



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA



**"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN PARA EL
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y
LIMPIEZA DE LOS NUEVOS TANQUES DE CERVEZA BBT EN LA
PLANTA BACKUS MOTUPE"**

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

AUTORES:

Bach. MENDOZA YESQUÉN RAFAEL MARTIN
Bach. CÉSPEDES VERONA JUAN BELISARIO

ASESOR:

Ing. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO

LAMBAYEQUE – PERÚ
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA**



**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN PARA EL
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y
LIMPIEZA DE LOS NUEVOS TANQUES DE CERVEZA BBT EN LA
PLANTA BACKUS MOTUPE”**

TESIS

Para Optar El Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autores:

Bach. Mendoza Yesquén Rafael Martin

Bach. Céspedes Verona Juan Belisario

Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo
Asesor

Lambayeque – Perú
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



TITULO DE LA TESIS

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN PARA EL
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y
LIMPIEZA DE LOS NUEVOS TANQUES DE CERVEZA BBT EN LA
PLANTA BACKUS MOTUPE”**

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
PRESIDENTE

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
SECRETARIO

Ing. Julio Quispe Rojas
VOCAL

LAMBAYEQUE, PERU
2017

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida, una hermosa familia y buenos amigos.

A nuestros padres, por darnos siempre el ánimo necesario y apoyarnos en cada una de nuestras decisiones, por cada uno de sus consejos a lo largo de nuestra vida.

A nuestro asesor Ing. Carlos Oblitas Vera por su apoyo incondicional en la elaboración y corrección del presente proyecto de tesis.

A los ingenieros de Planta Backus Motupe quienes estuvieron siempre prestos a apoyarnos en el desarrollo del presente trabajo.

A nuestros hermanos y amigos, con quienes hemos compartido tantas alegrías y penas; y siempre estuvieron allí para brindarnos sus consejos y apoyo.

A todas aquellas personas que indirectamente nos ayudaron a cumplir este trabajo y que constituyen un invalorable apoyo.

A todos Uds. les quedamos muy agradecidos.

DEDICATORIA

A nuestros Padres, hermanos, familiares y amigos que siempre tuvieron una palabra de aliento y motivación hacia nosotros.

A nuestros maestros, que contribuyeron a nuestra formación integral desde los primeros años de nuestra vida.

Los autores

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como finalidad realizar mejoras en las operaciones de limpieza, almacenamiento y envío de cerveza desde el área de filtración hacia envasado en la planta cervecera Backus-Motupe. Los procesos de almacenamiento y limpieza de tanques de cerveza filtrada, actualmente implican el cumplimiento de muchas operaciones manuales por parte del personal operario.

Por tanto ha sido necesario un estudio detallado de los procesos de almacenamiento, limpieza y envío de cerveza, en los antiguos tanques de gobierno y en los nuevos tanques de cerveza brillante (BBT) a fin de identificar los principales problemas presentados en las operaciones manuales.

Luego del estudio realizado a la problemática encontrada se propone la solución y se realiza el diseño de la automatización de los procesos de llenado y envío desde los tanques de cerveza, así como al proceso de limpieza en sitio (CIP).

ABSTRACT

The present thesis project aims to improve the operations of cleaning, storage and shipping of beer from the filtration area to packaging at the Backus-Motupe brewery. The processes of storage and cleaning of filtered beer tanks, currently involves the accomplishment of many manual operations by the personnel.

Therefore a detailed study of the processes of storage, cleaning and shipping of beer, in the old government tanks and in the new shining beer tanks (BBT) was necessary in order to identify the main problems presented in the manual operations.

After the study of the problems found, the solution is proposed and the design of the automation of the filling and shipping processes from the beer tanks and the on-site cleaning process (CIP) is carried out.

INTRODUCCION

El desarrollo de la tesis de ha dividido en cinco capítulos:

Capítulo 1: En este primer capítulo se detallan los aspectos generales de la investigación: Situación problemática, problema. Hipótesis, objetivos y la justificación e importancia de la investigación.

Capítulo 2: En este capítulo se plasma el marco conceptual que contiene los fundamentos teóricos de la instrumentación y equipos necesarios para la solución a proponer.

Capítulo 3: En este capítulo se hace un diagnóstico de la situación actual de los procesos de limpieza, almacenamiento y envío de cerveza hacia envasado, de igual forma se detallan las premisas a considerar para el diseño.

Capítulo 4: En este capítulo se realiza el diseño y el dimensionamiento de los equipos e instrumentos necesarios para la automatización bajo las premisas detalladas, de igual forma se realiza un estimado de los costos de implementación.

Capítulo 5: En este capítulo se realiza la simulación de la automatización de los procesos de almacenamiento, envío de cerveza y limpieza de tanques. Se hace la programación en ladder y el monitoreo de las variables a través de un SCADA.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones luego de realizado el estudio y análisis de resultados.

ÍNDICE

1.	ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.	Título:.....	1
1.2.	Personal Investigador:	1
1.2.1.	Autores Responsables	1
1.2.2.	Asesor.....	1
1.3.	Centro de Investigación:.....	1
1.4.	Área de Investigación.....	1
1.5.	Lugar de Ejecución.....	2
1.6.	Duración estimada.....	2
1.7.	Beneficiarios del proyecto.....	2
1.8.	Formulación del problema científico.	2
1.9.	Objetivos	2
1.9.1.	Objetivo General:	2
1.9.2.	Objetivos Específicos:.....	2
1.10.	Justificación e importancia de la investigación:.....	2
1.11.	Hipótesis.....	3
1.12.	Antecedentes:	3
1.13.	Operacionalización de variables:.....	5
2	MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1	Sistemas de Control.....	6
2.1.1	Sistemas de control – Definiciones	6
2.1.2	Clasificación de los sistemas de control.....	7
2.2	Sensores.....	10
2.2.1	Sensores de Nivel	10
2.2.2	Sensores de Presión	12
2.2.3	Sensores de Flujo y Caudal	14
2.2.4	Sensores de Temperatura	16
2.3	Válvulas de Control.....	19
2.3.1	Tipos de válvulas.....	19
2.4	Motores Asíncronos	20
2.4.1	Descripción física de un motor asíncrono	20
2.4.2	Principio de funcionamiento	21
2.5	Bombas centrífugas.....	22
2.5.1	Cálculo de bomba.....	22

2.6	Variadores de frecuencia.....	25
2.7	Controladores Lógicos Programables	27
2.7.1	Estructura del PLC	27
2.8	Comunicación Profibus	29
2.9	Conductores eléctricos	30
2.9.1	Dimensionamiento de cables.....	30
2.10	Bandejas eléctricas	31
2.11	Tuberías metálicas.....	32
2.11.1	Tipos de Tubería.....	32
2.12	Tableros eléctricos.....	32
2.13	Proceso de elaboración de cerveza.....	33
2.13.1	Almacenamiento de granos	33
2.13.2	Molienda.....	33
2.13.3	Cocimiento	33
2.13.4	Enfriador de mosto	33
2.13.5	Fermentación.....	34
2.13.6	Maduración.....	34
2.13.7	Filtración	34
2.13.8	Envasado	34
3	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO	36
3.1	Descripción general.....	36
3.1.1	Situación actual del Proceso CIP (Cleaning in Place) de limpieza de tanques BBT y líneas de proceso	37
3.1.2	Situación actual del sistema de almacenamiento de cerveza.....	42
3.2	Oportunidades de mejora en el sistema de limpieza y almacenamiento	45
3.3	Criterios de diseño.....	46
4	DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DEL PROCESO.	47
4.1	Consideraciones Preliminares de Diseño.	47
4.1.1	Situación futura del proceso de almacenamiento	47
4.1.2	Situación futura del Proceso CIP.....	48
4.2	Inventario de Señales de Campo	50
4.2.1	Compatibilidad con nuevos equipos de Control.....	52
4.2.2	Dimensionamiento de variables de visualización.....	53
4.2.3	Arquitectura de Control.....	54
4.3	Selección de la Instrumentación:.....	55

4.3.1	Selección de la instrumentación en los tanques BBT:.....	55
4.3.2	Selección de la Instrumentación en las líneas de proceso:	59
4.3.3	Instrumentación para las líneas de CIP:	61
4.4	Selección de controlador lógico programable PLC.....	64
4.4.1	Sistema de Periferia descentralizada ET200M.....	64
4.4.2	Capacidad de entradas y salidas	66
4.4.3	Comunicación.....	70
4.5	Selección de Equipos de mando.....	72
4.5.1	Selección de válvulas	72
4.5.2	Selección de Actuadores Neumáticos	73
4.6	Selección de las bombas para envío de cerveza y limpieza CIP	77
4.6.1	Calculo de la potencia requerida para cada bomba:	77
4.6.2	Selección de las bombas centrifugas a instalar:	79
4.7	Selección de los variadores de frecuencia:	80
4.7.1	Variador para bomba de envío de cerveza a Línea 1:	81
4.7.2	Variador para bomba de envío de cerveza a Línea 3:	82
4.7.3	Variador para bomba de Suministro CIP:	83
4.8	Dimensionamiento de Tableros.....	84
4.9	Selección de cables, tuberías y canales	90
4.9.1	Selección de cables.....	90
4.9.2	Sistema de Canalizaciones	93
4.9.3	Recorridos, cantidades y materiales	95
4.10	Selección del sistema de monitoreo y supervisión.....	96
4.10.1	Selección del PC de supervisión	96
4.10.2	Selección del Software SCADA de Supervisión.....	97
4.11	Costos De Implementación y Retorno de la Inversión.....	97
4.11.1	Costo de Implementación.....	97
4.11.2	Costo de Suministro y Conexión de Instrumentación	98
4.11.3	Costo de suministro e instalación de cables de fuerza y control	98
4.11.4	Costos de montaje de tablero de fuerza y control.....	99
4.11.5	Costos de iluminación de BBTs interiores y exteriores	99
4.11.6	Costos de automatización y puesta en servicio	99
4.11.7	Resumen de Costos	100
5	SIMULACION DE LA AUTOMATIZACION.....	101
5.1	Diseño de la Simulación.....	101
5.1.1	Sistema de Monitoreo.....	101

5.1.2	Sistema de Control	101
5.2	Softwares utilizados en simulación	101
5.2.1	Rs Logix 500	101
5.2.2	Rs Linx	102
5.2.3	RsLogix Emulate.....	103
5.2.4	Rslogix OPC.....	103
5.2.5	SCADA Intouch	104
5.3	Implementación de Simulación.....	105
5.3.1	Programación de PLC	105
5.3.2	Comunicación industrial	109
5.3.3	SCADA	111
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
6.1	Conclusiones	118
6.2	Recomendaciones.....	118
7	BIBLIOGRAFIA.....	120
8	ANEXOS.....	123

1. ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Título:

Diseño y simulación de la automatización para el mejoramiento del sistema de almacenamiento y limpieza de los nuevos tanques de cerveza BBT en la planta Backus Motupe.

1.2. Personal Investigador:

1.2.1. Autores Responsables

Mendoza Yesquén Rafael Martín

Código: 069136-J

e-mail: rafmen_04@hotmail.com

Celular: 948196051, 989181996

Céspedes Verona Juan Belisario

Código: 060649-D

Email: belcever25@hotmail.com

Celular: 987166043

1.2.2. Asesor

Ing. Oblitas Vera Carlos

Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

1.3. Centro de Investigación:

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo” UNPRG – Lambayeque.

1.4. Área de Investigación

Electrónica Aplicada a la Automatización de Procesos Industriales

1.5. Lugar de Ejecución

UCP Backus y Johnston, Planta Motupe.

1.6. Duración estimada

6 meses

1.7. Beneficiarios del proyecto

UCP Backus y Johnston, Planta Motupe.

1.8. Formulación del problema científico.

¿Cómo mejorar el proceso de almacenamiento y limpieza de la nueva línea de tanques de almacenamiento de cerveza BBT?

1.9. Objetivos

1.9.1. Objetivo General:

Diseñar y simular el sistema de automatización del proceso de almacenamiento y limpieza de la nueva línea de tanques de cerveza BBT.

1.9.2. Objetivos Específicos:

- Diagnosticar las operaciones actuales del sistema de limpieza y almacenamiento de los tanques de cerveza y definir las premisas de diseño para el mejoramiento.
- Diseñar el sistema automático bajo las premisas y diagnóstico realizado.
- Simular la automatización del sistema de limpieza y almacenamiento de tanques cerveza BBT.

1.10. Justificación e importancia de la investigación:

Ante el aumento del consumo per cápita de cerveza en la población peruana, que actualmente consume en promedio 45 l/año (reporte UCPByJ, 2014), y con el objetivo de mantener el dominio en el mercado peruano, la empresa cervecera Backus y

Johnston ha decidido ampliar su capacidad productiva en la zona norte, esto es, mejorar los índices de producción en su planta de Motupe. Para lo cual, ha creído indispensable potenciar algunas áreas de su planta cervecera, tales como el área de filtración y almacenamiento, con la adquisición de nuevos tanques de filtrado, tanques de almacenamiento (BBT) y líneas de proceso.

Surge ante esto, la necesidad de optimizar la operación de los nuevos tanques adquiridos, ya que su modo de operación se basa en el clásico funcionamiento de los tanques de almacenamiento de cerveza que operan en planta, por tanto, hay varias mejoras que se pueden implementar con el fin de realizar operaciones más rápidas y precisas.

1.11. Hipótesis

Diseñando un sistema automático que permita ejercer control sobre los actuadores y visualizando los parámetros de los procesos desde un software de supervisión (SCADA).

La simulación del diseño nos permitirá observar el comportamiento de las variables de control (flujo, presión, etc) de la solución propuesta.

1.12. Antecedentes:

“Diseño y análisis de un sistema de instrumentación y automatización industrial aplicado al proceso de pasteurización de una planta de elaboración de cerveza”

Autores: J.G. Bonilla Rodríguez y E.X. Cordero Loor, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (Ecuador, 2010)

Se realiza un estudio sistemático del proceso de pasteurización de la cerveza, analizando las variables físicas del proceso para poder realizar el control respectivo, haciendo uso de instrumentos de medición en las variables de nivel, flujo, conductividad, presión y

temperatura, asimismo se hace un estudio para la selección de los sensores, transmisores y controladores necesarios para la implementación del sistema propuesto.

Al final se presenta un análisis de factibilidad económica del estudio realizado y las ventajas que nos brinda el proceso operado de forma automática ante el convencional antes instalado, realizando análisis de costos de la inversión y recuperación del capital en el futuro.

“Evaluación Técnica y Económica de una alternativa de mejoramiento para el proceso de CIP (Cleaning in Place – Limpieza en sitio) en el área de filtración de Cervecería Leona S.A”. Autor: Juan M. Bocanegra Rugeles y Álvaro Castellanos López, *Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, 2004).*

Se realiza un análisis del proceso de limpieza CIP en el área de filtración de la cervecería y se hace un enfoque en los cuellos de botella que se generarían a partir de la ampliación del área de envasado con la adquisición de dos nuevas líneas, con lo cual, el área de filtración no cubriría el requerimiento de estas líneas debido al retraso en el filtrado originado por las demoras de los procesos de limpieza. Se propone una mejora a partir de la ejecución de operaciones en forma simultánea, ya que hay varias tareas que se pueden ejecutar simultáneamente a fin de acortar los tiempos de parada. Finalmente, se hace un análisis económico de la factibilidad de esta propuesta de mejora y se elabora la ingeniería de detalle para la ejecución del mismo.

1.13. Operacionalización de variables:

En el siguiente cuadro se resume la operacionalización de variables:

Objetivo	Variables	Operacionalización	Indicadores
Diseñar y simular el sistema de automatización del proceso de almacenamiento y limpieza de la nueva línea de tanques de cerveza BBT.	Variable independiente: Diseño de un sistema de automatización	Proceso de identificar todos los aspectos relacionados con la futura operación del sistema que será implementado, con el fin de realizar operaciones más rápidas y precisas.	-Disminución de los tiempos de las operaciones de limpieza (CIP). - Registro de volúmenes de cerveza almacenada y enviada.

Tabla 1-1 Operacionalización de variables

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Sistemas de Control

Las teorías de control que se utilizan habitualmente son la teoría de control clásica (también denominada teoría de control convencional), la teoría de control moderno y la teoría de control robusto.

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. (Ogata, 2010).

2.1.1 Sistemas de control – Definiciones

Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

Variable controlada y señal de control o variable manipulada. La *variable controlada* es la cantidad o condición que se mide y controla. La *señal de control* o *variable manipulada* es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. *Controlar* significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado (Ogata, 2010).

En el estudio de la ingeniería de control, es necesario definir términos adicionales que se precisan para describir los sistemas de control.

Plantas. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular (Ogata, 2010).

Procesos. El *Diccionario Merriam-Webster* define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado (Ogata, 2010). En esta tesis se llamará *proceso* a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos

Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares (Ogata, 2010).

2.1.2 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto (o no automático) y sistemas de lazo cerrado (retroalimentados o automáticos) (Gaviño, 2010). Para llevar a cabo dicha clasificación, se hace la siguiente definición:

Acción de control: Es la cantidad dosificada de energía que afecta al sistema para producir la salida o la respuesta deseada.

2.1.2.1 Sistema de control de lazo abierto:

Es aquel sistema en el cual la acción de control es, en cierto modo, independiente de la salida. Este tipo de sistemas por lo general utiliza un regulador o actuador con la finalidad de obtener la respuesta deseada.

La capacidad que tales sistemas tienen para ejecutar una acción con exactitud depende de su calibración. En general, los sistemas de lazo abierto están regulados por base de tiempo. Como ejemplo de dichos sistemas se citan los tostadores de pan, las lavadoras (¿automáticas?), los hornos de microondas y los semáforos convencionales (Gaviño, 2010).

En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa (Ogata, 2010).

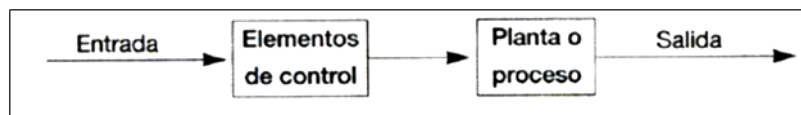


Figura 2-1 Diagrama de bloque de un sistema de lazo abierto

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado (Ogata, 2010).

2.1.2.2 Sistemas de control en lazo cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de *control en lazo cerrado*. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se

alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (Ogata, 2010).

Sistemas de control en lazo cerrado en comparación con sistemas en lazo abierto:

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto (Ogata, 2010).

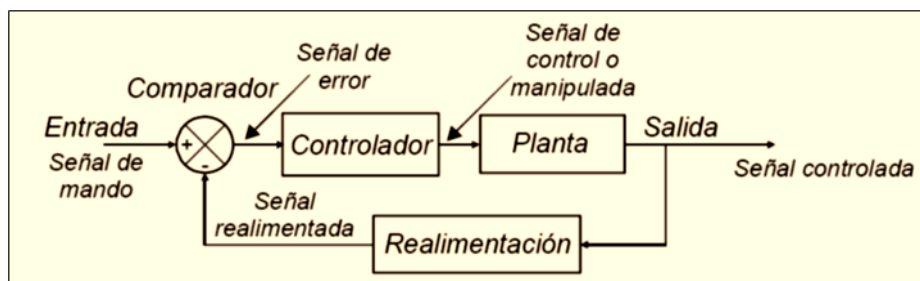


Figura 2-2 Diagrama de bloque de un sistema de lazo cerrado

Desde el punto de vista de estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es un gran problema en el sistema de control en lazo cerrado, que puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante (Ogata, 2010).

2.2 Sensores

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. Con frecuencia, una condición de cambio, se trata de la presencia o ausencia de un objeto o material (detección discreta). También puede ser una cantidad capaz de medirse, como un cambio de distancia, tamaño o color (detección analógica). Los sensores posibilitan la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición y/o de control, tanto eléctricos como electrónicos, utilizándose extensivamente en todo tipo de procesos industriales y no industriales para propósitos de monitoreo, medición, control y procesamiento (Creus, 2011).

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo a otro, es decir convierte una magnitud en otra que resulte más apta para el análisis de un fenómeno físico. Los seis tipos de señales más usuales en el control industrial son: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares. El transductor sirve para convertir un tipo de señal en otro, y por lo general suele convertir cualquier señal en eléctrica, esto por el tipo de aplicaciones industriales que se les da. Un transductor ideal es aquel que para producir su señal de salida no disminuye la energía de la señal de entrada, pero en la práctica esto no se da, por lo que es importante que el transductor consuma la menor energía de la señal de entrada para que altere en lo menos posible el fenómeno físico estudiado (Castro, 2008).

2.2.1 Sensores de Nivel

A partir de la medida de nivel de un líquido en un tanque conociendo su geometría, dimensiones y densidad, puede determinarse el volumen y la masa. Algunos transductores eléctricos de nivel son (Chaves, 2008):

2.2.1.1 Medidor de presión diferencial

Tiene un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo de un tanque, en un tanque abierto la presión hidrostática es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico (*Creus, 2011*).

$$P = H.\gamma$$

P: Presión

H: Altura

γ : Peso específico del líquido



Figura 2-3 Medidor de presión diferencial

2.2.1.2 Ultrasónico

Consiste en emitir un pulso de energía que viaja a la velocidad del sonido en el espacio de vapor que se encuentra por encima del líquido o polvo. La señal es reflejada por la superficie del líquido o polvo y va de vuelta al receptor. Se mide el tiempo entre la señal emitida y la señal recibida. A partir de esa medición de tiempo y con la velocidad del sonido en el vapor se calcula la distancia desde el receptor a la superficie del líquido o polvo. En los últimos años, los medidores sónicos de nivel han mejorado en exactitud cuándo se los aplica en forma adecuada (*Cesca, 2016*).

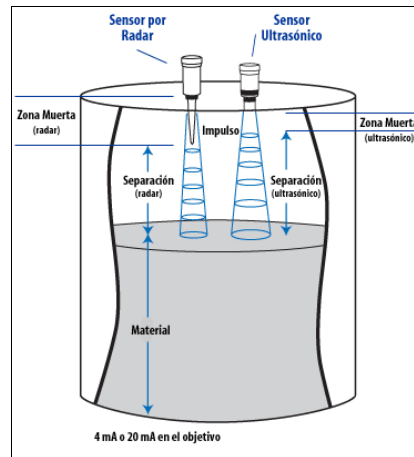


Figura 2-4 Sensor Ultrasónico

2.2.2 Sensores de Presión

Esta medida es común en procesos que involucran gases y líquidos, los instrumentos de medición se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos, y electrónicos.

Los más comunes son los mecánicos, estos a su vez se subdividen en dos métodos de medición (Chaves, 2008):

- Por medio de la comparación con una presión conocida: la diferencia entre la presión que desea medirse (P) y la presión de referencia provoca un desplazamiento del líquido contenido en el tubo. Siendo g la aceleración de la gravedad y ρ la densidad del líquido, el desnivel provocado (h) es (Acedo Sánchez, 2006):

$$h = \frac{P - P_{ref}}{\rho \cdot g}$$

- Por efecto de la presión sobre un elemento elástico: al ejercer presión sobre un elemento elástico este se deforma, provocando un desplazamiento función de la presión ejercida medible mediante un sensor de pequeños desplazamientos. (Acedo Sánchez, 2006).

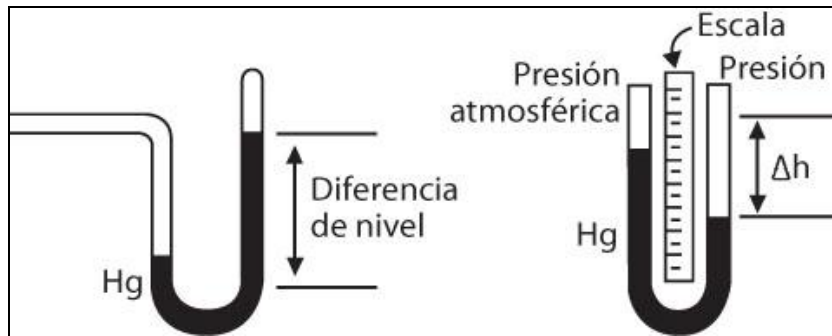


Figura 2-5 Manómetro líquido en forma de "U"

Una aplicación de este tipo es el diafragma, el cual es ampliamente utilizando, consiste en una membrana cuya deflexión en su parte central es dependiente de la presión ejercida sobre la misma. La sensibilidad del diafragma aumenta al aumentar su área y al aumentar espesor de la misma, un ejemplo de este tipo de transductor es el de tubo Bourdon que se muestra en la siguiente figura. Este es un tubo de sección elíptica, y curvado de manera que forma un anillo casi perfecto. Al aplicar presión al fluido contenido en su interior, el tubo tiende a enderezarse, transmitiéndose el movimiento de su extremo (por un sistema de engranaje) a una aguja que se desplaza por una escala graduada (Creus, 2011).

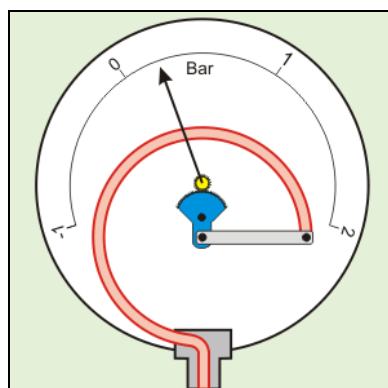


Figura 2-6 Esquema de un tubo Bourdon

2.2.2.1 Sensor de presión tipo diafragma

El diafragma es una fina lámina de metal generalmente circular soportada por sus bordes y que se deforma por la aplicación de presión. Puede ser una chapa lisa

pero lo más común es que sea corrugada. La deformación que sufre la lámina es función de la presión ejercida (Acedo Sánchez, 2006).



Figura 2-7 Sensor de presión tipo diafragma

2.2.3 Sensores de Flujo y Caudal

Para medir el caudal, se puede realizar de varias formas según sea el tipo de fluido, de presión deseada, el control que se requiera y el tipo de caudal.

Se denomina flujo al movimiento de fluidos por canales o conductos abiertos o cerrados. El caudal es la cantidad de material, en peso o volumen, que fluye por unidad de tiempo (García Gutiérrez).

Los medidores volumétricos, son un gran grupo de sensores que realizan las mediciones con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido.

Dentro de los sensores más destacados de este tipo están:

2.2.3.1 Sensor Placa-orificio o diafragma

Este es un sistema que consta de una placa perforada, en donde se da una restricción de flujo de área constante, la presión va a depender del flujo que atraviesa la restricción. Utilizando un sensor de presión, se obtiene la presión diferencial la cual es proporcional a la raíz cuadrada del caudal. Con esto se obtiene la medida del caudal. (Chaves, 2008)

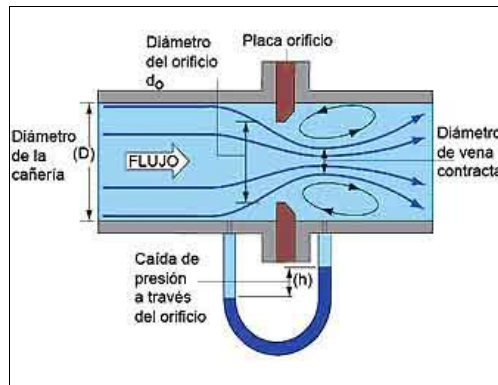


Figura 2-8 Sensor de flujo placa-orificio

2.2.3.2 Sensor Magnético

El funcionamiento de un caudalímetro magnético se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión que es perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula. Puesto que un líquido conductor contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday). Los caudalímetros magnéticos generan un campo magnético perpendicular a la corriente de flujo y miden la tensión producida por el fluido que pasa a través del instrumento. La tensión producida es proporcional a la velocidad media del fluido. Esta tensión es acondicionada y suministrada como salida analógica (Cesca, 2016).

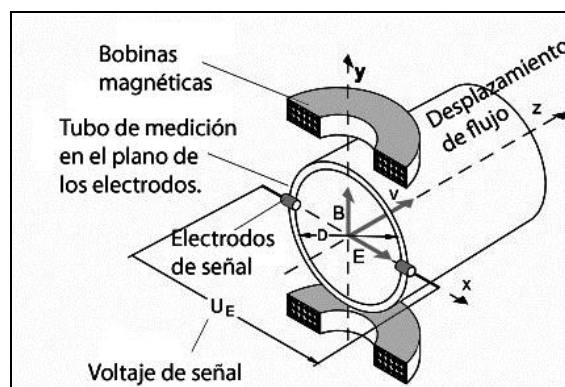


Figura 2-9 Medidor Magnético

2.2.4 Sensores de Temperatura

La obtención de medias de temperatura, es de las más frecuentes y de mayor importancia en la automatización industrial, es por esto que se vuelve cada vez más importante tener una comprensión clara de las ventajas y desventajas de los distintos métodos de medida de esta variable, para lograr que sistema sea el óptimo.

Dentro de los sensores empleados para la medida de la temperatura, están los basados en resistencias térmicas, básicamente son un enrollamiento de hilo muy fino del conductor entre capas de material aislante, estos son colocados dentro de distintos encapsulados no conductores como el vidrio o la cerámica (Castro, 2008).

2.2.4.1 Resistencia Térmica

Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Thermal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Thermal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo (Castro, 2008).

El principio de funcionamiento es la variación su resistencia expresada en ohmios por cada grado que cambia la temperatura su temperatura. Esta relación se muestra en la siguiente expresión (Creus, 2011).

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_0 = resistencia en ohmios a 0 °C

R_t = resistencia en ohmios a t °C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia

Algunos metales utilizados son: cobre, platino y níquel. La resistencia normal varía entre unos cuantos ohms y kiloOhms, siendo 100 Ω uno de los valores más comunes (Creus, 2011).

Su mayor ventaja es que son bastante estables y se pueden representar de forma lineal. Por otro lado su desventaja es su sensibilidad, ya que es muy corta, pues solo varia alrededor de $0.4\Omega/^{\circ}\text{C}$ de cambio en la temperatura para los compuestos de platino y $0.7\Omega/^{\circ}\text{C}$ para los basados en níquel (Castro, 2008)

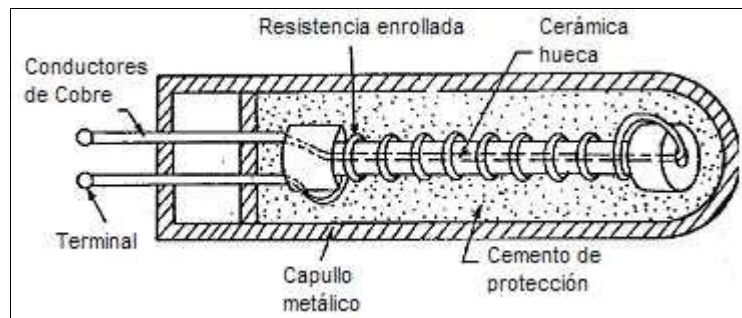


Figura 2-10 Estructura básica de un RTD

2.2.4.2 Termopar

El termopar o termocupla, este sensor se basa en el efecto de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura (unidos en un extremo y abierto en el otro), producen un pequeño y único voltaje según la temperatura, como se ejemplifica en la figura (Creus, 2011).

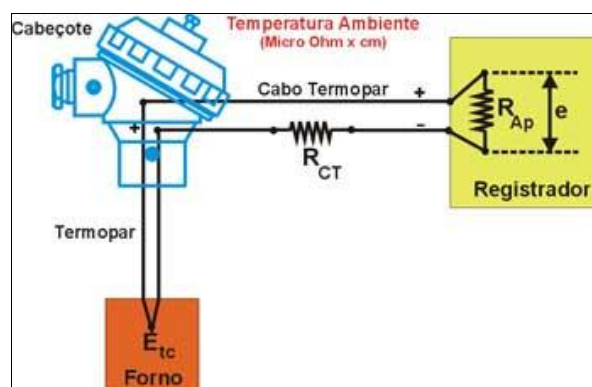


Figura 2-11 Principio del termopar

El fenómeno es debido a dos efectos: (Peltier y Thompson). El efecto Peltier provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos

cuando circula una corriente a través de la unión (Cañada Soriano & Royo Pastor, 2016).

El efecto Thomson consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura (Cañada Soriano & Royo Pastor, 2016).

La tensión que pasa por el extremo abierto es función de la temperatura de la unión de los metales utilizados. La unión del termopar nos proporciona una T_x (temperatura desconocida: ‘unión de medida’), en el extremo abierto se tiene T_{ref} (temperatura fija conocida: ‘unión de referencia’) y midiendo el valor de V por medio de un voltímetro, se puede calcular el valor de T_x mediante la ecuación (Creus, 2011):

$$V = T_x - T_{ref}$$

Dado que los voltajes que generan los diferentes tipos de termocuplas, están estudiadas y documentadas, es posible obtener tablas que asocian un voltaje determinado con una temperatura, por lo que en aplicaciones prácticas se utilizan tablas de calibración.

Las termopares se clasifican de acuerdo a si son metálicas o no, dentro de las metálicas se encuentran las de tipo E, J, K y T, se utilizan para temperaturas hasta de 1000°C, mientras los no metálicos como los tipos S, R, B se utilizan para temperaturas de hasta 2000°C (Creus, 2011).

Dentro de las ventajas de los termopares se pueden mencionar: su bajo costo, rápida respuesta a cambios de temperatura y que poseen un amplio rango para la medición de la temperatura. Entre las desventajas, se puede mencionar su baja sensibilidad, generalmente en el rango de 6.5 a 80 $\mu V/^\circ C$, además proporcionan voltajes bajos que pueden ser afectados por ruido y finalmente dado que este es un

dispositivo que varía su comportamiento de acuerdo a su temperatura tiene rangos de operación no- lineales que pueden ocasionar problemas (Chaves, 2008).

2.3 Válvulas de Control

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varia continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada (Otegui & Rubertis, 2008).

2.3.1 Tipos de válvulas

2.3.1.1 Válvula de Mariposa

Estas válvulas son de baja presión y diseño sencillo, solíéndose usar para controlar el flujo y regularlo. Se caracterizan por ser de operación rápida, ya que solo necesita un cuarto de vuelta para pasar de la posición de cerrado a la posición de abierto, teniendo además una pequeña caída de presión dado a que no alteran la dirección del fluido (*Pachano & Perez*).



Figura 2-12 Válvula de mariposa

2.3.1.2 Válvula motorizada

Se componen de dos elementos básicos: cabezal servomotor y cuerpo de válvula del tipo apropiado a cada instalación (de asiento plano, pistón, compuerta, mariposa, etc.). El cabezal servomotor es un grupo moto reductor que transmite al

eje de salida un par torsor elevado (de hasta 20 m.kp) y una marcha lenta (de 0,1 a 6 r.p.m.) para accionar el vástago de la válvula. Al igual que las válvulas electromagnéticas, las motorizadas pueden accionarse a distancia, manual o automáticamente (*Pachano & Perez*).



Figura 2-13 Válvula de motorizada

2.4 Motores Asíncronos

El motor asíncrono de corriente alterna se considera el motor industrial por excelencia, a causa de la sencillez y fortaleza de su construcción, así como por su seguridad de funcionamiento (*Enriquez Harper, 2004*).

2.4.1 Descripción física de un motor asíncrono

Los motores asíncronos constan de dos partes:

2.4.1.1 El estator

Es la parte fija del motor, constituido por una corona de chapas magnéticas aisladas entre sí por medio de barniz, ranuradas interiormente y sujetas a una carcasa fabricada, por lo general, con fundición de hierro o aluminio. En las ranuras del estator se dispone un devanado, constituido por un número de fases igual al de la red eléctrica que alimenta el motor (*Enriquez Harper, 2004*).

2.4.1.2 El rotor

Es la parte móvil de la máquina, constituido por una corona de chapas magnéticas apiladas directamente sobre el eje de la máquina. La corona rotórica presenta una serie de ranuras interiores en las que se encuentra dispuesto el devanado rotórico. Desde el punto de vista constructivo, se pueden distinguir dos formas típicas de rotor (Enriquez Harper, 2004):

- *Rotor de jaula de ardilla.*
- *Rotor bobinado*

2.4.2 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos es más complejo que el de los motores de corriente continua. Se basa en la acción que ejerce sobre el rotor un campo magnético giratorio producido por el devanado estatórico.

La velocidad de rotación del flujo magnético, es en este caso igual a la frecuencia de la red (en cada ciclo el flujo gira una vuelta). A esta velocidad se le llama velocidad de sincronismo (Enriquez Harper, 2004). Dónde:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Siendo n la velocidad de sincronismo (rpm), f frecuencia en Hz y p número de polos.

Desde el punto de vista energético, un motor transforma potencia eléctrica en mecánica, y disipando calor. Así, la potencia útil es la mecánica, la absorbida es la eléctrica y la disipada es la térmica (Enriquez Harper, 2004). Por conservación de la energía:

$$P_{ele} = P_{mec} + P_{cal}$$

La potencia mecánica nominal aparece en la placa de características y se relaciona:

$$P_{mec} = \frac{T \cdot n \cdot 2 \pi}{60}$$

Donde P es la potencia en vatios (1HP=736 W) T es el par de fuerza (N.m) y n es la velocidad de rotación (rpm).

La potencia eléctrica trifásica es:

$$P = V.I. \cos \varphi. \sqrt{3}$$

Y el rendimiento de dicha transformación (n):

$$n = \frac{P_{mec}}{P_{ele}}$$

Los motores asíncronos trifásicos presentan unos rendimientos nominales entre 75-85%.

2.5 Bombas centrífugas

La bomba centrífuga mueve un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

(Fernandez)

2.5.1 Cálculo de bomba

2.5.1.1 Cálculo de la altura de la bomba

Teniendo en cuenta la siguiente imagen:

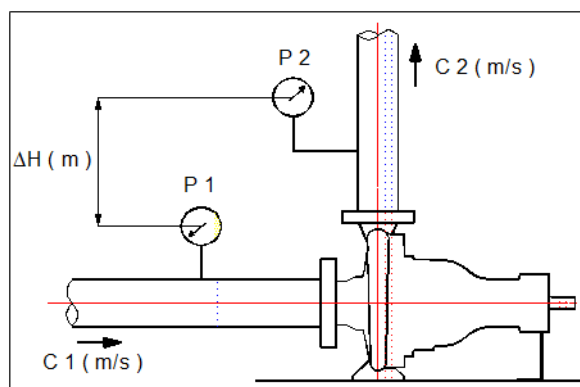


Figura 2-14 Parámetros para el cálculo de la altura de la bomba

Y su respectiva fórmula para el cálculo de la altura de la bomba (H) (*Hidrostat, s.f.*):

$$H = \Delta H + (P_2 - P_1) + (C_2^2 - C_1^2) / 2g$$

2.5.1.2 Cálculo de pérdidas en tuberías

Fórmula de Hazen-Williams:

$$H_f = \frac{10.679 \times Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times D^{4.87}}$$

Donde:

H_f : Pérdida de carga (m)

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro interno de la tubería (m)

Q : Caudal (m³/s)

C : Coeficiente de pérdidas (coeficiente de Hazen-Williams)

Material	Condición	C _{HW}
Fierro Fundido	Todo	100
Fierro galvanizado	Todo	100
Concreto	Todo	110
Hierro Fundido	Con revestimiento	135 a 150
	Encostrado	80 a 120
PVC	Todo	150
Asbesto Cemento	Todo	140
Polietileno	Todo	140
Acero soldado	φ ≥ 12	120
	8 ≤ φ ≤ 10	119
	4 ≤ φ ≤ 6	118
Acero bridado	φ ≥ 24	113
	12 ≤ φ ≤ 20	111
	4 ≤ φ ≤ 10	107
Limitaciones: T° Normales, φ / 2", V [3 m/seg		

Tabla 2-1 Coeficientes "C" de Hazen-Williams (Hidrostat)

2.5.1.3 Cálculo de pérdidas en accesorios

Método del K:

$$h_{fa} = K \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

k = Factor de fricción (depende del tipo de válvula o accesorio).

v = Velocidad media (Q/área) (m/seg).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m²/seg).

La tabla de valores del coeficiente K es:

Accesorios		Diámetro nominal (en pulgadas)											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24
		L/D	Valores de K										
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72

Adaptación de: Cameron Hydraulic data

Tabla 2-2 Coeficientes K para diferentes accesorios (Bombas Zeda).

La altura dinámica Total, que incluye la pérdida en accesorios, viene dada por la siguiente relación, de acuerdo a la gráfica:

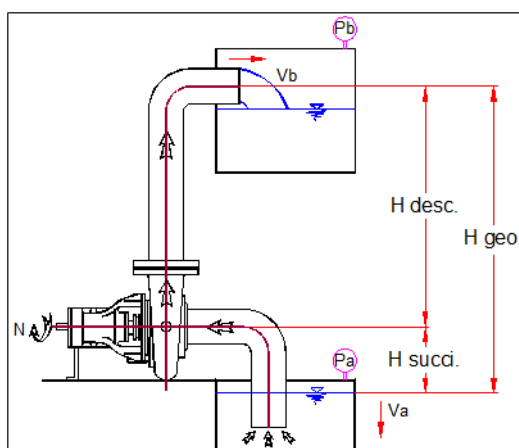


Figura 2-15 Variables para el cálculo de la altura dinámica total (Hidrostral)

$$ADT = H_{geo} + (P_a - P_b) + (V_a^2 - V_b^2) / 2g + \sum H_f$$

A esta altura dinámica total le denominaremos altura manométrica total:

$$H_{man} = H_{BOMBA} + \Sigma H_f$$

$$H_{man} = H_{BOMBA} + H_f + H_{fa}$$

2.5.1.4 Potencia de la bomba

La potencia absorbida por una bomba viene dada por la fórmula (*Bombas Zeda, s.f.*) :

$$P = \frac{Q * H_{man} * \gamma}{75 * \eta}$$

Dónde:

P : Potencia (HP)
 Q : Caudal (l/seg)
 H : Altura manométrica total (m)
 γ : Peso específico kg/dm³
 η : Eficiencia

Para la elección de la potencia de un motor eléctrico deberá tenerse en cuenta el darle un margen de seguridad para evitar sobrecargas por posibles anomalías de suministro de fluido eléctrico, variaciones de nivel del líquido u otras causas. Estos márgenes de seguridad oscilaran aproximadamente con arreglo a la siguiente escala:

Potencia absorbida por la bomba	Potencia
Hasta 1 CV	50 por 100 más
Más de 1 a 5 CV.	30 por 100 más
De 5 a 10	20 por 100 más
De 10 a 25	15 por 100 más
de 25 en adelante	10 por 100 más

Tabla 2-3 Márgenes de seguridad para potencia de bombas

2.6 Variadores de frecuencia

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores,

siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable (Ruiz & Molina, 2010). Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor (Ruiz & Molina, 2010). Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones. Además aportan los siguientes beneficios:

- Mejora el proceso de control y por lo tanto la calidad del producto.
- Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
- Amplio rango de velocidad, par y potencia. (velocidades continuas y discretas).
- Bucles de velocidad.
- Puede controlar varios motores.
- Factor de potencia unitario.
- Respuesta dinámica comparable con los drivers de DC.
- Capacidad de by-pass ante fallos del variador.
- Protección integrada del motor.
- Marcha paso a paso (comando JOG).

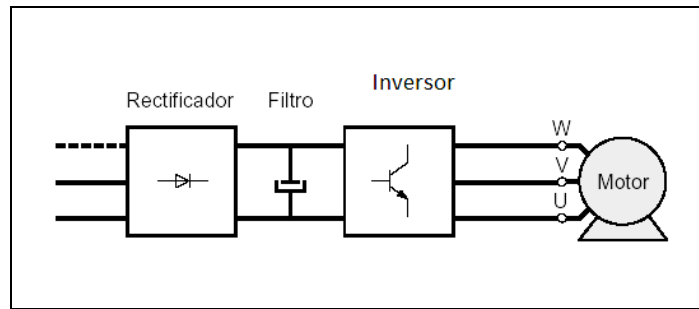


Figura 2-16 Etapas de variador de frecuencia

2.7 Controladores Lógicos Programables

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos define a un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal (Microautomation). Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez (Microautomation).

2.7.1 Estructura del PLC

2.7.1.1 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:

- Procesador
- Memoria monitor del sistema
- Circuitos auxiliares

2.7.1.2 Módulo de entradas y salidas digitales

Estas interfaces tienen la simple función de informar a la CPU, de la presencia o ausencia de señal, tensión o corriente, en un circuito, apertura o cierre de un contacto, pulsador, límite de carrera, etc. En el caso de las salidas estas conectan o desconectan al circuito de actuación de un solenoide, contactor, lámpara, etc. Las interfaces discretas abarcan un rango muy amplio de opciones de operación. 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 (Córdoba).

- Protección contra sobretensiones
- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico por optocoplador

2.7.1.3 Módulo de entradas analógicas

Los módulos de entrada analógicas permiten que el Controlador Lógico Programable trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión, el caudal, tensión o intensidad, etc. Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud

analógica en un número que se deposita en una variable interna del Controlador Lógico Programable. 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). El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas (Córdoba):

- Filtrado.
- Conversión A/D.
- Memoria interna.

2.7.1.4 Módulo de salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el Controlador Lógico Programable solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo) (Mandado, Marcos, & Fernández, 2009).

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

- Aislamiento galvánico.
- Conversión A/D.
- Circuitos de amplificación y adaptación.
- Protección electrónica de la salida.

2.8 Comunicación Profibus

Es una de los buses de campo abiertos que cumple con todos los requerimientos en un rango muy amplio de aplicaciones. Es también la norma de comunicaciones favorita en

el continente europeo y presume de tener el mayor número de instalaciones operando en el mundo (Tudela). Además de ser abierto, no pertenece a ningún fabricante en particular, está certificado y es a todas luces un producto orientado a satisfacer las necesidades de automatización y control de procesos en las próximas décadas. Es abierto, porque permite que los dispositivos de los diversos fabricantes certificados en este bus se comuniquen entre ellos sin necesidad de utilizar interfaces. Las principales normalizaciones derivan de los estándares europeos EN 50170 y DIN 19245 (Tudela). Profibús cumple con los requerimientos de automatización y control mediante tres perfiles del protocolo que son compatibles entre sí: Profibús-FMS, Profibús-DP y Profibús-PA (Tudela).

2.9 Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos son cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad. Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente cobre. Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres torcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas (Cordoba, Cálculo de Redes de Distribución y Conductores en BT).

2.9.1 Dimensionamiento de cables

La circulación de la corriente eléctrica a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y el extremo de la canalización. Ésta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el reglamento en cada parte de la instalación, con

el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable (Yusta Loyo, Dufo López, & Bernal Agustín, 2011). Este criterio suele ser determinante cuando las líneas son de larga longitud. Siguiendo la Normativa del Código Nacional de Electricidad, se establece que:

Los conductores de los alimentadores deben ser dimensionados para que la caída de tensión no sea mayor del 2.5% y la caída de tensión en el alimentador y los circuitos derivados hasta la salida o punto de utilización más alejado no exceda el 4%.

Para hallar la sección del conductor emplearemos la siguiente fórmula (Yusta Loyo, Dufo López, & Bernal Agustín, 2011):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}.L.I.\cos\theta}{\gamma.S} + 1,73.10^{-3}.x.L.I.\sen\theta$$

L : Longitud del conductor (m)

I : Corriente de Carga (A)

$\cos\theta$: Factor de potencia

S : Sección del conductor (mm^2)

γ : Conductividad del material ($\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$)

x : Reactancia inductiva (Ω/km)

ΔU : Caída de Voltaje (V)

2.10 Bandejas eléctricas

Las bandejas y/o escalerillas deberán fabricarse en metal resistente a la corrosión o metal con una terminación resistente a la corrosión, de acuerdo a NEMA.

Las bandejas y/o escalerillas deberán ser galvanizadas en caliente después de fabricadas, de acuerdo a las especificaciones de fabricación NEMA VE-1, Clase C.

Las bandejas portables a utilizar serán de los siguientes tamaños: 200mmx100mm, 300mmx100mm, 400mmx100mm, 600mmx100mm y 800mmx100mm (Gerdipac).

La longitud de la bandejas serán de 3.00 metros.

2.11 Tuberías metálicas

Los cables que se canalizan en tuberías metálicos serán dimensionados e instalados cumpliendo los siguientes requerimientos:

2.11.1 Tipos de Tubería

Deberá ser tipo RMC (rigid metal conduit) de acero galvanizado, bajo norma ANSI C80.1. Por estándar en la planta se prohíbe uso de otro tipo de tubería (*Manelsa*).

De preferencia se utilizarán tuberías de los siguientes diámetros: 20mm (3/4"), 25mm (1"), 40mm (1 1/2"), 50mm (2"), 80mm (3") y 100mm (4") (*Manelsa*).

Las canalizaciones deben ser continuas hasta el punto de conexión de los equipos por medio de tubería metálica flexible. El largo mínimo de tubería metálico flexible será de 0.3 m (*Manelsa*).

La conexión a motores o equipos de instrumentación local, deberá ejecutarse con tubería metálico flexible en una extensión máxima 0.5 a 1.0 metros.

Para circuitos de alumbrado e instrumentación, el diámetro mínimo será de 20mm (3/4") de diámetro (*Manelsa*).

2.12 Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos están diseñados para la utilización en las Sub-estaciones principales, secundarias, mandos de control y en lugares donde se desee tener un grupo de interruptores con relés de sobrecargas y cortocircuitos; destinados a proteger y alimentar a las cargas eléctricas. Los Tableros eléctricos constituyen una parte inherente a toda red eléctrica y se fabrican para conducir desde algunos pocos amperios hasta el orden de 4000Amp, así como para soportar los niveles de corrientes de cortocircuito y los niveles de tensión de la red eléctrica (Callao).

2.13 Proceso de elaboración de cerveza

La elaboración de cerveza comprende varios procesos que van desde la recepción de granos hasta el envasado y almacenamiento del producto terminado. En las siguientes líneas haremos una breve descripción del Proceso de elaboración de cerveza en Backus (Carbonel):

2.13.1 Almacenamiento de granos

En modernas estructuras de concreto armado que en su interior almacenan cebada malteada y otros cereales adjuntos, materias primas necesarias para la elaboración de todas las cervezas. Estas materias primas son transferidas por fajas transportadoras desde los silos de almacenamiento hacia el área de molienda, donde luego de la trituración del grano son enviadas para su posterior derivación a las pailas de cocimiento (Carbonel).

2.13.2 Molienda

En la molienda, se trituran los granos de malta y de cereales adjuntos, de aquí los granos pasan a recipientes con la finalidad de facilitar los puntos de contacto del grano molido con el agua durante el proceso de maceración facilitando y acelerando las reacciones enzimáticas (Carbonel).

2.13.3 Cocimiento

En las salas de cocimiento se obtiene a partir de la utilización de malta, adjuntos, agua previamente tratada y lúpulo, un líquido con un extracto de alta calidad llamado mosto y que es la esencia de la cerveza en el proceso cervecero (Carbonel).

2.13.4 Enfriador de mosto

El mosto filtrado y hervido se enfría a la temperatura de fermentación mediante un intercambiador de placas, donde en contracorriente circula el mosto caliente y el agua helada, permitiendo disponer un mosto con una temperatura ideal para la

siembra de levadura y a la vez inyección de aire estéril para facilitar el posterior proceso de fermentación (Carbonel).

2.13.5 Fermentación

El proceso de fermentación dura entre 6 y 7 días, se caracteriza por la formación natural de gas carbónico y alcohol, el proceso es exotérmico y se deben controlar estrictamente las temperaturas de tal forma que permitan siempre tener una fermentación controlada. Terminado el proceso de fermentación se cosecha la levadura y se inicia la siguiente etapa que es la maduración (Carbonel).

2.13.6 Maduración

En ésta etapa la cerveza se mantiene a temperaturas por debajo de 0°C permitiendo redondear el sabor y aroma característicos además de la estabilización y clarificación de la cerveza. En este proceso se mantiene los tanques con presión para permitir la saturación del gas carbónico en el líquido, también se realiza la sedimentación de la levadura y proteínas en suspensión permitiendo la clarificación de la cerveza (Carbonel).

2.13.7 Filtración

Una vez terminado el proceso de la maduración se filtra la cerveza, a la temperatura de -1.5°C a través de filtros con ayudas filtrantes lo cual permite separar las materias insolubles. Con la filtración la cerveza adquiere su típico color dorado brillante. Una vez filtrada, la cerveza es almacenada en los tanques de presión para ser enviada a las llenadoras donde se envasan (Carbonel).

2.13.8 Envasado

Las salas de envasado de las plantas cerveceras cuentan con modernas llenadoras para botellas de vidrio. Después del llenado y coronado, la cerveza envasada es pasteurizada mediante duchas de agua caliente que elevan su temperatura hasta los

60°C, para garantizar su estabilidad biológica. La cerveza pasteurizada es etiquetada, codificada, encajonada, paletizada y almacenada para su posterior despacho al mercado (Carbonel).

3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO

3.1 Descripción general

Actualmente existen tanques de almacenamiento horizontales denominados “Tanques de gobierno” que es en donde se almacena la cerveza filtrada. Estos tanques están ubicados en una sala de frío llamada “Bodegas de frío”, a temperatura por debajo de la temperatura ambiente (aprox. a 2 °C). El control para el almacenamiento de cerveza en estos tanques lo realiza el operario de forma manual, basándose en elementos analógicos como es un indicador de presión y un indicador de nivel (manguera graduada) con lo cual monitorea la presión en el tanque y el volumen aproximado de cerveza almacenada disponible para envasar.

Se han montado 03 nuevos tanques verticales de gobierno con una capacidad de 2000 Hectolitros cada uno (1800 Hl efectivos). Estos tanques están siendo operados manualmente tanto en el proceso de llenado con cerveza, como en el proceso de descarga y envío hacia las líneas de envasado. Así mismo no se está midiendo en línea la cantidad de cerveza enviada hacia envasado, ya que no se cuenta con transmisores de flujo en las líneas de envío de cerveza.

El proceso de limpieza denominado Limpieza CIP (por sus siglas en inglés: Clean in Place) es realizado por el operario de forma manual, de acuerdo a un procedimiento de operación estándar (POE) el cual se muestra en el **Anexo 1**. Este proceso dura aproximadamente una hora y consiste en limpiar y desinfectar los tanques con soluciones ácido nítrico al 1% y soda caustica al 2%.



Imagen 3-1 Tanques de gobierno horizontales en “bodegas de frio”.

3.1.1 Situación actual del Proceso CIP (Cleaning in Place) de limpieza de tanques

BBT y líneas de proceso

La limpieza CIP se realiza según el uso de los tanques. El procedimiento establece que se realice la limpieza CIP los fines de semana (domingos); esto debido a que la cerveza filtrada no contiene cantidades significativas de proteínas o microorganismos que afecten su calidad, por tanto, la contaminación en los tanques es muy baja.

La secuencia del proceso de limpieza de tanques inicia con un pre-enjuague, luego un lavado con soda caustica, enjuague, limpieza con ácido nítrico y finalmente un enjuague con agua.

Previo al proceso de limpieza CIP, el operario en el último ciclo de envío de cerveza a envasado realiza un empuje con agua desaireada a fin de dejar toda la línea de envío sin producto evitando el desperdicio de cerveza terminada (desde el área de tanques de gobierno hasta el área de envasado).

La secuencia de procesos que involucran el CIP se detalla a continuación:

Limpieza CIP de tanques		
Proceso	Producto	Tiempo
Pre-enjuague	Agua de proceso CIP	5 min
Limpieza alcalina	Soda caustica 2 %	5 min
Enjuague	Agua de proceso CIP	5 min
Limpieza acida	Ácido nítrico 1%	5 min
Enjuague final	Agua de proceso CIP	5 min

Tabla 3-1 Procesos que involucra la limpieza CIP de tanques

3.1.1.1 Proceso de Pre-enjuague

Este proceso tiene por finalidad remover las partículas adheridas a los tanques y tuberías y eliminar los residuos de cerveza que puedan haber quedado luego del último ciclo de llenado del tanque.

Los pasos que deben seguirse son los siguientes:

- a) Abrir la válvula de descarga de cada tanque para drenar los últimos remanentes.
- b) Colocar el jumper (conexión en U de acero inoxidable) entre la línea de suministro CIP y la línea de ingreso de CO₂/CIP del tanque BBT.
- c) Direccionar las válvulas manuales para suministrar agua a los tanques de gobierno (pre-enjuague).
- d) Prender la bomba de suministro CIP para iniciar el pre-enjuague.
- e) Abrir la válvula de descarga del tanque de gobierno. El volumen de agua producto del pre-enjuague es drenado a pérdida, es decir, no se recupera.

Este proceso debe llevarse a cabo por un lapso de 5 minutos.

3.1.1.2 Proceso de limpieza alcalina

Este proceso consiste en hacer recircular la solución de soda caustica al 2% de concentración, con lo cual se garantiza su función de agente bactericida sobre los tanques y tuberías.

La secuencia de pasos es la siguiente:

- a) Direccionar las válvulas de descarga hacia el panel de suministro CIP.
- b) Colocar el jumper entre la válvula de descarga del tanque y la válvula de la línea de retorno CIP.
- c) Prender la bomba de suministro CIP para envío de la solución por un tiempo de 5 minutos.
- d) Se regula de manera manual la presión en la línea de suministro de CIP.
- e) Transcurrido 1 minuto desde inicio del envío de solución CIP se debe prender la bomba de retorno CIP para retornar la solución al tanque de suministro. De esta manera se deja en recirculación la soda caustica.
- f) Terminado el ciclo de envío de solución CIP (5 min) se apaga la bomba de suministro CIP y se verifica que la bomba de retorno CIP apague al alcanzar el nivel mínimo de solución en el tanque (visualización de manguera graduada).

3.1.1.3 Proceso de enjuague con agua

Este proceso consiste en enjuagar los tanques y líneas después del lavado con soda caustica a fin de remover los remanentes de la solución de soda.

- a) Terminado el lavado con soda caustica se procede a abrir la válvula de drenaje de la línea de retorno CIP, para eliminar los remanentes. Se deja abierta esta válvula para drenar el agua producto del enjuague.
- b) Se direccionan las válvulas de descarga del tanque de agua.
- c) Se procede con el encendido de la bomba de suministro CIP.

- d) Se realiza el enjuague al tanque por espacio de 5 min. El agua a la salida del tanque es drenada a pérdida.
- e) Se apaga la bomba terminado este ciclo de enjuague.

3.1.1.4 Proceso de limpieza acida

Esta limpieza se realiza con ácido nítrico al 1%. Este proceso tiene por finalidad remover las sales que puedan formarse sobre las paredes de las tuberías y tanques.

- a) Se direccionan las válvulas del tanque de ácido nítrico hacia la troncal de suministro CIP y se conecta el jumper de retorno CIP.
- b) Se prende la bomba de suministro CIP para enviar la solución hacia el tanque.
- c) Se regula de manera manual la presión en la línea de suministro de CIP.
- d) Transcurrido 1 minuto se abre la válvula de descarga del tanque y se enciende la bomba de retorno CIP.
- e) Se deja recirculando la solución de ácido nítrico por 5 min.
- f) Luego de este tiempo se procede a apagar la bomba de suministro CIP.
- g) Finalmente se verifica que la bomba de retorno CIP apague al alcanzar el nivel mínimo de solución en el tanque (visualización de manguera graduada).
- g) Se abre la válvula de drenaje de la línea de retorno CIP y se deja drenando el remanente.

3.1.1.5 Proceso de enjuague final

Este proceso tiene por finalidad eliminar los remanentes de ácido nítrico que puedan quedar en tuberías y tanques. Los pasos de este proceso se detallan a continuación.

- a) Se abre la válvula de la línea de agua fresca en la troncal de suministro CIP.
- b) Se enciende la bomba de suministro CIP para envío de agua.

c) Se enjuaga por un período de 5 minutos. Toda el agua producto de este enjuague es vertida al drenaje. Se apaga la bomba de suministro CIP.

d) Se dejan drenando los remanentes de agua y luego se cierran las válvulas de descarga del tanque y se retiran los jumper en la estación CIP (jumper de suministro y jumper de retorno CIP).

Luego de todos estos procesos, el tanque ha quedado limpio y listo para recibir nuevamente la cerveza filtrada.

A continuación se muestra una tabla donde se resumen los procesos que involucra la limpieza CIP y los tiempos para cada uno.

Proceso	Acciones
Pre-enjuague	Colocar jumper entre la línea de suministro CIP y la línea de ingreso CO2/CIP BBT
	Abrir la válvula de drenaje de la línea de suministro CIP
	Prender la bomba de suministro/recirculación.
	Verificar la temperatura del agua
	Apagar la bomba de suministro CIP
	Direccionar válvulas hacia tanques de gobierno.
	Prender bomba de suministro CIP
	Dejar bombeando un ciclo de 5min
	Apagar bomba de suministro CIP
Limpieza alcalina	Abrir válvulas de línea
	Colocar jumper entre la válvula de descarga del tanque y la válvula de la línea de retorno CIP.
	Prender bomba de suministro CIP
	Esperar 1 minuto
	Prender la bomba de retorno CIP
	Esperar 5 minutos
	Apagar bomba de suministro CIP
	Verificar apagado de la bomba de retorno CIP
Enjuague	Abrir válvula de drenaje de la línea de retorno CIP
	Direccionar las válvulas de suministro de agua
	Prender bomba de suministro CIP
	Controlar el funcionamiento por 5 minutos
	Apagar la bomba de suministro CIP

	Cerrar la válvula de drenaje de la línea de soda caustica
Limpieza acida	Direccionar las válvulas de suministro ácido nítrico
	Prender bomba de suministro CIP
	Esperar 1 minuto
	Prender la bomba de retorno CIP
	Esperar 5 minutos
	Apagar la bomba de suministro CIP
	Verificar apagado de la bomba de retorno CIP
	Abrir la válvula de drenaje de retorno CIP
Enjuague final	Abrir la válvula de línea de agua fresca en la troncal de suministro CIP
	Prender bomba de suministro CIP
	Controlar el funcionamiento por 5 minutos
	Apagar la bomba de suministro CIP
	Abrir la válvula de drenaje por 1 minuto
	Cerrar la válvula de drenaje de la línea de suministro CIP
	Retirar los jumper de suministro y retorno

Tabla 3-2 Detalle de los tiempos de operación que involucra la limpieza CIP

3.1.2 Situación actual del sistema de almacenamiento de cerveza

La cerveza que ha sido filtrada (Filtro KHS) y carbonatada es impulsada hacia los tanques gobierno para su almacenamiento.

Existen 11 tanques de gobierno en Planta Backus Motupe, de los cuales 08 tanques son **horizontales** y 03 son **verticales** (nuevos), de los 08 tanques horizontales, 02 están fuera de servicio, por tanto hay en servicio 06 tanques de 600 hectolitros (Hl) de capacidad cada uno, constituyendo una capacidad operativa de 3600 Hl y 03 nuevos tanques de gobierno verticales de 2000 Hl de capacidad cada uno (capacidad efectiva 1800 Hl), los que constituyen una capacidad operativa de 5400 Hl. La capacidad actual de los tanques de almacenamiento de cerveza, por tanto, es en total 9000 Hl, cantidad que puede ser almacenada para su posterior envío a las líneas de envasado. Los tanques de gobierno son llenados secuencialmente con la cerveza proveniente del área de filtración.

El operario controla el ingreso de cerveza a cada tanque de forma manual secuencialmente según el nivel del tanque, y prende la bomba de suministro de cerveza para ir llenando los tanques de gobierno.



Imagen 3-2 Sistema de válvulas manuales para llenado de tanques de gobierno

El proceso de llenado de los tanques verticales es el siguiente:

- a) Se coloca el jumper entre la línea de suministro que viene desde el Tanque buffer KHS y la válvula de ingreso/descarga del tanque de gobierno.
- b) Se abre la válvula de la línea del Tanque buffer KHS y la válvula de ingreso del tanque de gobierno.
- c) Se prende la bomba de suministro de cerveza que recoge la cerveza del tanque buffer KHS y se inicia el llenado.
- d) La bomba se apaga cuando el operador visualiza en la manguera graduada que el tanque ha llegado a su nivel máximo.
- e) Una vez que ha llenado el tanque, el operario cierra las válvulas.
- f) Finalmente retira el enlace jumper que servirá para llenar otro tanque.



Imagen 3-3 Válvula de ingreso/descarga conecta a troncal a través de “jumper”.

Para el envío de cerveza a envasado desde los tanques de gobierno (descarga) se utiliza la misma válvula de llenado, la cual se puede conectar a una tubería troncal a través de un enlace jumper. Una vez que se ha conectado desde la válvula de descarga a la tubería troncal se abren las válvulas (tanto la de descarga como la de la línea troncal) y se avisa al operario de envasado que todo está conforme para que proceda con el encendido de la bomba de envío de cerveza al tanque buffer de envasado. El encendido de las bombas de envío de cerveza es remoto (desde las líneas de envasado).

Para el envío de la cerveza a las líneas de envasado se cuenta con 2 bombas centrífugas. La bomba de línea 1 es de 3.5 KW y la bomba de Línea 3 es de 15 KW.

El envío de cerveza a la línea 1 es de 1275 Hl por turno, lo que hace un equivalente de 3825 Hl de cerveza enviada por día a Línea-1. (3 turnos por día).

El envío de cerveza a la línea 3 es de 1800 Hl por turno, lo que hace un equivalente de 5400 Hl de cerveza enviada por día a la Línea-3 (3 turnos por día).

En total el envío de cerveza a envasado es de 3075 Hl por turno y 9225 Hl al día, Estas cantidades pueden variar debido a la limpieza CIP que se hace a las líneas de envasado, y “paradas” programadas para mantenimiento.

	Hl/ turno	Hl/ día
Línea 1	1275	3825
Línea 3	1800	5400
Total	3075	9225

Tabla 3-3 Envío de cerveza (en Hl) hacia envasado desde tanques de gobierno.

3.2 Oportunidades de mejora en el sistema de limpieza y almacenamiento

- La apertura y cierre de válvulas del proceso de limpieza CIP se realiza de manera manual.
- El encendido de la bomba de CIP y la regulación de presión de bombeo es de manera manual. La presión se visualiza en el manómetro instalado en la salida de la bomba.
- No se contabiliza el CIP utilizado en el proceso de limpieza.
- La apertura y cierre de válvulas del proceso de transferencia de cerveza hacia los tanques de cerveza BBT se realiza de manera manual.
- El encendido de la bomba de transferencia de cerveza del tanque buffer KHS hacia los tanques de almacenamiento BBT es de manera manual.
- La cantidad cerveza transferida desde el tanque buffer KHS hacia los tanques BBT se calcula mediante cubicaje y el nivel si visualiza mediante una manguera graduada.
- La apertura y cierre de válvulas del proceso de transferencia de cerveza desde los tanques BBT hacia envasado se realiza de manera manual.

- El encendido de la bomba de envío de cerveza desde los tanques BBT hacia envasado y la regulación de presión de bombeo es de manera manual. La presión se visualiza en el manómetro instalado en la salida de la bomba.
- La cantidad de cerveza transferida desde los tanques de almacenamiento BBT hacia envasado se calcula mediante cubicaje y el nivel se visualiza mediante una manguera graduada.

3.3 Criterios de diseño

- Para el procesamiento de las señales analógicas y digitales se debe utilizar PLC de tipo modular (E/S Digitales, E/S Analógicas y comunicación industrial) por tanto este debe ser como mínimo de gama media.
- La bomba, válvulas e instrumentos deberán cumplir con las normas sanitarias EHEDG (EUROPEAN HYGIENIC Engineering&Design GROUP) y FDA (Food and Drug Administration) para conservar la inocuidad del proceso.
- Los sensores electrónicos deberán ser de por lo menos media precisión y deben tener un grado de protección IP67 y/o Nema 4X.
- Los variadores y motores eléctricos deberán de trabajar a una tensión trifásica nominal de 380 VAC/ 60 Hz.
- Los equipos de control e instrumentación serán seleccionados para una alimentación de 24 VDC. Esta tensión es un estándar para todos los equipos de instrumentación en Planta.
- El control de válvulas y bombas, así como la visualización de parámetros se realizara mediante un sistema de control a distancia.

4 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DEL PROCESO.

4.1 Consideraciones Preliminares de Diseño.

4.1.1 Situación futura del proceso de almacenamiento

Con el diseño a proponer se espera tener un mejor control del volumen de cerveza filtrada lista para ser enviada a las líneas de envasado, es decir, se espera poder visualizar en pantalla los volúmenes de cada tanque de almacenamiento BBT y visualizar también el caudal instantáneo y el volumen totalizado de envío a cada línea de envasado.

La mejora a proponer requiere de diferentes sensores y actuadores, tales como transmisores de presión, para el control de nivel de los tanques y para el control de presión en las líneas de proceso, transmisores de temperatura para monitorear la temperatura de la cerveza filtrada, transmisores de flujo para monitorear el flujo enviado a las líneas de envasado y poder totalizar el volumen enviado. Además requerimos controlar la presión en línea de envío a envasado, para esto las bombas de envío de cerveza deberán contar con su respectivo variador de frecuencia que permitirá hacer el control de velocidad a fin de mantener la presión constante. Todas estas señales deberán ser recibidas en un módulo ET200M (Interface Siemens) que deberá contar con sus respectivas tarjetas de entradas y salidas digitales y analógicas. Se deberá considerar además un tablero autosoportado que deberá ser ubicado en una sala de control lo suficientemente espaciosa para albergar más tableros en caso de una futura expansión del área de filtración y almacenamiento.

Hemos elaborado un nuevo diagrama P&ID, sobre la base del diagrama P&ID de los equipos existentes (ver en **Anexo 2** P&ID_ProyectoBBT_MOT-BBT-TE-001) , que constituye la base del diseño de la instrumentación requerida para la automatización de los nuevos tanques de almacenamiento de cerveza, el cual muestra los sensores

necesarios para el control de nivel y monitoreo de temperatura, así como la instrumentación necesaria para el control de presión y monitoreo de flujo en las líneas de envío de cerveza filtrada hacia el área de envasado. A este diagrama le hemos denominado P&ID_ProyectoBBT_MOT-BBT-TE-002 (Ver plano en **Anexo 2**).

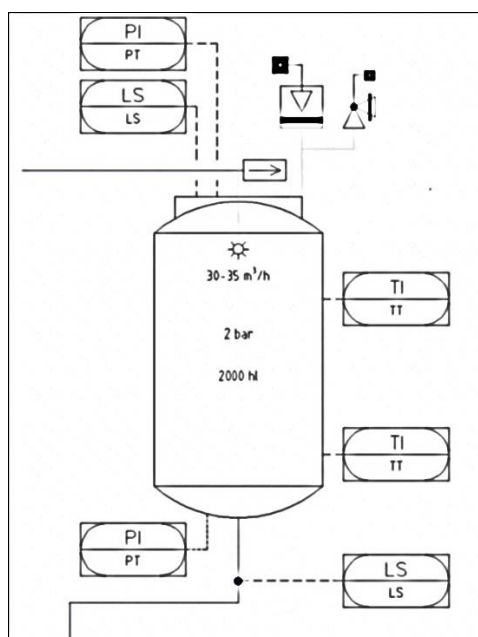


Figura 4-1 Parte del Diagrama P&ID de los nuevos tanques de almacenamiento BBT.

4.1.2 Situación futura del Proceso CIP.

Con el diseño a proponer se prevé realizar la limpieza de los tanques de forma automática, el control a través de válvulas de accionamiento neumático, control de envío de soluciones mediante un sistema de regulación de presión, minimizando la intervención de los operarios en este proceso, evitando también accidentes por manipulación inadecuada de soluciones químicas.

El diseño a proponer automatiza las actividades descritas en la Tabla 4.1. Se observa que solo será necesaria la intervención del operario al inicio y al final del proceso (para el conexionado y desconexión de los jumpers).

Proceso	Acciones	Operación
Pre-enjuague	Colocar jumper entre la línea de suministro CIP y la línea de ingreso CO2/CIP BBT	MANUAL
	Colocar jumper entre la válvula de descarga del tanque y la válvula de la línea de retorno CIP.	MANUAL
	Abrir la válvula de drenaje de la línea de suministro CIP	PLC
	Direccionar válvulas hacia tanques de gobierno.	PLC
	Prender bomba de suministro CIP	PLC
	Dejar bombeando un ciclo de 5min	PLC
	Apagar bomba de suministro CIP	PLC
Limpieza alcalina	Direccionar las válvulas de suministro de soda	PLC
	Prender bomba de suministro CIP	PLC
	Esperar 1 minuto	PLC
	Prender la bomba de retorno CIP	PLC
	Esperar 5 minutos	PLC
	Apagar bomba de suministro CIP	PLC
	Verificar apagado de la bomba de retorno CIP	PLC
Enjuague	Abrir válvula de drenaje de la línea de retorno CIP	PLC
	Direccionar las válvulas de suministro de agua caliente	PLC
	Prender bomba de suministro CIP	PLC
	Controlar el funcionamiento por 5 minutos	PLC
	Apagar la bomba de suministro CIP	PLC
	Cerrar la válvula de drenaje de la línea de soda caustica	PLC
Limpieza acida	Direccionar las válvulas de suministro ácido nítrico	PLC
	Prender bomba de suministro CIP	PLC
	Esperar 1 minuto	PLC
	Prender la bomba de retorno CIP	PLC
	Esperar 4 minutos	PLC
	Apagar la bomba de suministro CIP	PLC
	Verificar apagado de la bomba de retorno CIP	PLC
	Abrir la válvula de drenaje de línea de retorno CIP	PLC
Enjuague final	Abrir la válvula de línea de agua en la troncal de suministro CIP	PLC
	Prender bomba de suministro CIP	PLC
	Controlar el funcionamiento por 5 minutos	PLC
	Apagar la bomba de suministro CIP	PLC
	Abrir la válvula de drenaje por 1 minuto	PLC
	Cerrar la válvula de drenaje de la línea de suministro CIP	PLC
	Retirar los jumper de suministro y retorno	MANUAL

Tabla 4-1 Tiempo de operacion futura del proceso de limpieza CIP

4.2 Inventario de Señales de Campo

Para el diseño del sistema de almacenamiento y limpieza de tanques hemos considerado señales digitales tanto de entrada como salida, así también señales de entrada analógicas provenientes de los diferentes transmisores (presión, temperatura, flujo), que serán conectadas en las diferentes tarjetas de los módulos ET200M.

Las señales de campo que serán recibidas en las tarjetas del módulo ET200M_BBT de Siemens son las siguientes:

SEÑALES DIGITALES Y ANALOGICAS - TANQUES BBT						
ITEM	TAG	INSTRUMENTO	DI	DO	AI	AO
Tanque BBT-01						
1	LSL-101	Sensor de Nivel Bajo BBT-1	1			
2	LSH-101	Sensor de Nivel Alto BBT-1	1			
3	PIT-101	Transmisor Indicador Presión fondo BBT-1			1	
4	PIT-102	Transmisor Indicador Presión domo BBT-1			1	
5	TT-101	Transmisor de Temperatura nivel bajo BBT-1			1	
6	TT-102	Transmisor de Temperatura nivel alto BBT-1			1	
Tanque BBT-02						
7	LSL-201	Sensor de Nivel Bajo BBT-2	1			
8	LSH-201	Sensor de Nivel Alto BBT-2	1			
9	PIT-201	Transmisor Indicador Presión fondo BBT-2			1	
10	PIT-202	Transmisor Indicador Presión domo BBT-2			1	
11	TT-201	Transmisor de Temperatura nivel bajo BBT-2			1	
12	TT-202	Transmisor de Temperatura nivel alto BBT-2			1	
Tanque BBT-03						
13	LSL-301	Sensor de Nivel Bajo BBT-3	1			
14	LSH-301	Sensor de Nivel Alto BBT-3	1			
15	PIT-301	Transmisor Indicador Presión fondo BBT-3			1	
16	PIT-302	Transmisor Indicador Presión domo BBT-3			1	
17	TT-301	Transmisor de Temperatura nivel bajo BBT-3			1	
18	TT-302	Transmisor de Temperatura nivel alto BBT-3			1	
Señales de instrumentos en las líneas de proceso						
19	PT-401	Transmisor de presión en la línea de cerveza L1			1	
20	PT-403	Transmisor de presión en la línea de cerveza L3			1	
21	FQT-401	Señal del transmisor de flujo de línea 1	1		1	

22	FQT-403	Señal del transmisor de flujo de línea 3	1		1	
23	GOS-401	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L1	1			
24	GOS-402	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L3	1			
25	GOS-403	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L1	1			
26	GOS-404	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L3	1			
27	GOS-405	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L1	1			
28	GOS-406	Sensor de proximidad jumper envío de cerveza L3	1			
Sensores y actuadores del sistema BBT-CIP						
29	PT-501	Transmisor de presión en línea de suministro CIP			1	
30	GOS-501	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
31	GOS-502	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
32	GOS-503	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
33	GOS-504	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
34	GOS-505	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
35	GOS-506	Sensor de proximidad para jumper de línea CIP	1			
36		Arranque de bomba de retorno CIP		1		
37		Confirmación arranque bomba retorno CIP	1			
TOTAL			21	1	17	0

Tabla 4-2 Señales digitales y analógicas para la instrumentación de los tanques

BBT.

Las señales de campo correspondientes al CIP serán recibidas en las tarjetas del módulo ET200M_CIP y se detallan en la Tabla 4.3:

SEÑALES DIGITALES Y ANALÓGICAS - CIP BBT						
ITEM	TAG	INSTRUMENTO	DI	DO	AI	AO
Tanque Soda caustica						
1	LS-1001	Sensor de Nivel Bajo Soda Caustica	1			
2	LS-1002	Sensor de Nivel Alto Soda Caustica	1			
3	TT-1001	Transmisor de temperatura soda			1	
4	PT-1001	Transmisor de presión soda			1	
Tanque Acido Nítrico						
5	LS-1101	Sensor de Nivel Bajo Ac. Nítrico	1			
6	LS-1102	Sensor de Nivel Alto Ac. Nítrico	1			
7	TT-1001	Transmisor de temperatura Ac. Nítrico			1	
8	PT-1001	Transmisor de presión ácido nítrico			1	
Tanque agua caliente						
9	LS-1201	Sensor de Nivel Bajo Agua caliente	1			
10	LS-1202	Sensor de Nivel Alto Agua caliente	1			

11	TT-1001	Transmisor de temperatura agua cal.			1	
12	PT-1001	Transmisor de presión agua cal.			1	
Señales de instrumentos en las líneas						
13	FS-1301	Switch de flujo bomba sum. CIP	1			
14	PT-1301	Transmisor de presión en línea de descarga de bomba CIP			1	
15	TT-1301	Transmisor de temperatura en la línea de recirculación/retorno CIP			1	
16	TT-1302	Transmisor de temperatura en la salida del intercambiador de calor			1	
17	FT-1301	Transmisor de flujo en línea de envío a BBTs	1		1	
Sensores y actuadores en líneas						
18	FV-1301	Válvula con actuador neumático		1		
19	FV-1302	Válvula con actuador neumático		1		
20	FV-1303	Válvula con actuador neumático		1		
21	FV-1304	Válvula con actuador neumático		1		
22	FV-1305	Válvula con actuador neumático		1		
23	FV-1306	Válvula con actuador neumático		1		
24	FV-1307	Válvula con actuador neumático		1		
25	FV-1308	Válvula con actuador neumático		1		
26	FV-1309	Válvula moduladora con accionamiento neumático		1		1
27	FV-1310	Válvula con actuador neumático		1		
28	FV-1311	Válvula con actuador neumático		1		
29	FV-1312	Válvula con actuador neumático		1		
30	FV-1313	Válvula con actuador neumático		1		
31	FV-1314	Válvula con actuador neumático		1		
32	FV-1315	Válvula con actuador neumático		1		
33	FV-1316	Válvula con actuador neumático		1		
34	P-1301	Bomba de suministro CIP comandada por Profibus	PROFIBUS			
TOTAL			8	16	10	1

Tabla 4-3 Señales digitales y analógicas del proceso CIP.

4.2.1 Compatibilidad con nuevos equipos de Control

El estándar en planta de los equipos PLC para control de procesos y automatización es el S7 de SIEMENS, debido a sus costes y buenas prestaciones.

El área de filtración cuenta con un controlador PLC, marca SIEMENS, de la gama S7-400, que constituye el PCU principal, este equipo está conectado por red Profibus a los diferentes módulos ET200 que reciben las señales de los sensores y actuadores en campo, y envían respuestas de control al proceso.

Los variadores de frecuencia usados para el control de bombas centrifugas en los diferentes procesos son de la marca Danfoss, modelo FC302, debido a sus buenos costes y altas prestaciones en planta, por tanto usaremos este estándar para el seleccionamiento de variadores en el presente diseño.

4.2.2 Dimensionamiento de variables de visualización

Este proyecto va a cumplir con la labor de realizar una interfaz hombre máquina, de tal forma que el operador pueda ver en tiempo real el estado de cada uno de los elementos e instrumentos que se encuentran en el campo.

Existen variables de entrada que nos muestran el estado del proceso en tiempo real, variables de salida que regularan el proceso según lazo de control. Además existen otras variables que se van a monitorear, a las cuales se las han agrupado como variables de control de proceso. Estas variables se encargaran de recolectar los datos de los parámetros físicos presentes en el sistema. Se les dará un espacio en memoria a cada una de estas variables para que puedan estar presentes en pantalla.

Las variables a visualizar muestran el estado real de la presión, temperatura, flujo y nivel del proceso de almacenamiento de cerveza en los tanques BBT. Asimismo, visualizaremos el estado de las válvulas neumáticas y bombas centrifugas.

En el proceso de almacenamiento de cerveza, existen 21 variables de entrada, 1 variable de salida, y 17 variables de control de proceso.

En el proceso de limpieza CIP, existen 8 variables de entrada, 17 variables de salida (16 discretas y 1 analógica) y 10 variables de control de proceso.

Con estos valores ya se puede determinar el número de variables que se deben generar en la memoria del PLC. Por lo tanto, en este proyecto se trabajarán con 74 variables para el desarrollo del mismo.

4.2.3 Arquitectura de Control

Actualmente se cuenta con un sistema de periferia descentralizada S7 de Siemens, controlado por un Maestro S7-400, que monitorea y controla todo el proceso del área de filtración de planta Backus Motupe (ver **Anexo 3**). Para integrar los nuevos equipos seguiremos el modelo de la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing) usando la estructura de control como se muestra en la figura 4.2 recibiendo las señales de los sensores de campo a través de una interfaz ET200M y conectando luego a través de la red Profibus al PLC S7-400 que monitorea el área de filtración.

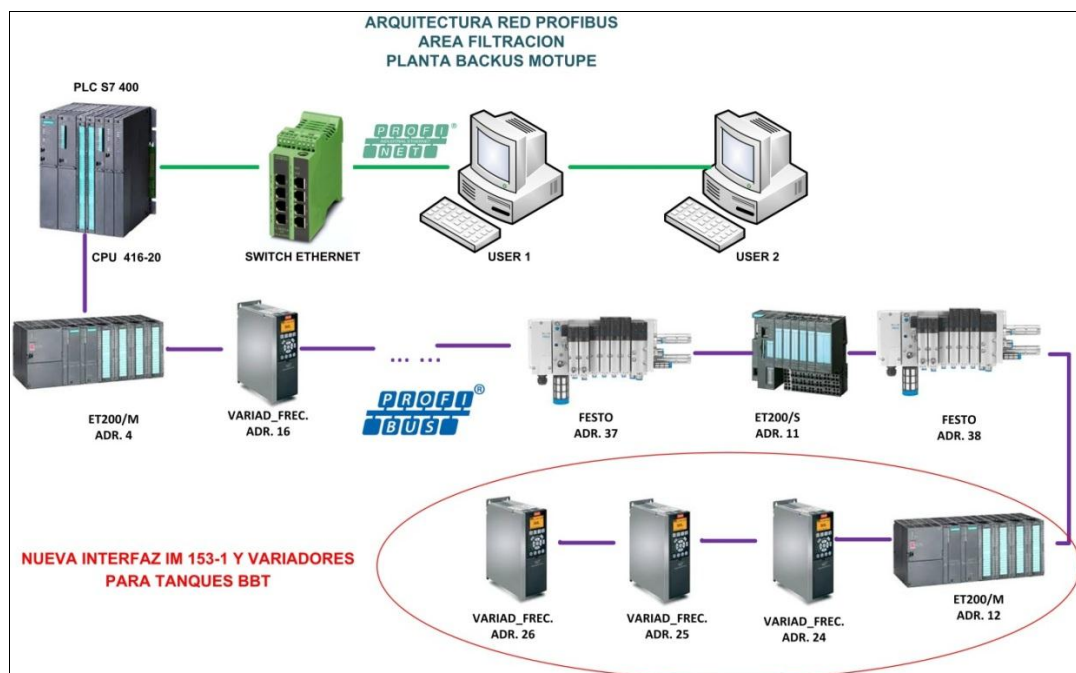


Figura 4-2 Arquitectura de control para enlazar los instrumentos de medición y control.

4.3 Selección de la Instrumentación:

4.3.1 Selección de la instrumentación en los tanques BBT:

4.3.1.1 Selección de Sensores de Nivel

Es necesario monitorear en todo momento el nivel de cada uno de los nuevos tanques BBT. Considerando que tenemos una presión en la parte baja, que es ejercida por el peso del volumen almacenado, y una presión en la parte alta, distinta a la presión atmosférica, usaremos el principio de medición de nivel por presión diferencial.

El sensor de alta presión será montado en la parte inferior de cada tanque BBT, este sensor de presión será de tipo bridado de material acero inoxidable tipo 316L, el cual, según requerimiento del proceso deberá llevar separadores con conexión estéril, para garantizar la correcta limpieza de los tanques evitando daños al sensor de presión. Las especificaciones de este sensor se detallan en el **Anexo 4**. El rango de medición de este sensor deberá ser de 0.0 a 6.0 bar con salida normalizada de 4-20 mA, de acuerdo al estándar usado en planta para las comunicaciones entre equipos de campo y controladores (PLC).



Figura 4-3 Medidor de Presión con separador de conexión bridada (Marca Wika)

El segundo transmisor de presión, debería instalarse en la parte alta del tanque (domo), pero dado que tenemos una tubería que va desde la parte baja e ingresa al domo como parte del sistema de recuperación de CO₂ y limpieza CIP, por consideraciones de mantenimiento lo instalaremos en la parte baja (la presión

ejercida por los gases es la misma en el domo y en la tubería). Las características de este transmisor se detallan en el Anexo 5. El rango de medición deberá ser de 0.0 a 2.0 bar, de acuerdo a la presión de CO₂ que necesita la cerveza en el tanque BBT (1.30 bar).



Figura 4-4 Transmisor de presión en línea de recuperación de CO₂.

4.3.1.2 Selección de los Interruptores de Nivel:

Para realizar el enclavamiento de seguridad para nivel máximo y mínimo consideraremos dos interruptores de nivel por cada tanque, los cuales deberán también visualizarse en la pantalla del SCADA.

De acuerdo al estándar en planta se procederá a utilizar los switch de nivel del tipo horquilla vibrante. El principio de funcionamiento de este tipo de sensores se basa en resonancia de vibración. Cuando las paletas del sensor son sumergidas en un líquido esta frecuencia cambia indicando que existe presencia de producto. Este cambio se registra electrónicamente por medio de un switch en la salida.

Principales ventajas:

- Uso universal: insensible a las propiedades del producto como la conductividad, la constante dieléctrica, la viscosidad, la presión y la temperatura.

- No se ve afectado por el flujo, turbulencia, burbujas, espuma, vibración, contenido o acumulación de sólidos.
- Sin tareas de calibración ni mantenimiento.

Este tipo de sensores se ajustan al requerimiento debido a que funcionan como switch en tanques de almacenamiento, donde se trata de mantener estándares de higiene de productos alimenticios (Ver figura 4.5).



Figura 4-5. Switch de nivel por horquilla vibrante.

Para los tanques que intervienen en el proceso se necesitan 6 sensores (2 por cada tanque) que indicaran la alarma de nivel alto o bajo de cada tanque.

Las características técnicas de este sensor se muestran en el Anexo 6.

4.3.1.3 Selección de Sensores de Temperatura

La selección de los instrumentos de medición de temperatura se realizara según los criterios mostrados en la tabla 4.4:

<i>FLUIDO</i>	<i>AGUA</i>	<i>SODA</i>	<i>CERVEZA</i>
<i>Temperatura de proceso</i>	<i>80° C</i>	<i>82 – 85°C</i>	<i>3°C</i>
<i>Temperatura ambiente</i>	<i>30° C</i>	<i>30°C</i>	<i>30°C</i>
<i>Presión de trabajo</i>	<i>4 BAR</i>	<i>4 BAR</i>	<i>2 BAR</i>

<i>Longitud de inserción</i>	<i>20 CM</i>	<i>20 CM</i>	<i>20 CM</i>
<i>Señal de Salida</i>	<i>4-20 mA</i>	<i>4-20 mA</i>	<i>4-20 mA</i>

Tabla 4-4 Criterios de seleccion para sensores de temperatura.

En base a los criterios expuestos anteriormente el sensor de temperatura seleccionado es una PT100, la cual pertenece a la familia de las RTD y cumple con todos los requerimientos del sistema a diseñar. Estos transmisores deberán ser instalados al tanque con su respectivo termopozo (o thermowell). Se usara la glicerina liquida industrial para mejorar la conducción de temperatura desde el termopozo al bulbo sensor del transmisor, para esto el transmisor deberá ser montado en un ángulo de inclinación adecuado (30-45°) para evitar el derramamiento de glicerina.

Serán necesarios 2 transmisores por cada tanque BBT (parte alta y parte baja) para monitorear la temperatura de la cerveza almacenada (aprox. 2 °C), con una salida normalizada de 4..20 mA, debiendo llevar dicha señal a la tarjeta de entradas analógicas del tablero de control de BBTs.



Figura 4-6 Transmisor de temperatura tipo PT100 (RTD) con termopozo.

Las especificaciones del transmisor seleccionado se encuentran en el Anexo 7.

4.3.2 Selección de la Instrumentación en las líneas de proceso:

4.3.2.1 Selección de Sensores de Flujo

Como ya lo habíamos mencionado antes, el presente proyecto busca no solo mejorar el control sino también tener un reporte exacto de la cantidad de cerveza enviada a las líneas de envasado desde los tanques de gobierno y BBT. Es por ello que se ha considerado la instalación de medidores de flujo para tener un registro de la producción enviada.

Los criterios para la selección de los transmisores de flujo están definidos según las características mostradas en las tablas 4.5 y 4.6:

Transmisor de flujo Línea 1			
<i>Tº ambiente</i>	<i>25 - 30 ° C</i>	<i>Tº del fluido</i>	<i>3 ° C</i>
<i>Fluido</i>	<i>Agua</i>	<i>Fase</i>	<i>Líquida</i>
<i>Diámetro</i>	<i>DN 80</i>	<i>Conexión a proceso</i>	<i>Brida</i>
<i>Material</i>	<i>Acero inoxidable 316L</i>	<i>Velocidad del fluido</i>	<i>< 3 m/s</i>
<i>Presión nominal (bar)</i>	<i>3 bar</i>	<i>Presión máxima (bar)</i>	<i>4 bar</i>
<i>Flujo nominal</i>	<i>20 m3/h</i>	<i>Flujo Max.</i>	<i>40 m3/h</i>
<i>Transmisor</i>	<i>Compacto</i>	<i>Display</i>	<i>Si</i>
<i>Tipo de alimentación</i>	<i>24 VDC</i>	<i>Comunicación</i>	<i>HART 4-20 mA</i>

Tabla 4-5 Criterios para la selección del Transmisor de flujo de Línea 1.

Transmisor de flujo Línea 3			
<i>Tº ambiente</i>	<i>25 - 30 ° C</i>	<i>Tº del fluido</i>	<i>3 ° C</i>
<i>Fluido</i>	<i>Agua</i>	<i>Fase</i>	<i>Líquida</i>
<i>Diámetro</i>	<i>DN 80</i>	<i>Conexión a proceso</i>	<i>Brida</i>
<i>Material</i>	<i>Acero inoxidable 316L</i>	<i>Velocidad del fluido</i>	<i>< 3 m/s</i>
<i>Presión nominal (bar)</i>	<i>3 bar</i>	<i>Presión máxima (bar)</i>	<i>4 bar</i>
<i>Flujo nominal</i>	<i>20 m3/h</i>	<i>Flujo Max.</i>	<i>40 m3/h</i>
<i>Transmisor</i>	<i>Compacto</i>	<i>Display</i>	<i>Si</i>
<i>Voltaje de alimentación</i>	<i>24 VDC</i>	<i>Comunicación</i>	<i>HART 4-20 mA</i>

Tabla 4-6 Criterios para la selección del Transmisor de flujo de Línea 3.

Para la realización del presente proyecto hemos escogido el sensor de flujo tipo magnético, debido a la conductividad del fluido (cerveza), además de no presentar pérdida de carga (esto es variación de presión en la línea), se necesita que el método de medición sea no invasivo y su precio es mucho más bajo que un sensor ultrasónico que también aplica un método no invasivo de medición.



Figura 4-7 Transmisor electromagnetico para las lineas de envio de cerveza.

La señal de salida del transmisor será de 4-20 mA, y deberá ser llevada a la tarjeta analógica del ET200 de tanques BBT. La señal del totalizador irá a una de las tarjetas de entradas digitales del ET200. Las especificaciones del sensor escogido se encuentran en el Anexo 8.

4.3.2.2 Selección de los sensores de presión:

En las líneas de envío de cerveza a envasado es necesario mantener una presión constante (3 Bar) a la salida de las bombas de cerveza, para evitar detener el funcionamiento de las llenadoras. Los transmisores de presión para las líneas de envasado deberán ir montados en las tuberías usando conexiones higiénicas sanitarias (FDA, EHEDG). Usaremos un transmisor de presión con display para visualización, la señal de salida deberá ser de 4-20mA, y será cableada hasta la tarjeta de entradas analógicas de los tanques BBT.

Transmisor de presión envío cerveza			
<i>Tº ambiente</i>	<i>25 - 30 º C</i>	<i>Tº del fluido</i>	<i>3 º C</i>
<i>Fluido</i>	<i>Agua</i>	<i>Fase</i>	<i>Líquida</i>
<i>Presión nominal (bar)</i>	<i>3 bar</i>	<i>Presión máxima (bar)</i>	<i>4 bar</i>
<i>Conexión a proceso</i>	<i>DIN 11851</i>	<i>Material</i>	<i>SS 316L</i>
<i>Ajuste de calibración</i>	<i>0-6 bar</i>	<i>Display</i>	<i>Si</i>
<i>Tipo de alimentación</i>	<i>24 VDC</i>	<i>Comunicación</i>	<i>HART 4-20 mA</i>

Tabla 4-7 Criterios de selección para transmisor de presión

Las marcas que cumplen con estos criterios son Wika y Endress Hauser, fabricantes con productos certificados que cumplen con las altas exigencias de la industria de alimentos y bebidas.



Figura 4-8 Transmisor de presión para las líneas envío de cerveza.

Los detalles del transmisor de presión seleccionado se encuentran en el Anexo 9 del presente proyecto.

4.3.3 Instrumentación para las líneas de CIP:

4.3.3.1 Selección de Sensores de Presión:

Para el caso del sistema de limpieza de los nuevos tanques, usaremos un lazo de control para mantener constante la presión de suministro de las soluciones CIP a los

tanques de almacenamiento (2 bar), esta presión nos garantizara una adecuada limpieza de los tanques BBT.

Transmisor de presión para CIP			
<i>Tº ambiente</i>	<i>25 - 30 ° C</i>	<i>Tº del fluido</i>	<i>85 ° C</i>
<i>Fluido</i>	<i>Soda caustica</i>	<i>Fase</i>	<i>Liquida</i>
<i>Presión nominal (bar)</i>	<i>2 bar</i>	<i>Presión máxima (bar)</i>	<i>4 bar</i>
<i>Conexión a proceso</i>	<i>DIN 11851</i>	<i>Material</i>	<i>SS 316L</i>
<i>Rango de calibración</i>	<i>0-6 bar</i>	<i>Display</i>	<i>Si</i>
<i>Tipo de alimentación</i>	<i>24 VDC</i>	<i>Comunicación</i>	<i>HART 4-20 mA</i>

Tabla 4-8 Criterios de seleccion para transmisor de presion de CIP.

El sensor a usar será de las mismas características que los usados en las líneas de envío de cerveza a envasado, deben contar con display de visualización y con salida normalizada 4-20mA.

Las marcas que cumplen con estos criterios son Wika y Endress Hauser.

Los datos técnicos de este transmisor han sido mostrados en el Anexo 9.



Figura 4-9 Transmisor de presión en la línea de suministro CIP.

4.3.3.2 Selección de sensores inductivos:

Se utilizaran sensores inductivos para la confirmación de los jumper entre tuberías para el proceso de limpieza CIP en las líneas y en los tanques de almacenamiento

BBT. Asimismo, para la confirmación de apertura y cierre de las válvulas neumáticas de control se utilizaran este tipo de sensores, para detectar la posición abierto/cerrado en las líneas de proceso.



Figura 4-10 Sensor inductivo de proximidad.

Los sensores irán montados sobre adaptadores en las válvulas neumáticas y para el caso de los jumper irán montados sobre una pestaña metálica soldada en el cuerpo de las válvulas manuales que sensaran la correcta posición de los codos o jumper; deberán contar con tuerca y contratuerca para su correcta fijación.

Los sensores funcionan con una tensión de 24VDC, tipo de salida PNP, con una distancia de detección nominal de 2mm. Deberán, asimismo, contar con un conector tipo M12, con grado de protección IP67, para evitar el ingreso de líquidos que puedan dañar la electrónica del sensor.



Figura 4-11 Conector M12 para sensores inductivos.

La señal de salida de estos sensores será cableada desde los instrumentos en campo hasta la tarjeta de entradas digitales en el tablero principal de control en la sala de tableros de Tanques BBT. Se adjunta hoja técnica del producto en el Anexo 10.

4.4 Selección de controlador lógico programable PLC

En planta Backus Motupe se cuenta con un controlador PLC de la marca SIEMENS, modelo S7-400, que comanda el área de filtración y tiene capacidad de recibir todas las señales y controlar el proceso de almacenamiento y limpieza de los nuevos tanques BBT, por tanto solo será necesario anexar un módulo Interface IM153-2 (ET200M), con capacidad de conexión máxima de 12 tarjetas para entradas y salidas digitales/analógicas.

4.4.1 Sistema de Periferia descentralizada ET200M

El sistema de periferia descentralizada ET-200M es un dispositivo de periferia modular con grado de protección IP 20 (montaje en tablero de control).

El ET 200M presenta la técnica de montaje del sistema de automatización S7-300 y se compone del IM 153-x y módulos periféricos de la familia S7-300.

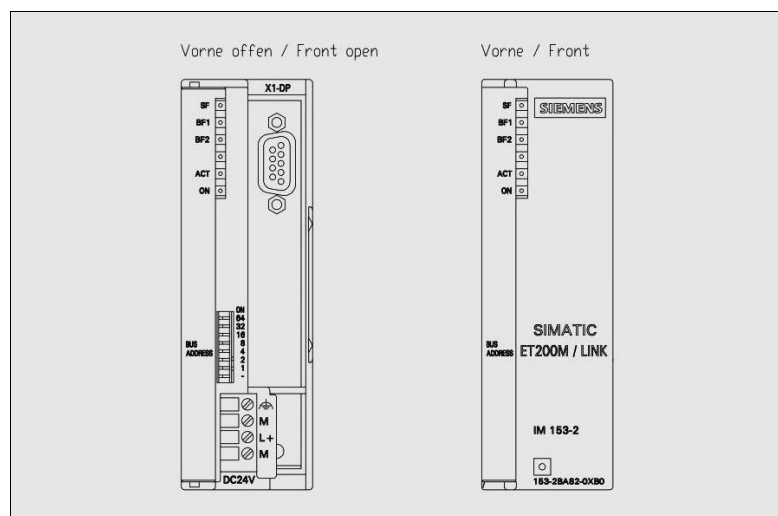


Figura 4-12 Vista frontal del modulo interfaz IM 153-2.

El ET 200M se puede comunicar con:

Todos los maestros DP que se comportan conforme a la norma IEC 61784-1:2002
Ed1 CP 3/1.

Todos los controladores IO que se comportan conforme a la norma IEC 61158

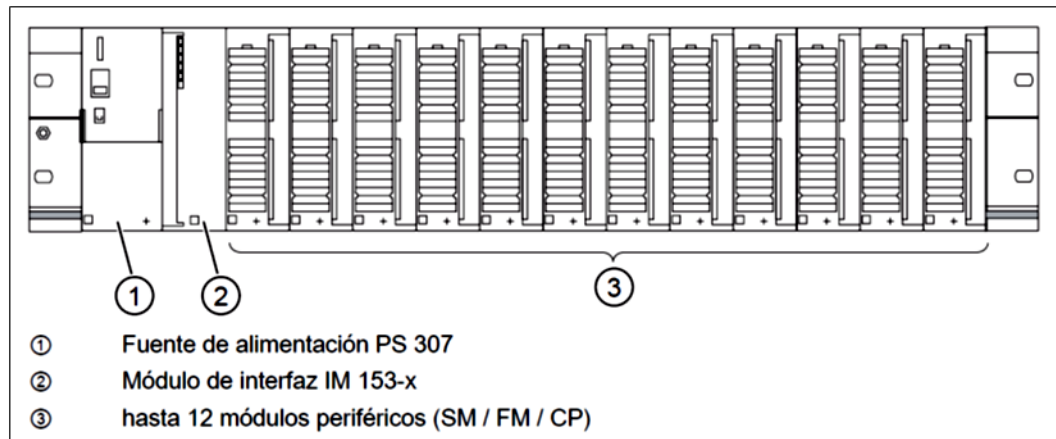


Figura 4-13 Configuración del Sistema de Periferia Descentralizada ET200M de Siemens.



Figura 4-14 Sistema de Periferia Descentralizada ET200M de Siemens.

El sistema de periferia descentralizada ET200M se comunicará con los demás equipos (variadores) y con el PLC principal del área de filtración mediante red Profibus, debiendo asignar las direcciones respectivas a cada equipo, teniendo en cuenta la dirección de los equipos existentes que están enlazados al PLC S7-400 de filtración. El módulo ET200M estará montado en un bastidor Siemens en el armario

de control colocado en una nueva sala de tableros. A este módulo se le deberán conectar tarjetas de entradas/salidas digitales y analógicas.

Se detallan las características del equipo en el Anexo 11.

4.4.2 Capacidad de entradas y salidas

Las tarjetas de entradas y salidas se han seleccionado en base al estudio del proceso a implementar, teniendo en cuenta la cantidad de señales digitales y analógicas que intervienen en el proceso y se muestran en el Anexo 12.

Con la interface IM 153-2 previamente seleccionada y la tabla de entradas/salidas se procedió a buscar las respectivas tarjetas tanto discretas como análogas que cumplan con los requerimientos del diseño y que se ajusten a la interface seleccionada. Las tarjetas seleccionadas son las que se describen a continuación:

4.4.2.1 Módulo de entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24 V (6ES7321-1BH02-0AA0):

En el anexo 12 vemos que la cantidad de entradas digitales es 21 DI para el proceso de llenado de tanques y 8 para el proceso de limpieza (CIP). Por tanto, hemos seleccionado la tarjeta SM 321; DI 16x DC 24v, necesitando 2 tarjetas para el proceso de llenado y 1 tarjeta para el proceso CIP, dejando entradas de reserva en cada módulo para futuras ampliaciones.



Figura 4-15 Modulo de entradas digitales SM321

El módulo de entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24 V se distingue por las características siguientes:

- 16 entradas, con aislamiento galvánico en grupos de 16
- Tensión nominal de entrada 24 V DC
- Adecuado para interruptores y detectores de proximidad (BERO) a 2/3/4 hilos.

Los datos técnicos del módulo se muestran en el Anexo 13.

4.4.2.2 Módulo de salidas digitales SM 322; DO 16 x DC 24 V/ 0,5 A; (6ES7322-1BH01-0AA0):

Teniendo en consideración (según Anexo 12) que necesitamos 1 salida digital para el proceso de llenado de tanques y 16 para el proceso CIP, hemos seleccionado la tarjeta de 16 salidas digitales de Siemens. Por tanto, necesitaremos 1 tarjeta para el proceso de llenado y envío y 2 tarjetas para el proceso CIP, dejando reserva de salidas digitales para futuras ampliaciones.



Figura 4-16 Modulo de salidas digitales Siemens SM 322.

El módulo SM 322; DO 16xDC 24 V/0,5 A se distingue por las características siguientes:

- 16 salidas, con separación galvánica en grupos de 8.
- Intensidad de salida 0,5 A.
- Tensión nominal de carga 24 V DC.
- Adecuado para electroválvulas, contactores de corriente continua y lámparas de señalización.

Los datos técnicos del módulo se muestran en el Anexo 14.

4.4.2.3 Módulo de entradas analógicas SM 331 (6ES7331-1KF02-0AB0)

Teniendo en cuenta (según anexo 12) que necesitamos 17 entradas analógicas para el proceso de llenado y envío y 10 entradas para el proceso de limpieza CIP, hemos seleccionado la tarjeta SM331 que es la que cuenta con el mayor número de entradas analógicas (8 entradas). Por tanto, necesitaremos 3 tarjetas para el proceso de llenado y envío y 2 tarjetas para el proceso CIP, dejando reserva de entradas para futuras ampliaciones.



Figura 4-17 Módulo de entradas digitales Siemens SM331.

Características:

- 8 entradas en 8 grupos de canales.
- Resolución ajustable por grupo de canales (12 bits + signo)
- Tipo de medición ajustable por grupo de canales:
 - Tensión.
 - Intensidad.
 - Resistencia.
 - Temperatura
- Selección del rango de medición discrecional por canal
- Protección de motor / vigilancia de temperatura con PTC según IEC 60034-11-2 tipo A.
- Medición de temperatura con sensores de temperatura de silicio KTY83/110, KTY84/130.
- Aislamiento galvánico entre los canales y el bus de fondo.

Los datos técnicos del módulo se muestran en el Anexo 15.

4.4.3 Comunicación

Los buses de campo son tecnologías y protocolos de comunicación usados en automatización y control de procesos en industrias, existen 2 tipos: propietarios y abiertos. Los propietarios son propiedad intelectual de una compañía en particular y restringe su uso a una sola marca de equipos. En cambio los buses abiertos son aquellos que son:

- Interconectables, porque dispositivos de diferentes fabricantes pueden ser conectados con seguridad al mismo bus.
- Interoperables, porque pueden comunicarse exitosamente entre dispositivos de diferentes proveedores.
- Intercambiables, porque los dispositivos provenientes de una firma pueden ser reemplazados con dispositivos funcionalmente equivalentes de otras firmas.

En planta Backus Motupe para el control de procesos y automatización se usan básicamente 2 estándares de la comunicación industrial: HART y Profibus.

HART es un protocolo abierto que usa el estándar industrial 4-20mA, es decir, los dispositivos HART pueden realizar funciones básicas con cualquier sistema host que tiene la capacidad de entrada/salida de 4-20mA, la limitación es que un solo parámetro puede ser comunicado sobre una entrada o salida de 4-20mA, típicamente ésta es una variable del proceso de un transmisor, o una salida para un elemento final de control, en este modo la información viaja en un solo sentido, desde el dispositivo al host (entradas) o viceversa.

Para la comunicación de los dispositivos de campo con los controladores se usa el protocolo HART.

PROFIBUS DP es un sistema de bus abierto conforme a la norma IEC 61784 - 1:2002 Ed1 CP 3/1 con el protocolo de transmisión "DP" (DP son las siglas de "periferia descentralizada" en alemán).

Materialmente, el PROFIBUS DP es una red eléctrica formada por un par de hilos apantallados (RS485) o bien una red óptica formada por un cable de fibra óptica.

El protocolo de transmisión "DP" permite un intercambio cíclico rápido entre la CPU de control y los sistemas de periferia descentralizada.

La siguiente figura muestra la configuración típica de una red PROFIBUS DP. Los esclavos DP son los sistemas de periferia descentralizada que están conectados al maestro DP mediante el PROFIBUS DP.

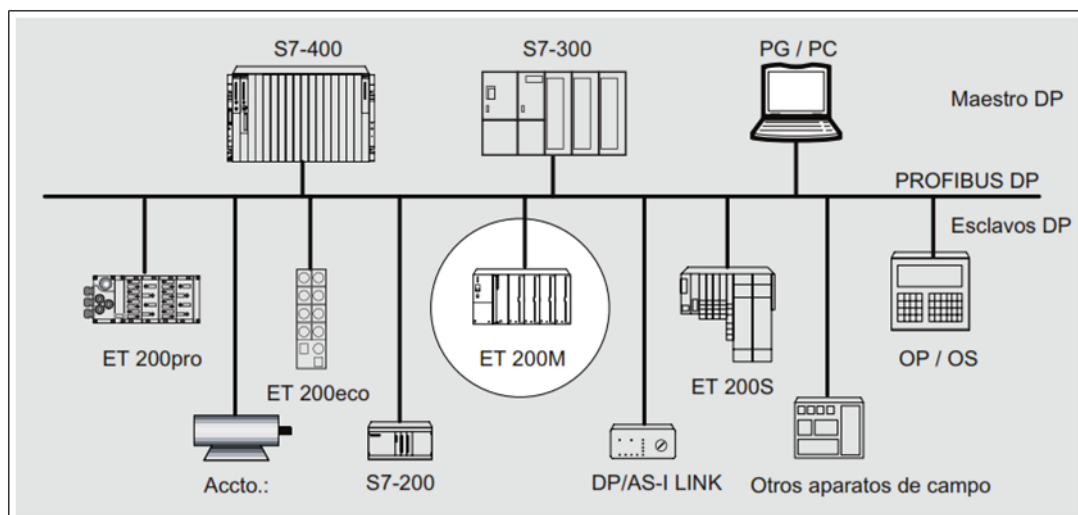


Figura 4-18 Configuración típica de una red Profibus DP (Siemens)

La comunicación entre dispositivos de control PLC, sistemas de periferia descentralizada y variadores de frecuencia usan el protocolo PROFIBUS DP. La tasa de transmisión de datos utilizada en planta para comunicación por Profibus DP es de 1500 kbps o 1.5Mbps.

4.5 Selección de Equipos de mando

4.5.1 Selección de válvulas

Los procesos de almacenamiento y limpieza CIP de tanques requieren de válvulas de control, siendo las más usadas en la industria de bebidas las del tipo mariposa por su rápido accionamiento en relación con los demás tipos de válvulas; el material para este tipo de válvulas que cumple con las normas de higiene es el acero inoxidable (304/316). Las válvulas serán de diámetros diversos según las líneas de proceso a controlar.

En planta Backus se utilizan las válvulas inoxidables del fabricante Handtmann, por la eficiencia y su funcionamiento seguro al momento de la operación.

Las válvulas mariposa handtmann se fabrican en diferentes versiones. Opcionalmente, la activación tiene lugar mediante una palanca manual o un actuador giratorio neumático. La posible supervisión de las posiciones de activación se realiza a través de un interruptor de proximidad o un cabezal de control.



Figura 4-19 Válvula mariposa de accionamiento manual.

Los diámetros de las válvulas a utilizar según el requerimiento de los procesos se detallan en la siguiente tabla:

<i>Línea de proceso</i>	<i>Diámetro Nominal DN</i>
<i>Ingreso de cerveza de Filtro</i>	<i>DN 125</i>
<i>Salida de cerveza a Línea 1</i>	<i>DN 100</i>
<i>Salida de cerveza a Línea 3</i>	<i>DN 100</i>
<i>Suministro CIP</i>	<i>DN 80</i>
<i>Retorno CIP</i>	<i>DN 80</i>
<i>Recuperación de CO2</i>	<i>DN 80</i>

Tabla 4-9 Diametros de las valvulas a usar en lineas de BBTs.

Las características técnicas de las válvulas mariposas Handtmann se muestran a continuación:

<i>Datos del funcionamiento</i>	
<i>Presión de servicio</i>	<i>0 - 10 bar</i>
<i>Proceso / CIP</i>	<i>0 - 95 °C</i>
<i>Aire de ajuste</i>	<i>5 - 8 bar</i>
<i>Tamaños</i>	
<i>Diámetro nominal DN</i>	<i>25 - 200</i>
<i>Diámetro nominal OD</i>	<i>1" - 4"</i>

Figura 4-20 Datos técnicos de valvulas mariposa Handtmann (Handtmann)

4.5.2 Selección de Actuadores Neumáticos

Para el caso de los actuadores neumáticos deberán ser en material acero inoxidable tanto para las válvulas del sistema de almacenamiento como para el sistema de limpieza CIP.

Las válvulas a usar serán marca Handtmann según el estándar en planta, equipadas con un actuador giratorio neumático y operarán con una presión de 5 bar.

El actuador giratorio deberá tener resorte para cerrar y aire para abrir (simple efecto).

El estado de activación de una válvula mariposa se podrá registrar mediante un interruptor de proximidad o con un cabezal de control, por tanto, las válvulas deberán ser suministradas con puntos de montaje integrados para interruptores de proximidad (confirmación de posición abierto/cerrado).



Figura 4-21 Valvula mariposa Handtmann con actuador neumático (Handtmann).

Para la activación de las válvulas neumáticas se usaran bloques de activación de la marca Festo, según estándar en planta, este bloque deberá ir dentro de un tablero de control en campo, cercano al lugar de instalación de las válvulas; esto para evitar caídas de presión a grandes distancias.

Las válvulas neumáticas serán de 3/2 vías (3 vías, 2 posiciones), con retorno por muelle mecánico, e irán montadas sobre perfil DIN. Deberán contar con racor rápido roscado de 6mm para la conexión de las mangueras de salida (PL6), la alimentación principal deberá llevar racor rápido de 10mm para la manguera de suministro principal (PL10).



Figura 4-22 Bloque de electroválvulas de 3/2 vías, con activación 24VDC, marca Festo (Festo)

La activación se hará por señal de 24VDC, según salida de relé desde la tarjeta de salidas digitales del PLC de nuevos BBT, y deberá ser llevada hasta el tablero de control local en campo, a través de un cable multiconductor.

Configuración básica	
Característica	Valor
Tipo de válvula	Válvula con conexiones roscadas
Tamaño	10 mm
Función de válvula	Válvula de 3/2 vías, normalmente cerrada.
Aire de pilotaje	Interno
Conexión neumática	Racor de conexión de 6mm
Conexión eléctrica	Patrón de conexiones ZC, tornillo métrico.
Tensión de funcionamiento	24 VDC

Tabla 4-10 Características del bloque de electroválvulas CPE10-MB1H de Festo.

Opcionalmente podemos optar por un terminal de válvulas con comunicación industrial, en este caso, en planta Backus el estándar es Profibus, por tanto un modelo alternativo sería el VTUG-plug-in de Festo. El modelo elegido permite la comunicación en los buses de campo más conocidos como son Profibus, CANopen, DeviceNet, etc.

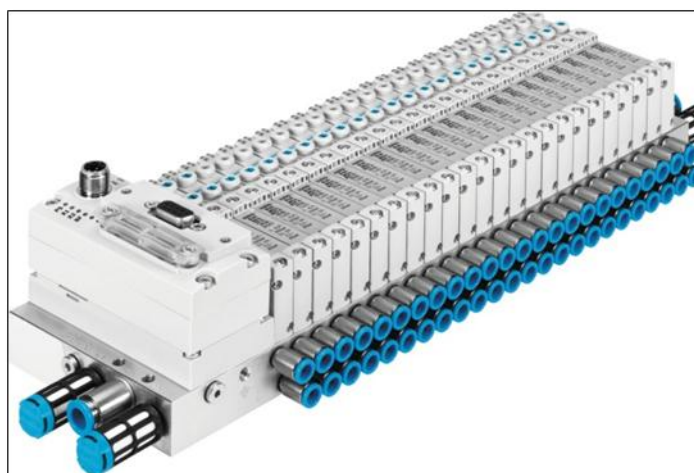


Figura 4-23 Terminal de valvulas VTUG con activacion por bus de campo (Festo)

Las entradas de confirmación de los sensores inductivos de las válvulas neumáticas, deberán ser cableadas hasta el tablero de control local neumático, y luego llevadas a

través de un cable multiconductor al tablero principal donde serán conectadas a la tarjeta de entradas digitales de la interfaz de control de los nuevos BBT.

Se deberá considerar un regulador de caudal para la alimentación del tablero neumático, este regulador debe tener un filtro integrado para garantizar la calidad del aire entregado al sistema de control neumático, asimismo, debe operar en el rango de presión requerido por las válvulas de control.



Figura 4-24 Regulador de caudal con filtro y manómetro marca Festo., modelo MIDI.

Algunas de las características técnicas del equipo seleccionado se muestran a continuación:

Configuración básica	
Características	Valor
<i>Serie</i>	<i>Serie D</i>
<i>Función</i>	<i>Unidad de filtro y regulador</i>
<i>Tamaño</i>	<i>MIDI - Patrón uniforme de 55mm</i>
<i>Conexión neumática</i>	<i>Rosca interior G 1/4</i>
<i>Margen de regulación de la presión</i>	<i>0,5... 12 bar</i>
<i>Indicación de presión</i>	<i>Con manómetro</i>

Tabla 4-11 Características de la unidad de regulacion con filtro MIDI de Festo.

Los datos técnicos completos se muestran en el Anexo 16.

4.6 Selección de las bombas para envío de cerveza y limpieza CIP

4.6.1 Cálculo de la potencia requerida para cada bomba:

El nuevo sistema de tanques BBT contará con cuatro bombas en total, de las cuales dos serán para el envío de cerveza a las líneas de envasado y las otras dos serán para el suministro y retorno de las soluciones de limpieza CIP. Estas bombas deberán cumplir con los parámetros de presión necesarios para la automatización tanto del proceso de almacenamiento, como para el proceso de limpieza CIP. Para esto hemos realizado el cálculo de las potencias necesarias para cada bomba a fin de poder llevar a cabo la automatización, este cálculo se muestra en el Anexo 17.

Se usaran las tuberías existentes para el envío de cerveza a las líneas de envasado las cuales serán acopladas mecánicamente a las nuevas bombas de cerveza.

Las potencias requeridas para la automatización según el análisis realizado se muestran en la tabla 4-12:

Bomba	Diámetro tubería de succión	Diámetro tubería de descarga	Caudal en la línea	Presión de trabajo	Potencia nominal de las bombas
<i>Bomba de Línea 1</i>	<i>DN100</i>	<i>DN 80</i>	<i>200 Hl/h</i>	<i>4 bar</i>	<i>5,20 Kw</i>
<i>Bomba de Línea 3</i>	<i>DN100</i>	<i>DN 80</i>	<i>400 Hl/h</i>	<i>4 bar</i>	<i>10,80 Kw</i>
<i>Bomba de Suministro CIP</i>	<i>DN100</i>	<i>DN 80</i>	<i>350 Hl/h</i>	<i>2 bar</i>	<i>10,80 Kw</i>
<i>Bomba de Retorno CIP</i>	<i>DN100</i>	<i>DN 80</i>	<i>350 Hl/h</i>	<i>1 bar</i>	<i>3,90 Kw</i>

Tabla 4-12 Potencia nominal de las nuevas bombas para BBT

Las potencias de las bombas para los nuevos tanques BBT podrían no ser estrictamente igual a las calculadas, ya que en el mercado estas potencias no son comerciales, por tanto se deberá adquirir bombas con potencias muy cercanas a las

de diseño. Siendo así, se muestran en la siguiente tabla las bombas con las potencias comerciales:

Bomba	Caudal en línea	Presión de trabajo	Potencia calculada nuevos BBT	Potencia comercial nuevos BBT
<i>Bomba de Línea 1</i>	<i>200 Hl/h</i>	<i>4 bar</i>	<i>5,20 Kw</i>	<i>7,5 Kw</i>
<i>Bomba de Línea 3</i>	<i>400 Hl/h</i>	<i>4 bar</i>	<i>10,80 Kw</i>	<i>15 Kw</i>
<i>Bomba de Suministro CIP</i>	<i>350 Hl/h</i>	<i>2 bar</i>	<i>10,80 Kw</i>	<i>15 Kw</i>
<i>Bomba de Retorno CIP</i>	<i>350 Hl/h</i>	<i>1 bar</i>	<i>3,90 Kw</i>	<i>4 Kw</i>

Tabla 4-13 Potencia comercial de las nuevas bombas para BBTs

Para el caso de la bomba de línea 1, la potencia comercial más cercana es 5,5 KW pero, por ser un valor muy cercano al calculado, y al requerirse un control de velocidad y presión, es que se ha optado por elegir la siguiente potencia cercana, en este caso la potencia elegida es 7,5 Kw.

Algo similar ocurre para la bomba de la Línea 3 y para la bomba de Suministro CIP: La potencia comercial más cercana es 11 Kw, pero para efectos de control se ha optado por elegir la potencia de 15 KW.

Para el caso de la bomba de Retorno CIP, debido a que no se ejercerá ningún lazo de control con esta bomba, es que se ha optado por elegir la potencia comercial más cercana, por tanto, la potencia elegida es 4KW.

Como vemos las potencias de las bombas a instalar son superiores a las potencias requeridas, por tanto, es posible llevar a cabo el proceso de automatización.

4.6.2 Selección de las bombas centrífugas a instalar:

En la planta cervecera Backus Motupe, las marcas estándar en cuanto a bombas centrífugas se refiere, para las líneas de proceso (producto) son: KSB y Alfa Laval. De estas dos marcas estándar, hemos optado por elegir la marca KSB ya que el fabricante cuenta con stock de repuestos en su filial Perú y el mantenimiento es más sencillo, y por consiguiente más rápido.

Esta bomba es fabricada en acero inoxidable calidad 316L, además cuenta con un diseño higiénico para cubrir los más altos requerimientos de limpieza. Todos los materiales cumplen las normas de la FDA y son conformes a EN 1935/2004.



Figura 4-25 Bomba centrífuga para procesos estériles marca KSB

Las características técnicas más resaltantes de esta bomba centrífuga se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de impulsor	Abierto
Tipo de instalación	Monobloc
Impeller material (EN standard)	1. 4409 (AISI 316L)
Tipo de cojinete	Cojinetes de bola
Frecuencia del accionamiento	50 Hz / 60 Hz
Velocidad máxima de giro	1. 750 min
Caudal máximo	55 m³/h
Disponible para agua potable	Sí
Material de la carcasa (EN estándar)	1. 4409 (AISI CF3M)
Caudal mínimo	1 m³/h
Características de aspiración	Autoaspirante
Voltaje del accionamiento	Voltaje mínimo
Ubicación del set de bombeo	Instalado en seco
Calefactable	Sí
Material de la carcasa de impulsión (EN	140 °C
Aplicaciones principales	Ingeniería de procesos e industrial; 09
Tipo de instalación	Transportable; Fijo
Tipo de conexión	Extremo roscado, brida
Tipo de lubricación	Grasa / Lubricación por aceite
Tipo de accionamiento	Motor eléctrico
Posición de la instalación	Horizontal
Tipo de cierre de eje	Cierre mecánico
Accionamiento	Motor eléctrico
Altura máxima	45, 00 m
Tasa de presión máxima (impulsión)	10
Altura mínima	3, 50 m
Posición de brida	Lado- superior
Conexión eléctrica	230/ 400V, 400/690 V, 3~

Tabla 4-14 Características técnicas de la bomba KSB modelo Vitaprime.

Las demás características técnicas se muestran en el Anexo 17.

4.7 Selección de los variadores de frecuencia:

Luego de haber visto el dimensionamiento de las bombas centrifugas para el proceso de almacenamiento de cerveza y limpieza de tanques BBT, procederemos a la selección de los variadores de frecuencia, los cuales se encargaran de controlar la velocidad de dichas bombas, con el objetivo de mantener constantes las variables presión y caudal que requiere cada proceso.

Para el presente proyecto será necesario controlar tres (03) de las cuatro (04) bombas que se han seleccionado para la automatización. Las bombas que requieren un lazo de control, debido a la presión constante que debe haber en las líneas, son: Bomba de Línea 1, bomba de Línea 3 y bomba de suministro CIP. La bomba de retorno CIP

trabajara a su potencia nominal, ya que no es necesario controlar variable alguna en el retorno de las soluciones de limpieza a la estación CIP.

El estándar en planta para variadores de frecuencia y arrancadores de estado sólido es la marca europea DANFOSS por ofrecer una amplia gama de potencias y por las buenas prestaciones de sus equipos que operan sin mayores problemas en los diferentes procesos dentro de planta Backus Motupe, además pueden integrarse a la red Profibus de la planta a través de su tarjeta Profibus MCA.

4.7.1 Variador para bomba de envío de cerveza a Línea 1:

Teniendo en cuenta las características de la bomba mostradas en la tabla siguiente, procederemos a seleccionar el variador de frecuencia para la bomba de envío de cerveza a línea 1 de envasado:

Bomba	Potencia	Tensión de alimentación	Fases	Frecuencia
<i>Envasado Línea 1</i>	<i>7,5 Kw</i>	<i>380 VAC</i>	<i>Trifásico</i>	<i>60 Hz</i>

Tabla 4-15 Características de la bomba de cerveza para Línea 1.

El variador seleccionado para la automatización es:

Fabricante	Modelo	Serie	Potencia	Tensión de alimentación	Frecuencia nominal	Comunicación
<i>Danfoss</i>	<i>FC-302P7K5T5E20H</i>	<i>FC302</i>	<i>7,5 Kw</i>	<i>380-480 VAC</i>	<i>50 - 60 Hz</i>	<i>Profibus</i>

Tabla 4-16 Características del Variador de frecuencia para bomba de Línea 1.

Especificaciones técnicas:

- Potencia: 7.5KW / 10.5HP
- Voltaje Alimentación: 380-480 VAC.
- Frecuencia Nominal: 50-60 Hz $\pm 10\%$
- Display desmontable, tipo gráfico.
- Entradas digitales: 06 programables



- Entradas analógicas: 2 de 0 a 10 VDC ó 4 a 20 mA.
- Detecta fin de la curva de la bomba para evitar fallas
- Detecta funcionamiento en Vacío, ahorro en mantenimiento
- Puerto RS-485 para comunicación serial
- Grado de protección: IP20.

4.7.2 Variador para bomba de envío de cerveza a Línea 3:

Teniendo en cuenta las características de la bomba mostradas en la tabla siguiente, procederemos a seleccionar el variador de frecuencia para la bomba de envío de cerveza a línea 3 de envasado:

Bomba	Potencia	Tensión de alimentación	Fases	Frecuencia
<i>Envasado Línea 3</i>	<i>15 KW</i>	<i>380 VAC</i>	<i>Trifásico</i>	<i>60 Hz</i>

Tabla 4-17 Características de la bomba de Cerveza para Linea 3 de envasado.

El variador de frecuencia seleccionado para la automatización de tanques BBT es:

Fabricante	Modelo	Serie	Potencia	Tensión de alimentación	Frecuencia nominal	Comunicación
<i>Danfoss</i>	<i>FC-302P15KT5E20H</i>	<i>FC302</i>	<i>15 Kw</i>	<i>380-480 VAC</i>	<i>50 - 60 Hz</i>	<i>Profibus</i>

Tabla 4-18 Características del Variador de frecuencia para la bomba de Linea 3.

Especificaciones técnicas:

- Potencia: 15 KW / 20 HP
- Voltaje Alimentación: 380-480 VAC
- Frecuencia Nominal: 50-60 Hz $\pm 10\%$
- Display desmontable, tipo gráfico.
- Entradas digitales: 06 programables



- Entradas analógicas: 2 de 0 a 10 VDC ó 4 a 20 mA.
- Detecta fin de la curva de la bomba para evitar fallas
- Detecta funcionamiento en Vacío, ahorro en mantenimiento
- Puerto RS-485 para comunicación serial.
- Grado de protección: IP20.

4.7.3 Variador para bomba de Suministro CIP:

Considerando las características de la bomba que se muestran en la tabla 4-19, procederemos a seleccionar el variador de frecuencia para la bomba de suministro CIP para el sistema de limpieza de los nuevos tanques BBT:

Bomba	Potencia	Tensión de alimentación	Fases	Frecuencia
<i>Línea de Suministro CIP</i>	<i>15 Kw</i>	<i>380 VAC</i>	<i>Trifásico</i>	<i>60 Hz</i>

Tabla 4-19 Características de bomba de Suministro CIP para limpieza.

El variador de frecuencia seleccionado para la automatización del proceso de limpieza de tanques BBT es:

Fabricante	Modelo	Serie	Potencia	Tensión de alimentación	Frecuencia nominal	Comunicación
<i>Danfoss</i>	<i>FC-302P15KT5E20H</i>	<i>FC302</i>	<i>15 Kw</i>	<i>380-480 VAC</i>	<i>50 - 60 Hz</i>	<i>Profibus</i>

Tabla 4-20 Características del Variador para línea de Suministro CIP de limpieza.

Especificaciones técnicas:

- Potencia: 15 KW / 20 HP
- Voltaje Alimentación: 380-480 VAC
- Frecuencia Nominal: 50-60 Hz $\pm 10\%$
- Display desmontable, tipo gráfico.



- Entradas digitales: 06 programables
- Entradas analógicas: 2 de 0 a 10 VDC ó 4 a 20 mA.
- Detecta fin de la curva de la bomba para evitar fallas
- Detecta funcionamiento en Vacío, ahorro en mantenimiento
- Puerto RS-485 para comunicación serial.
- Grado de protección: IP20.

4.8 Dimensionamiento de Tableros

En la cervecería Backus planta Motupe se usan básicamente dos tipos de tableros o armarios eléctricos: Los tableros metálicos en chapa de acero pintados en color RAL 7035 y los tableros de acero inoxidable, estos últimos para entornos severos y agresivos. Debido a las condiciones de operación, dado que los tableros eléctricos estarán en una sala de control, el tablero seleccionado será del tipo chapa de acero color RAL 7035. Sera del tipo autosoportado por la cantidad de componentes eléctricos que deberá alojar. El tablero estará diseñado para un nivel de tensión en 380 V, 3fases, 60Hz, grado de protección IP66, y será equipado con barras de Cu (cobre) horizontales para las Fases R, S, T, Neutro y Tierra. Se contará con un interruptor automático del tipo Caja Moldeada (MCCB) para la protección principal, guardamotores acoplados a las barras a través de aparellajes, e interruptores secundarios automáticos para equipos de control, instrumentación e iluminación, estos interruptores contarán con protección térmica y magnética, según lo indicado en los planos eléctricos de diseño que se muestran en el Anexo 19.

El tablero a proyectar debe poseer un punto de conexión a tierra, donde pueda ser conectada la línea de tierra principal. Asimismo, deberá tener un zócalo para la acometida de cables por la parte lateral inferior.

Para determinar la capacidad del breaker principal se debe calcular cuál es la corriente nominal de todo el sistema. Por tanto, vamos a realizar el cálculo de la potencia total que será suministrada desde el tablero de fuerza y control.

La principal carga la constituyen los motores, que en su defecto serán alimentados desde los variadores de frecuencia. Por tanto, vamos a proceder a calcular la corriente nominal de los motores.

Aplicaremos la siguiente formula (*Enriquez Harper, Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales, 2006*):

$$I = \frac{Pot (HP) \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi \times \eta}$$

Teniendo en cuenta que el coseno de ϕ varía entre 0,8 y 0,9 para motores de baja potencia, vamos a tomar el valor de $\cos \varphi = 0,85$ como un valor promedio.

Por tanto, la corriente para la bomba de Línea 1 es:

$$I_{L1} = \frac{10 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,87}$$

$$I_{L1} = 15,32 A$$

La corriente para la bomba de línea 3 será:

$$I_{L3} = \frac{20 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,89}$$

$$I_{L3} = 29,96 A$$

La potencia para la bomba de suministro CIP será:

$$I_{SUM.CIP} = \frac{20 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,89}$$

$$I_{SUM.CIP} = 29,96 A$$

La corriente para la bomba de retorno CIP será:

$$I_{RET.CIP} = \frac{5,36 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,86}$$

$$I_{RET.CIP} = 8,31 A$$

La potencia y corriente a consumir por las bombas se detalla en la siguiente *tabla*:

Equipos	Potencia (Kw)	Voltaje (VAC)	Corriente de carga (A)
<i>Bomba de Linea 1</i>	7,5	380	15,32
<i>Bomba de Linea 3</i>	15	380	29,96
<i>Bomba de Suministro CIP</i>	15	380	29,96
<i>Bomba de Retorno CIP</i>	4	380	8,31
Total	41,5	380	83,55

Tabla 4-21 Potencia y corriente a consumir por las bombas de los nuevos tanques BBT.

Además de las bombas en el sistema principal se tiene conectado el sistema de control, que alimenta los contactores y sistema de periferia ET200 de Siemens, así como los interruptores termomagnéticos para iluminación interior y exterior de BBTs.

Equipos	Potencia (W)	Voltaje (VAC)	Corriente de carga (A)
<i>Equipos de control e instrumentacion</i>	615	220	2,80
<i>Iluminacion interior</i>	456	220	2,07
<i>Iluminacion exterior</i>	456	220	2,07

Tabla 4-22 Potencia y corriente de los circuitos de control e iluminacion.

Como vemos según las tablas anteriores la suma de las cargas hacen un total de 42 Kw aproximadamente, en tensión trifásica 3x380VAC, lo que significa, un consumo de corriente de 86 Amperios aproximadamente. Tomando en cuenta un factor de seguridad del 30%, la corriente nominal de todo el sistema sería **112 amperios**.

Con estos valores podemos seleccionar el interruptor termomagnético principal, los guardamotores para protección de las nuevas bombas y los demás interruptores termomagnéticos.

Las marcas estándar en planta Backus para equipos de protección de motores y protección eléctrica en general son dos: Siemens y Schneider Electric, de las cuales hemos elegido la marca Schneider Electric por sus mejores costes y buenas características técnicas. En la siguiente tabla se detallan los equipos seleccionados para protección de bombas y circuitos eléctricos (*Electric*):

Interruptor	TAG	Marca	Modelo	# Polos	Regulación (A)	I de corte (KA)	
						220V	380V
<i>Interruptor general</i>	3Q1	Schneider Electric	NSX100F	3P	87.5 - 125	85	36
<i>Guardamotor magnetotermico bomba de linea 1</i>	26Q1	Schneider Electric	GV2P	3P	13-18	-	50
<i>Guardamotor magnetotermico bomba de linea 3</i>	27Q1	Schneider Electric	GV3P	3P	30-40	-	50
<i>Guardamotor magnetotermico bomba de Suministro CIP</i>	29Q1	Schneider Electric	GV3P	3P	30-40	-	50
<i>Guardamotor magnetotermico bomba de Retorno CIP</i>	30Q1	Schneider Electric	GV2P	3P	6,3-10	-	>100
<i>Interruptor de control</i>	3Q3	Schneider Electric	iC 60N	2P	4	20	10
<i>Interruptor de iluminacion interior</i>	3Q5	Schneider Electric	iC 60N	2P	4	20	10
<i>Interruptor de iluminacion exterior</i>	3Q7	Schneider Electric	iC 60N	2P	4	20	10

Tabla 4-23 Selección de los interruptores y guardamotores termomagnéticos a instalar

El nivel de tensión que se maneja en planta Backus para alimentación de motores y circuitos de fuerza es 380 VAC, trifásico, a 60 Hz; y la tensión para circuitos de control e iluminación es 220VAC, monofásica, 60Hz.

Debido a que nuestro tablero eléctrico alimentara tanto circuitos de fuerza como de control, y debido a la carga que posee, se ha considerado instalar un sistema de barras (busbar) para el suministro de energía. Las barras a utilizar en el tablero serán

de cobre electrolítico de pureza no inferior a 99.9% y de alta conductividad. Serán pintadas en todas las superficies de contacto, las cuales soportarán la solicitud térmica originada por cada una de las corrientes nominales antes mencionadas, además de las corrientes de cortocircuito de cada subsistema. Dichas barras irán montadas sobre aisladores.

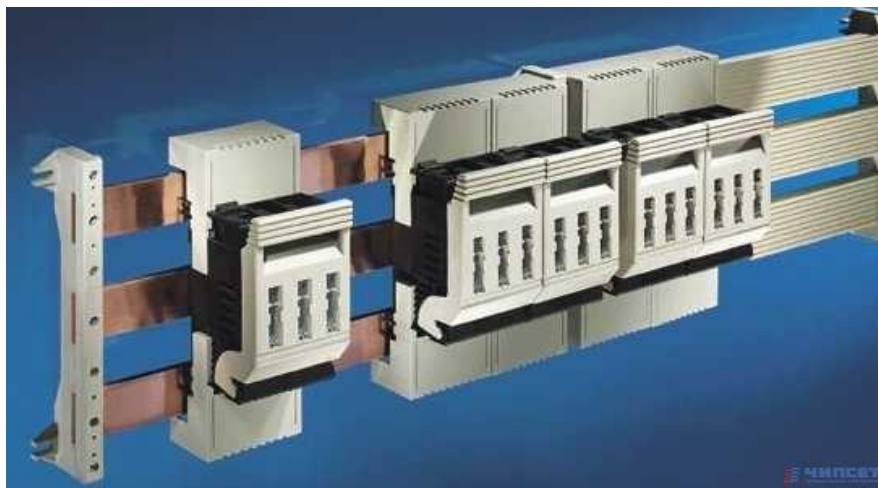


Figura 4-26 Sistema de barras montadas sobre aisladores Rittal.

Las barras estarán identificadas según a la fase a la cual corresponde, con una secuencia de fases R, S, T de arriba hacia abajo.

En la siguiente tabla se muestran los valores de intensidad de corriente en régimen permanente para barras conductoras, de sección rectangular, de cobre electrolítico en instalaciones interiores a 35 °C de temperatura ambiente y 65 °C de temperatura de las barras, posición vertical u horizontal.

Anchura x espesor mm	Sección mm ²	Peso ¹⁾	Material ²⁾	Intensidad en régimen permanente, en A			
				Corriente alterna hasta 60 Hz		Corriente continua + corriente alterna 16 Hz	
				Barra desnuda	Barra pintada	Barra desnuda	Barra pintada
12 x 2	23,5	0,209		108	123	108	123
15 x 2	29,5	0,262		128	148	128	148
15 x 3	44,5	0,396		162	187	162	187
20 x 2	39,5	0,351		162	189	162	189
20 x 3	59,5	0,529		204	237	204	237
20 x 5	99,1	0,882		274	319	274	320
20 x 10	199,0	1,770	E-Cu F30	427	497	428	499
25 x 3	74,5	0,663		245	287	245	287
25 x 5	124,0	1,110		327	384	327	384
30 x 3	89,5	0,796		285	337	286	337
30 x 5	149,0	1,330		379	447	380	448
30 x 10	299,0	2,660		573	676	579	683
40 x 3	119,0	1,060		366	435	367	436
40 x 5	199,0	1,770		482	573	484	576
40 x 10	399,0	3,550		715	850	728	865
50 x 5	249,0	2,220		583	697	588	703
50 x 10	499,0	4,440		852	1020	875	1050
60 x 5	299,0	2,660		688	826	696	836
60 x 10	599,0	5,330		985	1180	1020	1230
80 x 5	399,0	3,550		885	1070	902	1090
80 x 10	799,0	7,110		1240	1500	1310	1590
100 x 10	999,0	8,890		1490	1810	1600	1940

¹⁾ Calculado con una densidad de 8,9 kg/dm³
²⁾ Base de referencia para los valores de la intensidad (valores tomados de la norma DIN 43 671)

Tabla 4-24 Corrientes en regimen permanente para barras conductoras, de Cu electrolitico., 35°C de T° ambiente (Rittal).

Teniendo en cuenta que la corriente nominal del sistema es 112 amperes (A) y el tablero de fuerza y control alimentara a equipos adicionales conforme se vayan sumando nuevos tanques BBT a futuro; seleccionaremos las barras para soportar el doble de la actual corriente nominal, esto como reserva para futuras ampliaciones.

Anchura x espesor mm	Seccion mm2	Peso	Material	Intensidad en regimen permanente, en A	
				Corriente alterna hasta 60 Hz	
				Barra desnuda	Barra pintada
20 x 5	99,1	0,882	E-Cu F30	274	319

Tabla 4-25 Caracteristicas de la barra seleccionada para el nuevo tablero de tanques BBT.

Se eligió la barra de dimensiones 20x5 mm (anchura x espesor) ya que cumple con los límites de demanda de corriente para el nuevo tablero de fuerza y control, así como para futuras ampliaciones.

Finalmente, el tablero debe contar con un sistema de ventilación forzada, debido a la presencia de equipos de potencia como son los variadores de velocidad. El sistema de ventilación forzada estará conformado por un termostato, que monitoreará la temperatura interna del tablero, además de un ventilador montado en la parte inferior de la puerta del tablero y una rejilla con filtro que ira montada en la parte superior de la puerta. Con esto se garantizará una correcta ventilación de los equipos al interior del tablero a fin de evitar disminuir la vida útil de los equipos.

4.9 Selección de cables, tuberías y canales

4.9.1 Selección de cables

En general, los conductores de fuerza y control, serán de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Todos los conductores deberán ser del tipo retardante a la flama y resistentes a la humedad.

Para lugares de gran afluencia de personal se considerara cables libres de halógeno. Para el tablero de fuerza proyectado, se dispondrá de un suministro de energía proveniente desde el tablero de distribución FEEDER5, de la sala de baja tensión de planta de fuerza.

4.9.1.1 Selección de la sección de los cables

La capacidad de los conductores, está basada en los rangos estandarizados de aislamiento térmico y factores de corrección (por ejemplo, factor de corrección por temperatura, factor de corrección por números de conductores, etc.) de acuerdo a lo indicado en las tablas de la norma IEC 60364-5-52. Las secciones mínimas de los alimentadores principales se basan en la capacidad de resistencia

térmica del cable durante condiciones de cortocircuito y los requisitos de carga máxima. La caída de tensión en los circuitos de alimentación individuales se limitará a 2.5%. Entre el alimentador y los circuitos derivados la máxima caída de tensión será de 5%. La sección del conductor se incrementará cuando la caída de tensión exceda los valores especificados.

Haremos el cálculo para cada uno de los cables de fuerza:

Para el cable de alimentación principal tenemos que la corriente nominal de la carga que alimentara es 112 A, la temperatura ambiente es 25 °C, la distancia desde el punto de distribución hasta la acometida es 90 metros.

a) Aplicamos primero los factores de corrección:

Factores de Corrección (*Ceper*):

Factor de Corrección por Temperatura: 0.95

Factor de Corrección por Agrupamiento: 0.83 (separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, recorrerán en bandeja tipo escalera desde la Sala de Tableros de Planta Fuerza)

Factor de Corrección total = $0.95 \times 0.83 = 0.79$

La corriente de carga corregida será:

$$I = 112 / 0.79 = 141,77 \text{ Amperios}$$

Por tanto, para esta capacidad de corriente debemos elegir el cable:

Cable N2XY 4x35+1x16 mm².

b) Ahora realizaremos el cálculo de la caída de tensión:

Por formula sabemos que:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}.L.I.\cos\theta}{\gamma.S} + 1,73.10^{-3}.x.L.I.\sen\theta$$

L : Longitud del conductor (m)

I : Corriente de Carga (A)

$\cos\theta$: factor de potencia

S : Sección del conductor (mm^2)

γ : Conductividad del material ($\text{m}/\Omega\cdot\text{mm}^2$)

x : reactancia inductiva (Ω/km)

ΔU : Caída de Voltaje (V)

Por tanto:

$$\Delta U_{\text{cable-princ.}} = \frac{\sqrt{3}x(90)(112)(0,85)}{(56)(35)} + 1,73 \times 10^{-3} \cdot (0,19)(90)(112)(0,527)$$

$$\Delta U_{\text{cable-princ.}} = 9,31 \text{ voltios}$$

$$\Delta U_{\text{cable-princ.}} = 2,4\% < 2,5\% \text{ (Es conforme)}$$

Como vemos, la caída de tensión es bastante cercana al valor máximo permitido, por tanto dimensionaremos al cable alimentador con una sección mayor para asegurar una menor caída de tensión.

Por tanto, el cable a elegir será: **N2XY 4x50mm² + 1x35mm²**.

El cálculo para los demás conductores eléctricos se muestra en el Anexo 20.

4.9.1.2 Cables de fuerza de baja tensión:

Los cables de fuerza de Baja Tensión serán de cobre, aislamiento XLPE (polietileno reticulado), con cubierta exterior de PVC, del tipo N2XY, temperatura de operación del conductor 90 °C, resistente al sol y a la abrasión.

- Tensión de Servicio: 0.6/1kV.

Los cables de baja tensión serán en general multiconductores.

La elección de la sección final del conductor quedará determinada por los requerimientos de la carga, capacidad de corriente en régimen permanente, caída

de tensión máxima admisible (2.5%) y la capacidad para aceptar el cortocircuito máximo previsto, por un período mínimo de 1 segundo.

El listado de cables de fuerza de baja tensión se muestra en el Anexo 21.

4.9.1.3 Cables de Control e Instrumentación:

Los cables de control serán de conductor de cobre electrolítico recocido, aislamiento PVC (policloruro de vinilo), tipo extra flexible, con cubierta de PVC, temperatura de operación del conductor 90 °C, resistente al sol y a la abrasión.

- Tensión de Servicio: 0.6/1kV.

Los cables de control utilizados para señales discretas de 24VDC serán del tipo multiconductor de 14 AWG o 16 AWG (como mínimo), 90 °C, 600 V.

Cable para señales analógicas deberán ser como mínimo de 1.5mm² para par simple y 1.0mm² AWG para multipares, además, cada par contará con apantallamiento y de ser multipar adicionalmente tendrá apantallamiento de todo el conjunto.

Los cables serán de acción retardada al fuego, aceite o químico, resistente a rayos UV y capaz de ser instalados en bandejas, tuberías o ductos según sea el caso.

Los cables de comunicación para Ethernet TCP/IP y Profibus DP deberán cumplir con las normas del fabricante además con las recomendaciones del organismo al cual pertenecen.

El listado de cables de control e instrumentación se muestra en el Anexo 22.

4.9.2 Sistema de Canalizaciones

En toda la planta, el sistema de distribución primaria y/o secundaria puede ser instalado en bandejas escalerillas, conductos metálicos, ductos de concreto o tuberías enterradas.

Las canalizaciones serán separadas para cada nivel de voltaje: media tensión, baja tensión y control. Los cables de comunicación serán canalizados separadamente o junto con los cables de instrumentación, pero en cualquier caso separados de los cables de fuerza.

Las entradas de cualquier canalización al cuarto eléctrico, serán selladas con polímero retardante a la flama, para impedir el ingreso de humedad y polvo.

4.9.2.1 Canalizaciones en Tuberías Metálicas

Los cables que se canalizan en tuberías metálicas serán dimensionados e instalados cumpliendo los siguientes requerimientos:

- Tipo de Tubería

Deberá ser del tipo acero inoxidable AISI 304. Por estándar en la planta se prohíbe uso de otro tipo de tubería.

De preferencia se utilizarán tuberías de los siguientes diámetros: DN25 (1”), DN40 (1 ½”), DN50 (2”) y DN80 (3”).

Las canalizaciones deben terminar lo más cercano posible del equipo a alimentar, evitando que el cable eléctrico quede demasiado expuesto.

- Porcentaje de Ocupación

El área interna máxima de tubería que puede ser ocupada por los cables, deberá ser:

Máximo porcentaje de ocupación de conductores	Numero de conductores o cables multiconductores
53%	Para 1 conductor monopolar y/o multipolar
31%	Para 2 conductores monopolar y/o multipolar
40%	Para 3 conductores o más

Tabla 4-26 Porcentaje de ocupación de los conductores en una tubería eléctrica.

4.9.2.2 Bandejas portacables

Las bandejas y/o escalerillas deberán fabricarse en metal resistente a la corrosión o metal con una terminación resistente a la corrosión, de acuerdo a NEMA.

Las bandejas y/o escalerillas deberán ser galvanizadas en caliente después de fabricadas, de acuerdo a las especificaciones de fabricación NEMA VE-1, Clase C.

La bandeja portacable a utilizar será de 300mmx50mm, debido a la cantidad de cables que albergará. Esta bandeja estará dividida por un separador metálico para separar los cables de fuerza de los de control e instrumentación.

La longitud de las bandejas serán de 2.40 metros, ya que esa es la longitud comercial para este tipo de bandejas.

El sistema de bandeja portacable debe estar conectado a la puesta de tierra principal en un mínimo de 2 puntos.

Ángulos y curvas de las bandejas portacables se diseñarán de modo que no sobrepasen los radios de curvatura de los cables instalados.

4.9.3 Recorridos, cantidades y materiales

Para el recorrido de bandejas y cables se deberá tener en cuenta lo siguiente:

Los soportes se instalarán con una separación máxima de 1.5 m o de acuerdo a recomendaciones estructurales.

Los conductores y cables deberán ser amarrados a los travesaños para prevenir movimiento excesivo debido a las fuerzas magnéticas de corrientes de cortocircuito.

Las amarras plásticas deberán ser retardantes a la flama y tener suficiente capacidad térmica para prevenir el calentamiento de estas debido a la inducción.

Deberá mantenerse una distancia útil mínima de 300 mm entre el borde superior de la bandeja y el techo de la sala u otro obstáculo de la construcción.

Las bandejas portacables se montará a una distancia mínima de 300 mm de cualquier otra bandeja del sistema o elemento estructural, para que permita un acceso para la instalación y mantenimiento.

En cruces de bandejas la separación mínima útil en sentido vertical será de 150 mm.

La distancia vertical mínima entre equipos tales como tablero y las bandejas deberán ser de 60 cm para permitir radios de curvatura adecuados a los cables.

Los materiales a usarse en el proyecto tales como bandejas, tuberías eléctricas, cables de fuerza, control, instrumentación y cables de iluminación se han listado en los anexos 21 y 22.

4.10 Selección del sistema de monitoreo y supervisión

4.10.1 Selección del PC de supervisión

Para el presente proyecto, proponemos 2 PC de Supervisión (1 de operador más 1 de respaldo). La PC de supervisión seleccionada tiene las siguientes características:

- Monitor de 17"
- Procesador i7 de 3.7 GHz
- Tarjeta de video de Nvidia GTX 750
- Disco duro de 1 Tb para almacenamiento de los datos de alarmas e históricos y registros.
- Memoria RAM de 8 Gb
- Sistema operativo Windows XP operación a 64 Bits
- Tarjetas LAN

Las especificaciones anteriores garantizan una correcta operatividad de los elementos de software, tales como SCADA, software de programación, comunicaciones, etc.

4.10.2 Selección del Software SCADA de Supervisión

El estándar en planta Backus para el monitoreo y supervisión de procesos es el Braumat de Siemens. Braumat es un sistema de control de procesos diseñado específicamente para la industria cervecera. En este sistema es posible visualizar el proceso en tiempo real, agregar o modificar recetas del proceso, visualizar el histórico de las señales de presión, flujo, temperatura, entre otras aplicaciones propias del proceso de producción de cerveza.

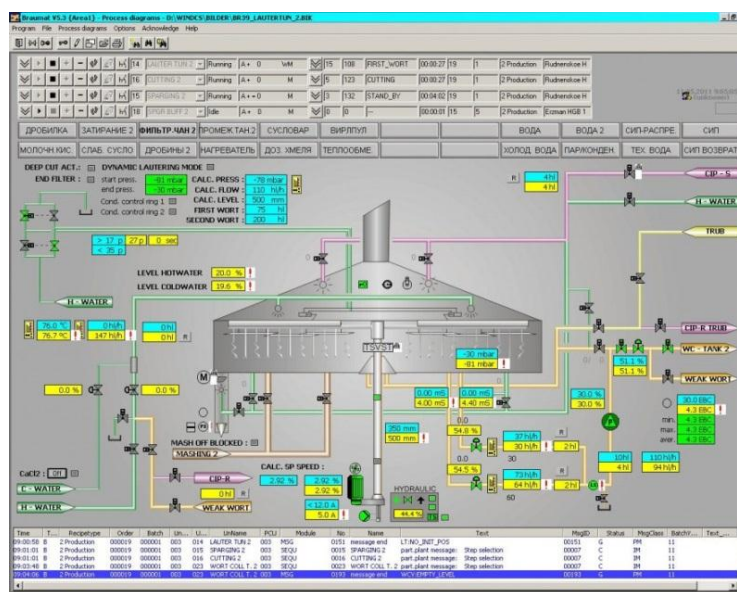


Figura 4-27 Sistema de supervisión y control de procesos Braumat (Industria cervecera).

4.11 Costos De Implementación y Retorno de la Inversión

4.11.1 Costo de Implementación

Los costos para llevar a cabo la automatización de los 3 nuevos tanques BBT y el sistema de limpieza CIP de tanques se han clasificado de la siguiente manera:

4.11.2 Costo de Suministro y Conexión de Instrumentación

En la automatización de los 3 tanques de BBT se ha considerado los siguientes costos para el suministro e instalación de los transmisores y sensores el cual está de forma detallada en el Anexo 23.

DE-PA-01 Suministro y conexionado de transmisores y sensores para 3 BBT		
RESUMEN		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		61,80
MATERIALES		82.050,77
CONSUMIBLES		35,00
MANO DE OBRA	Horas-hombre: 64	1.008,00
SUBTOTAL		83.155,57
GASTOS GENERALES	6,0%	4.989,33
UTILIDAD	6,0%	4.989,33
TOTAL		93.134,24

Tabla 4-27 Resumen de costo de suministro y conexión o de instrumentación

4.11.3 Costo de suministro e instalación de cables de fuerza y control

En la automatización de los 3 tanques de BBT se ha considerado los siguientes costos para el suministro y tendido de cables de fuerza y control el cual está de forma detallada en el Anexo 24.

DE-PA-02 Suministro y tendido de cables de fuerza y control		
RESUMEN		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		109,00
MATERIALES		22.287,70
CONSUMIBLES		270,00
MANO DE OBRA	Horas-hombre: 576	8.736,00
SUBTOTAL		31.402,70
GASTOS GENERALES	6,0%	1.884,16
UTILIDAD	6,0%	1.884,16
TOTAL		35.171,02

Tabla 4-28 Resumen de costos de cables de fuerza y control

4.11.4 Costos de montaje de tablero de fuerza y control

En la automatización de los 3 tanques de BBT se ha considerado los siguientes costos para el suministro y montaje de tablero de fuerza y control el cual está de forma detallada en el Anexo 25.

DE-PA-03 Montaje de tableros de fuerza y control		
RESUMEN		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		62,40
MATERIALES		37.223,44
CONSUMIBLES		480,00
MANO DE OBRA	Horas-hombre: 280	4.540,00
SUBTOTAL		42.305,84
GASTOS GENERALES	6,0%	2.538,35
UTILIDAD	6,0%	2.538,35
TOTAL		47.382,54

Tabla 4-29 Resumen de costos de montaje de tablero de fuerza y control

4.11.5 Costos de iluminación de BBTs interiores y exteriores

En la automatización de los 3 tanques de BBT se ha considerado los siguientes costos para el suministro e instalación de iluminación interior y exterior el cual está de forma detallada en el Anexo 26.

DE-PA-04 Iluminacion BBTs interiores y exteriores		
RESUMEN		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		243,20
MATERIALES		7.010,98
CONSUMIBLES		170,00
MANO DE OBRA	Horas-hombre: 384	5.824,00
SUBTOTAL		13.248,18
GASTOS GENERALES	5,0%	662,41
UTILIDAD	5,0%	662,41
TOTAL		14.573,00

Tabla 4-30 Resumen de costos de iluminación de BBTs interiores y exteriores

4.11.6 Costos de automatización y puesta en servicio

En la automatización de los 3 tanques de BBT se ha considerado los siguientes costos para la automatización y puesta en servicio el cual está de forma detallada en el Anexo 27.

DE-PA-05		Automatización y Puesta en Servicio
RESUMEN		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		0,00
MATERIALES		18.000,00
CONSUMIBLES		0,00
MANO DE OBRA	Horas-hombre: 0	0,00
SUBTOTAL		18.000,00
GASTOS GENERALES	6,0%	1.080,00
UTILIDAD	6,0%	1.080,00
TOTAL		20.160,00

Tabla 4-31 Resumen de costos de automatización y puesta en servicio

4.11.7 Resumen de Costos

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los costos para la implementación del proyecto.

PROYECTO: INSTALACION ELECTRICA Y AUTOMATIZACION TANQUES BBT PLANTA: BACKUS MOTUPE				
It.	Cod. EDT	Descripción Entregable		Cotizado
1	DE-PA-01	Suministro y conexión de transmisores y sensores para 3 BBT	S/.	93.134,24
2	DE-PA-02	Suministro y tendido de cables de fuerza y control	S/.	35.171,02
3	DE-PA-03	Montaje de tableros de fuerza y control	S/.	47.382,54
4	DE-PA-04	Iluminación BBTs interiores y exteriores	S/.	14.573,00
5	DE-PA-05	Automatización y Puesta en Servicio	S/.	20.160,00
Total (incl. GG+Util.)			S/.	210.420,80
Plazo: Ejecución				45 días

Tabla 4-32 Resumen de Costos

5 SIMULACION DE LA AUTOMATIZACION

5.1 Diseño de la Simulación

En el sistema de monitoreo del proceso de llenado de tanques y envío de cerveza a envasado se podrá visualizar las variables del proceso y controlar los volúmenes de producción.

El sistema de monitoreo y supervisión, se ha dividido en 2 partes las cuales se detallan a continuación:

5.1.1 Sistema de Monitoreo

Se han utilizado herramientas para la correcta supervisión de nivel, presión y flujo en el proceso de traslado de cerveza; el sistema debe ser capaz de mostrar los valores actuales de dichas variables mediante herramientas de visualización en tiempo real.

5.1.2 Sistema de Control

Se han utilizado herramientas del programa (Intouch) para poder insertar los datos de setpoints de las distintas variables que intervienen en el proceso además de los pulsadores y botones que permiten una rápida acción.

La secuencia de arranque y parada del proceso se debe mostrar de manera simplificada y visualmente se debe observar cómo cambian los atributos de los dispositivos para indicar el estado de la secuencia de operación.

5.2 Softwares utilizados en simulación

Para la simulación se ha utilizado los siguientes softwares:

5.2.1 Rs Logix 500

Software destinado a la creación de los programas de la autómatas en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógica de escalera (*Ladder*). Incluye editor de *Ladder* y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras

opciones. Este producto se ha desarrollado para funcionar en los sistemas operativos Windows (Automation).

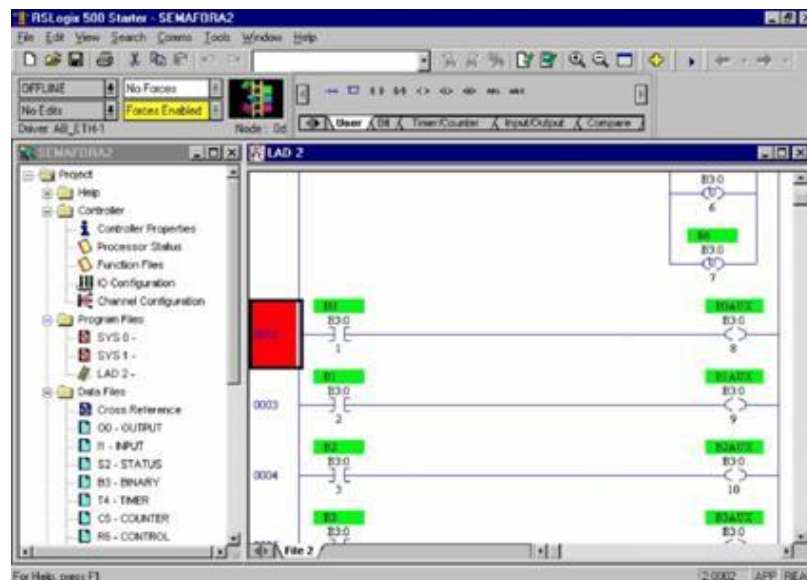


Figura 5-1 Ventana Rs Logix 500

5.2.2 Rs Linx

Es una solución completa para comunicaciones industriales que permite que el controlador programable Allen-Bradley acceda a una amplia variedad de aplicaciones de Rockwell Software y Allen-Bradley. Entre estas aplicaciones se incluyen desde aplicaciones de configuración y programación tales como RSLogix y RSNetWorx hasta aplicaciones HMI (interfaz operador-máquina) como RSView32 (Automation, Literatura Rockwell).

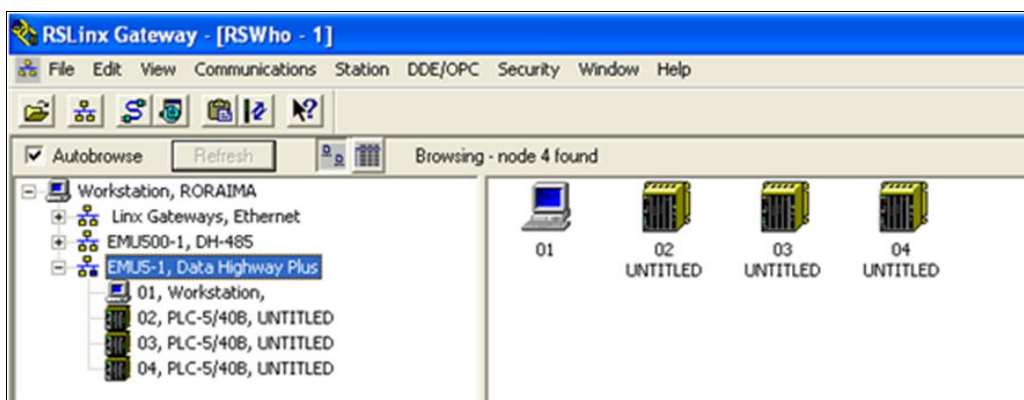


Figura 5-2 Ventana RsLinx

5.2.3 RsLogix Emulate

Basado en paquetes de software que permite emular a uno o varios PLC- 5® o SLC 500. Determina que programa de PLC- 5 / SLC 500 desea ejecutar y RSLogix Emulate escanea la lógica de escalera como un real del procesador. RSLogix Emulate se utiliza para la prueba y la depuración programas de lógica de escalera antes de la puesta en servicio y puesta en marcha.

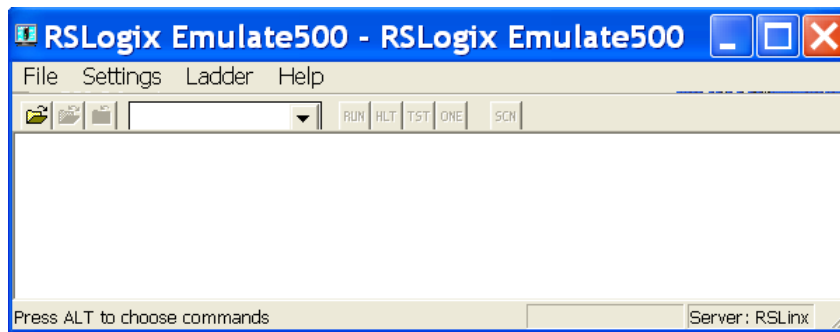


Figura 5-3 Ventana RsLogix Emulate

5.2.4 Rslogix OPC

OPC u OLE for Process Control (OLE para control de procesos) es un estándar de comunicación basado en la tecnología OLE de Microsoft que ha sido desarrollado y optimizado por OPC Foundation, un grupo de compañías industriales y fabricantes al que pertenece Rockwell Automation. El objetivo de esta agrupación es proporcionar un mecanismo de intercambio industrial estándar entre los dispositivos de la planta y las aplicaciones cliente. RSLinx Classic es un servidor compatible con OPC que cuenta con las interfaces necesarias para que una aplicación cliente OPC pueda acceder a los mismos datos que otros servidores compatibles con OPC. La ventaja adicional que ofrece RSLinx Classic es que no sólo proporciona OPC, sino también varios formatos DDE (Automation, Literatura Rockwell).

ItemID	Sub Value	Sub Quality	Sub Updates	Update Rate	Run. Avg
[FluidSim]Program:MainProgram.Detector_A_mas	0	Good	3	0	0.002104
[FluidSim]Program:MainProgram.Detector_A_menos	0	Good	3	0	0.002104
[FluidSim]Program:MainProgram.Electrovalvula_Cil_A	0	Good	9	0	0.006312
[FluidSim]Program:MainProgram.Pulsador_Marcha	0	Good	5	0	0.003507

Figura 5-4 Venta de Rslogix OPC

5.2.5 SCADA Intouch

Para el caso del presente proyecto de tesis, la plataforma de desarrollo que vamos a usar para el sistema de monitoreo es INTOUCH; las razones por las cuales se tomó la decisión de usarlo fueron varias, entre otras que ya nos encontrábamos familiarizados con esta aplicación debido a que durante nuestra etapa universitaria lo usamos en una gran variedad de proyectos de automatización, pero el principal motivo de esta elección fue debido a que en las diferentes empresas utilizan este programa para monitoreo de los procesos, además por cuestión de adquisición de licencias en su costo y disponibilidad se procedió a utilizar esta herramienta.

El software ofrece funciones de visualización gráfica que llevan sus capacidades de gestión de operaciones, control y optimización a un nivel completamente nuevo. Aquello que ahora se conoce en la industria como HMI (Human Machine Interface) comenzó hace más de veinte años con el software InTouch. Actualmente tiene sistemas basados en estándares que permiten incrementar al máximo la productividad, optimizar la efectividad del usuario, mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento (Wonderware Spain)

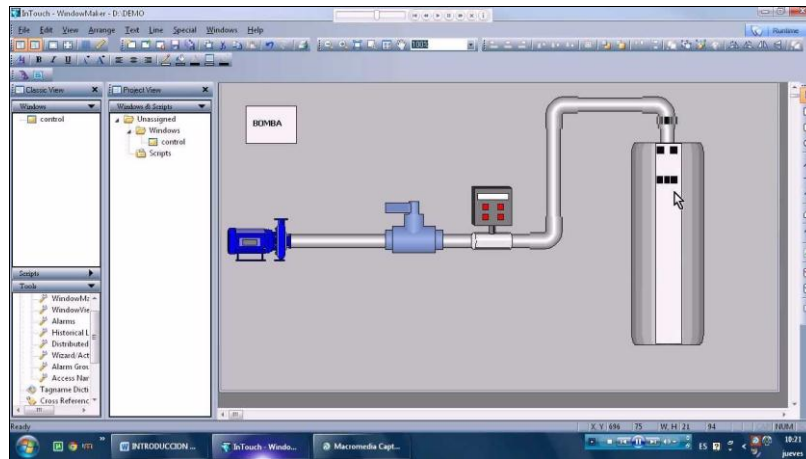


Figura 5-5 Ventana de Intouch

5.3 Implementación de Simulación

Para poder desarrollar la simulación del proyecto se debe desarrollar 3 etapas las cuales son:

5.3.1 Programación de PLC

En la programación del PLC (Anexo 28) se tuvo en consideración de lo siguiente:

- Solo se debe ejecutar un proceso a la vez (limpieza de línea, llenado de tanques y envío a envasado) por la cual se han programado los enclaves necesarios para que se realice un proceso seguro.

ENTRADA PLC	SIMBOLO	DESCRIPCION
I:0/0	ZS_FV_LIN_CIP	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE LINEA DE CIP
I:0/1	ZS_FV_TQ_CIP	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE TANQUE DE CIP
I:0/2	CONF_BOMB_CIP	CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE VALVULA DE CIP
I:0/3	ZS_FV_LIN_CERV	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE LINEA DE LLENADO DE CERVEZA
I:0/4	ZS_FV_TQ_CERV	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE TANQUE DE CERVEZA
I:0/5	CONF_BOMB_CERV	CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE VALVULA DE ENCENDIDO DE BOMBA
I:0/6	LSL_TQ_CIP	SENSOR DE NIVEL BAJO DE TANQUE CIP
I:0/7	LSL_TQ_CERV	SENSOR DE NIVEL BAJO DE TANQUE DE CERVEZA
I:0/8	ZS_FV_TQ_GOB	CONFIRMACION DE APERTURA DE VAVULA DE TANQUE DE GOBIERNO
I:0/9	ZS_FV_LIN1	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE LINEA 1 ENVASADO
I:0/10	ZS_FV_LIN3	CONFIRMACION DE APERTURA DE VALVULA DE LINEA 3 ENVASADO
I:0/11	LSL_TQ_GOB	SENSOR DE NIVEL BAJO DE TANQUE DE GOBIERNO
I:0/12	LSH_TQ_GOBIERNO	SENSOR DE NIVEL ALTO DE TANQUE DE GOBIERNO

Tabla 5-1 Tabla de entradas digitales PLC

SALIDA PLC	SIMBOLO	DESCRIPCION
O:0/0	FV_LIN_CIP	APERTURA DE VAVLULA DE LINEA DE CIP
O:0/1	FV_TQ_CIP	APERTURA DE VALVULA DE TANQUE DE CIP
O:0/2	BOMB_CIP	ENCENDIDO DE BOMBA CIP
O:0/3	FV_LIN_CERV	APERTURA DE VALVULA DE LINEA DE CERVEZA
O:0/4	FV_TQ_CERV	APERTURA DE VALVULA DE TANQUE DE CERVEZA
O:0/5	BOMB_CERV	ENCENDIDO DE BOMBA DE CERVEZA
O:0/6	FV_TQ_GOB	APERTURA DE VALVULA DE TANQUE DE GOBIERNO
O:0/7	FV_LIN1	APERTURA DE VALVULA LINEA 1
O:0/8	FV_LIN3	APERTURA DE VALVULA LINEA 3
O:0/9	BOMB_GOB	ENCENDIDO DE BOMBA DE GOBIERNO

Tabla 5-2 Tabla de salidas digitales PLC

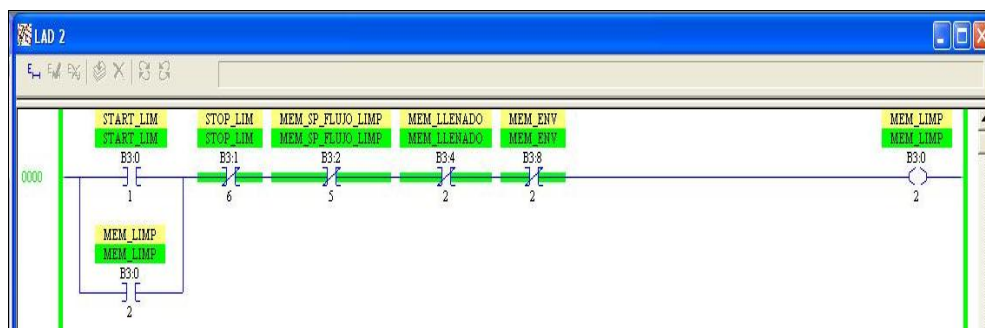


Figura 5-6 Enclave de inicio de limpieza de línea

- Se utilizó temporizador para la apertura de válvulas y el arranque de las bombas de línea con la finalidad de no presentar problemas como descebados y sobrepresión en la línea.

TIMER PLC	SIMBOLO	DESCRIPCION
T:4.0	INICIO_LIMP	TIEMPO PARA INICIO DE LIMPIEZA
T:4.1	TIMER_FV_LIN_CIP	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA LINEA CIP
T:4.2	TIME_FV_TQ_CIP	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA TANQUE CIP
T:4.3	INICIO_LLENADO	TIEMPO PARA INICIO DE LLENADO
T:4.4	TIME_FV_LIN_CERV	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA LINEA CERVEZA
T:4.5	TIME_FV_TQ_CERV	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA DE TANQUE CERVEZA
T:4.6	INICIO_ENV	TIEMPO PARA INICIO DE ENVIO A ENVASADO
T:4.7	TIME_FV_TQ_GOB	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA DE TANQUE GOBIERNO
T:4.8	TIME_FV_LIN1	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA LINEA 1
T:4.9	TIME_FV_LIN3	TIEMPO PARA APERTURA DE VALVULA LINEA 3

Tabla 5-3 Tabla de timer PLC

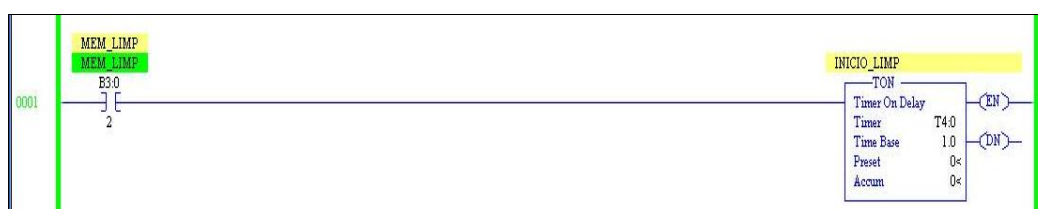


Figura 5-7 Uso de temporizador

- Para poder mantener una presión constante tanto en el proceso de limpieza y envío envasado se ha programado un PID, la cual hace que ante cualquier perturbación en el sistema esté pueda ser compensado.

ENTRADA PLC	SIMBOLO	DESCRIPCION
I:1.0	PRESION_CIP	TRANSMISOR DE PRESION DE LINEA DE CIP
I:1.1	PRESION_CERV	TRANSMISOR DE PRESION DE LINEA DE CERVEZA
I:1.2	PRESION_CERV_ENV_LIN1	TRANSMISOR DE PRESION DE ENVIO LINEA 1
I:1.3	PRESION_CERV_ENV_LIN3	TRANSMISOR DE PRESION DE ENVIO LINEA 3
I:1.4	FLUJO_CIP	TRANSMISOR DE FLUJO DE CIP
I:1.5	FLUJO_CERV	TRANSMISOR DE FLUJO DE CERVEZA
I:1.6	FLUJO_CERV_ENV_LIN1	TRANSMISOR DE FLUJO DE LINEA 1
I:1.7	FLUJO_CERV_ENV_LIN3	TRANSMISOR DE FLUJO DE LINEA 3

Tabla 5-4 Tabla de entradas analógicas PLC

SALIDA PLC	SIMBOLO	DESCRIPCION
O:2.0	VELOCIDAD_BOMB_CIP	CONTROL DE VELOCIDAD BOMBA CIP
O:2.1	VELOCIDAD_BOMB_CERV	CONTROL DE VELOCIDAD BOMBA CERVEZA
O:2.2	VELOCIDAD_BOMB_ENV	CONTROL DE VELOCIDAD BOMBA ENVASADO

Tabla 5-5 Tabla de salidas analógicas PLC

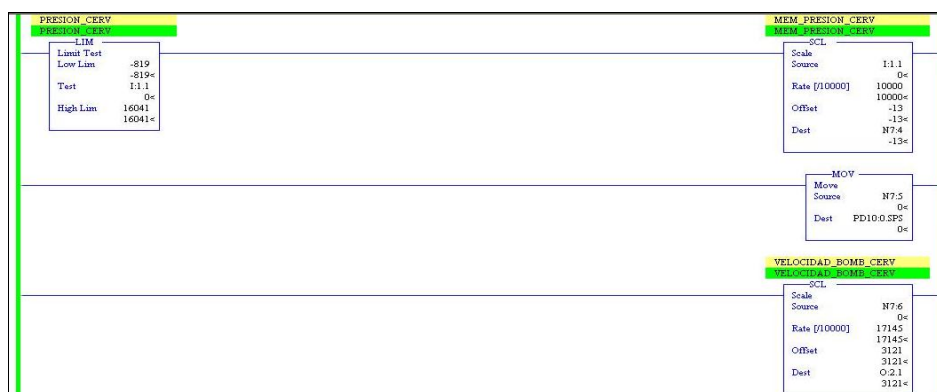


Figura 5-8 Programación de PID

5.3.2 Comunicación industrial

Para poder realizar la comunicación entre el PLC y SCADA, teniendo en cuenta que es una simulación y no se cuenta con un PLC en físico se realizó lo siguiente:

- Se utilizó el RsLogix Emulate 500 para poder simular la funcionalidad de un PLC con todas sus entradas, salidas y memorias.



Figura 5-9 Ejecución de RsLogix Emulate

- Se creó una red a través del RsLinx para poder realizar la transferencia de datos entre el PLC y SCADA.

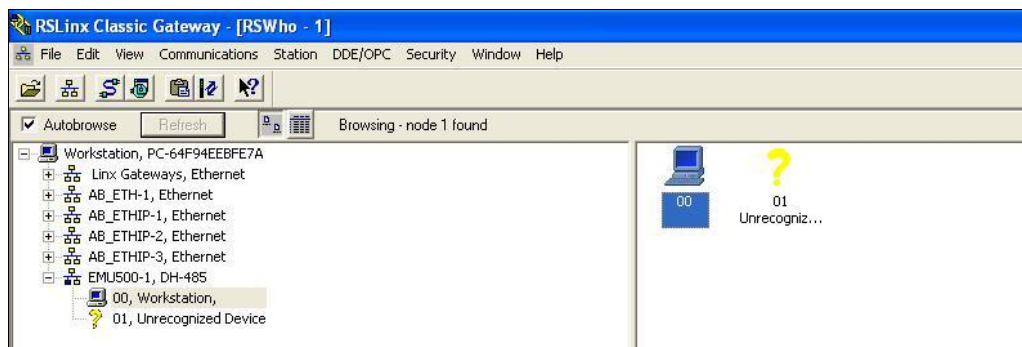


Figura 5-10 Ejecución de RsLinx

- Se utilizó el RsLogix OPC para el intercambio de información entre las señales de campo, PLC y SCADA.

ItemID	Sub Value	Sub Quality	Sub Updates	Update Rate	Run. Avg
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_ZS_IND_FV_TQ_GOB	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]ERROR_OPEN_FV_TQ_GOB	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_MAN_SCD_FV_L1	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_ENV_LIN1	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_ENV_LIN3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_MN_SCD_OPN_FV_L1	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_MN_SCD_CLO_FV_L1	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_AUT_SCD_FV_L3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_OPEN_FV_L3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_OPEN_FV_L3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_MAN_SCD_FV_L3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_MN_SCD_OPN_FV_L3	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]MEM_ZS_IND_FV_TQ_GOB	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]ERROR_OPEN_FV_TQ_GOB	0	Good	1	0	0.012151
[TESIS_SIM_FINAL]M_AUTO_SCD_FV_L1	0	Good	1	0	0.012151

Figura 5-11 Ejecución de RsLogix OPC

5.3.3 SCADA

El SCADA del proyecto se desarrolló en Intouch. En esta etapa se grafican, leen y escriben datos del PLC. El diseño y las herramientas utilizadas en el SCADA dependen del desarrollador y la necesidad del usuario. Para poder desarrollar el siguiente SCADA se realizó lo siguiente:

- Se crearon 28 ventanas en las cuales se encuentran las de ejecución del proceso y visualización de variables



Figura 5-12 Ventanas de SCADA

- Se graficó el proceso con los actuadores, sensores y tanques que intervienen en el proceso así como las líneas por donde se transporta el producto.

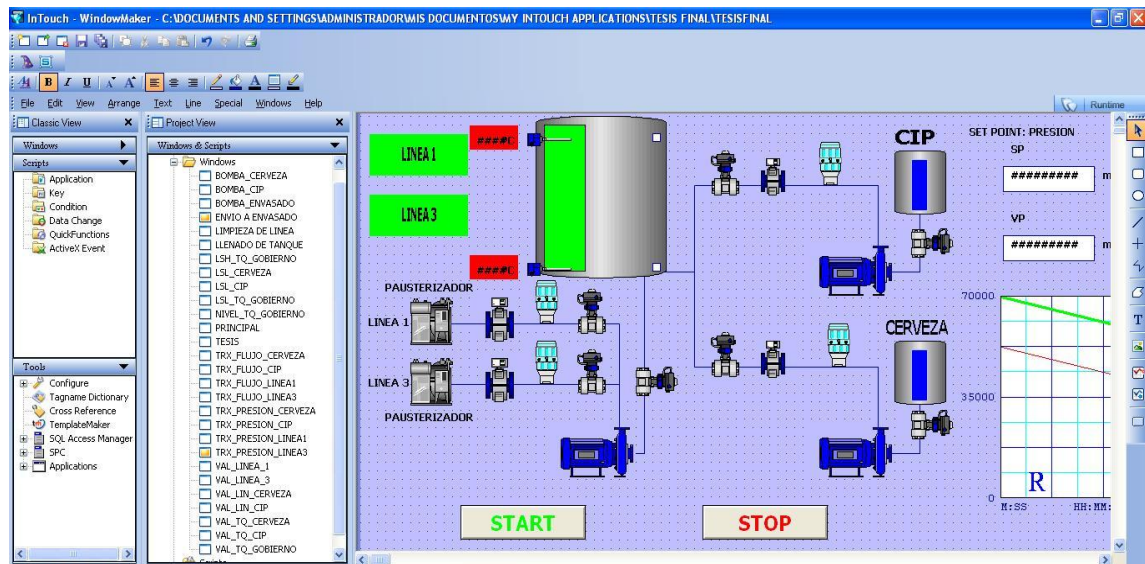


Figura 5-13 Diseño de SCADA

- Se utilizó la herramienta de visualización en tiempo real para poder monitorear las variables críticas del proceso.

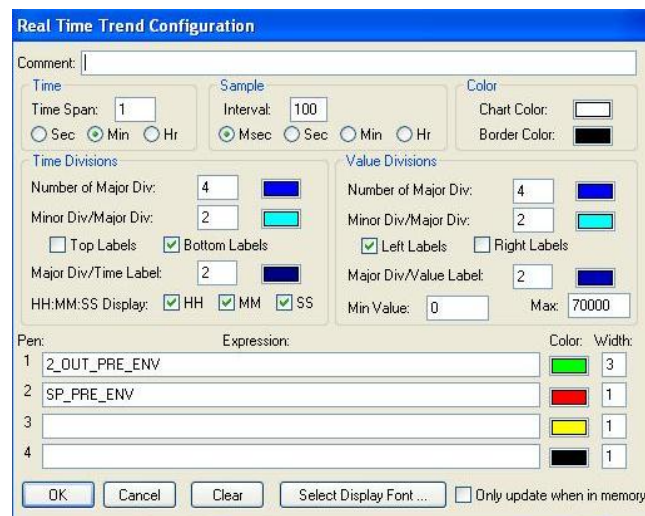


Figura 5-14 Herramienta en tiempo real SCADA

- Para el ingreso del setpoints de la presión de trabajo tanto para la limpieza de línea como para el envío a envasado se utiliza se utiliza la herramienta keypad.

Current Value: 0

Minimum Value: 0

Maximum Value: 60000

New Value: 50000

7 8 9 <...

4 5 6

1 2 3

. 0 .

OK Cancel

Figura 5-15 Herramienta de keypad en SCADA

Proceso inicial de limpieza de los BBT con CIP, donde se inyecta CIP a una presión constante hasta cierta cantidad de volumen el cual se esparce con una bola rociadora en la parte superior del tanque. La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

- Ingresar la presión de limpieza y volumen de CIP a inyectar.
- Inicio de proceso presionando START.
- Apertura de válvulas y encendido de bomba.
- Variable de proceso en valores requeridos.
- Cierre de válvulas y apagado de bomba.

La implementación del SCADA está dividido en 3 procesos:

5.3.3.1 Limpieza de Línea

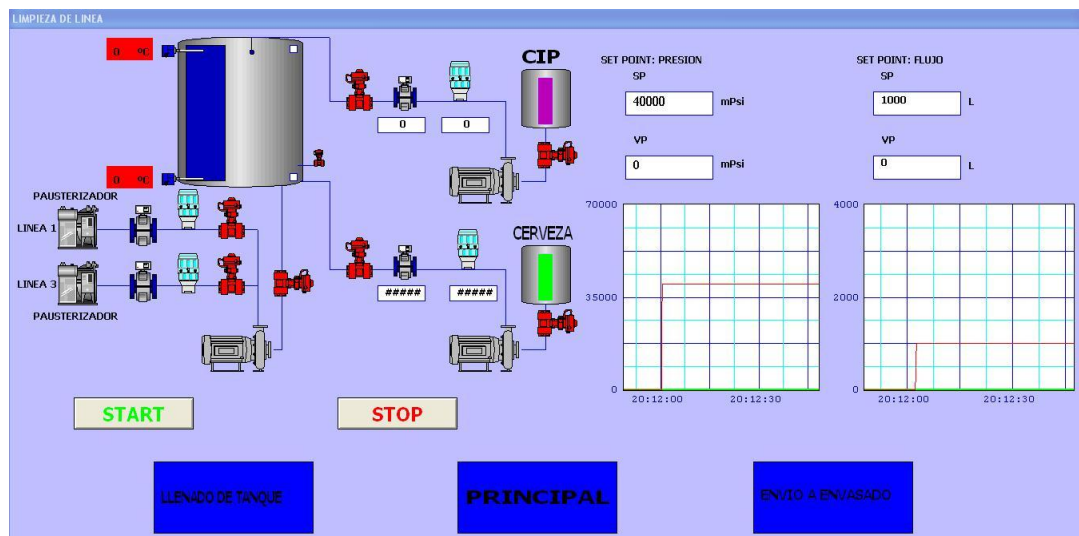


Figura 5-16 SCADA Limpieza de línea

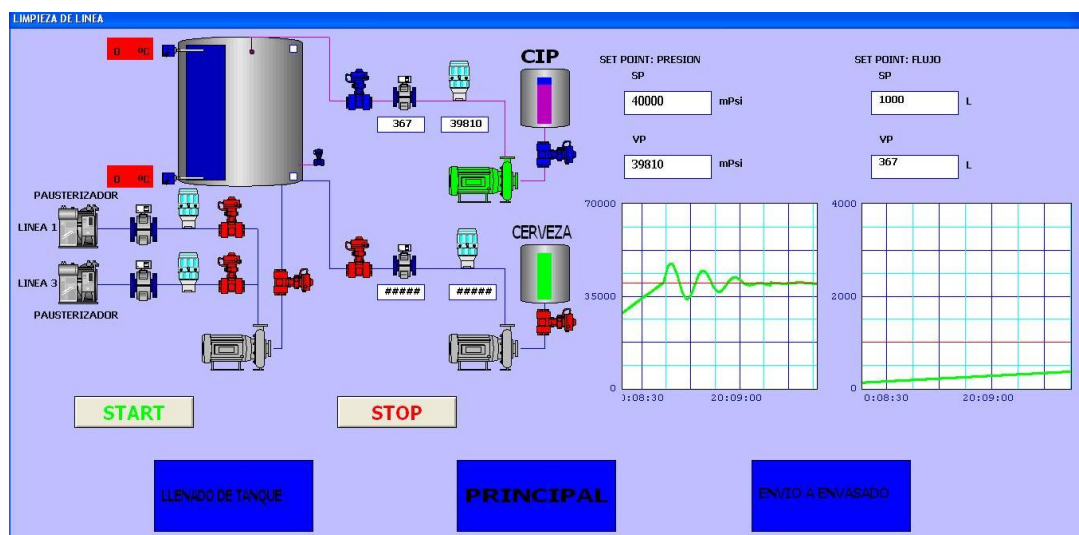


Figura 5-17 SCADA Limpieza de línea operando

5.3.3.2 Llenado de Tanques

Proceso en el cual se llena los BBT con cerveza que proviene de filtración, en este proceso se monitorea la cantidad de cerveza enviada así como la presión de la línea.

- Ingresar la cantidad de cerveza a enviar y la presión de envío.
- Inicio de proceso presionando START.

- Apertura de válvulas y encendido de bomba.
- Llega al nivel requerido.
- Cierre de válvulas y apagado de bomba.

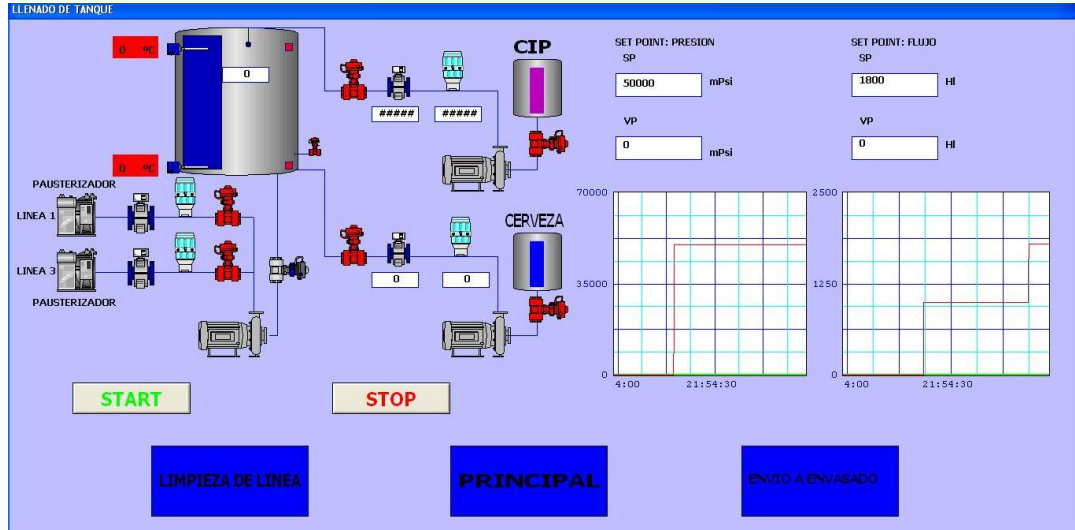


Figura 5-18 SCADA Llenado de Tanque

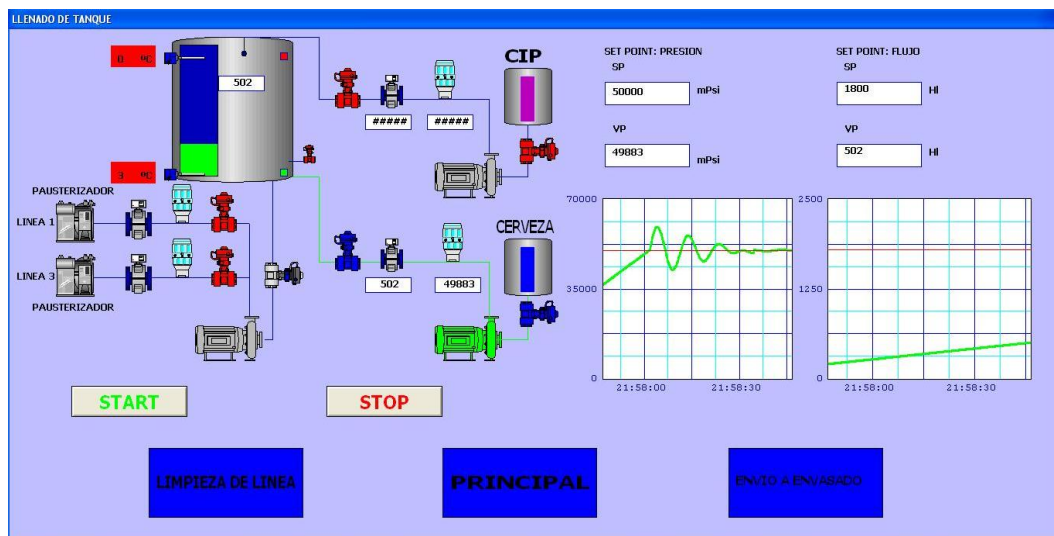


Figura 5-19 SCADA Llenado de Tanque en operación

5.3.3.3 Envío a envasado

Proceso en el cual se envía cerveza de los BBT hacia envasado Línea 1 y Línea 3, en este proceso se monitorea la cantidad de cerveza enviada así como la presión de la línea la cual debe mantenerse durante todo el envío para asegurar la continuidad del proceso.

- Ingresar la cantidad de cerveza a enviar y la presión de envío.
- Selecciona la línea a donde se va enviar cerveza.
- Inicio de proceso presionando START.
- Apertura de válvulas y encendido de bomba.
- Llega a la cantidad requerida.
- Cierre de válvulas y apagado de bomba.

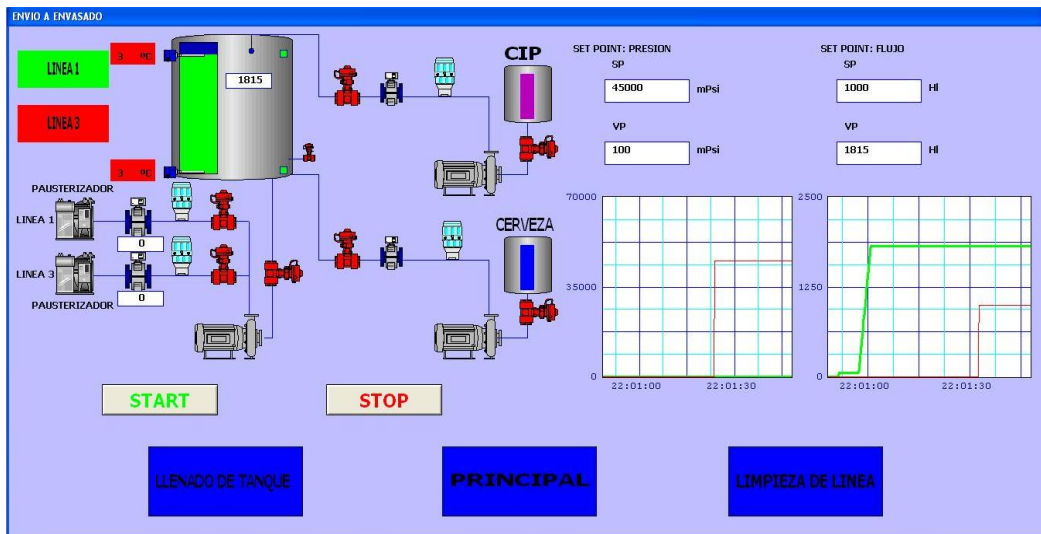


Figura 5-20 Configuración para Línea 1

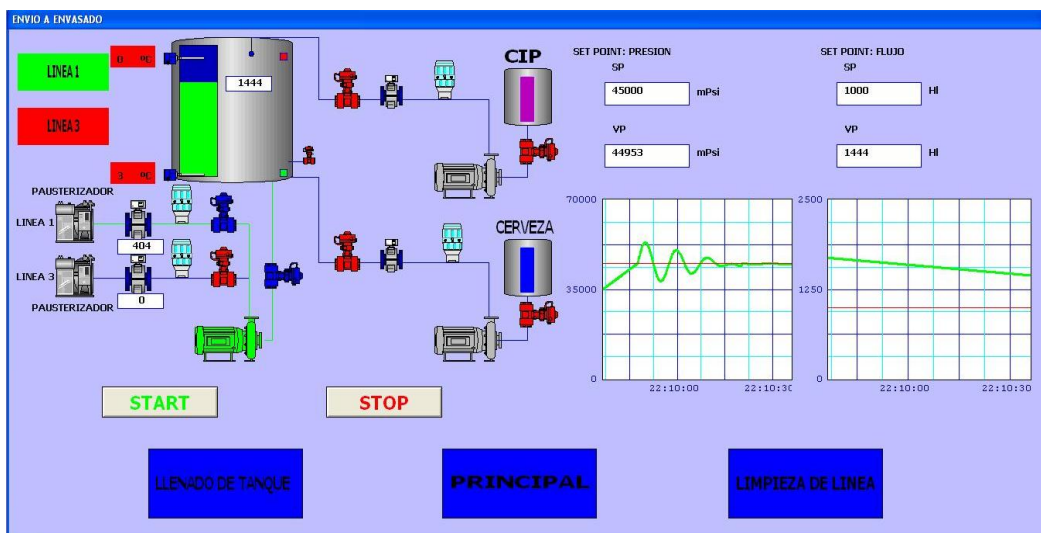


Figura 5-21 Envío hacia línea 1

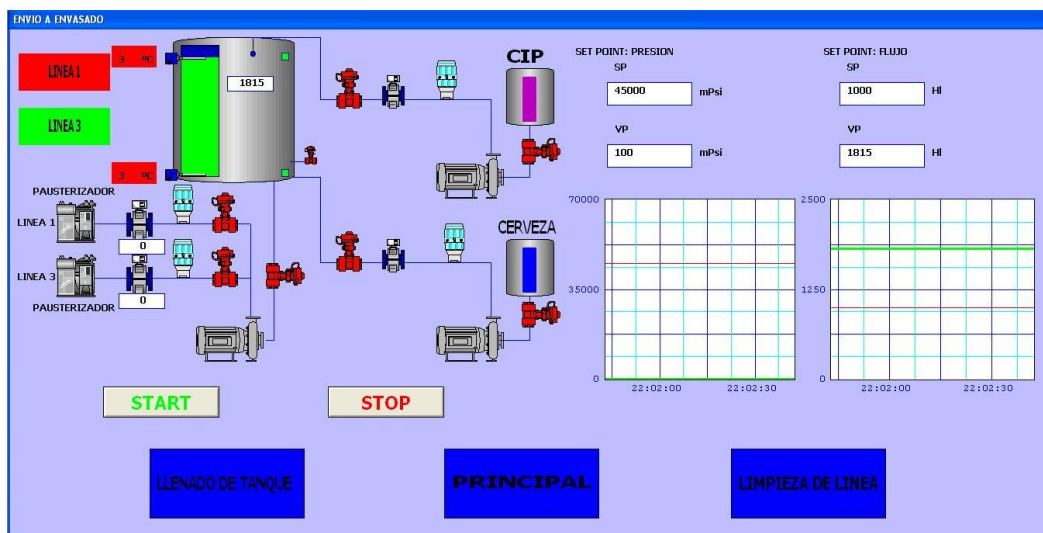


Figura 5-22 Configuración para Línea 3

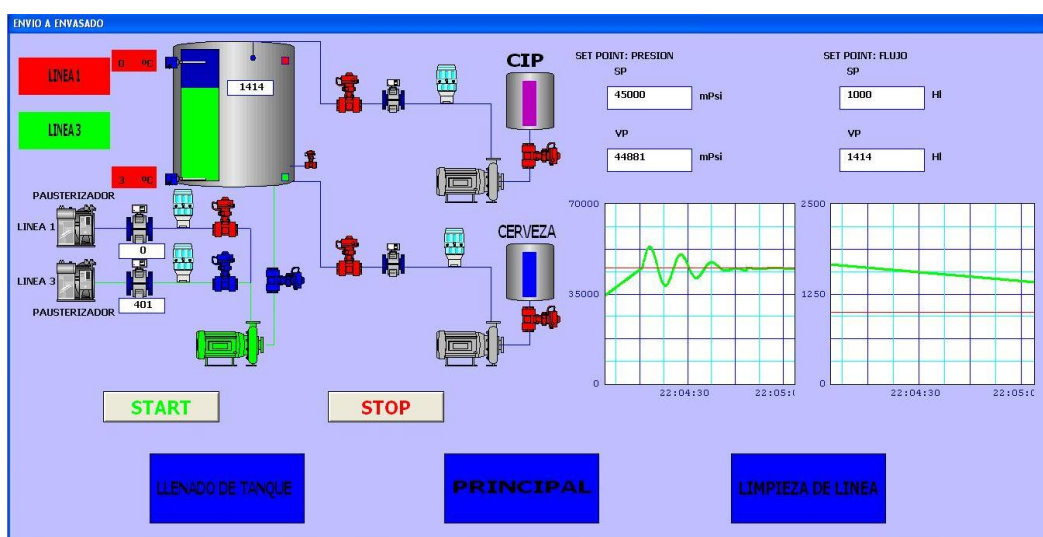


Figura 5-23 Envío hacia línea 3

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En el presente proyecto se diseñó un sistema automático de control, el cual al ser implementado va a permitir simplificar las operaciones manuales y también una respuesta eficaz del sistema de tanques de almacenamiento. Asimismo, el diseño planteado brindara una mayor información acerca de los parámetros físicos y facilidad para la identificación de los mismos, mediante gráficos (SCADA) de los elementos y variables de control, para las personas encargadas de la operación.
- El diagnóstico de los procesos hizo posible tener clara la problemática existente en las operaciones tanto de almacenamiento como de limpieza, para poder establecer las premisas de diseño.
- Las premisas de diseño nos han permitido identificar las variables de control y los instrumentos y actuadores necesarios para llevar a cabo el proceso de automatización.
- La simulación nos ha permitido observar el comportamiento de las variables de control, como son el nivel en los tanques de almacenamiento, presión de envío de cerveza al área de envasado, presión del sistema de limpieza de tanques (CIP) y control de velocidad (variadores de frecuencia) de bombas de envío de cerveza y bombas del sistema de limpieza.

6.2 Recomendaciones

- El desarrollo de nuevas tecnologías para el control y automatización nos brindan equipos de instrumentación más robustos a nivel industrial y con una mejor precisión en el control y tiempos de respuesta, por tanto, se debe evaluar

el costo beneficio de la implementación en un futuro proyecto de ampliación (nuevos tanques de gobierno y nueva línea de envasado).

- En una futura implementación se debe considerar el uso de motores IE4 (IEC 60034-2-1:2007), por sus prestaciones de alta eficiencia y su menor consumo de energía en comparación con los motores eléctricos estándar IE1.
- En el desarrollo de los proyectos para la industria cervecera se debe contemplar que toda la instrumentación cumpla con las normas sanitarias EHEDG (EUROPEAN HYGIENIC Engineering&Design GROUP) y FDA (Food and Drug Administration) para conservar la inocuidad de los procesos.

7 BIBLIOGRAFIA

- Acedo Sánchez, J. (2006). *Instrumentación y Control Básico de Procesos*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A. .
- Aguiar, I. (2006). *Finanzas corporativas en la práctica*. Madrid, España: Delta.
- Automation, R. (s.f.). Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/products/rslogix500.page>
- Automation, R. (s.f.). *Literatura Rockwell*. Recuperado el 2016 de Junio, de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001_-es-e.pdf
- Bombas Zeda. (s.f.). <http://www.bombaszeda.com/Espain/index.asp>. Recuperado el Junio de 2016, de http://www.bombaszeda.com/_upload/Departamento/1/Es_4Manometrica.pdf
- Callao, U. N. (s.f.). *Tableros Eléctricos - Universidad Nacional del Callao*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf
- Cañada Soriano, M., & Royo Pastor, R. (2016). *Termografía Infraroja. Nivel II*. Madrid, España: Fundación Confometal .
- Carbonel, A. (s.f.). *Visita a la Planta Backus S.A.A. - Monografías*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos93/empresa-backus/empresa-backus.shtml>
- Castro, A. (Julio de 2008). *Sensores utilizados en la Automatización Industrial*. Universidad Rodrigo Facio, Costa Rica.
- Ceper. (s.f.). *Cables de Baja Tensión - Ceper* . Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de <http://www.ceper.com.pe/pdf/114/cables-baja-tension.PDF>
- Cesca, R. (2016). *Control de Procesos - Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - San Miguel de Tucuman*. Recuperado el Junio de 2016, de <http://catedras.facet.unt.edu.ar/controldeprocesos/wp-content/uploads/sites/85/2016/02/Tp3a.pdf>
- Chaves, A. (Diciembre de 2008). *Sensores analógicos utilizados en la Automatización Industrial* . Universidad Rodrigo Facio, Costa Rica .
- Cordoba, U. d. (s.f.). Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t6.pdf>

- Cordoba, U. d. (s.f.). *Cálculo de Redes de Distribución y Conductores en BT* . Recuperado el 25 de Julio de 2016, de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t6.pdf>
- Córdoba, U. N. (s.f.). *Controlador Lógico Programable - Universidad Nacional de Córdoba*. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. Barcelona, España: Marcombo.
- Educación, P. (08 de Septiembre de 2010). <http://www.mailxmail.com/>. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-sistemas-control-conceptos-basicos/sistemasde-control-realimentados-2-2>
- Electric, S. (s.f.). *Catálogo Comercial - Schneider Electric* . Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de [Isdkjnaslkdnlsakdnlsa](#)
- Enriquez Harper, G. (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México: Limusa Noriega Editores .
- Enriquez Harper, G. (2006). *Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales*. México: LIMUSA.
- Fernandez, P. (s.f.). *Bombas Centrífugas y Volumétricas*. Universidad de Cantabria , España.
- Festo. (s.f.). *Electroválvulas Neumáticas - Festo*. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.festo.com/cms/es-pe_pe/9732_12139.htm
- Fidalgo, A. (2016). *Tecnología Industrial III*. Madrid, España: Paraninfo.
- García Gutiérrez , L. (s.f.). <http://aguas.igme.es/>. Recuperado el 20 de Julio de 2017, de http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf
- Gaviño, H. (2010). *Introducción a los sistemas de Control*. Mexico: Pearson.
- Gerdipac, I. (s.f.). *Bandejas Portacables - Gerdipac Industrial*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de <http://www.gerdipac.com.pe/DATOS%20TECNICOS%20BANDEJAS%20PORTACABLE.pdf>
- Graue, A. (2009). *Fundamentos de Economía*. Mexico: Pearson.
- Handtmann. (s.f.). *Válvulas Mariposas de Procesos - Handtmann*. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de <http://www.handtmann.de/ingenieria-de-plantas/robineterias/robineterias-deprocesos/valvulas-mariposas.html?L=3>
- Hidrostal. (s.f.). *Slideshare.net*. Recuperado el Junio de 2016, de <http://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169>
- Mandado, E., Marcos, J., & Fernández, C. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona, España: Marcombo.

- Manelsa, M. E. (s.f.). *Rigid Metal Conduit - Manelsa*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-8jA1pHYAhWMQyYKHciaADMQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fmanelsa.com.pe%2Fdocumentos%2F245%2Fdescargar&usg=AOvVaw2Xzka4igTDvOnVGlcKeOSw>
- Microautomation. (s.f.). *Microautomation*. Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderno*. Madrid, España: Pearson.
- Otegui, J., & Rubertis, E. (2008). *Cañerías y Recipientes de Presión*. Mar de Plata, Argentina: Eudem.
- Pachano, L., & Perez, F. (s.f.). Válvulas de Control. Universidad Nacional Experimental del Tachira, México.
- Promelsa. (s.f.). Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.promelsa.com.pe/tableros-distribucion.htm>
- Rittal. (s.f.). *Componentes Eléctrico - Rittal*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjABahUKEwjLh5ng6Y3JAhVL1CYKHcJtC4c&url=https%3A%2F%2Fwww.rittal.com%2Fimf%2Fnone%2F3_3216%2F&usg=AFQjCNETgBZGjBkdVvhonf_-d182FaEATA
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y Telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona, España: Marcombo.
- Saba, A. (2016). *Control de Procesos - Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - San Miguel de Tucuman*. Recuperado el Junio de 2016, de http://www.herrera.unt.edu.ar/controldeprocesos/tema_3/tp3c.pdf
- Siemens. (s.f.). *ETM Operating Instructions - Siemens*. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de <http://support.automation.siemens.com/>
- Tudela, C. E. (s.f.). *Centro Integrado Politécnico ETI*. Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/2profibus.pdf>
- Wonderware Spain. (s.f.). Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.wonderware.es/intouch-hmi-solutions/>
- Yusta Loyo, J., Dufo López, R., & Bernal Agustín, J. (2011). *Tecnología Eléctrica*. Zaragoza, España : UNE.

8 ANEXOS