

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE
DOSIFICACIÓN DE AGUA-MINERAL PARA EL MOLINO DE BOLAS EN EL
ÁREA DE MOLIENDA SECUNDARIA DE LA COMPAÑÍA MINERA
VOLCAN, UNIDAD OPERATIVA CHUNGAR, JUNÍN.

Autor: Eliana Sarita Vega Tapia

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Chiclayo, Perú

2016

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE
DOSIFICACIÓN DE AGUA-MINERAL PARA EL MOLINO DE
BOLAS EN EL ÁREA DE MOLIENDA SECUNDARIA DE LA
COMPAÑÍA MINERA VOLCAN, UNIDAD OPERATIVA CHUNGAR,
JUNÍN.**



TESISTA

Eliana Sarita Vega Tapia



ASESOR

Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera

CHICLAYO, 2016

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE
DOSIFICACIÓN DE AGUA-MINERAL PARA EL MOLINO DE
BOLAS EN EL ÁREA DE MOLIENDA SECUNDARIA DE LA
COMPAÑÍA MINERA VOLCAN, UNIDAD OPERATIVA CHUNGAR,
JUNÍN.**

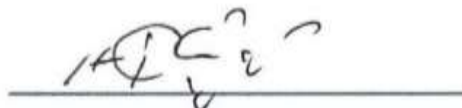
POR

Eliana Sarita Vega Tapia

Tesis presentada a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica
de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, para optar el
grado académico de **INGENIERO ELECTRÓNICO**

APROBADO POR:

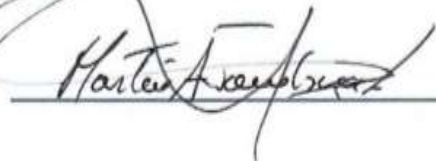
Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
PRESIDENTE DEL JURADO



Ing. Oscar Ucchely Romero Cortez
SECRETARIO DEL JURADO



Ing. Martin Augusto Nombera Lossio
VOCAL DEL JURADO



CHICLAYO, 2016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios, por haberme dado el don de la vida, por brindarme paz y esperanza cuando lo veía todo perdido, por guiarme y no desampararme, por llenarme de tantas bendiciones y darme la dicha de tener cerca de mí a mis padres y hermana.

A mis padres por su apoyo, amor, comprensión, consejos y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo en esta vida y lo suficiente para mi formación valores, carácter, empeño, principios, por ellos soy lo que soy. Por sus ánimos, también por su desacuerdos y correcciones, por querer lo mejor para mí siempre, por ello quedará grabado en mi mente y corazón que: "la mejor herencia que un padre puede dar a su hijo, es la educación", gracias a ellos por ayudarme a cumplir una de mis más preciadas metas académicas.

A mis familiares por darme fuerzas para cumplir mis propósitos y no flaquear en los problemas que se me presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis abuelos Olegario y Manuel, a mis tías Lucila, Esther, a mi querida madrina Beatriz, por guiarme desde el cielo en cada paso que doy en la vida.

A mis amigos que formaron parte de esta aventura de aprendizaje y convivencia, por creer en mí por y ayudarme a creer en mí, por sus esencias tan auténticas y por enseñarme el verdadero valor de la amistad.

A mis profesores, por su paciencia, apoyo y su minuciosa ayuda en la realización de esta tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE

	Pág.
I. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
3. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivo general	17
3.2. Objetivos específicos	17
3.3. Justificación e importancia de la investigación	18
3.4. Hipótesis y variables	19
3.4.1. Formulación de la hipótesis	19
II. BASE TEORICA	20
1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	21
1.1. Antecedentes del problema	21
2. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS	24
2.1 Sistemas de control	24
2.2 Estrategias de control automático	25
2.2.1. Control retroalimentado	26
2.2.2. Control de razón	27
3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL	28
3.1 Sensores y transductores	28
3.1.1. Medición de flujo	33
3.1.2. Medición de nivel	40
3.2 Actuadores	43
3.2.1. Válvulas de control	43
3.2.2. Variadores de velocidad	49
3.2.3. El Motor	55
3.3 Autómatas programables (plc's)	56
3.3.1. Introducción	56
3.3.2. Campos de aplicación	56
3.3.3. Ventajas e inconvenientes	57
3.3.4. Funciones básicas de un plc	58
3.3.5. Nuevas funciones	59
3.3.6. Estructura	60
3.3.7. Estructura externa	61
3.3.8. Estructura modular	61
4. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN	70

4.1. Introducción	70
4.2. Símbolos y números de instrumentación	71
4.3. Número de identificación de los instrumentos	72
4.3.1. Identificación funcional	73
4.4. Nomenclatura de instrumentos	74
4.5. Símbolos de líneas	78
5. MOLINO DE BOLAS	79
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
1. PFD	83
2. DISEÑO DEL P&ID	84
3. LISTA DE INSTRUMENTOS	85
4. ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	85
4.1. Lazo de control de flujo	85
4.1.1. Hoja de datos del flujómetro	86
4.1.2. Hoja de datos de la válvula de control	87
4.2. Lazo de control de peso	91
4.2.1. Hoja de datos de variador de velocidad	91
4.3. Medición de nivel	92
4.3.1. Hoja de datos del sensor de nivel	92
5. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	95
5.1. Dimensionamiento del plc	95
5.1.1. Hoja de datos de la fuente	95
5.1.2. Hoja de datos del rack	96
5.1.3. Hoja de datos del CPU	97
5.1.4. Hoja de datos de módulo de entradas digitales	98
5.1.5. Hoja de datos de módulo de salidas digitales	99
5.1.6. Hoja de datos de módulo de entradas analógicas	100
5.1.7. Hoja de datos de módulo de salidas analógicas	101
5.1.8. Hoja de datos del hmi	102
6. ESCALAMIENTO DE SEÑALES	103
6.1. Sensor-transmisor de nivel 200-LE/LT-101	103
6.2. Sensor-transmisor de flujo 200-FE/FIT-201	104
6.3. Transmisor de peso 200-WIT-201	106
7. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL	107
7.1. Configuración del plc en unity XL	107
7.2. Direccionamiento de entradas y salidas del plc	108
7.3. Direccionamiento de memorias del plc	111

7.4. Programa del plc, en lenguaje ladder	112
7.5. Interfaz gráfica del hmi	115
8. DISEÑO DE PLANOS	116
8.1. Arquitectura de control 100-AC-1001	116
8.2. Diagramas de lazo	117
8.2.1. 200-DL-1001	117
8.2.2. 200-DL-1002	118
8.3. Diagrama unifilar 100-DU-1001	119
8.4. Diagramas de interconexión	120
8.4.1. 200-IN-1001	120
8.4.2. 200-IN-1002	121
8.4.3. 200-IN-1003	122
8.4.4. 200-IN-1004	123
8.4.5. 200-IN-1005	124
8.4.6. 200-IN-1006	125
8.4.7. 200-IN-1007	126
8.4.8. 200-IN-1008	127
8.4.9. 200-IN-1009	128
8.5. Tablero de control 200-TC-1001	129
8.6. Tablero remoto 200-TR-1001	130
IV. COSTO/BENEFICIO	131
1. COSTOS DEL PROYECTO	132
1.1. Costos de hardware	132
1.1.1. Costos de instrumentación	132
1.1.2. Costos sistema de control	133
1.2. Costos de software	134
1.3. Costos de ingeniería	135
1.4. Costos de instalación	135
1.5. Costos de capacitación	136
2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	136
2.1. Beneficios	137
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 01: Formas de Montaje de Instrumentos	71
TABLA N° 02: Instrumentos con Líneas Punteadas	72
TABLA N° 03: Número de identificación típico (número tag)	72
TABLA N° 04: Número de Identificación Expandido	73
TABLA N° 05: Tabla de Identificación de Instrumentos	74
TABLA N° 06: Símbolos de Líneas	78
TABLA N° 07: Listado de Instrumentos	85
TABA N° 08: Datos de Proceso, línea de agua	85
TABLA N° 09: Requerimientos mínimos del Sensor de Flujo	86
TABLA N° 10: Requerimientos mínimos de la Válvula de Control	88
TABLA N° 11: Requerimientos mínimos del Filtro Regulador de Aire	90
TABLA N° 12: Requerimientos mínimos del Variador de Velocidad	91
TABLA N° 13: Requerimientos mínimos del Sensor de Nivel	92
TABLA N° 14: Requerimientos mínimos del Indicador de Nivel	94
TABLA N° 15: Requerimientos mínimos de la Fuente de PLC	95
TABLA N° 16: Requerimientos mínimos del Rack del PLC	96
TABLA N° 17: Requerimientos mínimos del CPU BMXP342020	97
TABLA N° 18: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Digitales	98
TABLA N° 19: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Digitales	99
TABLA N° 20: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Analógicas	100
TABLA N° 21: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Analógicas	101
TABLA N° 22: Requerimientos mínimos del HMI	102
TABLA N° 23: Costos de los Instrumentos del Proyecto	132
TABLA N° 24: Costos del Tablero de Control 200-TC-1001	133

TABLA N° 25: Costos del Tablero de Remoto 200-TR-1001	134
TABLA N° 26: Costos de los Software para Programación	134
TABLA N° 27: Costos de Ingeniería del Proyecto	135
TABLA N° 28: Costos de Montaje, pruebas y Puesta en Marcha	135
TABLA N° 29: Costos de Capacitación	136
TABLA N° 30: Resumen del Costo Total del Proyecto	136
TABLA N° 31: Comparación de Consumo Mensual de Reactivos	137
TABLA N° 32: Comparación de Mantenimiento de Molino	137
TABLA N° 33: Resumen Beneficios total del Proyecto	138

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 01: Principio de Caja Negra	24
FIGURA N° 02: Diagrama de bloques de un sistema de Control retroalimentado	26
FIGURA N° 03: Control de razón en un sistema de mezclado	28
FIGURA N° 04: Señal de dos sensores de presión	32
FIGURA N° 05: NO montar en los siguientes puntos de Tubería	35
FIGURA N° 06: Forma recomendada de montar el instrumento	35
FIGURA N° 07: Recomendación de montaje del Flujómetro	36
FIGURA N° 08: Orientación Vertical del Instrumento	37
FIGURA N° 09: Orientación Horizontal del Instrumento	38
FIGURA N° 10: Orientación Horizontal del Instrumento en tramos rectos	39
FIGURA N° 11: Antena Cónica	42
FIGURA N° 12: Antena Parabólica	42
FIGURA N° 13: Características inherentes de válvulas	45
FIGURA N° 14: Partes de una Válvula de Control Tipo Globo	49
FIGURA N° 15: Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad	50
FIGURA N° 16: Grafica Par - Velocidad	51
FIGURA N° 17: Curva Par - Velocidad	55
FIGURA N° 18: Símbolos de Contactos, Lenguaje Ladder	68
FIGURA N° 19: Ramas de Contactos	69
FIGURA N° 20: Como conectar una Bobina	69
FIGURA N° 21: Molino de bolas	81
FIGURA N° 22: Sensor/Transmisor de Flujo	87
FIGURA N° 23: Válvula de Control de Agua	89
FIGURA N° 24: Filtro Regulador de Aire	90
FIGURA N° 25: Variador de Velocidad FC302	92
FIGURA N° 26: Sensor de Nivel VegaPuls	93
FIGURA N° 27: Indicador de Nivel Vegadis	94
FIGURA N° 28: Fuente BMXCPS2000	95

FIGURA N° 29: Rack BMXXBP0800	96
FIGURA N° 30: CPU BMXP342020	97
FIGURA N° 31: Modulo de Entradas Digitales BMXDAI1602	98
FIGURA N° 32: Modulo de Salidas Digitales BMXDRA1605	99
FIGURA N° 33: Modulo de Entradas Analógicas BMXAMIO410	100
FIGURA N° 34: Modulo de Salidas Analógicas BMXAMO0210	101
FIGURA N° 35: HMI XBTGT5330	102
FIGURA N° 36: Nivel vs Escalamiento de Canal Analógico	103
FIGURA N° 37: Flujo vs Escalamiento de Canal Analógico	105
FIGURA N° 38: Peso vs Escalamiento de Canal Analógico	106
FIGURA N° 39: Configuración del PLC	107

Resumen

El presente proyecto propone el Diseño del Sistema de Supervisión y Control de Dosificación de Agua-Mineral para el Molino de Bolas del área de molienda secundaria de la compañía minera Volcan, unidad operativa Chungar.

El sistema de control estará basado en el controlador lógico programable de la marca Schneider, modelo M340 y para el sistema de supervisión se usará una HMI touchscreen a color de 10.4" de la marca Schneider, modelo XBTGT5330 la cual me permitirá monitorear las variables de peso y flujo, adicionalmente se podrá modificar la relación entre agua y mineral que ingresa al molino, se podrá observar la apertura de la válvula de control y el % de velocidad de la faja alimentadora N°1.

En el Capítulo I se plantea el problema, los objetivos y la justificación para el sistema propuesto.

En el Capítulo II se muestra y/o propone la base teórica necesaria para poder diseñar el sistema de supervisión y control, como por ejemplo teoría acerca de motores eléctricos, variadores de velocidad, PLC, Flujometro, válvulas de control, sensor de nivel, lenguajes de programación, etc.

En el Capítulo III se diseña todo el sistema de supervisión y control, se dimensiona la válvula de control, flujómetro, PLC, variador de velocidad, sensor de nivel, se diseñan los planos requeridos para el sistema, PID, diagramas de lazo, diagramas de interconexión, arquitectura de control, diagrama unifilar, dimensionamiento de los tableros, adicionalmente se realiza la programación del PLC y HMI.

En el Capítulo IV se realiza todo el sustento económico del sistema de control, costos de hardware y software, costos de ingeniería, costos de capacitación y el tiempo de recuperación de la inversión realizada.

En el Capítulo V se realizan las conclusiones y las recomendaciones al sistema de supervisión y control.

CAPÍTULO I
ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas en el mundo hoy en día deben enfrentarse a situaciones cambiantes que hacen difícil mantenerse como ente económico, por esta razón lo más importante es mejorar continuamente en todos los aspectos en que sea posible para reducir costos producción, incrementar la utilidad y ser empresas de clase mundial.

Actualmente, en el mundo casi toda la industria minera ha empezado automatizar todos sus procesos productivos, desde la etapa de chancado hasta la etapa de filtración.

En el Perú la Compañía Minera Volcan, Unidad Operativa Chungar no es ajena a estos cambios, por lo que está destinando una partida presupuestal para automatizar todos sus procesos, con el fin de reducir costos en insumos (Reactivos), incrementar su producción y reducir el consumo de energía y agua.

En tal sentido y de acuerdo a los requerimientos del proceso se propone diseñar un sistema de supervisión y control de dosificación de agua-mineral para el molino de bolas del área de molienda secundaria.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo Diseñar un Sistema de Supervisión y Control de Dosificación Agua - Mineral para el molino de bolas en el área de molienda secundaria de la Compañía Minera Volcan, Unidad Operativa Chungar, Junín?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Sistema de Supervisión y Control de Dosificación Agua-Mineral para el Molino de Bolas en la Compañía Minera Volcan, Unidad Operativa Chungar.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar la mejor estructura y estrategia de automatización y control para lograr la operación optima del proceso de dosificación de Agua-mineral hacia el molino de bolas.
2. Determinar y Seleccionar los Instrumentos y Equipos del Sistema de Supervisión y Control de dosificación agua-mineral para el molino de bolas.
3. Realizar la programación del PLC en base a la lógica de control requerida.
4. Realizar la programación del HMI en base al P&ID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías) propuesto.
5. Diseñar la Arquitectura de Control del Proyecto
6. Diseñar los Diagramas de Interconexión
7. Diseñar los Diagramas de Lazo de los Instrumentos del Proyecto
8. Diseñar el Diagrama Unifilar del Proyecto
9. Diseñar y Dimensionar el/los Tableros de Control

3.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:

Esta investigación es importante para la empresa debido a que no existe un sistema de supervisión y control de dosificación del agua y el mineral para el molino de bolas, actualmente el operador del área de molienda diariamente y cada hora, utilizando una balanza marcy debe medir la densidad de la pulpa a la salida del molino de bolas,

La cual debe mantenerse en un rango de 1300 a 1600 kg/m³, para obtener estos valores de densidad el operador debe abrir la válvula manual de ingreso de agua a la mitad de su recorrido, y al mismo tiempo se debe alimentar 100 Tn/h de mineral al molino de bolas, este valor de peso del mineral se obtiene de la balanza merrick instalada en la faja transportadora.

En la etapa de flotación se presentan constantes problemas por la baja recuperación del mineral y el uso excesivo de reactivos, ya que la densidad de la pulpa que descarga el molino de bolas y que llega a las celdas de flotación no se encuentra en el rango requerido por el área de procesos (1300 a 1600 kg/m³), dichos valores de densidad van desde 800 a 2100 kg/m³.

Para poder asegurar que la densidad de la pulpa que descarga el molino de bolas y que ingresa a las celdas de flotación se encuentre en el rango requerido por el área de procesos (1300 a 1600 kg/m³), se diseñará un Sistema de Supervisión y Control de dosificación Agua-Mineral, el cual medirá en tiempo real el peso del mineral y asegurará que la dosificación del mineral sea constante, al mismo tiempo controlará la dosificación de agua mediante una válvula de control automático, cumpliendo la relación Agua-Mineral proporcionada por el área de procesos de planta.



El valor de relación se obtuvo después de que el área de procesos de planta realizara un estudio que determinó que la relación que debe existir entre el peso del mineral y el agua que se alimenta al molino de bolas debería ser de 0.65, para poder asegurar que la densidad de la pulpa que descarga el molino de bolas se encuentre en el rango de 1300 a 1600 kg/m³, por lo tanto:

$$\text{Agua} \left(\frac{m^3}{h} \right) = \text{Peso de Mineral} \left(\frac{Tn}{h} \right) * \text{Relación}$$

3.4. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.4.1. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

El Diseño de un Sistema de Supervisión y Control de Dosificación Agua-Mineral para el Molino de Bolas, controlará la Densidad de la pulpa que se envía hacia la etapa de flotación.

CAPÍTULO II

BASE TEÓRICA



1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Titulo	Automatización de un Holding Tank para Controlar la Densidad de Pulpa Previo al Proceso de Filtrado en la Extracción del Plomo
Autor	Shyla Quiroz Cardenas
Universidad	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Año	2012
Resumen	<p>El presente proyecto efectúa el diseño técnico y sustento económico de la Automatización de un holding tank, lo cual incluye el monitoreo y control de las variables tales como densidad, flujo y nivel.</p> <p>La automatización estará basada en un Controlador Lógico Programable que permite un mejor control de todas las variables involucradas en el proceso, una interfaz de usuario hombre-máquina (HMI) para visualizar datos y el proceso en sí.</p> <p>El proyecto se encuentra conformado básicamente en la búsqueda, identificación e interpretación del problema definido en ésta investigación, ésta parte involucra al</p> <p>El proyecto concluye con la demostración de que implementando un holding tank automático en una planta de extracción de plomo se consigue optimizar el proceso de filtrado.</p>



Titulo	Automatización para el Mejoramiento de la Distribución de agua en la subestación repartidor La Puntilla - Distrito de Riego Chancay – Lambayeque
Autor	Marco Antonio Becerra Jiménez Sandra Lisette Aznaran Guevara
Universidad	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Año	2006
Resumen	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de pérdida de materia prima (agua) de un 25% a un 10%; debido a la exactitud del posicionamiento de las compuertas tanto para apertura o cierre de estas. • Se obtiene una reducción de costos de operación y mantenimiento, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento. • Reducción de personal a un 50%. • Recuperación de la inversión empleada en corto tiempo. • Supervisión constante las 24 horas del día y almacenamiento de datos permanentes (en tiempo real). • Mejoramiento de la rentabilidad y ventaja competitiva de la empresa. • Modularidad y la flexibilidad del hardware empleado, lo cual permite extender esta solución a otros proyectos de automatización similares.



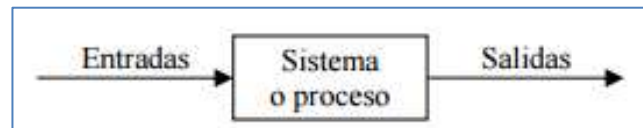
Titulo	Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación Can open
Autor	Andrés Felipe Marín Canopen
Universidad	Universidad tecnológica de Pereira
Año	2012
Resumen	<p>Este trabajo se ha realizado con el objetivo principal de mejorar sustancialmente uno de los procesos más importantes en el campo de la industria como lo son las plantas de tratamiento de agua y en nuestro caso particular la etapa de floculación que es donde se aglutinan las partículas contaminantes del agua mediante un proceso de agitación para posteriormente ser retiradas tras una fase de sedimentación.</p> <p>Gracias a la implementación de la automatización de procesos industriales se diseñará un sistema centralizado en donde se controlarán las condiciones de operación de cada uno de los motores que componen los agitadores y se supervisarán las variables de estado más representativas del proceso a través de una red de comunicación industrial y así lograr una operación óptima del sistema.</p>

2. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

2.1. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí, que producen señales de salida en función de señales de entrada. Las variables que afectan un proceso se clasifican en entradas, que denota el efecto de los alrededores sobre el proceso, y salidas, que denota el efecto del proceso sobre los alrededores. Para caracterizar el sistema sólo se requiere conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso, no es necesario conocer el funcionamiento interno o cómo actúan los diversos elementos, que es el principio conocido como de caja negra (Figura N° 01).

Figura N° 01: Principio de Caja Negra



Fuente: Gomáriz, Biel, Matas, y Reyes, 1999, p 15

Las entradas pueden clasificarse en variables manipuladas, si sus valores pueden ajustarse libremente por el ser humano o un sistema automático, y variables de disturbio, si sus valores no se controlan del todo. Las salidas se pueden clasificar a su vez en variables medibles, si sus valores se conocen por medición directa, y variables no medibles, cuyo valor no se puede medir en forma directa (Molina, 1998).

Un sistema de control es un ordenamiento de componentes físicos unidos o relacionados de tal manera que regulan al mismo sistema o a otro mediante una acción de control.



Los sistemas de control emplean frecuentemente componentes de distintos tipos, por ejemplo, componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y combinaciones de estos (DiStefano, Stubberud, y Williams, 1992; Gomáriz et al., 1999; Harrison y Bollinger, 1976). Los elementos principales de un lazo de control son:

- El elemento de medición (sensor / transmisor)
- El elemento de decisión (controlador)
- El elemento de acción (actuador / elemento final).

Todo lazo de control debe contar con estos tres elementos para poder llevar a cabo la función de control.

Un sistema bien diseñado realiza la función de control con mayor velocidad y precisión que el ser humano. En ciertos procesos, los disturbios hacen que la variable controlada se desvíe del punto de consigna o Set Point, que es el valor deseado para la variable controlada. Los sistemas diseñados para compensar estos disturbios ejercen control regulatorio. En otros casos, el disturbio más importante es el punto de consigna mismo, entonces la variable controlada debe seguirlo; los sistemas diseñados para este propósito ejercen lo que se llama servo control (Smith & Corripio, 1997).

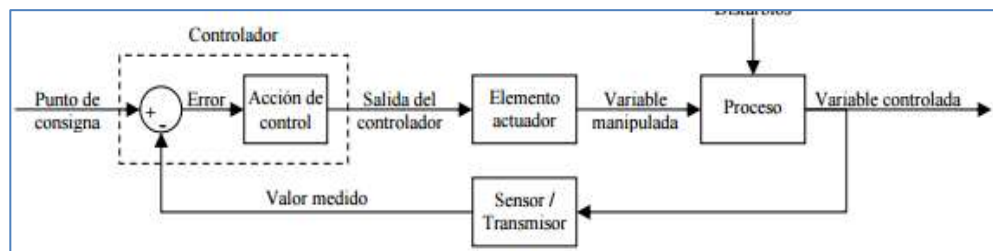
2.2. ESTRATEGIAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

Los problemas de control se resuelven generalmente con un solo controlador, pero también existen distintos esquemas de control que combinan controladores y otros componentes como filtros, selectores y demás.

2.2.1. CONTROL RETROALIMENTADO

En un sistema de control retroalimentado la variable controlada se mide por un sensor, se transmite hacia el controlador, y se compara con el valor de referencia o punto de consigna, la diferencia entre ambas variables, conocida como el error, se utiliza para modificar la variable manipulada, tendiendo a reducir la diferencia, y este proceso se repite continuamente. En otras palabras, la entrada del controlador es afectada por la salida del proceso; es decir, la información se retroalimenta para influir en la variable controlada (Franklin et al., 1991; Warwick, 1996). El principio se ilustra en la Figura N°02.

Figura N° 02: Diagrama de bloques de un sistema de control retroalimentado.



Fuente: Adaptado de Altmann, 2005, p. 2

Este sistema de control posee la ventaja de ser una técnica muy simple para compensar todos los disturbios; cualquier disturbio que aleje a la variable controlada del punto de consigna hace que el controlador cambie su salida para regresarla al mismo. No importa el tipo de disturbio, el controlador no requiere gran información del proceso, solamente requiere saber en qué dirección moverse. Esta es la estrategia de control más común; no obstante, en algunos procesos no provee el rendimiento requerido.



La desventaja principal de este tipo de control radica en que solamente puede compensar un disturbio después de que la variable controlada se ha desviado de su punto de consigna. Esto significa que el disturbio se debe propagar a través de todo el proceso antes de que el esquema de control retroalimentado pueda iniciar una acción para compensarlo; en procesos que responden lentamente, un pequeño disturbio puede causar un error prolongado (Smith & Corripio, 1997). Los sistemas de control retroalimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado.

En la práctica, los términos control retroalimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control retroalimentado para reducir el error del sistema (Ogata, 1998).

2.2.2. CONTROL DE RAZÓN

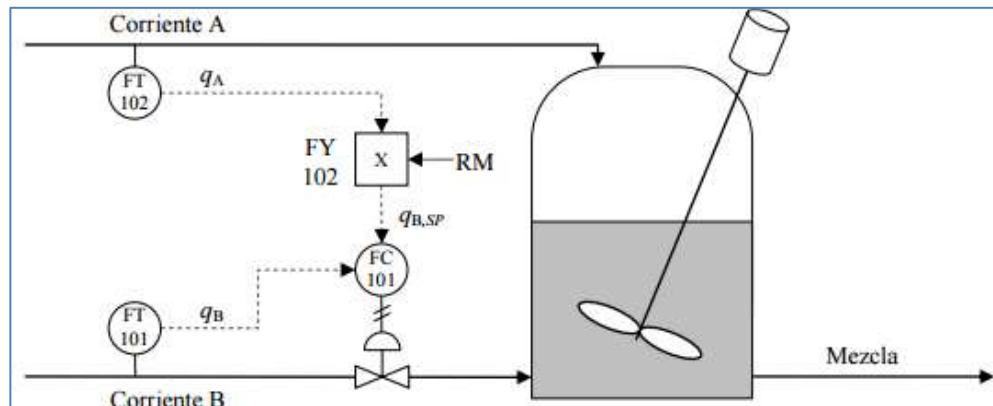
También llamado control de proporción, una variable se manipula para mantenerla como una razón o proporción de otra variable, mejorando así las características dinámicas del sistema (Smith & Corripio, 1997).

La Figura N°03 muestra un ejemplo del uso de un esquema de control de razón en un proceso de mezclado, donde se tienen dos corrientes líquidas, A y B, y se debe mantener una proporción dada por la razón.

$$RM = \frac{q_A}{q_B}$$

Para la cual q_A se refiere al flujo de la corriente A y q_B al flujo de la corriente B. En el diagrama mostrado, el flujo de la corriente A, que puede variar debido a disturbios, se mide a través del sensor FT-102. El valor medido se multiplica por la proporción de mezcla establecida RM, la cual se introduce como un parámetro en el multiplicador FY-102. La salida del multiplicador se usa entonces como punto de consigna del controlador FC-101 que controla el flujo de la corriente B (Smith & Corripio, 1997).

Figura N° 03: Control de razón en un sistema de mezclado.



Fuente: Smith & Corripio, 1997, p. 488

3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1. SENSORES Y TRANSDUCTORES

Un sensor, propiamente hablando, es la parte del elemento primario que reacciona de alguna forma sensible a una propiedad física relacionada con la variable que se quiere medir y cuya respuesta se encuentra en una forma más conveniente, de modo que se utiliza como la entrada al resto del sistema.



En la mayoría de los casos esto conlleva a la conversión de la cantidad física que se desea medir en una variable eléctrica, como resistencia, capacitancia, inductancia, voltaje o corriente, que puede medirse con mucha precisión y en una relación predecible. El transductor, por lo tanto, es el conjunto formado por un sensor y un transmisor que acondiciona la señal a alguna forma más adecuada para el sistema de control (Altmann, 2005; Hunter, 1978; Johnson, 1984; Mott, 1996; Polke, 1994; Smith & Corripio, 1997).

La medición es una ciencia inexacta que requiere el empleo de estándares de referencia, los cuales están implicados directa o indirectamente en todas las mediciones, más directamente conforme aumenta la exigencia de exactitud. Incluso medidas groseras, como el empleo de sensores para detectar límites alto o bajo en un proceso, requieren una comparación de referencia inicial y calibración (Garrett, 1981).

Debe comprenderse que, por su misma naturaleza, el sensor sigue siendo un componente imperfecto. Si se diseña para ser sensible al parámetro que se desea medir, es muy difícil reducirle la sensibilidad al ambiente en el que debe detectar. Inevitablemente, ciertos parámetros externos actúan en el sensor e introducen un error en la medición.

Conviene darse particular cuidado a la selección del sensor considerándose el funcionamiento eficaz del sistema, lo que no es habitualmente una decisión fácil (Desjardins & Clot, 1983). La selección de un sensor para un proceso en particular requiere considerar la naturaleza de la medición (entrada) y la naturaleza de la salida.



Las razones para seleccionar un equipo de otro varían, Altmann (2005), Bolton (2004), Creus (2001), Ibrahim (2006), y Polke (1994) listan varios factores que se deben tomar en consideración, se mencionan y explican algunos de ellos:

- **Ámbito de medición:** conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento, expresado por los dos valores extremos.
- **Precisión:** tolerancia de la medida, define los límites de los errores cuando se emplea en condiciones normales.
- **Sensibilidad:** razón entre el incremento en la lectura y el incremento de la variable luego del alcanzar el estado de reposo, expresado como porcentaje.
- **Repetibilidad:** capacidad de reproducir la misma señal de salida al medir repetidamente valores idénticos en las mismas condiciones y en el mismo sentido de variación.
- **Confiabilidad:** medida de la probabilidad de que continúe comportando dentro de los límites especificados de tolerancia a lo largo del tiempo bajo condiciones especificadas.
- **Vida útil:** tiempo mínimo durante el cual el instrumento no presenta cambios en el comportamiento más allá de las tolerancias especificadas.
- **Resolución:** la menor diferencia que el instrumento puede distinguir.
- **Linealidad:** aproximación de una curva de calibración a una línea recta.



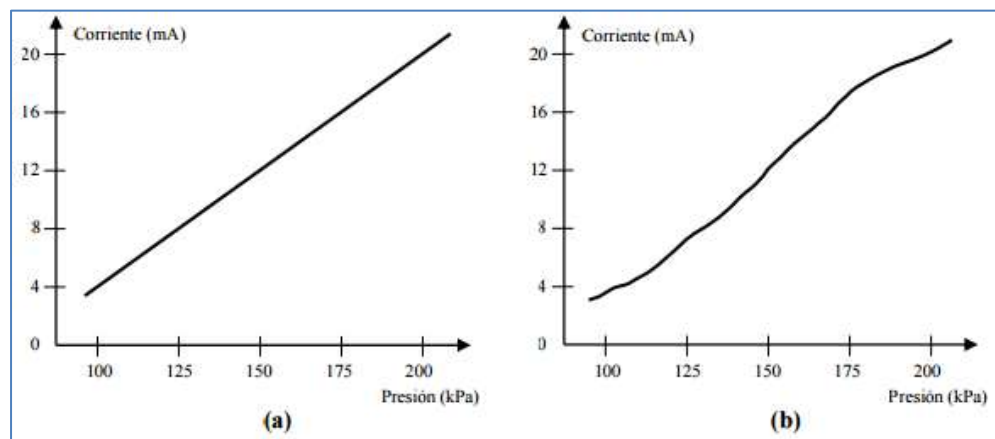
- Tiempo de respuesta: tiempo que transcurre entre el momento en que la variable medida cambia de cero a un valor constante y el momento en que el instrumento da la salida correspondiente a dicho valor.
- Temperatura de trabajo: ámbito temperatura del ambiente en que se encontrará instalado.
- Costo de adquisición
- Costo de instalación
- Costo de operación
- Facilidad de uso
- Seguridad de operación
- Naturaleza del medio: líquido, vapor o gas, define la compatibilidad de materiales.
- Tamaños disponibles
- Alteración introducida al proceso
- Resistencia física y mecánica
- Mantenimiento requerido

Sin embargo, uno de los mayores problemas en la operación de medición se debe al hecho de que la salida de un sensor a menudo varía de forma no-lineal con la variable que se mide y esta no-linealidad puede producir efectos indeseados en el sistema bajo control.

En el control analógico es muy difícil compensar el problema, aunque existen circuitos especiales para linealizar la respuesta del sensor; en cambio, en los sistemas de control digitales dicha linealización es más fácil de realizar mediante un programa después de que los datos han ingresado (Johnson, 1984).

Para aclarar la importancia de la linealidad en el control de procesos, obsérvese el siguiente ejemplo. La Figura 2.1a muestra un sistema de medición de presión que genera una señal de 4 a 20 mA linealmente desde una presión de 100 a 200 kPa. Si la presión se incrementa desde 150 a 175 kPa, la corriente aumentará de 12 mA a 16 mA. El controlador enviará una corrección al proceso basado en los 4 mA de cambio en la corriente representando un cambio de 25 kPa en la presión. Si la presión cambiase de 150 a 125 kPa, el controlador enviaría la misma corrección, pero de signo opuesto.

Figura N° 04: Señal de dos sensores de presión, a) sensor lineal, b) sensor no-lineal.



Fuente: Johnson, 1984, pp. 36, 37

Se puede ver qué cambios equivalentes de presión en distintos puntos no producen cambios equivalentes en la corriente; por ejemplo, un cambio de 150 a 175 kPa produce un cambio de 5,3 mA desde 12 a 17,3 mA, por otro lado, un cambio de la misma magnitud desde 150 a 125 kPa produce apenas un cambio de corriente de 4,7 mA desde 12 a 7,3 mA. La única manera de asegurar esto es que el sensor sea lineal, o que su salida puede linealizarse (Johnson, 1984).

3.1.1. MEDICIÓN DE FLUJO

El flujo es una de las variables de proceso más comúnmente medidas, por ello se han desarrollado muchos tipos de sensores de flujo (Smith & Corripio, 1997). El flujo se refiere a la tasa de movimiento de una sustancia, que puede ser líquida, gaseosa o sólida como granos o arcillas secas. En la mayoría de los casos el flujo se convierte a una variable intermedia como la presión o el desplazamiento (Johnson, 1984). El tipo de sensor más común es el medidor magnético de flujo. El principio de operación de éste es la ley de Faraday; esto es, conforme un material conductor (un fluido) se mueve en ángulos rectos a través de un campo magnético, éste induce un voltaje. El voltaje creado es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad del fluido. Si la intensidad del campo magnético es constante, el voltaje será proporcional solamente a la velocidad del fluido. Es más, la velocidad medida es la velocidad promedio, por lo que puede utilizarse tanto para regímenes de flujo laminar como turbulento. La principal desventaja es que el fluido debe tener una conductividad mínima, lo que lo hace inapropiado para la medición de gases e hidrocarburos (Smith & Corripio, 1997).

A. FLUJOMETRO ELECTROMAGNÉTICO

El caudalímetro electromagnético está basado en la Ley de Inducción Electromagnética de Faraday. Si un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético, se produce una corriente eléctrica inducida en el conductor que es perpendicular tanto a la dirección del movimiento como a la inducción magnética y cuya magnitud es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad del movimiento.

La siguiente ecuación se aplica al caudalímetro electromagnético:

$$U = K \times B \times D \times V$$

Siendo:

U = corriente inducida en los electrodos de medida

k = constante absoluta

B = inducción magnética (constante)

D = constante de la distancia entre electrodos (diámetro interno de los tubos de medida)

v = velocidad del flujo

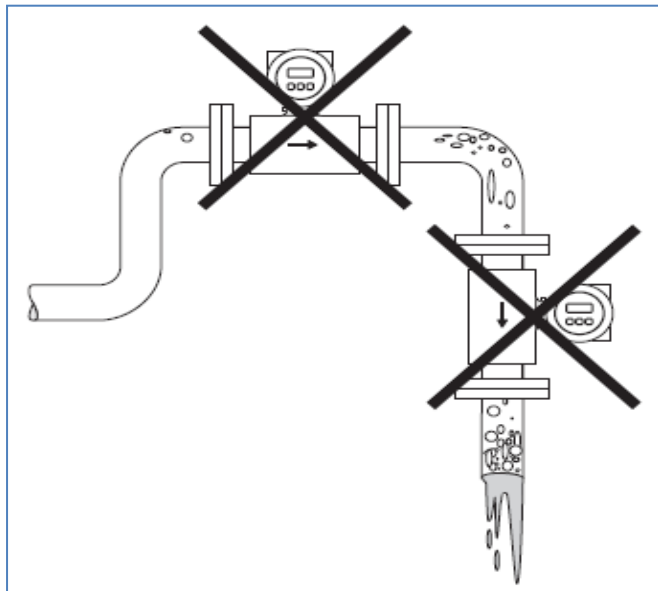
Con el PDC (Pulsed Continuous Field) la corriente de la bobina y la inducción magnética se comunican periódicamente. Por diferente formación y/o por un procedimiento de integración de las señales de corriente exploradas, tanto la deriva cero como interferencias debidas a corrientes químicas y eléctricas son eliminadas de forma que la exactitud de la medida no tenga influencia en la señal de corriente generada.

A.1. RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN Y MONTAJE

La acumulación de aire o formación de burbujas de aire en el tubo de medición pueden aumentar el error en la medición. Por esta razón, NO se debe montar el equipo en los siguientes puntos de la tubería:

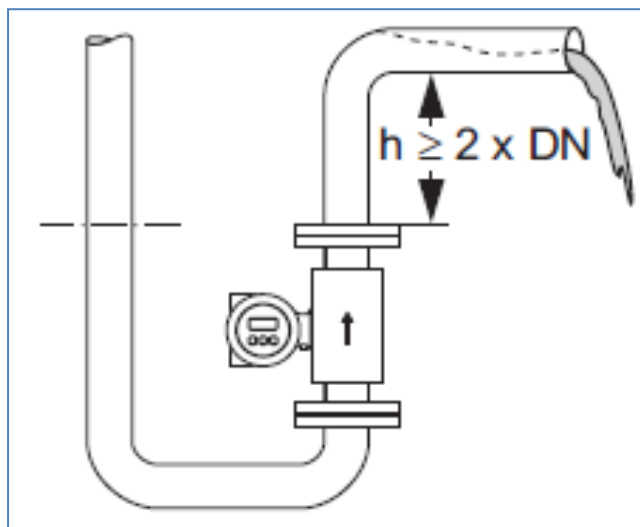
- En el punto más alto de la tubería. riesgo de acumulación de aire.
- Justo por encima de una boca de salida abierta de una tubería descendente.

Figura N° 05: NO montar en los siguientes puntos de Tubería.



Fuente: Manual Promag 10

Figura N° 06: Forma recomendada de montar el instrumento.



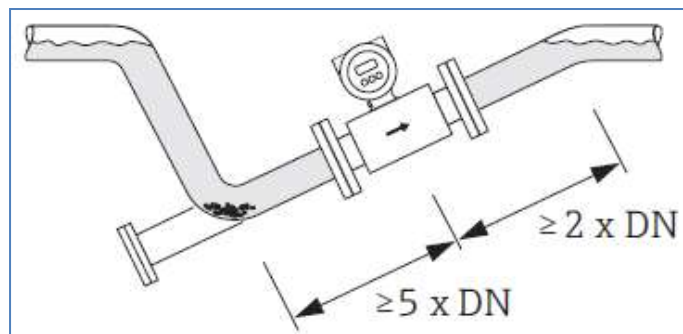
Fuente: Manual Promag 10

A.2. TUBERÍAS PARCIALMENTE LLENAS

Las tuberías parcialmente llenas que presentan gradientes requieren una configuración de tipo desagüe.

¡Riesgo de acumulación de materia sólida! No instale el sensor en el punto más bajo de un desagüe. Conviene instalar una válvula depuradora.

Figura N° 07: Recomendación de montar el instrumento en tubería parcialmente llena



Fuente: Manual Promag 10

A.3. RECOMENDACIONES DE ORIENTACIÓN

Una buena orientación contribuye a evitar la acumulación de gases y la formación de deposiciones en el tubo de medición. El equipo de medición proporciona no obstante también una serie de funciones y herramientas para medir correctamente líquidos problemáticos:

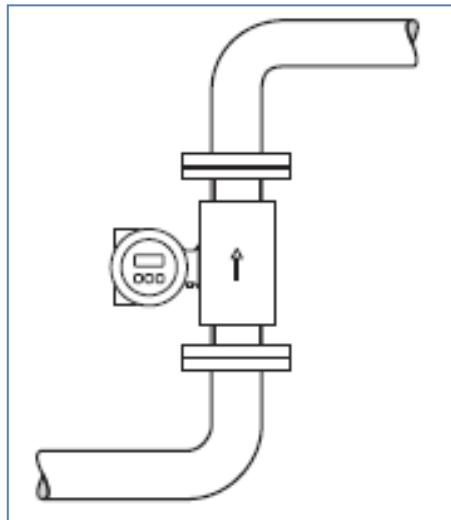
- El sistema de limpieza de electrodos (Sistema ECC), con el que se impide eléctricamente la formación de sedimentos conductores en el tubo de medición, p. ej., cuando el producto líquido es propenso a formar deposiciones.

- La Detección de Tubería Vacía (DTV), que permite detectar tubos parcialmente llenos, p. ej., en aplicaciones con líquidos que desprenden gases o aplicaciones que presentan presiones de proceso variables.
- Electrodo de medición reemplazables en el caso de líquidos abrasivos (solo con el Promag W).

A.3.1. ORIENTACION VERTICAL

Esta orientación es óptima para el auto vaciado de sistemas de tuberías y cuando se utiliza la Detección de Tubería Vacía (DTV) o la detección de electrodo abierto (DEA).

Figura N° 08: Orientación Vertical del Instrumento

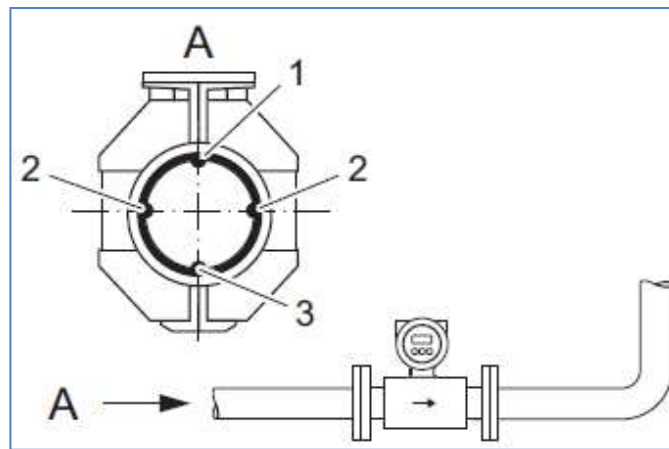


Fuente: Manual Promag 10

A.3.2. ORIENTACION HORIZONTAL

En el caso de una orientación horizontal, la detección de tubería vacía funciona solo correctamente si el cabezal del transmisor da hacia arriba. En caso contrario, no se garantiza que la función de Detección de Tubería Vacía responda correctamente cuando el tubo de medición está vacío o solo parcialmente lleno.

Figura N° 09: Orientación Horizontal del Instrumento



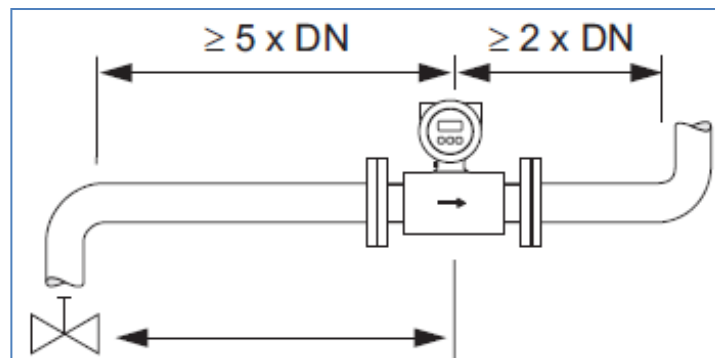
Fuente: Manual Promag 10

1. Electrodo DTV para la Detección de Tubería Vacía (no para Promag H, DN 2 a 15, 1/12 to 1/2").
2. Electrodos de medición para la detección de señales
3. Electrodo de referencia para la igualación de potencial (solo con Promag H)

A.4. RECOMENDACIÓN DE INSTALACION EN TRAMOS RECTOS DE ENTRADA Y SALIDA

Siempre que sea posible, instale el sensor en una posición aguas arriba de piezas de conexión como válvulas, uniones en T, tubos acodados, etc.

Figura N° 10: Orientación Horizontal del Instrumento en tramos rectos



Fuente: Manual Promag 10

Deben observarse los siguientes tramos rectos de entrada y salida para que se cumplan las especificaciones relativas a la precisión:

- Tramo recto de entrada: Mayor igual a 5 veces el DN (Diámetro Nominal)
- Tramo recto de salida: Mayor igual a 2 veces el DN (Diámetro Nominal)

3.1.2. MEDICIÓN DE NIVEL

La medida de nivel se refiere a la profundidad de un material sólido o líquido dentro de un contenedor.

A. SENSOR DE NIVE TIPO RADAR

A.1. PRINCIPIO DE MEDICIÓN

El nivel sólido se mide mediante señales de radar transmitidas desde la antena en la parte superior del tanque. Una vez que la señal de radar se refleja en la superficie sólida, el eco es captado por la antena.

Dado que la señal varía en frecuencia, el eco tiene una frecuencia ligeramente diferente a la de la señal transmitida en ese momento. La diferencia de frecuencia es proporcional a la distancia al sólido, y se puede calcular con precisión. Este método se denomina de Onda Continua de Frecuencia Modulada (FMCW, por sus siglas en inglés), y se utiliza en todos los medidores por radar de alto rendimiento.

Se utiliza la banda de frecuencia de 10 GHz para conseguir la relación óptima entre la amplitud del haz y la sensibilidad a la contaminación de la antena.

A.2. APLICACIONES

Se emplea tecnología microondas de vanguardia para conseguir la máxima fiabilidad y precisión, mide el nivel de pastas y un gran número de sólidos. El medidor funciona con una amplia gama de temperaturas, presiones, mezclas de vapor y gases y diferentes condiciones de proceso.



Entre sus aplicaciones se encuentran:

- Tanques de almacenamiento en refinerías y terminales de tanques.
- Almacenamiento de GLP.
- Plantas de energía.
- Industrias química y petroquímica. • Industria farmacéutica.
- Alimentos y bebidas
- Tratamiento de aguas limpias y residuales.
- Generación de energía hidroeléctrica y embalses.
- Cemento, polvo, virutas de madera y otras aplicaciones de materiales sólidos.

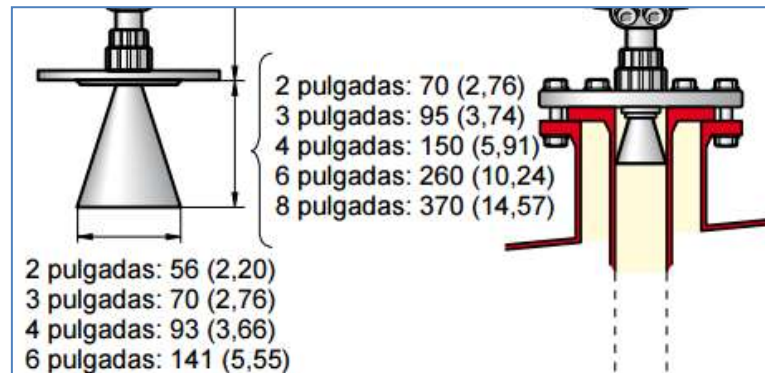
A.3. TIPOS DE ANTENA

Se puede utilizar distintas antenas para diferentes necesidades. La conexión al tanque, incluida la antena, es la única pieza expuesta a la atmósfera del tanque.

A.3.1. ANTENA CÓNICA

La antena cónica es adecuada para aplicaciones de líquidos. Se puede utilizar tanto para instalaciones de propagación libre como en tubos tranquilizadores. Su solución de fijación en brida permite utilizar la brida del tanque existente para el montaje en el tanque. El medidor se puede suministrar también con brida incluida.

Figura N° 11: Antena Cónica

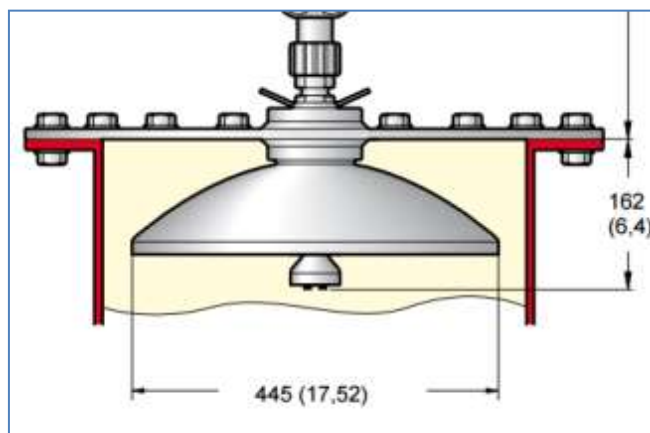


Fuente: <http://www.petrogreen.com.ar/>

A.3.2. ANTENA PARABÓLICA

La antena parabólica es adecuada tanto para aplicaciones de líquidos como de sólidos. Al tener el diámetro más amplio, forma el haz de radar más estrecho, y se puede utilizar para medir distancias muy largas. La antena parabólica es también el tipo de antena más inmune a la contaminación. Se puede emplear en aplicaciones con gran condensación en la antena, como asfalto y azufre líquido.

Figura N° 12: Antena Parabólica



Fuente: <http://www.petrogreen.com.ar/>

3.2. ACTUADORES

El elemento final de control o elemento de corrección es el dispositivo que permanece conectado físicamente con el proceso, dentro de un sistema de control, y que transforma la salida de un controlador en un cambio de la variable manipulada para producir un cambio en la variable controlada (Bolton, 2004; Hunter, 1978; Johnson, 1984).

De acuerdo con Altmann (2005), en la mayoría de los sistemas de control de procesos el elemento final de control es algún tipo de válvula; sin embargo, también es posible controlar el flujo con algunas bombas.

3.2.1. VÁLVULAS DE CONTROL

Las válvulas son el dispositivo que permite variar el caudal que pasa por una tubería modificando la pérdida de carga en la misma mediante una obturación variable. Son un elemento importante en el control automático de procesos, existiendo distintos tipos de válvulas para control.

- Bola
- Mariposa
- Globo
- Pellizco
- Diafragma Saunders
- Compuerta

(Altmann, 2005). Smith y Corripio (1997) las clasifican en dos grandes categorías:

- Vástago reciprocante
- Vástago rotatorio.

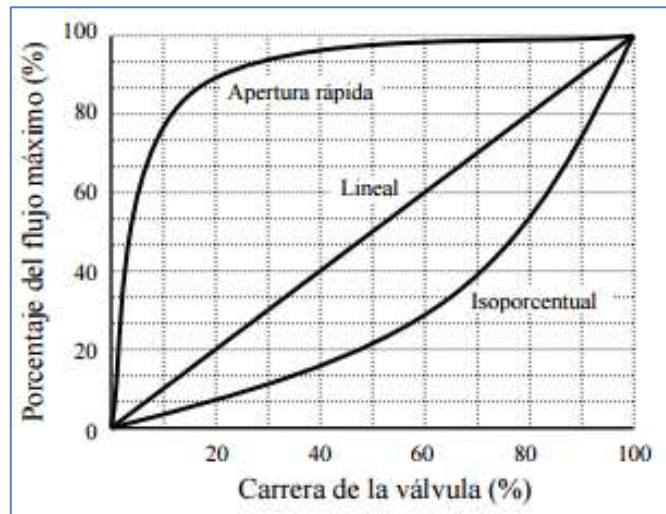
El accionamiento comúnmente es neumático, aun cuando el sistema de control sea eléctrico, pero puede ser también electromecánico o hidráulico (Bolton, 2004; Creus, 2001).

Una válvula de control típica, suele ser la combinación de un actuador neumático de diafragma y una válvula de vástago reciprocante. La válvula actúa por medio de una señal de presión que se aplica al final de un tubo capilar.

Si la señal de presión aumenta la presión en la cámara aumenta actuando sobre el diafragma para producir una fuerza que tiende a cerrar la válvula contra la fuerza de compresión del resorte (Orozco, 1974). Las válvulas con actuador neumático pueden ser de dos tipos: aire para abrir (normalmente cerrada) y aire para cerrar (normalmente abierta). El tipo de válvula se selecciona de manera que se obtenga la operación más segura en un proceso, ya sea que en caso de falta del suministro eléctrico, o una baja en la presión de la línea de aire, la válvula se mantenga abierta, o bien, cerrada.

La selección de la forma del cuerpo y el obturador determinan la característica de la válvula de control, o sea, la relación entre el flujo y la carrera del vástago (Bolton, 2004, Creus, 2001). La característica de un fluido incompresible fluyendo a presión diferencial constante a través de una válvula se denomina característica de flujo inherente. Las curvas características más importantes son la de apertura rápida, la lineal y la isoporcentual y se muestran en la Figura N°13.

Figura N°13: Características inherentes de válvulas.



Fuente: Creus, 2001, p. 381

Con un obturador con característica de apertura rápida el flujo aumenta mucho al inicio de la carrera, llegando al máximo rápidamente. Con un obturador de característica lineal el flujo es directamente proporcional a la carrera. Con un obturador con característica isoporcentual, cada incremento de la carrera produce un incremento proporcional al cambio en el flujo.

Cabe señalar que en condiciones reales la presión diferencial cambia cuando varía la apertura de la válvula, por lo que la curva real se aparta de la curva característica inherente. A la curva real se le llama característica de flujo efectiva o característica instalada de la válvula (Creus, 2001; Smith & Corripio, 1997). 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.

A. VÁLVULA DE CONTROL TIPO GLOBO

La válvula de globo es adecuada para utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de caudal hasta el control abierto-cerrado (On-Off).

Cuando el tapón de la válvula está en contacto firme con el asiento, la válvula está cerrada. Cuando el tapón de la válvula está alejado del asiento, la válvula está abierta.

Por lo tanto, el control de caudal está determinado no por el tamaño de la abertura en el asiento de la válvula, sino más bien por el levantamiento del tapón de la válvula (la distancia desde el tapón de la válvula al asiento).

Una característica de este tipo de válvula es que incluso si se utiliza en la posición parcialmente abierta, hay pocas posibilidades de daños al asiento o al tapón por el fluido. En particular, el principal tipo de válvula de globo utilizada para control de caudal es la válvula de aguja.

A.1. CARACTERÍSTICAS

Con este grupo de válvulas se consigue un cierre hermético. El fluido sufre una desviación en su recorrido y las pérdidas de carga son apreciables, aunque en las válvulas en ángulo tienen menos importancia, si se considera que en éstas la desviación del flujo evita un codo a 90°.

El accionamiento de las válvulas de globo es más rápido que el de las válvulas de compuerta. Se aprecia fácilmente a simple vista, si están en posición abierta o cerrada.

El fluido entra siempre por la parte inferior (en sentido contrario al del desplazamiento de cierre del obturador), puesto que en el otro sentido se produciría una gran pérdida de carga. Por ello, se indica la forma correcta de circulación sobre el cuerpo de la válvula.

Estas válvulas sufren poco desgaste por rozamiento, por lo que son adecuadas cuando hayan de accionarse frecuentemente. Se construyen distintos modelos de válvulas de asiento para tuberías de diámetro nominal hasta 16", siendo las 3" las más utilizadas. En las válvulas de doble asiento se equilibran en parte las acciones hidrostáticas, por lo que exigen un esfuerzo de accionamiento menor.

Un caso particular de las válvulas de doble asiento son las de tres vías, que disponen de un obturador con tapón doble y de dos salidas.

A.2. APLICACIONES

Además de la función de cierre, estas válvulas son muy aplicadas en la regulación de caudales y trabajando en una posición intermedia. Al sufrir pérdidas de carga apreciables, no es aconsejable su empleo en aquellos casos en los que deban estar normalmente abiertas.

En cuanto al fluido conducido, se utilizan con vapores, líquidos y gases. Las válvulas de doble asiento se aplican para la regulación de flujos a elevadas temperaturas y presiones. Si son de tres vías, regulan la mezcla o el reparto de flujos.

Las válvulas de cilindro tienen una regulación más precisa que las de simple asiento y son preferibles para presiones y temperaturas elevadas y secciones reducidas; por ejemplo, en instrumentos de medida y como purgadores.

Las válvulas de aguja superan a las de cilindro en finura de regulación; con ellas se puede conseguir un vertido gota a gota. Son muy indicadas para presiones y temperaturas muy elevadas, e igualmente aplicables en instrumentación, medida y como purgadoras. En general, se usan en diversas aplicaciones, como Servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas.

A.3. VENTAJAS

1. Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.
2. Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete.
3. Control preciso de la circulación.
4. Disponible con orificios múltiples

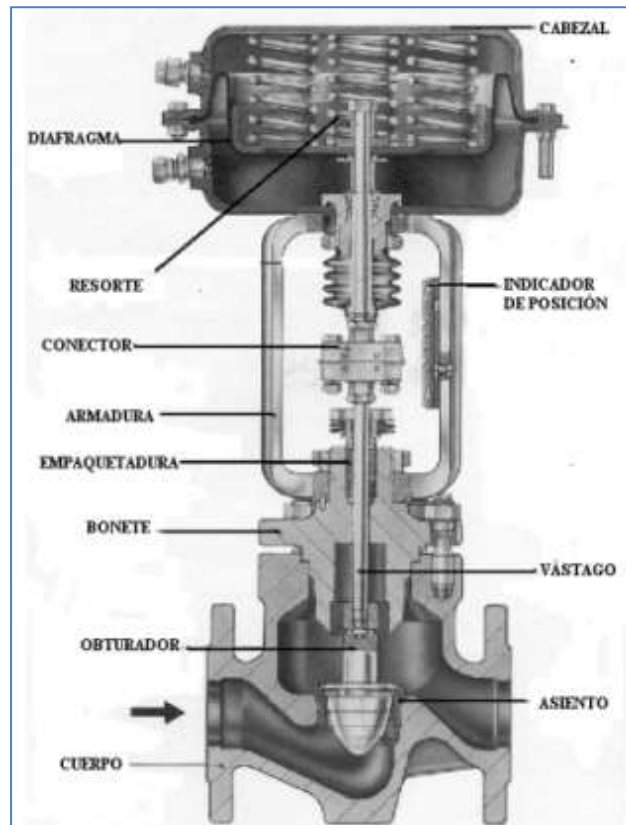
A.4. DESVENTAJAS

1. Gran caída de presión.
2. Costo relativo elevado.

A.5. PARTES DE UNA VÁLVULA TIPO GLOBO

- Actuador
 - Cabezal, Diafragma, Resortes, Vástago
- Cuerpo
 - Asiento, Obturador

Figura N°14: Partes de una Válvula de Control Tipo Globo.



Fuente: http://www.herrera.unt.edu.ar/controldeprocesos/tema_3/tp3c.pdf

3.2.2. VARIADORES DE VELOCIDAD

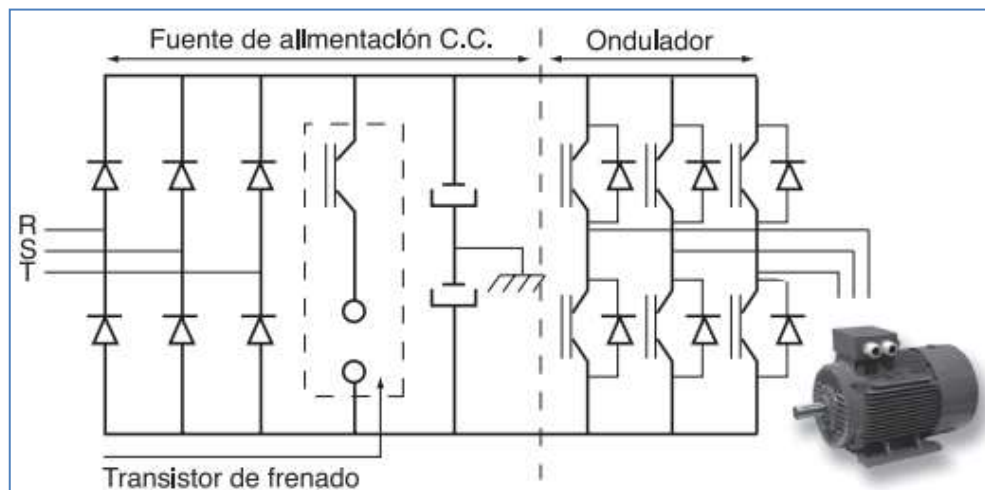
Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

Los variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior. A continuación, se muestra un diagrama electrónico típico:

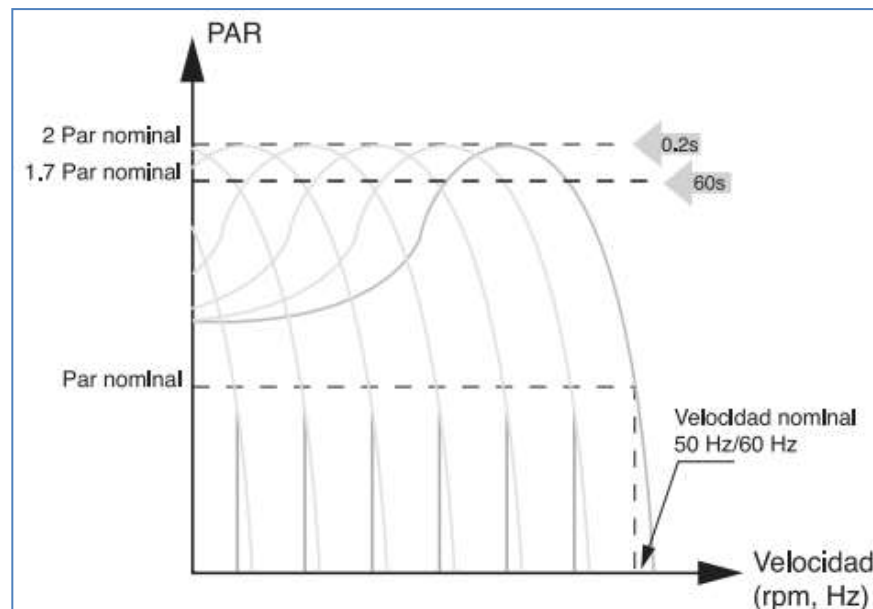
Figura N°15: Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo. Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será. En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor

Figura N°16: Grafica Par - Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

Está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 seg.

A. SELECCIÓN DEL VARIADORES DE VELOCIDAD

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de carga: Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- Tipo de motor: De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- Rangos de funcionamiento: Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- Par en el arranque: Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- Frenado regenerativo: Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- Condiciones ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- Consideraciones de la red: Micro interrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.
- Consideraciones de la aplicación: Protección del motor por sobre temperatura y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, re arranque automático, control automático de la velocidad.
- Aplicaciones especiales: Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y sopladores, izaje, motores en paralelo, etc.

B. RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN

- Cableado:
 - En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
 - Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
 - La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia.
 - Cables con la menor longitud posible.
 - El variador debe estar lo más cerca posible del motor.
 - Cuidar que los cables de potencia estén lejos de cables de antenas de televisión, radio, televisión por cable o de redes informáticas.
- Gabinete:
 - Metálico o al menos en una bandeja metálica conectada a la barra de tierra. En los manuales de uso de los variadores se hacen las recomendaciones en cuanto al tamaño.
- Ventilación:
 - Debe estar de acuerdo al calor disipado por el equipo a potencia nominal. Se proveen, como opcionales, ventiladores adicionales y kits de montaje de ventilación que garantizan una protección IP4 sin perder la posibilidad de una buena disipación.
- Puesta a tierra:
 - La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia. Se deberá realizar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación, así como las carcasas de los motores eléctricos.

C. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de AC suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = 60 \frac{f}{p}$$

Dónde:

f: Frecuencia del Suministro AC

p: Numero de polos

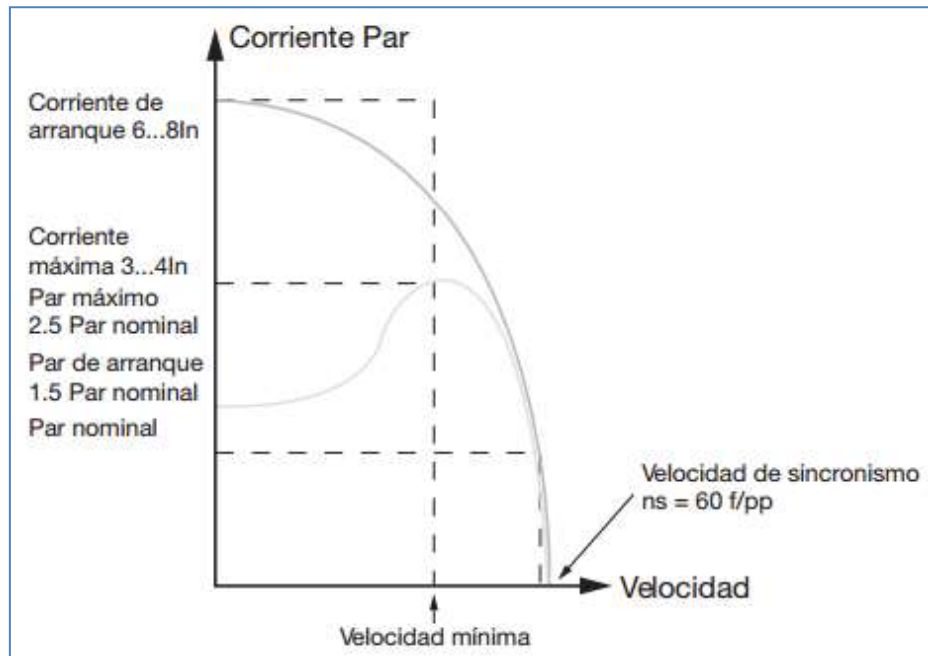
Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz, dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz.

3.2.3. EL MOTOR

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asincrónicos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red.

A tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:

Figura N°17: Curva Par - Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

3.3. AUTÓMATAS PROGRAMABLES (PLC's)

3.3.1. INTRODUCCIÓN

Un Controlador Lógico Programable (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

3.3.2. CAMPOS DE APLICACIÓN

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 periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

3.3.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente.

A. VENTAJAS

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.



- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

B. INCONVENIENTES

- Hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.

3.3.4. FUNCIONES BÁSICAS DE UN PLC

A. DETECCIÓN:

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

B. MANDO:

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y pre-accionadores.

C. DIALOGO HOMBRE MÁQUINA:

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

D. PROGRAMACIÓN:

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la máquina.

3.3.5. NUEVAS FUNCIONES

A. REDES DE COMUNICACIÓN:

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden intercambiar tablas de memoria compartida.

B. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN:

También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

C. CONTROL DE PROCESOS CONTINUOS:

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

D. ENTRADAS- SALIDAS DISTRIBUIDAS:

Los módulos de entrada salida no tienen por qué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

E. BUSES DE CAMPO:

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captador y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

3.3.6. ESTRUCTURA

A. INTRODUCCIÓN

El autómata está compuesto de diferentes elementos como CPU, fuente de alimentación, memoria, E/S, etc. que están colocados de diferentes formas y modos según la estructura externa del autómata.

En el apartado dedicado a la estructura externa veremos donde y como se colocan los diferentes elementos que componen el autómata programable. En el apartado dedicado a la estructura interna veremos la función que desempeña cada uno de los diferentes elementos como CPU, E/S, fuente de alimentación, etc.

3.3.7. ESTRUCTURA EXTERNA

A. INTRODUCCIÓN

El término estructura externa o configuración externa de un autómata programable industrial se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido.

Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado:

- Estructura compacta.
- Estructura semimodular. (Estructura Americana)
- Estructura modular. (Estructura Europea)

3.3.8. ESTRUCTURA MODULAR

Su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el autómata como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.

La sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

3.3.9. ESTRUCTURA INTERNA

A. INTRODUCCIÓN

En este apartado vamos a estudiar la estructura interna de cada uno de los diferentes elementos que componen el autómata, las funciones y funcionamiento de cada una de ellas. El autómata está constituido por diferentes elementos, pero tres son los básicos:

- CPU
- Entradas Y Salidas
- Fuente de alimentación
- Interfaces
- Programación
- Los dispositivos periféricos

B. CPU

La CPU (Central Processing Unit) es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas, la CPU está constituida por los siguientes elementos:

B.1. FUNCIONES BÁSICAS DE LA CPU

En la memoria ROM del sistema, el fabricante ha grabado una serie de programas ejecutivos, software del sistema y es a estos programas a los que accederá el μp para realizar las funciones. El software del sistema de cualquier autómata consta de una serie de funciones básicas que realiza en determinados tiempos de cada ciclo. En general cada autómata contiene y realiza las siguientes funciones:



- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo. A esta función se le denomina Watchdog.
- Ejecutar el programa usuario.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.

C. ENTRADAS Y SALIDAS

C.1. INTRODUCCIÓN

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores.

- Entradas digitales
- Entradas analógicas

C.2. ENTRADAS DIGITALES

Los módulos de entrada digitales permiten conectar al autómata, captadores de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores. Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo, cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0". El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

- Protección contra sobretensiones
- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico o por optoacoplador.

C.3. ENTRADAS ANALÓGICAS

Los módulos de entrada analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión o el caudal. Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabajar con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo). Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad. El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria interna

La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas, relés... aquí también existen unos interfaces de adaptación a las salidas de protección de circuitos internos.

- Salidas digitales
- Salidas analógicas

C.4. SALIDAS DIGITALES

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los pre-accionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé. En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo. Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma
- Aislamiento
- Circuito de mando (relé interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos

D. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 Vca.

En cualquier caso, es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc. La fuente de alimentación del autómata puede incorporar una batería, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, cuando falla la alimentación o se apaga el autómata.

E. INTERFACES

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un diálogo entre operador-máquina junto con una comunicación entre la máquina y el autómata, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.

Los autómatas son capaces de manejar tensiones y corrientes de nivel industrial, gracias a que disponen de un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que les permite conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso.

De entre todos los tipos de interfaces que existen, las interfaces específicas permiten la conexión con elementos muy concretos del proceso de automatización. Se pueden distinguir entre ellas tres grupos bien diferenciados:

- Entradas / salidas especiales.
- Entradas / salidas inteligentes.
- Procesadores periféricos inteligentes.

F. LA PROGRAMACIÓN

F.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de programación permite, mediante las instrucciones del autómata, confeccionar el programa de usuario. Posteriormente el programa realizado, se trasfiere a la memoria de programa de usuario.

Una memoria típica permite almacenar como mínimo hasta mil instrucciones con datos de bit, y es del tipo lectura/escritura, permitiendo la modificación del programa cuantas veces sea necesario. Tiene una batería para mantener el programa si falla la tensión de alimentación.

La programación del autómata consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones, escritas en un lenguaje de programación concreto. Estas instrucciones están disponibles en el sistema de programación y resuelven el control de un proceso determinado.

F.2. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Cuando hablamos de los lenguajes de programación nos referimos a diferentes formas de poder escribir el programa usuario. Los softwares actuales nos permiten traducir el programa usuario de un lenguaje a otro, pudiendo así escribir el programa en el lenguaje que más nos conviene.

Existen varios tipos de lenguaje de programación, los lenguajes de programación más empleados en la actualidad son LD (Ladder), LI (Lista de Instrucciones) y Bloques.

F.2.1. CONTACTOS

F.2.1.1. INTRODUCCIÓN

Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés, que mediante símbolos representa contactos, solenoides. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes.

Los símbolos básicos son:

Figura N° 18: Símbolos de Contactos, Lenguaje Ladder



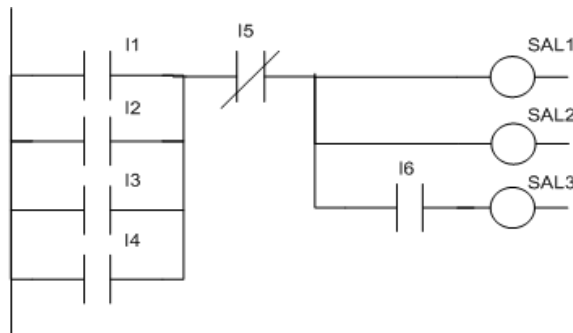
Fuente: Internet

Los elementos básicos que configuran la función se representan entre dos líneas verticales que simbolizan las líneas de alimentación. Para las líneas de función más complejas como temporizadores, registros de desplazamiento, etc., se emplea el formato de bloques. Estos no están formalizados, aunque guardan una gran similitud entre sí para distintos fabricantes y resultan mucho más expresivos que si se utiliza para el mismo fin el lenguaje en lista de instrucciones o mnemónico.

A.2. CONCEPTOS GENERALES

Un programa en esquema de contactos, la constituyen una serie de ramas de contactos. Una rama está compuesta de una serie de contactos, conectados en serie o en paralelo que dan origen a una salida que bien puede ser una bobina o una función especial.

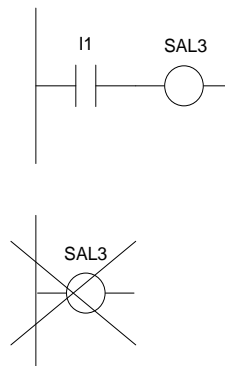
Figura N° 19: Ramas de Contactos



Fuente: Internet

El flujo de la señal va de izquierda a derecha y de arriba abajo. Una bobina no puede venir conectada directamente de la barra de inicio.

Figura N° 20: Como conectar una Bobina



Fuente: Internet

A la derecha de una bobina no es posible programar ningún contacto. El número de contactos posibles en serie o en paralelo es prácticamente ilimitado. Es posible colocar en paralelo 2 o más bobinas.

4. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN

Los diagramas de instrumentación del proceso son una buena fuente de información incluyendo todas las variables del proceso en el sistema como también la información de cada uno de los instrumentos en los lazos.

Esta información nos permite identificar las conexiones entre los dispositivos, la acción de los componentes y las rutas de comunicación. Este contiene toda la información de las conexiones eléctricas y de tuberías asociadas. Todas las interconexiones de punto a punto están identificadas por medio de números o códigos de colores para identificar los conductores.













4.1. INTRODUCCIÓN

En instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir de una forma más fácil y específica la información, el cual ha sido estandarizado por la ISA (Sociedad de Instrumentistas de América).

4.2. SÍMBOLOS Y NÚMEROS DE INSTRUMENTACIÓN

En general, una línea de una señal representara la interconexión entre dos instrumentos en un diagrama de flujo siempre a través de ellos. Pueden ser conectados físicamente por más de una línea, los símbolos también indican la posición en que están montados los instrumentos.




Tabla N° 01: Formas de Montaje de Instrumentos

	Montado en Tablero, Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar. Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

Las líneas punteadas indican que el instrumento esta montado en la parte posterior del panel el cual no es accesible al operador.

Tabla N° 02: Instrumentos con Líneas Punteadas

Instrumento Discreto	
Función de Computadora	
Control Lógico Programable	

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

4.3. NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Cada instrumento o función para ser designada está diseñada por un código alfanumérico o etiquetas con números. La parte de identificación del lazo del número de etiqueta generalmente es común a todos los instrumentos o funciones del lazo.

Tabla N° 03: Número de identificación típico (número tag)

TIC 103	Identificación del instrumento o número de etiqueta
T 103	Identificación de lazo
103	Número de lazo
TIC	Identificación de funciones
T	Primera letra
IC	Letras Sucesivas

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

Tabla N° 04: Número de Identificación Expandido

10-PAH- 5A	Número de etiqueta
10	Prefijo opcional
A	Sufijo opcional
Nota: Los guiones son optativos como separadores.	

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

4.3.1. IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL

- La identificación funcional de un instrumento o su equivalente funcional consiste de letras, las cuales se muestran en la tabla N°05 e incluyen una primera letra (designación de la medida o variable inicial) y una o más letras sucesivas (identificación de funciones).
- La identificación funcional de un instrumento está hecha de acuerdo a su función y no a su construcción.
- En un lazo de instrumentos, la primera letra de una identificación funcional es seleccionada de acuerdo a la medida y a la variable inicial y no de acuerdo a la variable manipulada. La sucesión de letras en la identificación funcional designa una o más funciones pasivas y/o salidas de función.

4.4. NOMENCLATURA DE INSTRUMENTOS

Tabla N° 05: Tabla de Identificación de Instrumentos

1° Letra		2° Letra		
Variable medida(3)	Letra de Modificación	Función de lectura pasiva	Función de Salida	Letra de Modificación
A. Análisis (4)		Alarma		
B. Llama (quemador)		Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
C. Conductividad			Control	
D. Densidad o Peso específico	Diferencial (3)			
E. Tensión (Fem)		Elemento Primario		
F. Caudal	Relación (3)			
G. Calibre		Vidrio (8)		
H. Manual				Alto (6)(13)(14)
I. Corriente Eléctrica		Indicación o indicador (9)		
J. Potencia	Exploración (6)			
K. Tiempo			Estación de Control	
L. Nivel		Luz Piloto (10)		Bajo (6)(13)(14)
M. Humedad				Medio o intermedio (6)(13)
N. Libre(1)		Libre	Libre	Libre
O. Libre(1)		Orificio		

P. Presión o vacío		Punto de prueba		
Q. Cantidad	Integración (3)			
R. Radiactividad		Registro		
S. Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)		Interruptor	
T. Temperatura			Transmisión o transmisor	
U. Multivariable (5)		Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V. Viscosidad			Válvula	
W. Peso o Fuerza		Vaina		
X. Sin clasificar (2)		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y. Libre(1)			Relé o compensador (12)	Sin clasificar
Z. Posición			Elemento final de control	

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

1. Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el modelo de elasticidad y como sucesiva un osciloscopio.



2. La letra sin clasificar X, puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilizan solo una vez o un número limitado de veces. Se recomienda que su significado figura en el exterior del círculo de identificación del instrumento. Ejemplo XR-3 Registrador de Vibración.
3. Cualquier letra primera se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (relación) o Q (interpretación) o cualquier combinación de las mismas cambia su significado para representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI miden dos variables distintas, la temperatura diferencial y la temperatura, respectivamente
4. La letra A para análisis, abarca todos los análisis no indicados en la tabla anterior que no están cubiertos por una letra libre. Es conveniente definir el tipo de análisis al lado del símbolo en el diagrama de proceso.
5. El empleo de la letra U como multivariable en lugar de una combinación de primera letra, es opcional.
6. El empleo de los términos de modificaciones alto, medio, bajo, medio o intermedio y exploración, es preferible pero opcional.
7. El termino seguridad, debe aplicarse solo a elementos primarios y a elementos finales de control que protejan contra condiciones de emergencia (peligrosas para el equipo o el personal). Por este motivo, una válvula autorreguladora de presión que regula la presión de salida de un sistema mediante el alivio o escape de fluido al exterior, debe ser PCV, pero si esta misma válvula se emplea contra condiciones de emergencia, se designa PSV. La designación PSV se aplica a todas las válvulas proyectadas para proteger contra condiciones de emergencia de presión sin tener en cuenta las características de la válvula y la forma de trabajo la colocan en la categoría de válvula de seguridad, válvula de alivio o válvula de seguridad de alivio.




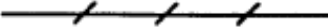









8. La letra de función pasiva vidrio, se aplica a los instrumentos que proporciona una visión directa no calibrada del proceso.
9. La letra indicación se refiere a la lectura de una medida real de proceso, No se aplica a la escala de ajuste manual de la variable si no hay indicación de ésta.
10. Una luz piloto que es parte de un bucle de control debe designarse por una primera letra seguida de la letra sucesiva I. Por ejemplo, una luz piloto que indica un periodo de tiempo terminado se designara KI. Sin embargo, si se desea identificar una luz piloto fuera del bucle de control, la luz piloto puede designarse en la misma forma o bien alternativamente por una letra única I.

Por ejemplo, una luz piloto de marcha de un motor eléctrico puede identificarse. EL, suponiendo que la variable medida adecuada es la tensión, o bien XL. Suponiendo que la luz es excitada por los contactos eléctricos auxiliares del arrancador del motor, o bien simplemente L.

11. El empleo de la letra U como multifunción en lugar de una combinación de otras letras es opcional.
12. Se supone que las funciones asociadas con el uso de la letra sucesiva Y se definirán en el exterior del símbolo del instrumento cuando sea conveniente hacerlo así.
13. Los términos alto, bajo y medio o intermedio deben corresponder a valores de la variable medida, no a los de la señal a menos que se indique de otro modo. Por ejemplo, una alarma de nivel alto derivada de una señal de un transmisor de nivel de acción inversa debe designarse LAH incluso aunque la alarma sea actuada cuando la señal cae a un valor bajo.

4.5. SÍMBOLOS DE LÍNEAS

Tabla N° 06: Símbolos de Líneas

	Conexión a proceso, enlace mecánico, o alimentación de instrumentos.
	Señal indefinida
	Señal Eléctrica
	Señal Hidráulica
	Señal Neumática
	Señal electromagnética o sónica (guiada)
	Señal electromagnética o sónica (no guiada)
	Señal neumática binaria
	Tubo capilar
	Enlace de sistema interno (software o enlace de información)
	Enlace mecánico

Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

5. MOLINO DE BOLAS

5.1. COMPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO

El molino de bolas consta de un tanque en forma de tubo con un interior revestido de acero, cuenta con dos depósitos, su funcionamiento es sencillo: los materiales se envían al primer depósito donde se realiza la primera molienda mediante los golpes de las bolas, después entran en el segundo depósito para ser convertidos en un producto más fino.

Los otros molinos realizan su trabajo mediante fricción, pero el sistema de moler del molino de bolas supone un ahorro de energía.

5.2. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

A. LA CARGA DEL MINERAL

El tamaño del producto final va a depender de la forma de cargar el mineral al molino, si realizamos una carga rápida y constante la molienda se realizará en porciones más gruesas, por el contrario, si queremos obtener un producto de una densidad más fina la carga se debe realizar de forma constante y uniforme, es decir, poco a poco y con intervalos del mismo período de tiempo.

Teniendo en cuenta que una de las bases de la productividad en la concentradora es la cantidad de mineral que se trata, por esta razón es importante controlador en forma cuidadosa y continua el tonelaje de la molienda, es decir control siempre la lectura de la balanza a fin de que no exista ningún desperfecto, esto traería como consecuencia la variación del tonelaje, error en el control del mismo y en los cálculos metalúrgicos.

Se debe controlar continuamente procurando que la carga sea la máxima posible y uniforme, si se alimenta poca carga se pierde capacidad de molienda y se gasta inútilmente bolas y chaquetas, si se alimenta demasiada carga se sobrecarga el molino y al descargarlo se pierde tiempo y capacidad de molienda. La cantidad de carga alimentada al molino se controla directamente por medio de las balanzas automáticas o indirectamente por medio del sonido que produce el molino, densidad de pulpa o por medio del amperaje que consume el molino, si las bolas hacen ruido muy sordo en el interior del molino, es porque está sobre cargado, por exceso de carga o por poca agua, si el ruido es excesivo es porque el molino está descargado o porque se está alimentando con mucha agua.

B. ALIMENTACIÓN DE AGUA

Esto es lo que se llama **proceso húmedo**, el cual se realiza mediante la adición de agua, la cual deberá ser en las proporciones correctas con el objeto de que el agua no elimine la mezcla que lleva recubierta que hace que los materiales a moler se peguen a las bolas y el resultado no sea el deseado.

Cuando el mineral y el agua que ingresan al molino, en su interior, forman un barro liviano que tiene la tendencia de pegarse a las bolas, por otro lado, el agua ayuda avanzar la carga en el interior del molino para su posterior salida.

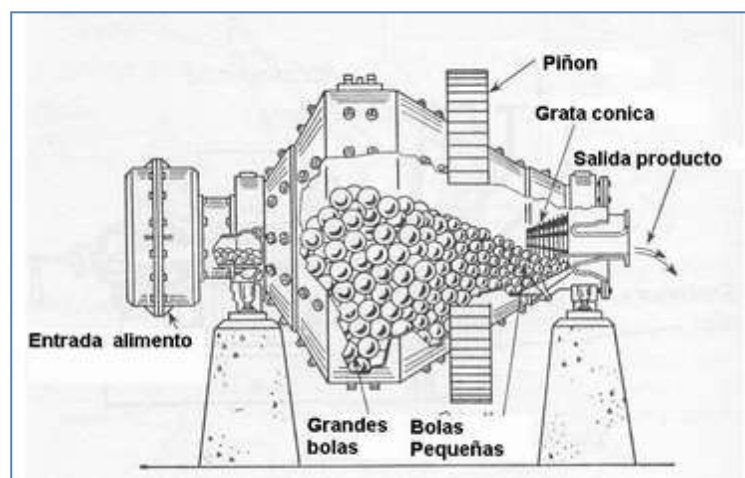
Cuando la cantidad de agua que ingresa al molino es excesiva, lava la superficie de la bola haciendo que estas se golpeen entre si y no muelen el mineral, ya que la molienda se produce cuando el barro adherido a su superficie es atrapado entre las bolas.

Además, el exceso de agua disminuye el tiempo de permanencia del mineral en el interior del molino, haciendo que la carga salga rápidamente y con granulometría gruesa. Cuando la cantidad de agua es deficiente, la carga avanza lentamente y el barro se vuelve muy espeso, amortigua el golpe entre las bolas y no produce buena molienda.

C. CARGA DE BOLAS

La cantidad y tamaño de las bolas dependen del producto final que queremos obtener, no se debe sobrepasar el 50% de la capacidad máxima, pero tampoco debe ser menor del 20%, si el sonido de las bolas es sordo, significa que el depósito posee demasiada carga y si por el contrario si resulta ruidoso, esto quiere decir que el molino está casi vacío. El molino de bolas es una máquina muy sencilla de operar y en caso de algún problema, podemos rectificar y añadir o quitar ya que cuenta con un dispositivo de paro de emergencia.

Figura N° 21: Molino de bolas



Fuente: Interne

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PFD (Diagrama de Flujo de Proceso) 200-PFD-1001

2. DISEÑO DEL P&ID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías) 200-PID-1001

El PID se diseña a partir del PFD.

3. LISTA DE INSTRUMENTOS

Tabla N° 07: Listado de Instrumentos

TAG	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SEÑAL HACIA EL PLC
200-LE/LT-101	Sensor/ Transmisor de Nivel	Entrada Analógica
200-LI-101	Indicador de Nivel	No Aplica
200-FE/FIT-201	Sensor/ Transmisor Indicador de Flujo de Agua	Entrada Analógica
200-FCV/FY-201	Válvula de Control de Agua	Salida Analógica
200-VFD-1001	Variador de Velocidad Faja de Alimentación N°1	Salida Analógica

Fuente: Elaboración Propia

4. ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

La selección de Instrumentos se realiza a partir de los datos de proceso mostrados en el PFD.

4.1. LAZO DE CONTROL DE FLUJO

Tabla N° 08: Datos de Proceso, línea de agua.

Flujo (min / norm / máx) (m ³ /h)	20	100	200
Velocidad (min / norm / máx) (m/s)	0.67	3.36	6.73
Presión (min / norm / máx) (kPa)	222	259	259

Fuente: Área de Procesos de Planta

4.1.1. HOJA DE DATOS DEL FLUJÓMETRO (SENSOR / TRANSMISOR)

Tabla N° 09: Requerimientos mínimos del Sensor de Flujo.

Fabricante			E&H		
Modelo			PROMAG 50P1H-AR1A1AAoB7AA		
Principio de medición			Electromagnético		
Rango de medición			200	(m³/h)	
Revestimiento			PFA		
Conexión a proceso	Tamaño	Presión Nominal	Bridado	3"	ANSI 150
Material de brida			Acero Inoxidable 316		
Material de la carcasa			Aluminio fundido con pintura epóxica o anticorrosiva		
Material de electrodos			Alloy C-22		
Protección			IP 67		
Anillo de aterramiento			Si		
Alimentación			85 a 260 VAC		
Conexión Eléctrica			1/2" NPT Hembra		
Señal de Salida			4-20 mA Aislado		
Precisión			< 0.5 % del Rango de Flujo		
Reproductibilidad			< 0.15 % del Rango de Flujo		
Display			SI		
TAG			200-FE/FIT-201		

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 22: Sensor/Transmisor de Flujo.



Fuente: <http://www.cl.endress.com/es>

4.1.2. HOJA DE DATOS DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE AGUA

Cálculo del diámetro de la válvula de control, debemos hallar el Kv (Coeficiente de Caudal), donde:

Si el fluido es Agua con una temperatura de 5° a 30°, la ecuación es la siguiente:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

Q= Caudal del líquido, en este caso el Agua = 200 m³/h

Δp = Diferencial de Presión del Fluido = 1 bar

Por lo tanto:

$$K_v = \frac{200 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{1}} = 200 \frac{m^3}{h}$$

$$C_v = 1.14 * K_v = 228$$

Con el K_v calculado encontramos el C_v y procedemos a elegir el diámetro de la válvula de control de la tabla siguiente:

	DIMENSIÓN VÁLVULA						
RECORRIDO	DN 25-1"	DN 32	DN 40-1"1/2	DN 50-2"	DN 65-2"1/2	DN 80-3"	DN 100-4"
10%	3	6.1	8.6	15.8	21.5	26	40.5
20%	5	9.4	13.3	25.8	36	42	65
30%	6.6	12.6	17.8	34.5	49	58	90
40%	8	15.8	22.3	43.5	59.5	71	110.5
50%	9.5	18.5	26	51.7	71.2	90	140
60%	10.8	20.9	29.5	59.7	82.5	120	187
70%	12	23.8	33.5	66	92.5	135	210
80%	13.3	26.4	42.2	73.8	101	150	232
90%	14.2	29.5	45.8	80.8	112	163	254
100%	15.4	30.7	47.1	86	121	181	280

De la tabla anterior se puede observar que el $C_v = 228$, se encuentra en el diámetro de 4" o 100 mm = DN100.

Tabla N° 10: Requerimientos mínimos de la Válvula de Control de Agua.

CUERPO					
Fabricante			DURCO		
Modelo			AKH3		
Tipo			Globo		
Material del Cuerpo			Acero al Carbono		
Material de la Bola			Acero al Carbono		
Conexión a proceso	Tamaño	Presión Nominal	Bridado	4"	ANSI 150
Asiento			PTFE		

ACTUADOR			
Fabricante		AUTOMAX Serie B	
Modelo		B125D	
Tipo		Doble Efecto	
Indicador		Posición (Abierto/Cerrado)	
Señal de Entrada	Señal de Salida	4-20 mA	3-15 psig
Alimentación de Aire		6 Bar	
Material del Cuerpo		Aluminiun Alloy	
Conexión Eléctrica		1/2" NPT	
Grado de Protección		IP 67	
Conexión de Aire		1/4" NPT	
Temperatura de Operación		´ -20 to 60 ° C	
TAG		200-FCV-201	

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 23: Válvula de Control de Agua.



Fuente: <https://www.flowserve.com>

Tabla N° 11: Requerimientos mínimos del Filtro Regulador de Aire

Fabricante	FESTO
Tipo	Válvula de Cierre manual, Unidad de Filtro y Regulador
Modelo	LFR-1/4-D-MINI-KC
Conexión de Entrada y Salida	G 1/4"
Indicador de Presión	SI
Rango de Presión	0.5 – 12 Bar
Sistema de Lubricación	No requerido

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 24: Filtro Regulador de Aire.



Fuente: https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/products_LFR_K

4.2. LAZO DE CONTROL DE PESO

4.2.1. HOJA DE DATOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD

Tabla N° 12: Requerimientos mínimos del Variador de Velocidad

Manufacture	DANFOSS
Modelo	FC302
Potencia	2.2 Kw
Alimentación	380 - 480 Vac
Entrada Analógica	2 (Tensión y Corriente)
Salida Analógica	1, Tipo 4 - 20 mA
Entradas Digitales	4, Programables (PNP y NPN)
Salidas Digitales	<ul style="list-style-type: none"> • 2, Tipo 24 Vdc • 2, Tipo Relé
Protocolo de Comunicación	NO requerido
Grado de Protección	IP 55
Protecciones del Variador	<ul style="list-style-type: none"> • Protección Térmica del Motor en caso de Sobre Carga • Protección Contra Cortocircuitos en los terminales del motor • Protección contra falta de fase • Protección contra falla a Tierra en los terminales del motor
Display de Configuración	SI, Alfa numérico
TAG	200-VFD-1001

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 25: Variador de Velocidad FC302.



Fuente: <http://www.vlt-drives.com.ua>

4.3. MEDICIÓN DE NIVEL

4.3.1. HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE NIVEL DE LA TOLVA DE FINOS

Tabla N° 13: Requerimientos mínimos del Sensor de Nivel

Fabricante	VEGA
Modelo	VEGAPULS 68
Tipo	Radar con Antena parabólica orientable
Indicador Local	No
Grado de Protección	IP 67
Material de la Carcasa	Poliéster Reforzado
Conexión al Proceso	4" Bridado ANSI 150, RF

Alimentación	24 Vdc
Señal de Salida	4 - 20 mA
Precisión	+ - 15 mm
Rango Máximo	0 - 70 mt
Antena Parabólica	245 mm Dia, Acero Inoxidable
Conexión Eléctrica	1/2" NPT Hembra
TAG	200-LE/LT-101

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 26: Sensor de Nivel VegaPuls 68



Fuente: <http://www.vega.com>

Tabla N° 14: Requerimientos mínimos del Indicador de Nivel

Fabricante	VEGA
Modelo	VEGADIS 61
Tipo	Indicador Remoto de Nivel
Indicador	Display con Soporte Gráfico, 4 Caracteres, 2 líneas, incluye 4 teclas para configuración
Grado de Protección	IP 67
Material de la Carcasa	Poliéster Reforzado
Montaje	En Pared
Alimentación	Del Transmisor
Conexión Eléctrica	1/2" NPT Hembra
TAG	200-LI-101

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 27: Indicador de Nivel Vegadis



Fuente: <http://www.vega.com>

5. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1. DIMENSIONAMIENTO DEL PLC

5.1.1. HOJA DE DATOS DE LA FUENTE

Tabla N° 15: Requerimientos mínimos de la Fuente de PLC

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXCPS2000
Alimentación Entrada	100 a 240 Vac
Tensión de Salida	24 Vdc hacia el Rack
Potencia	20 Watts

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°28: Fuente BMXCPS2000



Fuente: www.schneider-electric.com

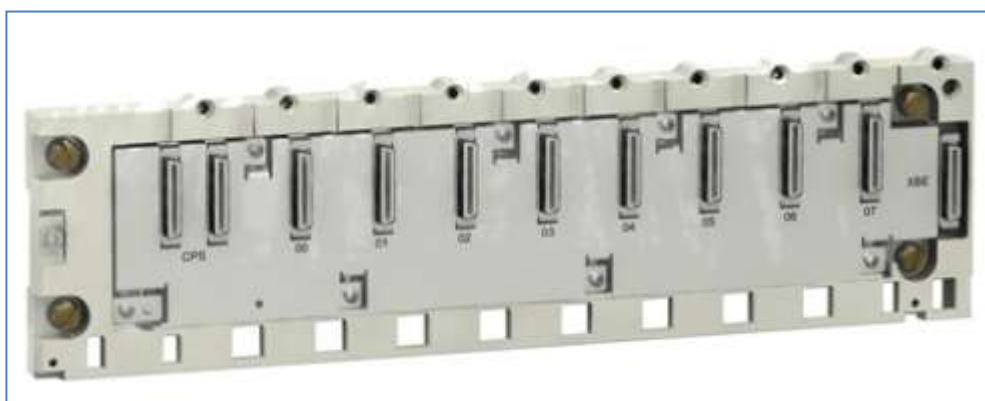
5.1.2. HOJA DE DATOS DEL RACK

Tabla N° 16: Requerimientos mínimos del Rack del PLC

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXXBPo800
Cantidad de Slots	8

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 29: Rack BMXXBPo800



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.3. HOJA DE DATOS DEL CPU

Tabla N° 17: Requerimientos mínimos del CPU BMXP342020

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXP342020
Alimentación	24 Vdc, por Rack
Módulos de Ampliación	SI, Hasta 12
Protocolo de Comunicación	Ethernet TCP/IP

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 30: CPU BMXP342020



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.4. HOJA DE DATOS DE MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES

Tabla N° 18: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Digitales

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXDAI16o2
Alimentación	24 Vdc/Vac
Número de Canales	16
Tipo	PNP o NPN

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 31: Módulo de Entradas Digitales BMXDAI16o2



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.5. HOJA DE DATOS DE MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES

Tabla N° 19: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Digitales

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXDRA1605
Corriente Máxima por Canal	3 A
Número de Canales	16
Tipo	Relé

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 32: Módulo de Salidas Digitales BMXDRA1605



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.6. HOJA DE DATOS DE MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Tabla N° 20: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Analógicas

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXAMIo410
Número de Canales	4
Tipo	0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA
Cantidad de Bits	16

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 33: Módulo de Entradas Analógicas BMXAMIo410



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.7. HOJA DE DATOS DE MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS

Tabla N° 21: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Analógicas

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXAM00210
Número de Canales	2
Tipo	0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA
Cantidad de Bits	16
TAG	200-PLC-1001

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 34: Módulo de Salidas Analógicas BMXAM00210



Fuente: www.schneider-electric.com

5.1.8. HOJA DE DATOS DEL HMI (INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA)

Tabla N° 22: Requerimientos mínimos del HMI (Interfaz Hombre Máquina)

Manufacture	Schneider
Modelo	XBTGT5330
Tamaño	10.4"
Tipo	TFT, LCD color
Touchscreen	SI
Resolución	VGA 640 x 480
Alimentación	24 Vdc
Protocolo de Comunicación	Ethernet TCP/IP
TAG	200-HMI-1001

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 35: HMI XBTGT5330



Fuente: www.schneider-electric.com

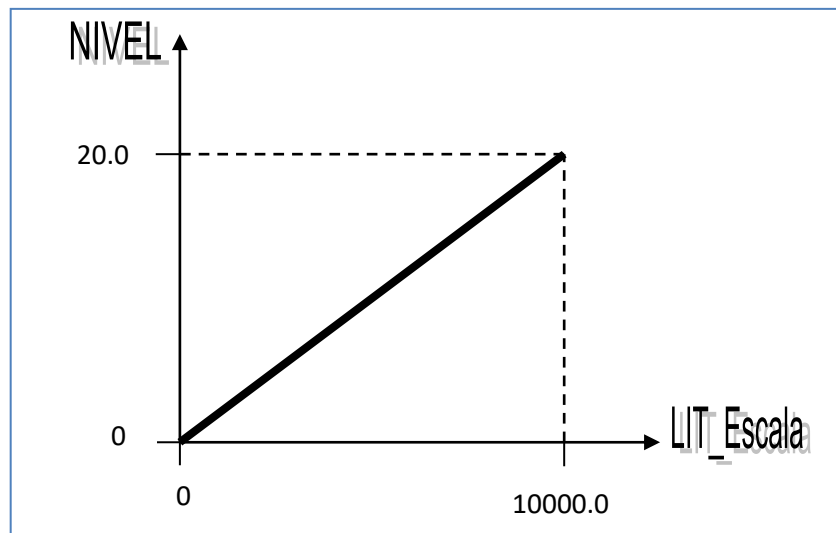
6. ESCALAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICA

6.1. SENSOR-TRANSMISOR DE NIVEL 200-LE/LT-101

DATOS:

- Rango de Nivel:
 $0 \rightarrow 20.0 \text{ mts}$
- Sensor Transmisor de Nivel(Según especificaciones):
 $0 \text{ mts} \rightarrow 4 \text{ mA}$
 $20.0 \text{ mts} \rightarrow 20 \text{ mA}$
- Módulo de Entradas Analógicas del PLC(Según especificaciones):
 $4 \text{ mA} \rightarrow 0$
 $20 \text{ mA} \rightarrow 10000.0$

Figura N° 36: Nivel vs Escalamiento de Canal Analógico



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la ecuación que se va a implementar en el Ladder para hallar el nivel de la tolva de finos, teniendo como entrada analógica una corriente de 4mA – 20mA enviada por el sensor-transmisor de nivel 200-LE/LIT-101 es:

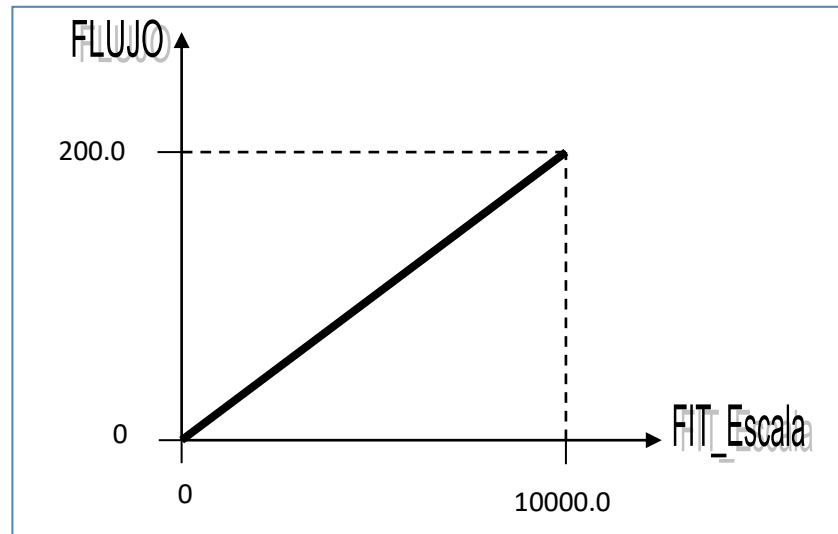
$$\text{NIVEL_TOLVA} = \frac{20.0}{10000.0}(\text{LIT_Escala})$$

6.2. SENSOR-TRANSMISOR DE FLUJO 200-FE/FIT-201

DATOS:

- Rango de Flujo:
 $0 \rightarrow 200.0 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sensor Transmisor de Flujo (Según especificaciones):
 $0 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 4 \text{ mA}$
 $200.0 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 20 \text{ mA}$
- Módulo de Entradas Analógicas del PLC (Según especificaciones):
 $4 \text{ mA} \rightarrow 0$
 $20 \text{ mA} \rightarrow 10000.0$

Figura N° 37: Flujo vs Escalamiento de Canal Analógico



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la ecuación que se va a implementar en el Ladder para hallar el flujo de agua, teniendo como entrada analógica una corriente de 4mA – 20mA enviada por el sensor-transmisor de flujo 200-FE/FIT-201 es:

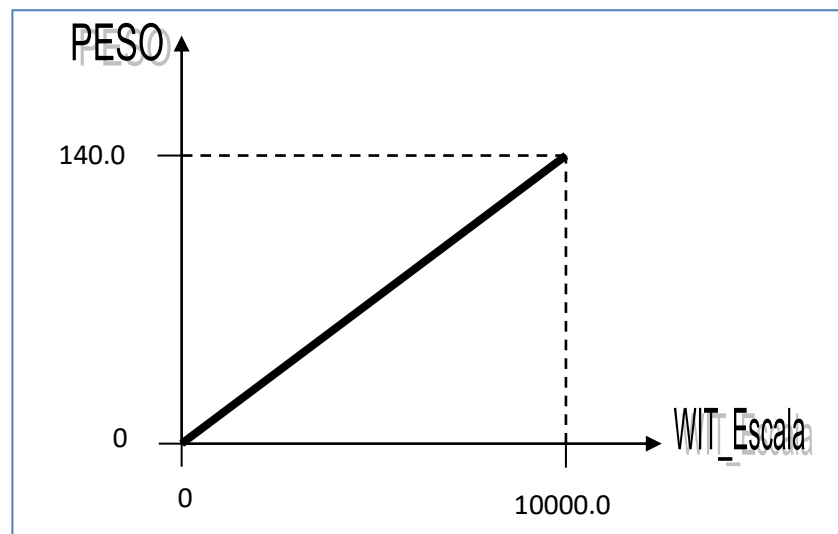
$$FIT_PV = \frac{200.0}{10000.0} (FIT_Escala)$$

6.3. TRANSMISOR DE PESO 200-WIT-201

DATOS:

- Rango de Peso:
 - o $\rightarrow 140.0 \text{ Tn/h}$
- Transmisor de Peso (Según especificaciones):
 - o $\text{Tn/h} \rightarrow 4 \text{ mA}$
 - o $140.0 \text{ Tn/h} \rightarrow 20 \text{ mA}$
- Módulo de Entradas Analógicas del PLC (Según especificaciones):
 - o $4 \text{ mA} \rightarrow 0$
 - o $20 \text{ mA} \rightarrow 10000.0$

Figura N° 38: Peso vs Escalamiento de Canal Analógico



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la ecuación que se va a implementar en el Ladder para hallar el peso del mineral, teniendo como entrada analógica una corriente de 4mA – 20mA enviada por el transmisor de Peso 200-WIT-201 es:

$$WIT_PV = \frac{140}{10000.0} (WIT_Escala)$$

7. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL

7.1. CONFIGURACIÓN DEL PLC EN UNITY XL

RACK 0

Figura N° 39: Configuración del PLC



Slot 0: Fuente: cps2000 y CPU: p34-2020

Slot 1: Módulo de entradas digitales: dai1602

Slot 2: Módulo de salidas digitales: dra1605

Slot 3: Módulo de entradas analógicas: amio410

Slot 4: Módulo de salidas analógicas: amo210

Slot 5: Módulo de salidas analógicas: amo210

7.2. DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

SLOT	1
MÓDULO	ENTRADAS DIGITALES
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%Io.1.0	RUN_200_VFD_1001
%Io.1.1	FALLA_200_VFD_1001
%Io.1.2	OL_200_MO_1002
%Io.1.3	RUN_MOLINO_BOLAS
%Io.1.4	RESERVA
%Io.1.5	RESERVA
%Io.1.6	RESERVA
%Io.1.7	RESERVA
%Io.1.18	RESERVA
%Io.1.9	RESERVA
%Io.1.10	RESERVA
%Io.1.11	RESERVA
%Io.1.12	RESERVA
%Io.1.13	RESERVA
%Io.1.14	RESERVA
%Io.1.15	RESERVA

SLOT	2
MÓDULO	SALIDAS DIGITALES
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%Q0.2.0	RESERVA
%Q0.2.1	RESERVA
%Q0.2.2	RESERVA
%Q0.2.3	RESERVA
%Q0.2.4	RESERVA
%Q0.2.5	RESERVA
%Q0.2.6	RESERVA
%Q0.2.7	RESERVA
%Q0.2.8	ALARMA SONORA 200-AL-1001
%Q0.2.9	RESERVA
%Q0.2.10	RESERVA
%Q0.2.11	RESERVA
%Q0.2.12	RESERVA
%Q0.2.13	RESERVA
%Q0.2.14	RESERVA
%Q0.2.15	RESERVA

SLOT	3
MÓDULO	ENTRADAS ANALÓGICAS
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%IW0.3.0	200_WIT_201
%IW0.3.0.1	200_FIT_201
%IW0.3.0.2	200_LIT_101
%IW0.3.0.3	RESERVA

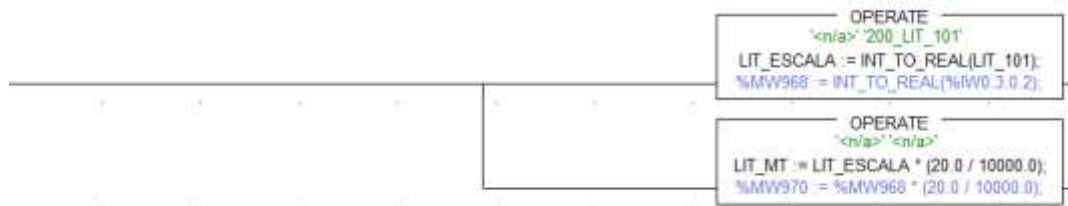
SLOT	4
MÓDULO	SALIDAS ANALÓGICAS
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%QW0.4.0	200_FCV_201
%QW0.4.0.1	200_VFD_201

7.3. DIRECCIONAMIENTO DE MEMORIAS DEL PLC

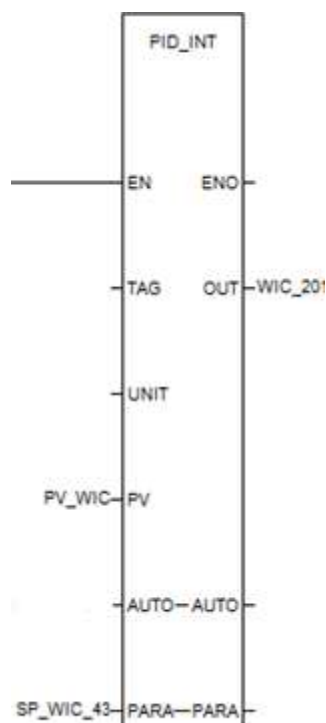
TAG	MEMORIA	TIPO DE VARIABLE
PV_WIC	%MW420	INT
OUT_WIC	%MW421	INT
SP_WIC_43	%MW422	ARRAY[0..42] OF INT
TS_WIC	%MW427	INT
PV_FIC	%MW480	INT
OUT_FIC	%MW481	INT
SP_FIC_43	%MW482	ARRAY[0..42] OF INT
TS_FIC	%MW487	INT
REL_AGUA_MINERAL	%MW527	INT
SP_PRODUCTO_FIC	%MW528	INT
WIT_ESCALA	%MW952	REAL
WIT_PV	%MW956	REAL
FIT_ESCALA	%MW958	REAL
FIT_PV	%MW962	REAL
LIT_ESCALA	%MW968	REAL
LIT_MT	%MW970	REAL

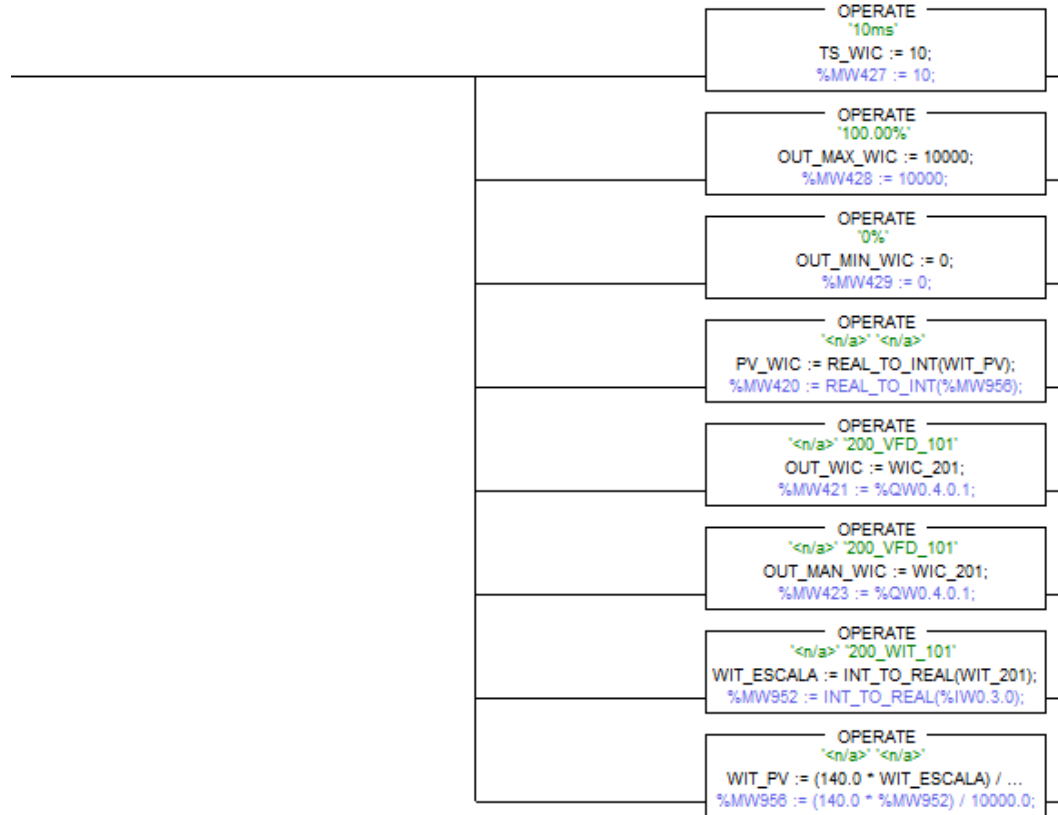
7.4. PROGRAMA DEL PLC, EN LENGUAJE LADDER

MEDICIÓN DE NIVEL 200-LE/LT-101

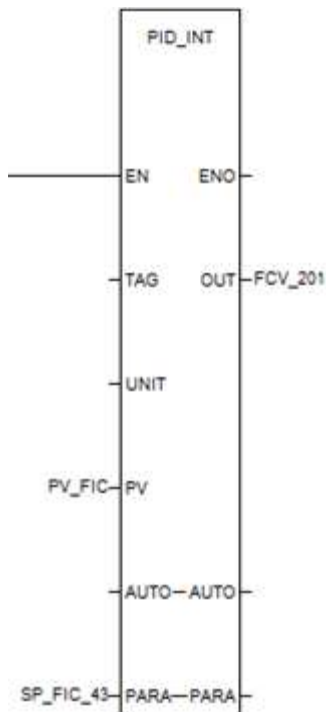


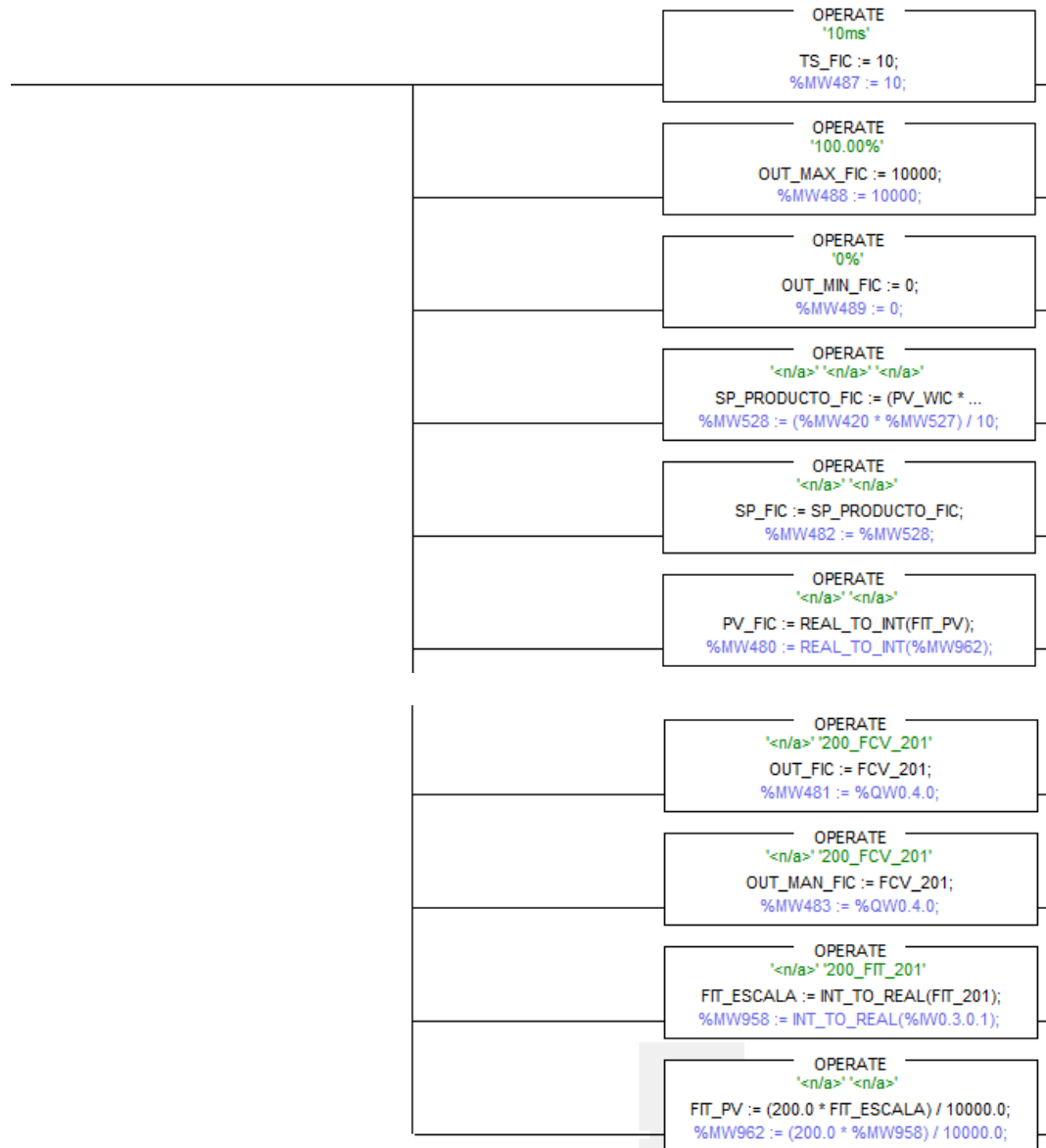
PID 200-WIC-201



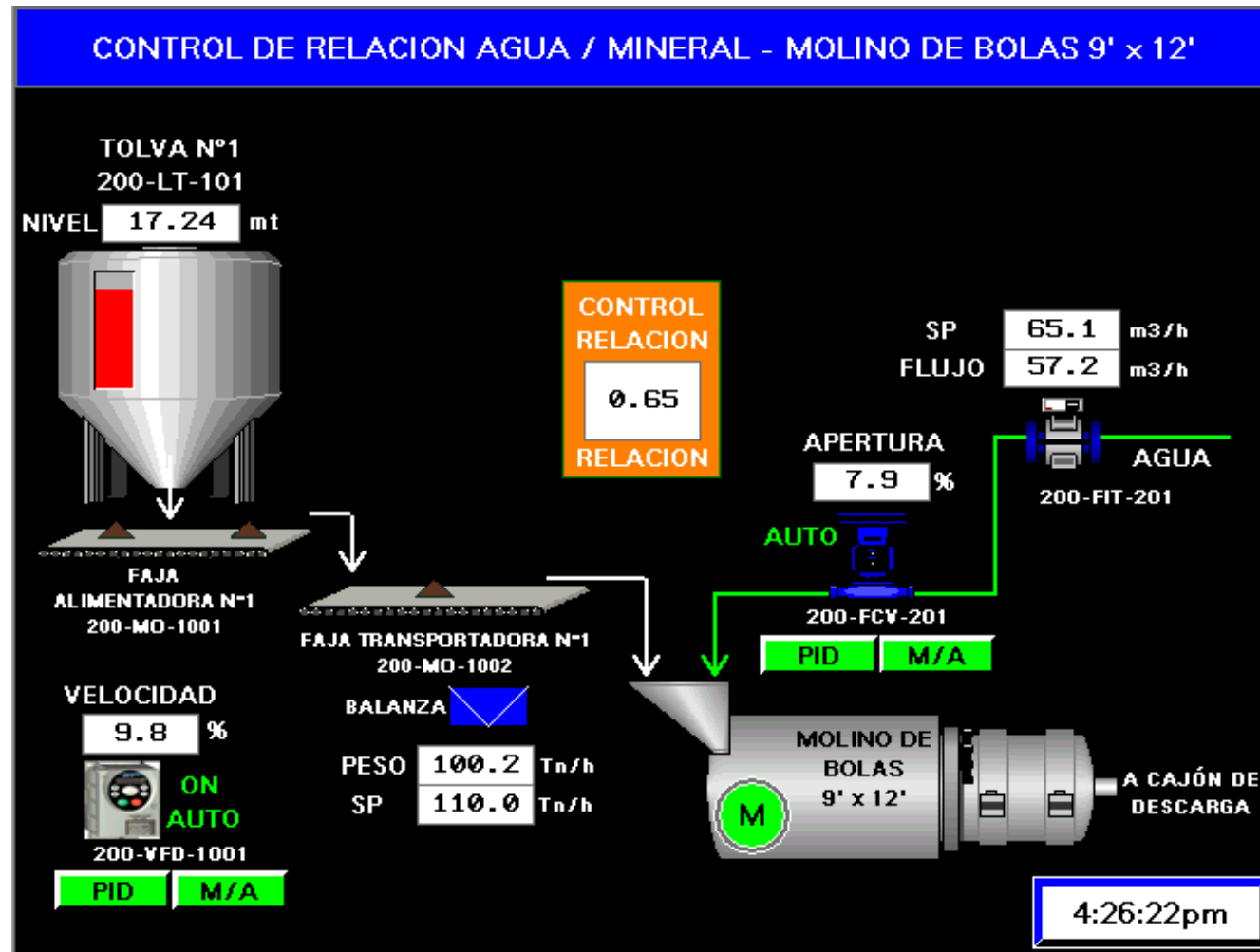


PID 200-FIC-201





7.5. INTERFAZ GRÁFICA DEL HMI





8. DISEÑO DE PLANOS

8.1. ARQUITECTURA DE CONTROL 200-AC-1001



8.2. DIAGRAMAS DE LAZO:

8.2.1. 200-DL-1001



8.2.2. 200-DL-1002

8.3. DIAGRAMA UNIFILAR 200-DU-1001

8.4. DIAGRAMAS DE INTERCONEXIÓN

8.4.1. 200-IN-1001



8.4.2. 200-IN-1002



8.4.3. 200-IN-1003



8.4.4. 200-IN-1004



8.4.5. 200-IN-1005



8.4.6. 200-IN-1006



8.4.7. 200-IN-1007



8.4.8. 200-IN-1008



8.4.9. 200-IN-1009



8.5. TABLERO DE CONTROL 200-TC-1001

8.6. TABLERO REMOTO 200-TR-1001

CAPÍTULO IV
COSTO/BENEFICIO

1. COSTOS DEL PROYECTO

1.1. COSTOS DE HARDWARE

1.1.1. COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN

Tabla N° 23: Costos de los Instrumentos del Proyecto

TAG	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
200-LE/LT-101	VEGAPULS 68	1	S/.3800	S/.3800
200-LI-101	VEGADIS 61	1	S/.800	S/.800
200-FE/FIT-201	PROMAG 50P1H-AR1A1AA0B7AA	1	S/.11000	S/.11,000
200-FCV-201	AKH3 / B125D	1	S/.4900	S/.4900
Alimentación de Aire	LFR-1/4-D-MINI-KC	1	S/.530	S/.530
200-VFD-1001	FC302-2.2KW	1	S/.6800	S/.6800
SUBTOTAL				S/.27,830

Fuente: Elaboración Propia

1.1.2. COSTOS SISTEMA DE CONTROL

Tabla N° 24: Costos del Tablero de Control 200-TC-1001

TAG	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
200-TC-1001	Rittal 1800 x 600 x 600	1	S/.1200	S/.1200
Fuente de Alimentación PLC	BMXCPS2000	1	S/.758	S/.758
Rack PLC	BMXXBP0800	1	S/.656	S/.656
CPU	BMXP342020	1	S/.3015	S/.3015
Módulo de Entradas Digitales	BMXDAI1602	1	S/.751	S/.751
Módulo de Salidas Digitales	BMXDRA1605	1	S/.949	S/.949
Módulo de Entradas Analógicas	BMXAMIo410	1	S/.1656	S/.1656
Módulo de Salida Analógicas	BMXAMO0210	2	S/.1743	S/.3486
Varios (Accesorios) 200-TC-1001	-	1	S/.1200	S/.1200
Armado de Tablero 200-TC-1001	-	1	S/.3200	S/.3200
SUBTOTAL				S/.16,871

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 25: Costos del Tablero Remoto 200-TR-1001

200-TR-1001	Rittal 500 x 400 x 200	1	S/.	S/. 530
Interface Hombre Máquina	XBTGT5330	1	S/.6846	S/.6846
Varios (Accesorios) 200-TR-1001	-	1	S/.800	S/.800
Armado de Tablero 200TR-1001	-	1	S/.1700	S/.1700
SUBTOTAL				S/.9876

Fuente: Elaboración Propia

1.2. COSTOS DE SOFTWARE

Tabla N° 26: Costos de los Software para Programación

DESCRIPCIO N	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Programación de PLC	Unity PRO XL	1	S/.24100	S/.24100
Programación de HMI	Vijeo Designer 6.3	1	S/.4510	S/.4510
SUBTOTAL				S/.28,610

Fuente: Elaboración Propia

1.3. COSTOS DE INGENIERÍA

Tabla N° 27: Costos de Ingeniería del Proyecto

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Elaboración de Planos	1	2,000	S/ .2,000
Programación del PLC	1	1,000	S/ .1,000
Programación del HMI	1	1,000	S/ .1,000
SUBTOTAL			S/ .4000

Fuente: Elaboración Propia

1.4. COSTOS DE INSTALACIÓN

Tabla N° 28: Costos de Montaje, pruebas, Puesta en Marcha

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Montaje de Instrumentos, Tableros, pruebas, puesta en Marcha	1	S/ .4,000	S/ .4,000
SUBTOTAL			S/ .4000

Fuente: Elaboración Propia

1.5. COSTOS DE CAPACITACIÓN

Tabla N° 29: Costos de Capacitación

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Capacitación en el Manejo del HMI	1	S/.500	S/.500
SUBTOTAL			S/.500

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 30: Resumen del Costo Total del Proyecto

COSTOS DE HARDWARE	S/.54,577
COSTOS DE SOFTWARE	S/.28,610
COSTOS DE INGENIERÍA	S/.4000
COSTOS DE INSTALACIÓN	S/.4000
COSTOS DE CAPACITACIÓN	S/.500
COSTO TOTAL	S/.91,687

Fuente: Elaboración Propia

2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

$$R = \frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}}$$

2.1. BENEFICIOS

- Reducción del Consumo de Reactivos en la etapa de Flotación

El consumo de reactivos es excesivo, actualmente se consume S/12,000 al mes, luego de la automatización se reducirá en un 15% el consumo de reactivos.

Tabla N° 31: Comparación de Consumo Mensual de Reactivos

ANTES	AHORA
Antes se gastaba S/.16,000 en compra de Reactivos para Flotación	Ahora se gastará S/.13,600, reducción de 15%
Ahorro	S/.2,400

Fuente: Elaboración Propia

- Reducción del Mantenimiento de Molino de Bolas

El mantenimiento del molino de bolas se realiza mensualmente con un costo mensual de S/13,000, luego de la automatización el mantenimiento se realizará cada 2 meses.

Tabla N° 32: Comparación de Mantenimiento de Molino

ANTES	AHORA
Se realizaba cada mes con un costo S/10,000	Se realizará cada 2 meses con un costo S/10,000, por lo tanto consumo promedio mensual S/5,000
Ahorro	S/.5,000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 33: Resumen Beneficio Total del Proyecto

Reducción de Uso de Reactivos	2,400 S./mes
Reducción de Mantenimiento de Molino	5,000 S./mes
TOTAL	7,400 S./mes

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el tiempo de recuperación de la inversión será de:

$$\frac{S/.91,687}{7,400 \frac{S/.}{mes}} = 12 \text{ meses}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con la propuesta planteada en esta tesis se obtendrán:

- Se obtendrá una reducción del consumo de agua, debido a la exactitud del control de flujo.
- Se obtendrá una reducción de costos de mantenimiento en 50%, debido a que se dosifica la cantidad exacta de agua en relación con el mineral que ingresa al molino, ya que, si ingresa mayor cantidad de mineral y menor cantidad de agua, el consumo de corriente en el molino aumenta, además de que las bolas del molino se deterioran con mayor rapidez, anteriormente el mantenimiento se realizaba cada mes con un costo total de S/.10000, ahora el mantenimiento se realizará cada 2 meses.
- Se obtendrá una reducción de 15% del consumo de reactivos en la etapa de flotación, anteriormente se gastaba S/.12000 en el uso de reactivos en la etapa de flotación, luego de la automatización se gastará S/.10200.
- La recuperación de la inversión empleada en menos de un año.
- Supervisión constante las 24 horas del día en tiempo real.
- Mejoramiento de la rentabilidad y ventaja competitiva de la empresa.
- Modularidad y la flexibilidad del hardware empleado, lo cual permite extender esta solución a otros proyectos de automatización similares.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda adquirir un densímetro nuclear e instalarlo a la descarga del molino.
- Se recomienda implementar un lazo de control de densidad a la descarga del molino, para optimizar el proceso de flotación, el lazo de control debe ser cerrado, adicionando agua al cajón de descarga del molino y controlando la densidad a la salida de este.
- Se recomienda adquirir e implementar una sala de control, para monitoreo de todo el sistema propuesto, que incluya un servidor y una estación de trabajo como mínimo.

CAPÍTULO VI
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J. Acedo Sanchez, Control Avanzado De Procesos Teoría Y Practica
2. Antonio Creus Sole , Instrumentacion Industrial (7^a Edicion); Editorial Marcombo, S.A
3. Elonka, Michael. Operación De Plantas Industriales.Mc Graw-Hill
4. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop; Sistemas de Control Moderno; 2005; 10^o Edición; Editorial Pearson – Prentice Hall.
5. Katsuhiho Ogata; Ingeniería de Control Moderna; 2003; 4^o Edición; Editorial Pearson – Prentice Hall.
6. Benjamin C. Kuo; Sistemas de control Automático; 1996; 7^o Edición; Editorial Prentice Hall.
7. Distefano, Stubberud y Williams; Retroalimentación y Sistemas de Control; 1992; 2^o Edición; Colección SCHAUM; Editorial Mc. Graw Hill.
8. Carlos A. Smith y Armando B. Corripio; Control Automático de Proceso. Teoría y Práctica; 1991; 1^o Edición; Editorial LIMUSA.

1.2 REFERENCIAS WEBGRÁFICAS

1. [Http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html](http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html)
2. [Http://Www.Monografias.Com](http://Www.Monografias.Com)
3. [Http://Html.Rincondelvago.Com/Automatizacion.Html](http://Html.Rincondelvago.Com/Automatizacion.Html)
4. [Http://Www.Fao.Org/Docrep/To848s/To848so6.Htm#Topofpage](http://Www.Fao.Org/Docrep/To848s/To848so6.Htm#Topofpage)
5. [Http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Canales/Canales.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Canales/Canales.Shtml)
6. [Http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm](http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm)
7. [Http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/](http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/)
8. [Http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Motores-Trifasicos-Electricos.Html](http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Motores-Trifasicos-Electricos.Html)
9. [Http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque_De_Motores.Html](http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque_De_Motores.Html)



10. [Http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Control-De-Motores-Trifasicos.Html](http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Control-De-Motores-Trifasicos.Html)
11. [Http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_17_molinos_de_bolas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_17_molinos_de_bolas.html)
12. <http://deborahmontoya.over-blog.es/article-que-para-que-utiliza-molino-bolas-85861912.html>