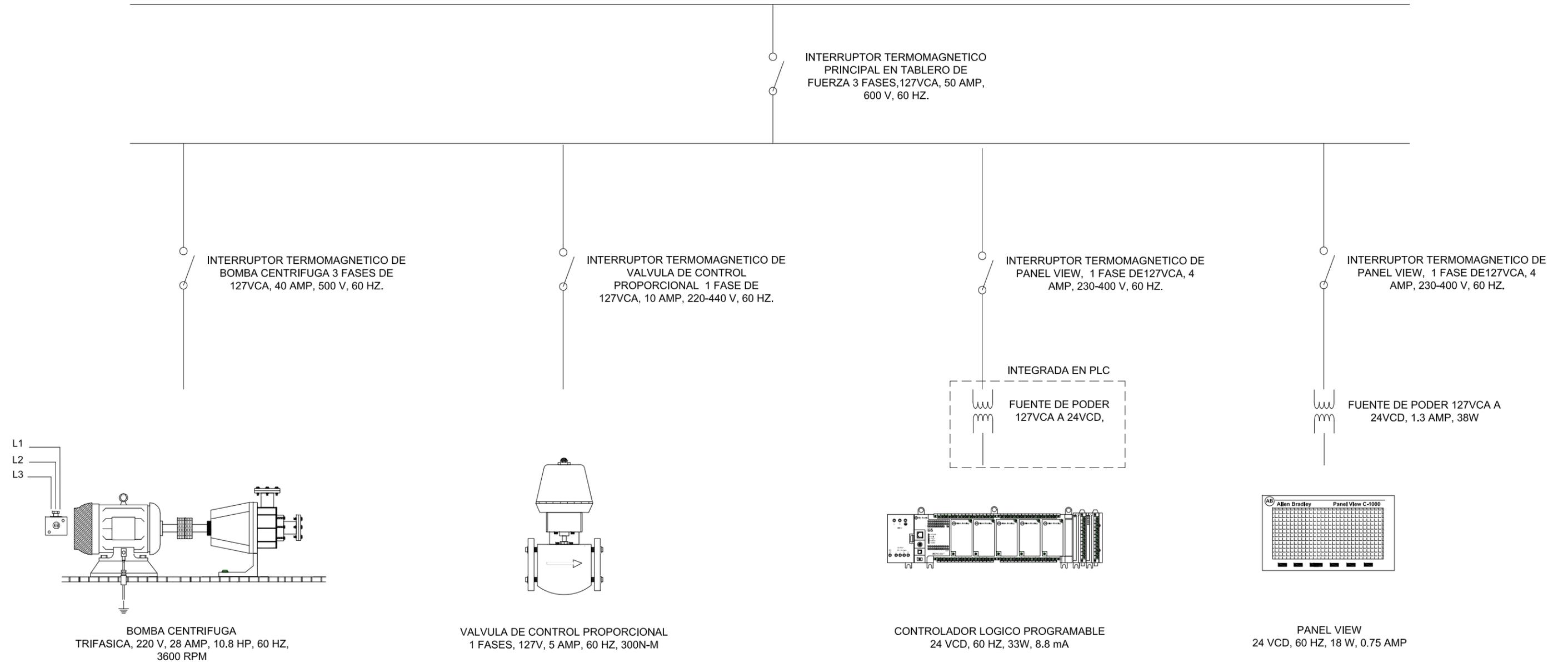
PROYECTO:
CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
FECHA: 22/JUN/2017
COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
A-06. DETALLE DEL TABLERO DE FUERZA
PARA BOMBA CENTRIFUGA DEL LABORATORIO DE
INGENIERIA MECANICA .

DIAGRAMA ELECTRICO DE DISTRIBUCION DE CARGAS

VIENE DE TABLERO ELECTRICO
EXISTENTE
3 FASES, 127 VCA, 60 HZ.



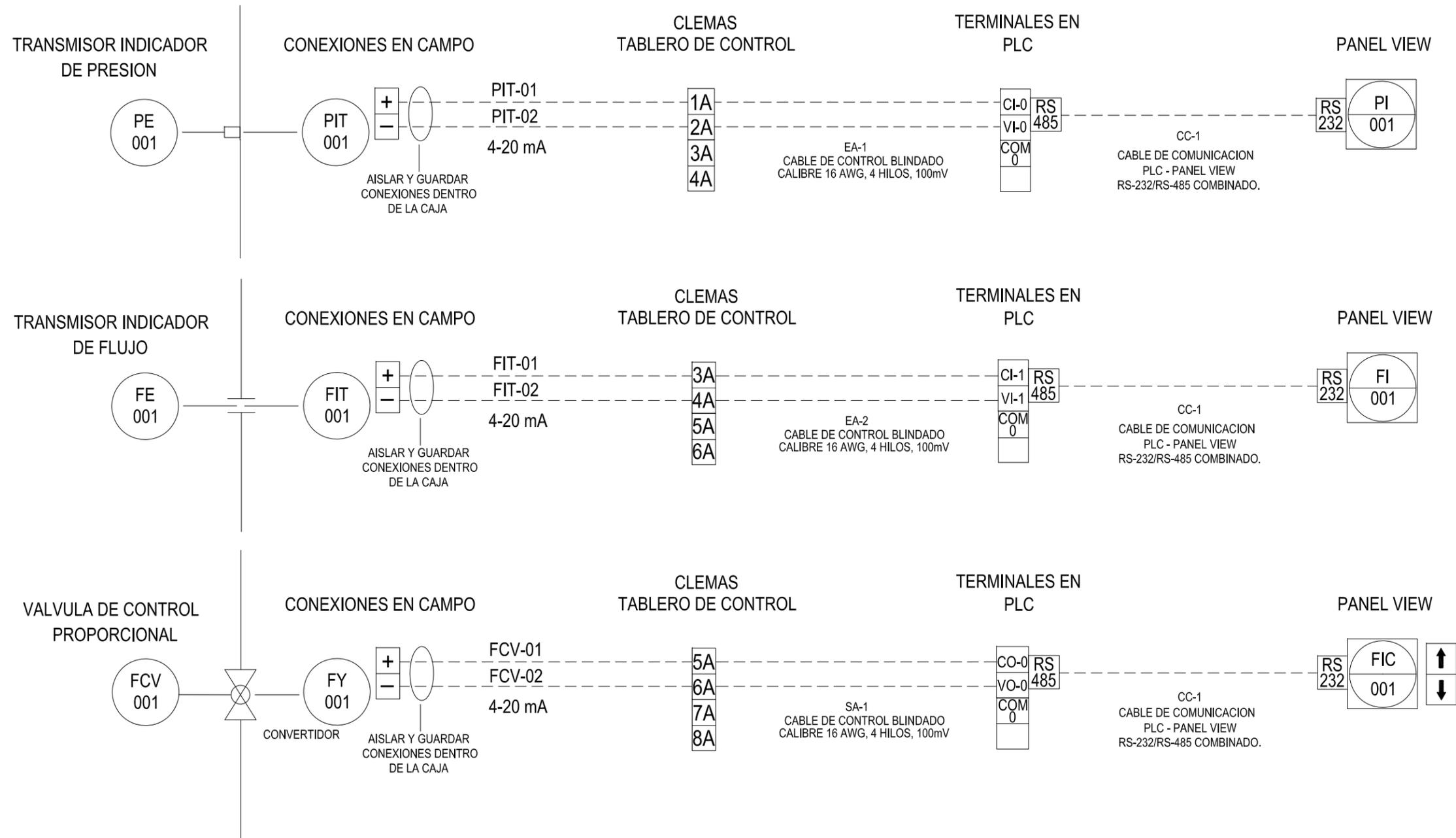
INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
E INVESTIGACION
MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
FECHA: 22/JUN/2017
COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
A-08. DIAGRAMA ELECTRICO DEL CENTRO DE CARGA
PRINCIPAL DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL
LABORATORIO DE INGENIERIA MECANICA.

LOOPS (DIAGRAMAS DE LAZO PARA INSTRUMENTOS)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA



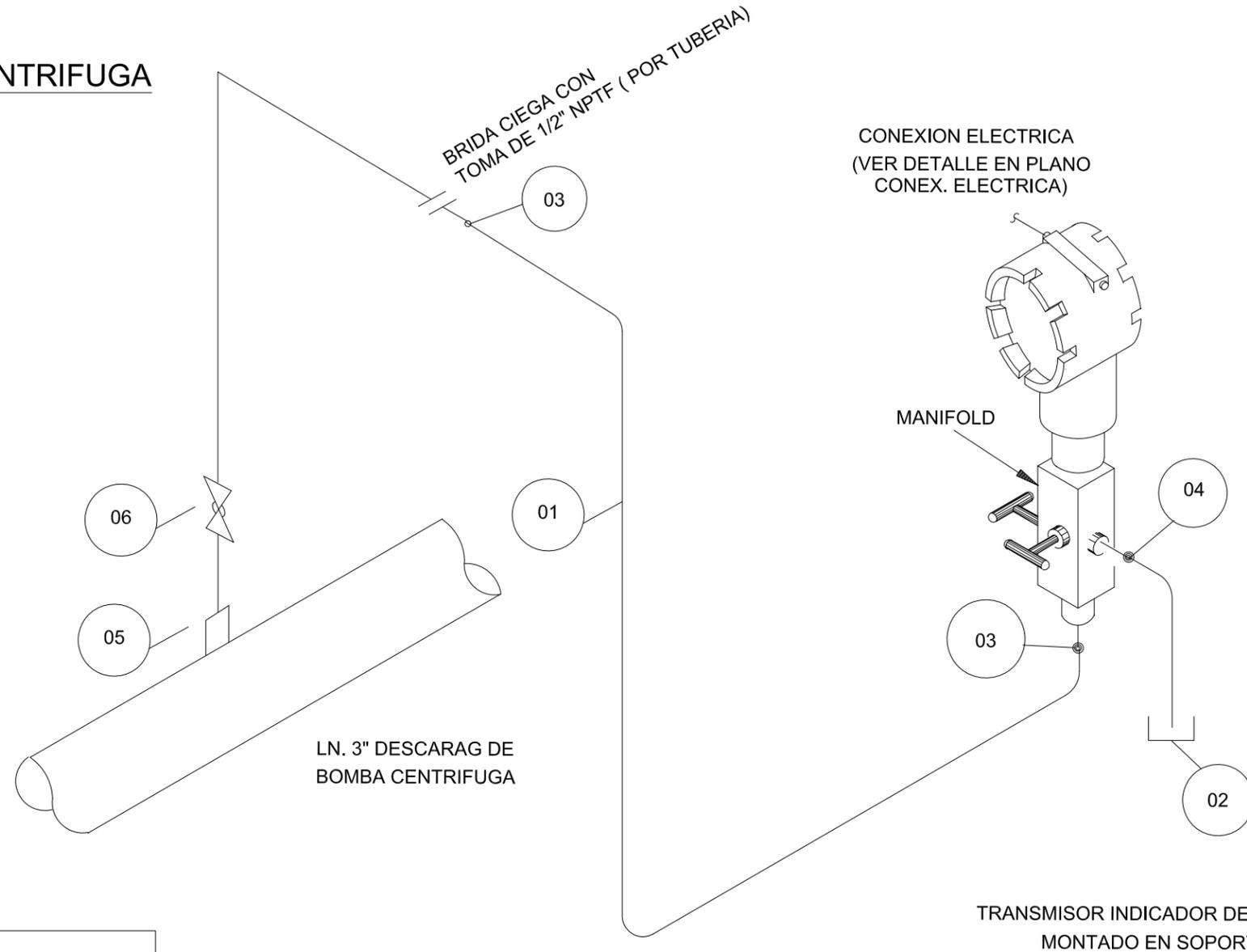
PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
 CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2017
 COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
 A-09. DIAGRAMA DE LAZO PARA INSTRUMENTOS DE
 MONITOREO Y CONTROL DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL
 LABORATORIO DE INGENIERIA MECANICA .

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION

MONTAJE EN LINEA 3" DE DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA



LISTA DE MATERIALES (PARA UNA INSTALACION)					
PARTIDA	DESCRIPCION	TAMAÑO	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
01	TUBING SIN COSTURA; NACE	1/2" O.D. x 0.065" ESP.	SS316	4	m
02	TAPON CACHUCHA PARA TUBING; NACE	1/2" O.D.	SS316	1	pza.
03	CONECTOR MACHO/HEMBRA; NACE	1/2"NPT x 1/2" O.D.	SS316	2	pzas.
04	CONECTOR MACHO/HEMBRA; NACE	1/4" NPT x 1/2" O.D.	SS316	1	pza.
05	COPEL ROSCADO	1/2" D.I NPT x 1" LARGO.	AC. AL CARBON	1	pza.
06	VALVULA DE GLOBO	1/2" ROSCA INT.	MONEL	1	pza.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 E INVESTIGACION
 MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

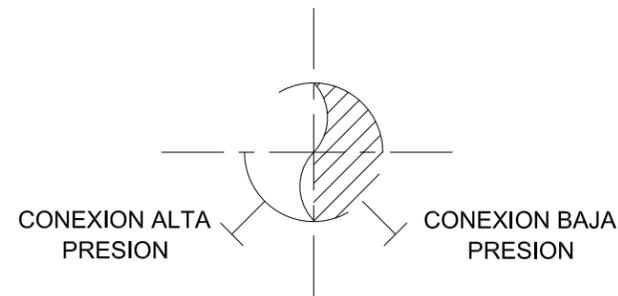
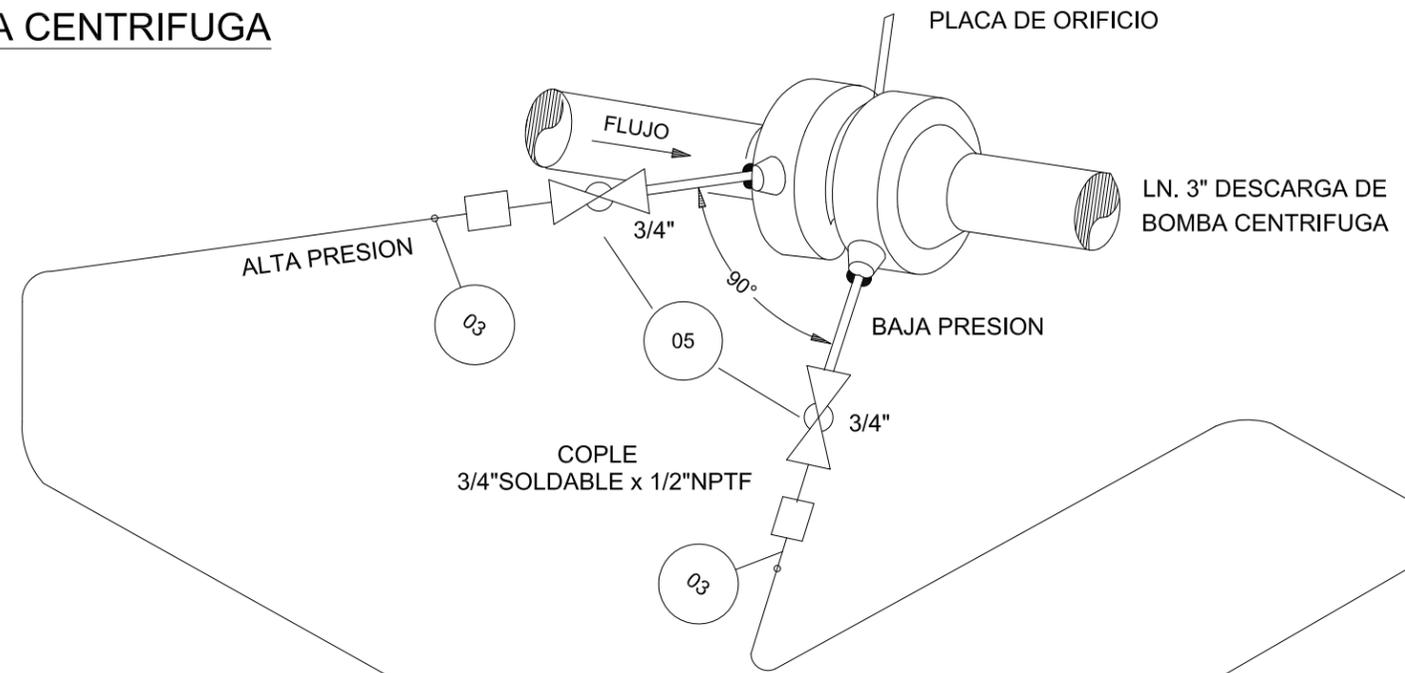
PROYECTO:
 CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
 CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
 LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
 REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
 APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
 FECHA: 22/JUN/2017
 COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
 A-10. DIAGRAMA DETALLE DE INSTALACION DE
 TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION EN LN. 3"
 DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA.

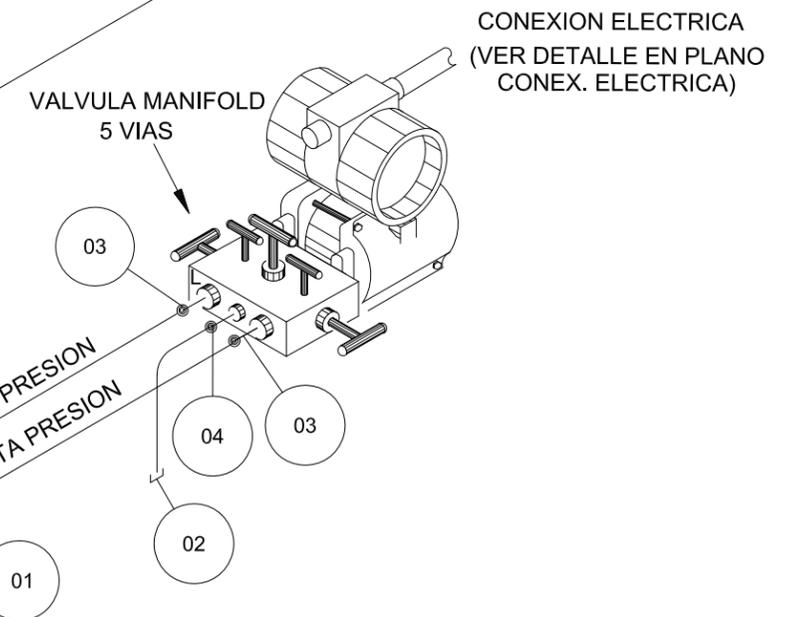
TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO DP

MONTAJE EN LINEA 3" DE DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA



ORIENTACION DEL TAPPING DE OPERACION
DIRECCION DEL TAPPING A 45 GRADOS

LISTA DE MATERIALES (PARA UNA INSTALACION)					
PARTIDA	DESCRIPCION	TAMAÑO	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
01	TUBING SIN COSTURA ; NACE	1/2" O.D. x 0.065" ESP.	SS316	10	m
02	TAPON CACHUCHA PARA TUBING; NACE	1/2" O.D.	SS316	1	PZA.
03	CONECTOR MACHO; NACE	1/2"NPTM x 1/2" O.D.	SS316	4	PZAS.
04	CONECTOR MACHO; NACE	1/4" NPTM x 1/2" O.D.	SS316	1	PZA.
05	VALVULA DE GLOBO	3/4"		1	PZA.



INSTITUTO TECNOLOGICO DE CD. MADERO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
E INVESTIGACION
MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

PROYECTO:
CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

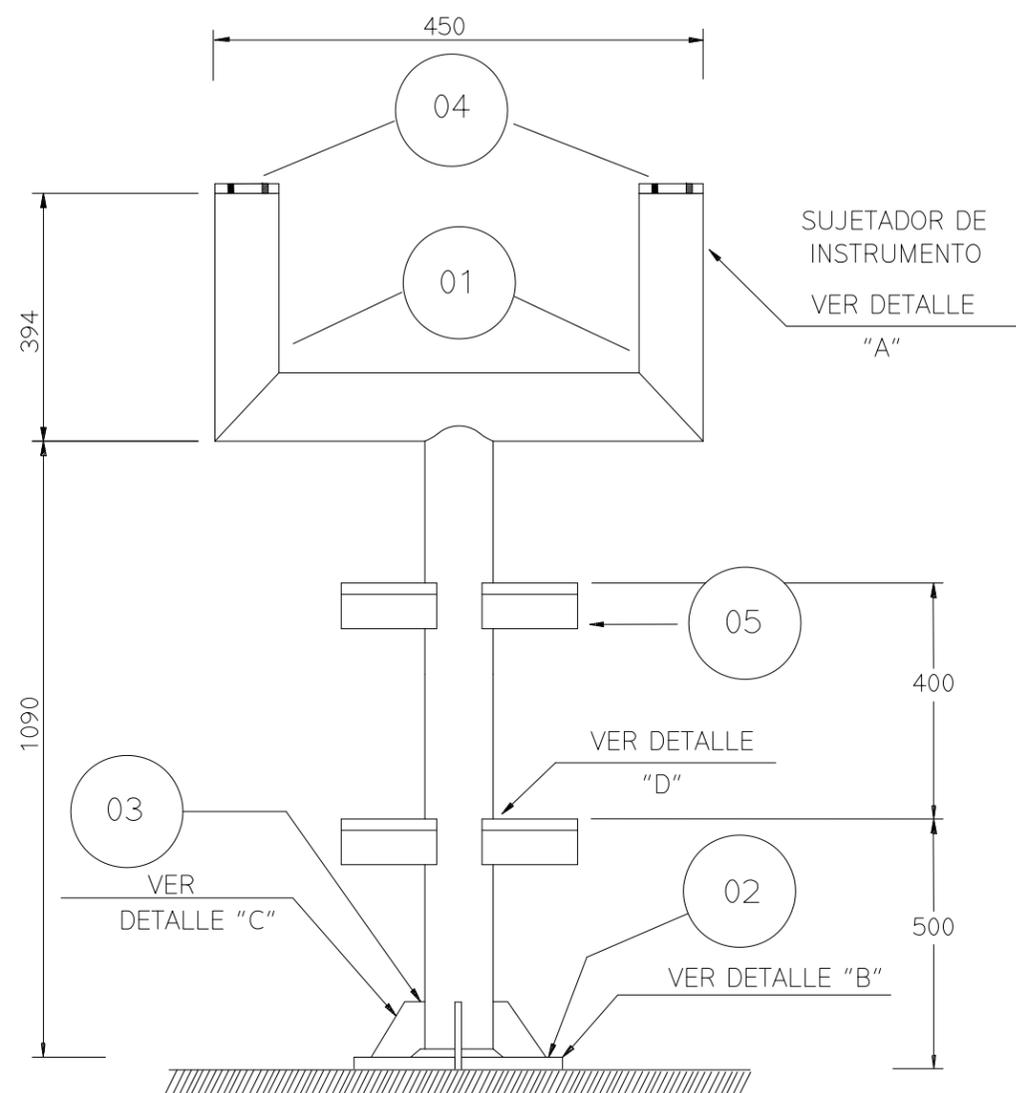
REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
FECHA: 22/JUN/2017
COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
A-11. DIAGRAMA DETALLE DE INSTALACION DE
TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO EN LN. 3"
DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA.

**SOPORTE DUAL PARA TRANSMISOR IND. DE FLUJO
Y TRANSMISOR IND. DE PRESION MONTADOS EN
LINEA 3" DE DESCARGA DE BOMBA CENTRIFUGA**

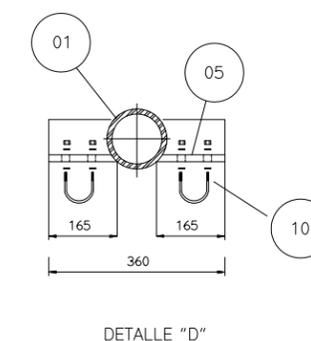
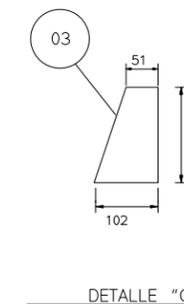
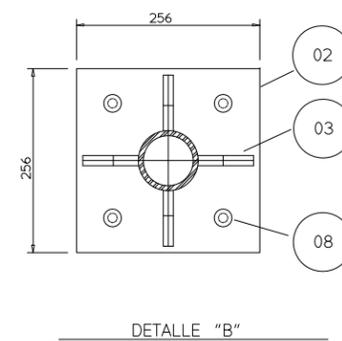
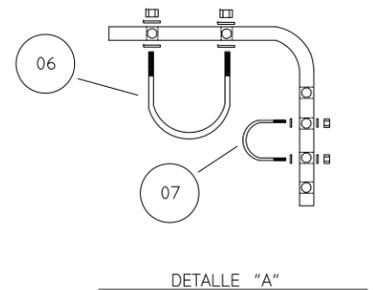
MATERIAL REQUERIDO PARA INSTALACIÓN EN CAMPO

PART.	TAMAÑO	CANT.	DESCRIPCIÓN
01	2" Ø	2.450 M	TUBO ASTM A-120 NEGRO DE 0.218" DE ESPESOR CEDULA 80
02	256 x 256 mm.	0.0625 M	PLACA DE 3/8" DE ESPESOR MATERIAL ASTM A-36
03	102 x 152 x 51 mm.	4 PZAS.	CARTABÓN DE PLACA DE 1/4" ESPESOR MATERIAL ASTM A-36
04	2"	2 PZAS.	TAPA SOLDADA A TOPE DE 1/4" DE ESPESOR, MATERIAL DE PLACA ASTM A-36
05	2" x 2"	0.2 M.	ÁNGULO ESTRUCTURAL DE ACERO AL CARBÓN ASTM A-36 DE 1/4" DE ESPESOR.
06	2" x 3"	1 PZA.	ABRAZADERA ROSCADA TIPO "U" EN ACERO INOX. 316 CON 2 ARANDELAS Y TUERCA EN AC. INOX.
07	1"x 2 1/2"	1 PZA.	ABRAZADERA ROSCADA TIPO "U" EN ACERO INOX. 316 CON 2 ARANDELAS Y TUERCA EN AC. INOX.
08	3/8"	4 PZA.	TAQUETE DE EXPANSION CON ARANDELA
09	3/4" x 3/4" x 15"	2 PZA.	PTR EN ACERO INOXIDABLE (1/4" ESP.)
10	3/4" x 2"	4 PZA.	ABRAZADERA ROSCADA TIPO "U" EN ACERO INOX. 316 CON 2 ARANDELAS Y TUERCA EN AC. INOX.



DETALLE 1

DETALLES DE SOPORTERÍA DE MONTAJE



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
E INVESTIGACION
MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA

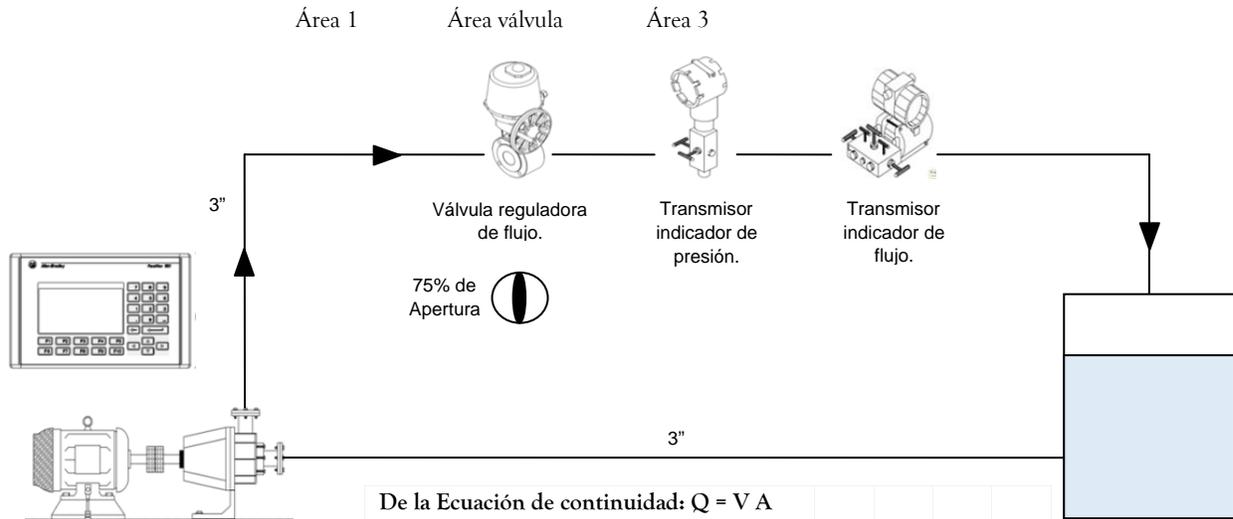
PROYECTO:
CONTROL AUTOMATICO DE LA BOMBA
CENTRIFUGA DEL CUARTO DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE ING. MECANICA ITCM

REALIZO: JOSE EMILIO CISNEROS RAMIREZ
REVISO: M.C. MARCELA CASTILLO JUAREZ
APROBO: M.C. EDUARDO GALLEGOS SILVA
FECHA: 22/JUN/2017
COMENTARIOS:

TITULO DEL PLANO:
A-12. DETALLE DE CONSTRUCCION E INSTALACION DE
SOPORTE DUAL PARA INSTRUMENTOS DE MEDICION
COLOCADOS EN LN. 3" DESCARGA DE BOMBA
CENTRIFUGA.

I-13. Practica para simulación de operación aplicada al proyecto “Control Automático de la Bomba Centrifuga del Laboratorio de Ingeniería Mecánica”.

1. Datos los parámetros siguientes determinar las velocidades y el flujo que registraría el transmisor indicador de flujo, modificando de un 100% a un 75% el porcentaje de apertura de la válvula.



Datos proporcionados:

Potencia: 10 hp
 RPM: 3500
 Ø: 3"
 Fluido: Agua cruda
 Flujo: 1070 lt/min = 1.07 m³/min
 Presión: 3 kg/cm²

De la Ecuación de continuidad: $Q = V A$

Determinar el área para 100% y 75% de Apertura de la válvula:

$$\varnothing_1 (100\%) = 3'' = 76.2 \text{ mm.} ; \varnothing_2 (75\%) = 57.15 \text{ mm.}$$

$$A_1, A_3 = \frac{\pi (D_1)^2}{4} = \frac{3.1416 (76.2)^2}{4} = 4560.3 \text{ mm}^2 = 0.00456 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{valv}} = \frac{\pi (D_2)^2}{4} = \frac{3.1416 (57.15)^2}{4} = 2565.2 \text{ mm}^2 = 0.00256 \text{ m}^2$$

Determinar flujo Q2:

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{1.07 \text{ m}^3/\text{min}}{0.00456 \text{ m}^2} = \frac{Q_2}{0.00256 \text{ m}^2}$$

$$Q_2 = 0.600 \text{ m}^3/\text{min} = \underline{600 \text{ lt/min.}}$$

Determinar la velocidad 1, 2 y velocidad a la salida de la válvula:

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{1.075 \text{ m}^3/\text{min}}{0.00456 \text{ m}^2} = 235.74 \text{ m/min} = \underline{3.92 \text{ m/s}} ; V_{\text{valv}} = \frac{Q_1}{A_{\text{valv}}} = \frac{1.075 \text{ m}^3/\text{min}}{0.00256 \text{ m}^2} = 419.92 \text{ m/min} = \underline{6.99 \text{ m/s}}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{0.600 \text{ m}^3/\text{min}}{0.00456 \text{ m}^2} = 131.57 \text{ m/min} = \underline{2.19 \text{ m/s}}$$

II. REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA.

- INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA; AUTOR K. OGATA
- ELECTRICIDAD; AUTOR MILEAF.
- MECÁNICA DE FLUIDOS 6ª. EDICIÓN; AUTOR ROBERT L. MOTT.
- BOMBAS TEORÍA, DISEÑO Y APLICACIONES; AUTOR MANUEL VIEJO ZUBICARA
- INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL 8ª EDICIÓN; AUTOR ANTONIO CREUS.
- MANUAL DE INDUCCIÓN DE INSTRUMENTOS PEMEX; AUTOR LUIS ÁNGEL BUITRÓN.
- CATALOGO Y MANUAL DE INSTRUMENTOS ROSEMOUNT 2016.
- CATALOGO ESA PYRONICS INTERNATIONAL; VÁLVULAS DE REGULACIÓN MODULANTE.
- CATALOGO Y MANUAL CONTROLADORES PROGRAMABLES MICRO 830 Y 850; ALLEN BRADLEY.
- CATALOGO Y MANUAL TERMINALES PANEL VIEW COMPONENT C-1000; ALLEN BRADLEY.
- CATÁLOGOS MATERIAL ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO ABB, WEG, SIEMENS, EUCHNER, SCHNEIDER, OMRON, EATON, SQUARE D.
- TESIS “REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE BOMBEO”. AUTOR DANIEL GUADALUPE DE SANTIAGO; UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE QUERÉTARO.
- PROTOTIPO “CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL Y CAUDAL”; UNIVERSIDAD UPS QUITO, ECUADOR, AUTORES JOSEPH VERGARA, ROBINSON MOLINA, CESAR MACHADO.
- TESIS “BANCO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PROCESOS” UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, AUTOR JAIME SANTAMARINA REYES.
- NORMAS OFICIALES MEXICANAS NOM-021-028-029-STPS (SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELECTRICAS).
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012 (INSTALACIONES ELECTRICAS).
- CODIGOS INTERNACIONALES
 - IEEE (ELECTRICA-ELECTRONICA)
 - ISA (INSTRUMENTOS DE MEDICION)
 - NEMA (GABINETES DE CONTROL Y FUERZA)