

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA



Proyecto de Grado

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DE LA PURGA DE LEVADURA DE
CERVEZA**

POSTULANTE: UNIV. CARLOS DANIEL TANCARA FERNANDEZ

TUTOR: ING. FREDDY VALLE VELASQUEZ

LA PAZ – BOLIVIA

2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA.

Dedicado a mi querido padre Abdon

y mi querida hermana Zulma,

pilares fundamentales en mi vida.

Dedicado a mi madre Victoria y mi hermano Grover,

que desde cielo siempre están presentes,

acompañándome en todos los momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer a Dios ante todo por todas las oportunidades que he tenido.

A mi familia y amigos que siempre me han acompañado.

A la empresa Mather S.R.L por brindarme

la oportunidad de desarrollar este proyecto.

A mi tutor Ing. Freddy Valle por la asesoría y fe en mi proyecto.

Y a todos mis docentes a lo largo de mi vida universitaria,

por compartir sus conocimientos y experiencias.

RESUMEN

El presente proyecto surge a partir de un requerimiento realizado por una empresa cervecera ubicada en el departamento de Santa Cruz, en el requerimiento se especificaba la necesidad de automatizar una de sus procesos industriales, denominado purga de levadura de cerveza, el cual se lo realiza durante las etapas finales del proceso de fermentación.

Tomando en cuenta el requerimiento de la empresa cervecera, es que la empresa dedicada al rubro de máquinas y automatización de procesos industriales, MATHOR S.R.L, decide adjudicarse el proyecto y me brinda la oportunidad de diseñar el sistema de control para la automatización de la purga de levadura de cerveza y participar en la etapa de implementación en la planta de producción de cerveza.

El presente proyecto comprende el diseño e implementación del sistema de control, con una metodología y empleando un controlador lógico programable, para el cual se diseña un algoritmo con base en lógica digital según las necesidades de los componentes eléctricos y electrónicos, que se emplearon en la automatización.

El fin de la automatización fue reducir la cantidad de merma de producto que se purgaba, para lo cual se emplea un algoritmo de control de lazo cerrado con el fin de obtener precisión al momento de realizar la purga y por lo tanto reducir al mínimo la cantidad de pérdida.

Palabras clave: Purga de levadura de cerveza, automatización.

Índice general

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.1.1 Elaboración de la Cerveza.....	2
1.1.1.1 Materias primas.....	2
1.1.1.2 Producción de mosto.....	3
1.1.1.3 Fermentación.....	3
1.1.1.4 Procesos con la levadura.....	3
1.1.1.5 Maduración.....	3
1.1.1.6 Filtración.....	3
1.1.2 Levadura de Cerveza.....	4
1.1.3 Reutilización de la levadura de cerveza (<i>repitch</i>).....	4
1.1.3.1 Beneficios de la reutilización de la levadura de cerveza.....	4
1.2 SITUACIÓN ACTUAL.....	5
1.2.1 Tendencias tecnológicas en automatización industrial.....	5
1.2.2 PLC en la automatización industrial.....	5
1.2.3 Tecnología para tratamiento de líquidos en procesos de elaboración de cerveza.....	5
1.2.3.1 Conductividad para control de separación de medios.....	5
1.2.3.2 Tecnología para fermentación y maduración.....	6
1.2.4 Proyectos académicos relacionados.....	6
1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3.1 Bebidas Bolivianas S A.....	7
1.3.2 Proceso de purga de levadura de cerveza en la planta.....	8
1.3.3 Problemática.....	9
1.4 OBJETIVOS.....	9
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.6 ALCANCES Y LÍMITES.....	10
1.6.1 Alcances.....	10
1.6.2 Límites.....	10
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 AUTOMATIZACIÓN.....	11
2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	11
2.2.1 Estructura de un PLC.....	12

2.2.3 Programación PLC.....	12
2.2.3.1 Diagrama de funciones secuenciales (SFC).....	12
2.2.3.2 Diagrama de bloques de funciones (FBD).....	13
2.2.3.3 Diagrama de tipo escalera (LAD).....	14
2.2.3.4 Texto estructurado (ST).....	14
2.3 CONDUCTIVIDAD EN LÍQUIDOS.....	14
2.3.1 Medición de la conductividad.....	15
2.4 MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA.....	15
2.4.1 Velocidad de un motor AC.....	16
2.5 MÉTODO DE LIMPIEZA CIP (cleaning-in-place).....	16
2.5.1 Proceso CIP.....	17
2.5.2 Factores del proceso.....	17
2.6 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	18
Capítulo 3 DISEÑO DEL SISTEMA.....	20
3.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	20
3.1.1 Condiciones de funcionamiento.....	20
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	21
3.2.1 Principio de funcionamiento del sistema de purga.....	21
3.2.2 Diagrama del sistema de control.....	22
3.3 EQUIPOS QUE INTERVENDRÁN EN EL SISTEMA.....	23
3.4 DISEÑO DEL ALGORITMO DEL SISTEMA.....	26
3.4.1 Elección del PLC (controlador lógico programable).....	26
3.4.2 Justificación de la elección del PLC.....	26
3.4.3 Diagramas de flujo del algoritmo del sistema.....	26
3.4.3.1 Diagrama general del sistema.....	26
3.4.3.2 Inicialización de parámetros.....	27
3.4.3.3 Purga de levadura.....	27
3.4.3.4 Interfaz HMI.....	29
3.5 DISEÑO DEL PROGRAMA.....	29
3.5.1 Operación de arranque y paro.....	30
3.5.2 Parametrización de los valores de consistencia y conductividad.....	31
3.5.2.1 Bloques lógicos para la parametrización del valor de referencia.....	33
3.5.3 Parametrización de los valores obtenidos del sensor de conductividad.....	34
3.5.3.1 Determinación de límites en los parámetros para el sensor y controlador de conductividad.....	35

3.5.3.2	Determinación de los parámetros en el controlador del sensor de conductividad.	35
3.5.3.3	Bloques para leer la señal del sensor de conductividad.	36
3.5.3.4	Consideraciones en los parámetros de los bloques del PLC.	38
3.5.4	Parametrización de la salida del PLC al controlador de la bomba.	39
3.5.5	Interfaz hombre – máquina del sistema.	39
3.5.5.1	Diseño de la interface del Logo TDE.	40
3.5.5.2	Bloque lógico.	41
3.5.5.3	Valores de entradas analógicas para el multiplexador.	42
3.5.5.4	Interfaz visual del HMI.	43
3.5.5.5	Interfaz a mostrarse en el Logo TDE.	44
3.5.5.6	Modo de limpieza CIP.	45
3.5.6	Programa completo del sistema de control en el PLC.	46
3.5.7	Simulación del sistema en el PLC.	46
3.5.7.1	Simulación del funcionamiento del algoritmo.	46
Capítulo 4	IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.	49
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.	49
4.2	RESTRICCIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN.	49
4.3	ARMADO DEL TABLERO DE CONTROL.	49
4.4	COMPONENTES EN EL GABINETE DE CONTROL.	51
4.4.1	Características eléctricas de los componentes.	51
4.4.2	Configuración de las conexiones del PLC.	51
4.4.3	Configuración del variador de frecuencia.	52
4.4.4	Fuente de 24 V.	57
4.4.5	Controlador del sensor de conductividad.	57
4.5	PREPARACIÓN DEL SISTEMA.	58
4.5.1	Calibración del sensor de conductividad.	58
4.5.3	Posicionamiento del sensor de conductividad.	60
4.5.4	Montado de la bomba peristáltica y motor.	61
4.6	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	62
Capítulo 5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	65
5.1	CONCLUSIONES.	65
5.2	RECOMENDACIONES.	67
	Bibliografía.	68
	Glosario de términos.	70
	Acrónimos.	71

Índice de figuras.

Figura 1.1 Diagrama de los procesos de elaboración de cerveza.....	2
Figura 1.2 Reacción en el proceso de fermentación.....	3
Figura 1.3 Máquina llenadora de cerveza.....	6
Figura 1.4 Aplicación de sensores de conductividad.....	6
Figura 1.5 Empresa BBO Santa Cruz.....	8
Figura 1.6 Tanque de fermentación.....	8
Figura 2.1 Diagrama generalizado de un PLC.....	12
Figura 2.2 Extracto de un programa utilizando lenguaje SFC.....	13
Figura 2.3 Extracto de programa FBD.....	13
Figura 2.4 Extracto de programa realizado con lenguaje de tipo LAD.....	14
Figura 2.5 Extracto de programa de tipo SFC.....	14
Figura 2.6 Sistema de medida de conductividad.....	15
Figura 2.7 Representación de un motor AC.....	16
Figura 3.1 Diagrama general del funcionamiento del sistema.....	21
Figura 3.2 Diagrama de bloques del sistema de control.....	22
Figura 3.3 Bomba peristáltica.....	23
Figura 3.4 Sistema de medición de conductividad Smartec CLD132.....	24
Figura 3.5 Variador de frecuencia Danfos serie FC.....	25
Figura 3.6 PLC Siemens.....	25
Figura 3.7 Visor Logo TDE.....	25
Figura 3.8 Diagrama de flujo del sistema de purga.....	26
Figura 3.9 Inicialización de parámetros.....	27
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la purga.....	28
Figura 3.11 Bloques para el interfaz HMI.....	29
Figura 3.12 Circuito en bloques de las condiciones de arranque.....	30
Figura 3.13 Configuración del generador de impulsos.....	31
Figura 3.14 Curva para la consistencia en función de la conductividad.....	32
Figura 3.15 Curva para la conductividad en función de la consistencia.....	32
Figura 3.16 Bloques para la conversión de datos de referencia del HMI.....	33
Figura 3.17 Bloque de operación aritmética.....	33
Figura 3.18 Procesamiento de una magnitud física en el PLC Logo 8.....	38
Figura 3.19 Bloque de salida analógica conectado al comparador en el PLC.....	39
Figura 3.20 configuración de los valores de las salidas analógicas del PLC.....	39
Figura 3.21 Modelo para el HMI.....	40
Figura 3.22 Logo TDE display.....	40
Figura 3.23 Pasos para relacionar el HMI y los bloques del algoritmo.....	41
Figura 3.24 Bloque lógico en programa del PLC.....	41
Figura 3.25 Señales para el MUX en el PLC.....	42
Figura 3.26 Bloques para la programación del HMI.....	43
Figura 3.27 Bloque de retardo a la conexión.....	43
Figura 3.28 Programación de la interfaz en el HMI parámetros de purga.....	44
Figura 3.29 Fragmento para activar la salida manual del bloque de comparación.....	45
Figura 3.30 Conexión para la salida manual.....	45
Figura 3.31 Programa completo del sistema de control en el software Logo8 soft comfort.....	46
Figura 3.32 Simulación con referencia 1.....	47

Figura 3.33 Simulación con referencia 2.	47
Figura 3.34 Simulación con referencia 3.	48
Figura 3.35 Simulación con limpieza CIP.	48
Figura 4.1 Diagrama del tablero de control.	50
Figura 4.2 Tablero de control real.	50
Figura 4.3 Diagrama del PLC Logo 8.	52
Figura 4.4 Variador de Frecuencia Danfos FC51.	53
Figura 4.5 Todas las conexiones del Variador de frecuencia.	53
Figura 4.6 Pines de conexión del variador Danfos FC51.	54
Figura 4.7 Placa del motor para la bomba peristáltica.	55
Figura 4.8 Fuente de poder FInder 24V, 1,7 A.	57
Figura 4.9 Conexión del controlador del sensor de conductividad.	57
Figura 4.10 Pines de conexión del controlador del sensor de conductividad al descubierto.	58
Figura 4.11 Sensor de conductividad del sistema.	58
Figura 4.12 Certificado de manufactura del sensor de conductividad.	59
Figura 4.13 Controlador del sensor de conductividad en funcionamiento.	60
Figura 4.14 Posicionamiento del sensor de conductividad.	60
Figura 4.15 Posicionamiento del sensor según el manual de usuario.	60
Figura 4.16 Diagrama del montado del Sistema.	61
Figura 4.17 Montado del sistema en el carrito.	61
Figura 4.18 Sistema montado.	61
Figura 4.19 Verificación del funcionamiento del algoritmo en el PLC en el computador.	62
Figura 4.20 Llave de salida del tanque de fermentación conectado al sistema.	62
Figura 4.21 Interfaz HMI seleccionando la primera referencia en modo paro.	63
Figura 4.22 Interfaz HMI del sistema en modo marcha.	63
Figura 4.23 Abriendo válvula para expulsar la muestra de levadura.	63
Figura 5.1 Bloque relé autoenclavador.	72
Figura 5.2 Bloque generador de impulsos asíncronos.	72
Figura 5.3 Bloque multiplexor analógico.	73
Figura 5.4 Bloque de retardo a la conexión.	73
Figura 5.5 Bloques de Marcas.	74
Figura 5.6 Bloque instrucción aritmética.	75
Figura 5.7 Bloque texto de aviso.	76
Figura 5.8 Conexión eléctrica del CLD 134.	77
Figura 5.9 Conexión eléctrica del sensor de conductividad y la alimentación.	78
Figura 5.10 Pantalla del Smartec CLD 134.	78
Figura 5.11 Configuración para la calibración del sensor de conductividad.	79
Figura 5.12 Resolución de señales de salida del controlador del sensor.	79
Figura 5.13 Curvas características de la bomba peristáltica.	80
Figura 5.14 Pines de conexión del variador de frecuencia.	80
Figura 5.15 Pantalla del variador de frecuencia.	81
Figura 5.16 Rampas de aceleración del variador de frecuencia.	81
Figura 5.17 Configuración de la rampa de aceleración y desaceleración del variador de frecuencia.	82

Índice de tablas.

Tabla 1-1 Proyectos académicos relacionados.....	7
Tabla 3-1 Relación de valores de conductividad.	20
Tabla 3-2 Tabla de verdad para las condiciones de arranque.	30
Tabla 3-3 Valores de consistencia y conductividad para la regresión lineal.	31
Tabla 3-4 Configuración de fábrica del controlador de conductividad.....	35
Tabla 3-5 Fragmento de la configuración de parámetros de valores de conductividad.	36
Tabla 3-6 Bloques para la lectura del valor del sensor.	36
Tabla 3-7 Descripción de los pines del bloque de regulación.....	37
Tabla 3-8 Parámetros del bloque de comparación.	37
Tabla 3-9 Lista de funciones de los botones inferiores Logo TDE.....	40
Tabla 3-10 Tabla de verdad para generar señales de control en el multiplexador.	41
Tabla 4-1 Características eléctricas de los componentes.	51
Tabla 4-2 Conexiones del PLC.	52
Tabla 4-3 Configuración de la referencia de velocidad en el variador de frecuencia.	54
Tabla 4-4 Configuración de la referencia de Velocidad.	55
Tabla 4-5 Configuración corriente máxima.	55
Tabla 4-6 Configuración de la potencia del motor.....	56
Tabla 4-7 Configuración aceleración y desaceleración del motor en el variador.	56
Tabla 4-8 Parámetros de control del agua potable Bolivia.	59
Tabla 4-9 Datos de las pruebas de purga.	64

Anexos

ANEXO A. BLOQUES EMPLEADOS EN LA PROGRAMACIÓN DEL PLC.	72
A.1 bloques elementales (Software Logo soft comfort).	72
ANEXO B. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD SMARTEC CLD 134.	77
B.1 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.	77
B.2 PARÁMETROS PARA CALIBRACIÓN DEL SENSOR.	79
ANEXO C. BOMBA PERISTÁLTICA Y VARIADOR DE FRECUENCIA.	80
C.1 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PERISTÁLTICA F26740-ALH 25.	80
C.2. PINES DE CONEXIÓN VARIADOR DE FRECUENCIA DANFOS FC51.....	80
C.3 DISPLAY VARIADOR DANFOS FC 51.	81
C.4 RAMPA DE ACELERACIÓN DEL VARIADOR.....	81

Parte I: PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, la automatización de procesos industriales, se ha convertido en un común denominador en las industrias que tienen como fin mejorar su producción, en los aspectos de calidad, costo de producción y tiempos de producción.

La automatización es posible debido a la aplicación de componentes eléctricos-electrónicos en sistemas mecánicos y electromecánicos, y su uso se ha diversificado tanto, que existen varias empresas a nivel mundial dedicadas a crear estos componentes, con varias especificación y características para una diversidad de aplicaciones.

El auge de la automatización de procesos industriales ha alcanzado ya tanto países desarrollados como así también subdesarrollado. Bolivia no es la excepción, ya que en el país existen una gran diversidad de empresas dedicadas a la producción de alimentos, consumibles y combustibles, entre los más destacados.

Uno de los rubros destacados, en la industria boliviana, es el rubro de la producción de cerveza, tales son los casos de empresas Nacionales como: Cervecería Boliviana Nacional (CBN), Compañía Cervecera Boliviana S.A. (Auténtica), Cervecería Nacional Potosí Ltda. (CNP-Potosina), Bebidas Bolivianas BBO S.A. (Real), Sabores Bolivianos Alemanes S.R.L. (Prost), Sociedad Industrial del Sur S.A. (SIDS - Sureña), Minoil S.A. (Bendita) y Cervecería Corsa S.A. Cervecería Boliviana Nacional (CBN).

Muchas de estas plantas de producción cuentan con gran cantidad de equipos industriales, sistemas de control y procesos automatizados, pero mucha de esta tecnología es importada de otros países tales como Alemania, Estados Unidos, China, Japón y otros más. Sin embargo, en la actualidad existen empresas bolivianas dedicadas al rubro de la automatización de procesos industriales.

El presente proyecto toma el caso de una empresa cervecera que requiere una automatización en uno de sus procesos en la elaboración de cerveza, y mediante el desarrollo de este documento se pretende diseñar un sistema de control para la automatización de dicho proceso.

Este proceso se denomina, purga de la levadura de cerveza, el cual se lo realiza durante el proceso de fermentación del mosto.

1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 Elaboración de la Cerveza.

La elaboración de la cerveza consta de una serie de procesos químicos, físicos y biológicos. Cada uno de estos procesos puede apreciarse en el diagrama de la siguiente figura:

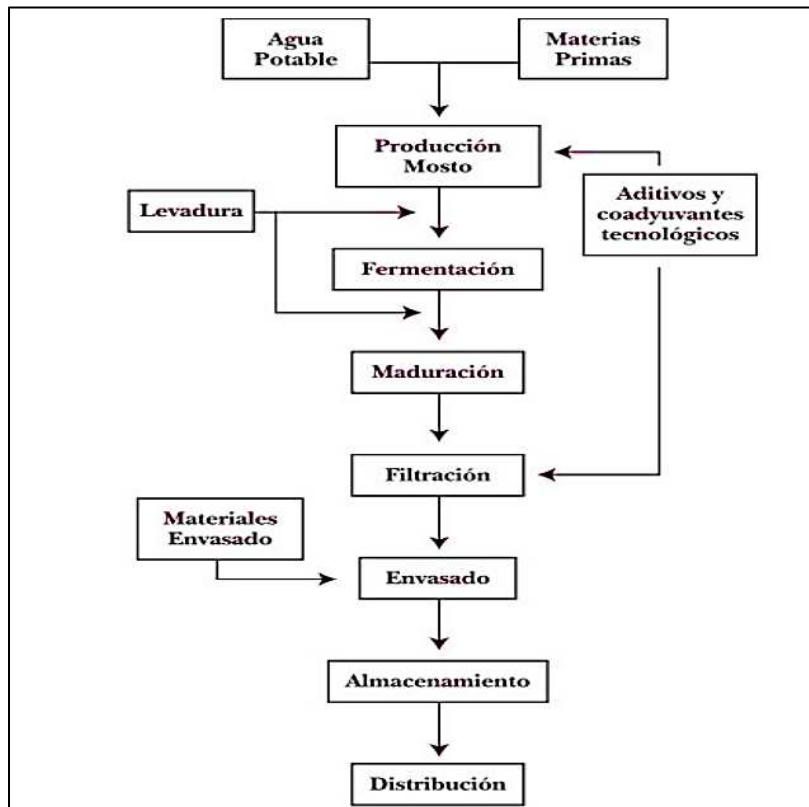


Figura 1.1 Diagrama de los procesos de elaboración de cerveza.

Fuente: Química orgánica [13].

Cada uno de los procesos involucrados en la elaboración de la cerveza, son de vital importancia para la calidad del producto. Sin embargo, el proceso de fermentación es uno de los procesos más importantes por el hecho de que la amargura y concentración de la cerveza depende principalmente de este proceso.

A continuación, se describen los procesos más importantes en la elaboración de la cerveza:

1.1.1.1 Materias primas.

La selección de materias primas es importante para la obtención de una cerveza de calidad y son las siguientes:

- Agua: Debe ser libre de olores y sabores inesperados.
- Cebada: Proporciona el sabor y el color, además de los azúcares necesarios para la fermentación y el cuerpo.
- Lúpulo: que se encarga de dar el amargor, aroma y apariencia física

- Levadura de cerveza: Se trata de un microorganismo no fotosintético, aerobio facultativo, relativamente sofisticado encargados de convertir el mosto en alcohol.

1.1.1.2 Producción de mosto.

La producción del mosto consiste en la extracción de líquido del proceso de remojo de malta durante el proceso de fabricación de la cerveza. Así también, este líquido se aromatiza con lúpulo para ser infusionado y posteriormente fermentado en las cubas.

1.1.1.3 Fermentación.

EL proceso de fermentación es clave en la fabricación de cerveza, ya que la composición de la cerveza terminada, depende de la preparación del mosto para una buena fermentación.

Al mosto enfriado se añade aproximadamente 1 libra de levadura líquida por barril (3,9 gramos por litro) lo que representa una inoculación de 8 a 10 millones de células de levadura por mililitro.

La fermentación proporciona simplemente la energía para la célula de levadura. El mecanismo real de la fermentación es complejo, la reacción total es:

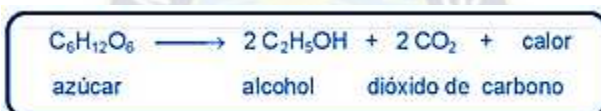


Figura 1.2 Reacción en el proceso de fermentación.

Fuente: Química orgánica [13].

1.1.1.4 Procesos con la levadura.

Existen dos procesos que involucran la manipulación de la levadura de cerveza. Estos procesos son:

- **Adición de levadura de cerveza para la fermentación.** Es el proceso en el cual se prepara en laboratorios, la levadura de cerveza mediante procedimientos químicos y físicos, luego de este tratamiento se procede a agregar la levadura al tanque de fermentación donde reposa el mosto.
- **Purga de levadura de cerveza durante las fases finales de la fermentación.** Es el proceso de extracción de la levadura del tanque de fermentación después del proceso de fermentado.

1.1.1.5 Maduración.

El proceso de maduración se lleva a cabo después de fermentada la cerveza, donde el líquido fermentado es almacenada en bodegas a una temperatura de 0°C, durante un lapso de tiempo variable. Al mantener constante esta temperatura se logra disolver el CO₂. Se filtra y se le da un segundo reposo quedando lista para su envasado y posteriormente pasteurización.

1.1.1.6 Filtración.

El proceso de filtración se lleva a cabo antes del embotellamiento, donde cerveza pasa por una filtración que elimina los últimos restos que puedan quedar de la fermentación y también los

restos de nitrógeno que durante el reposo han formado una especie de mucosa, lo que podría provocar más adelante que la cerveza saliera turbia, un efecto que no debe de ocurrir en las cervezas sin fermentación en botella.

1.1.2 Levadura de Cerveza.

Según Zambrano y Borbor (2014), “la levadura es un componente muy importante en el proceso cervecero porque es la responsable de convertir los azúcares en alcohol y además también influye en el perfil sensorial de la cerveza y la estabilidad de la misma. Debido a que la levadura es un hongo unicelular que produce enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono”. Razón por la cual, se podría concluir que la calidad de la levadura es muy importante para el proceso de fermentación y por ende la elaboración de la cerveza [18].

Existen dos tipos de levaduras principalmente para la elaboración de cerveza:

- “**Saccharomyces cerevisiae**, su uso por los humanos coincide prácticamente con el inicio de la civilización. Originalmente conocida como la levadura de pan, ha sido utilizada ampliamente para fermentar vino y cerveza desde tiempos de los sumerios. Este tipo de levadura tiene características que le permiten fermentar a mayores temperaturas, y de ahí se derivaron las cervezas tipo Ale. Por lo general, cervezas más complejas en cuanto a sabor y aroma” [1].
- “**Saccharomyces pastorianus**, es una especie de levadura que se originó como un híbrido de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y de la *Saccharomyces eubayanus*. Este tipo de levadura fue descubierta en 1883 por Emil Christian Hansen en la cervecera danesa Carlsberg, es por ello que también se la conoce como *Saccharomyces carlsbergensis*. Los derechos de la nueva levadura descubierta no se reservaron y, por el contrario, el propietario de Carlsberg, permitió su uso público. Las cervezas tipo *Lager* tienen las características de ser más refinadas y fáciles de tomar” [1].

1.1.3 Reutilización de la levadura de cerveza (*repitch*).

La reutilización de levadura procedente de un lote de cerveza ya fermentada es una práctica común en el sector cervecero. Esta técnica, bien usada, permite ahorrar mucho dinero disminuyendo el consumo de nuevas cepas de levadura y, por lo tanto, en la elaboración de cerveza.

Si se gestiona y se manipula con delicadeza y en condiciones óptimas de higiene, la levadura de cerveza, por lo general, puede ser reutilizada de 5 a 10 generaciones desde su cultivo inicial, en algunos casos el número de generaciones sanas es inferior por lo que esta técnica requiere realizar un recuento de células vivas [2].

1.1.3.1 Beneficios de la reutilización de la levadura de cerveza.

En la levadura nueva de compra, las células aún no han estado en un ambiente azucarado con mosto, por lo que se encuentra en una fase latente de crecimiento, necesitando ajustarse antes de empezar a trabajar y convertir los azúcares fermentables del mosto en alcohol y CO₂.

Es cierto que el “*Repitching*” requiere un recuento de células vivas para asegurar una siguiente fermentación óptima, pero por otro lado la levadura extraída no se encuentra en fase de latencia y ha pasado por el proceso de selección natural, lo que nos asegura que disponemos de las células de levadura más eficientes y saludables de la fermentación [2].

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

1.2.1 Tendencias tecnológicas en automatización industrial.

Los PLC (Controlador lógico programable) o autómatas programables son dispositivos electrónicos que permiten programar una lógica para controlar todo tipo de máquinas y procesos industriales. La gran ventaja de los PLCs a diferencia de las computadoras es la gran cantidad de entradas y salidas que pueden gestionar, así como su durabilidad y capacidad de funcionamiento en entornos agresivos para la electrónica. Los enormes avances de la industria moderna han disparado las numerosas aplicaciones de los PLCs en temas de automatización industrial.

1.2.2 PLC en la automatización industrial.

El PLC ha supuesto una gran revolución en la automatización industrial. Estos aparatos electrónicos, debido a su facilidad de programación, han terminado por ser clave en la modernización de las empresas. Los autómatas programables han ido sustituyendo desde los años 60, los antiguos sistemas de control basados en circuitos eléctricos, relés, interruptores y otros componentes eléctricos.

El uso del PLC abarca muchos flancos, desde aquellos de pequeña envergadura como dosificadores o montacargas, hasta complejos sistemas de control o líneas completas de producción. Su uso puede ser variado y en muchos campos, específicamente en el área industrial su uso es común principalmente en las áreas de:

- **Metalurgia:** control de hornos, fundiciones, laminado, grúas, forjas, soldadura, etc.
- **Alimentación:** empaquetado, envasado, almacenaje, llenado de botellas, embotellado, etc.
- **Madereras y papeleras:** serradoras, control de procesos, laminados, producción de conglomerados...
- **Producción de energía:** turbinas, transporte de combustibles, centrales eléctricas, energía solar...
- **Tráfico:** ferrocarriles, control y regulación del tráfico...
- **Domótica:** temperatura ambiente, sistemas anti robo, iluminación, etc.

1.2.3 Tecnología para tratamiento de líquidos en procesos de elaboración de cerveza.

1.2.3.1 Conductividad para control de separación de medios.

En algunos procesos en la industria de Alimentos y Bebidas, la conductividad es Medida para controlar la separación de dos líquidos con diferentes valores de conductividad. Un ejemplo es la medición de la conductividad de la cerveza y Agua en la máquina llenadora de cerveza.

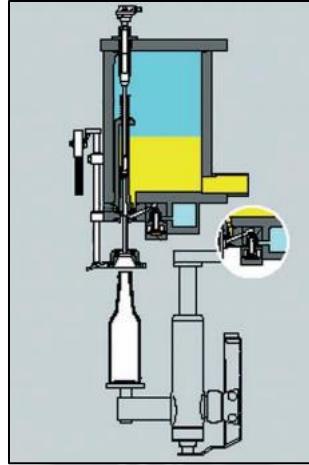


Figura 1.3 Máquina llenadora de cerveza.

Fuente: Mettler-Toledo solutions[14].

Mediante el uso de un sistema de medición de conductividad de control manual o automático. La separación de medios da como resultado una minimización de Pérdida de medios, menor coste laboral y mayor proceso de seguridad y fiabilidad.

1.2.3.2 Tecnología para fermentación y maduración.

La tecnología para la fermentación y maduración empleada en sectores industriales, consiste en un conjunto de equipos sanitarios que se encargan de contener y monitorear los procesos, principalmente se monitorea parámetros como consistencia, niveles de acidez o alcalinidad, temperatura y densidad.



Figura 1.4 Aplicación de sensores de conductividad.

Fuente: Beer_Processing_Solutions [15].

1.2.4 Proyectos académicos relacionados.

Los proyectos académicos relacionados con automatización industrial abarcan una infinidad de temas, debido a la gran variedad de procesos que existen en la industria en general, en la siguiente tabla se expondrá un título y resumen de algunos proyectos relacionados, que pueden ayudar como referencia para el desarrollo de este proyecto.

Proyecto	descripción
Proyecto de automatización de una cervecería artesanal [4].	El presente trabajo describe el diseño, desarrollo y puesta en marcha del prototipo de un proyecto electrónico. En este caso, se trata de un aparato capaz de controlar bombas, válvulas, motores, etc. que permitirán automatizar una planta productora de cerveza
Diseño de la automatización del proceso de fermentación en una cervecera artesanal [5].	Este trabajo, toma el tema de la fermentación como proceso a automatizar, tomando en cuenta el uso de equipo electrónicos industriales, tales como actuadores, plds y HMI.
Diseño de un sistema para la recuperación de cerveza residual y secado de la levadura sobrante [6].	El presente trabajo está dirigido al diseño de un sistema que permita recuperar la cerveza contenida en el desecho de la fermentación cervecera, conocido como lechada de levadura. Integrándose a éste, una etapa de secado en la que se remueva el contenido de humedad de la levadura resultante

Tabla 1-1 Proyectos académicos relacionados.

Fuente: *Elaboración propia.*

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La identificación del problema se da en base a un requerimiento de una máquina por parte de una empresa cervecera, en la que expresaba la necesidad de un sistema capaz de automatizar un proceso denominado: “Purga de levadura de cerveza”. Este requerimiento tenía ciertos márgenes de funcionamiento como precisión de la levadura extraída, medido en consistencia.

El requerimiento se hace llegar a una empresa en el rubro de la automatización industrial, donde el postulante del presente proyecto realizaba trabajos de pasantía. A partir de este requerimiento y con la asesoría de personal de la empresa de automatización, es que se plantea un sistema capaz de automatizar el proceso de la purga de la levadura de la cerveza. Donde el postulante estaría encargado de diseñar e implementar el sistema de control a nivel computacional, con los componentes electrónicos que intervendrían en la máquina.

1.3.1 Bebidas Bolivianas S A.

Bebidas Bolivianas fue fundada en el año 2009 por un grupo de inversionistas bolivianos que identificó que el mercado demandaba una cerveza nacional de muy buen sabor. Es así, que se da la oportunidad de iniciar el proyecto de cervezas, invirtiendo en una fábrica que consta de condiciones adecuadas para entregar cervezas de calidad, en instalaciones cómodas y de gran capacidad productiva. La fábrica se encuentra en el kilómetro 25 de la carretera a Warnes en el departamento de Santa Cruz. La planta Warnes tiene una capacidad de producción anual de 250

mil hectolitros y en ella se elabora y envasa los productos Cerveza Cordillera, Cerveza Real y Malta Real.



Figura 1.5 Empresa BBO Santa Cruz.

Fuente: Empresa Bebidas Bolivianas S. A [16].

1.3.2 Proceso de purga de levadura de cerveza en la planta.

Este proceso se encarga de extraer la levadura del fondo del tanque de fermentación similar al de la figura 1.6, después de cierto tiempo de reposo. El proceso de purga en la empresa cervecera BBO, se llevaba a cabo mediante temporización, es decir, que se extraía la levadura del fondo del tanque por tiempos, empleando una bomba eléctrica, con un controlador de la misma.



Figura 1.6 Tanque de fermentación

Fuente: Plevnik [17].

Este tipo de purga tenía como falencia según la misma empresa, el tiempo que se demoraba en realizar el proceso de purga, el personal que se necesitaba para el trabajo y sobre todo la cantidad de pérdidas de producto que producía este método.

1.3.3 Problemática.

Después de todo lo expuesto en el apartado anterior, se puede identificar los siguientes problemas:

- El proceso manual de purga de levadura de cerveza toma un tiempo determinado que puede retrasar la producción de cerveza en el momento de estimar la consistencia deseada.
- El proceso efectuado de forma manual produce gran cantidad de merma de líquido fermentado, lo cual conlleva a pérdidas económicas significativas.
- Para cada valor de consistencia deseado, el operador necesita un tiempo estimado de purga, por lo cual el operador necesita de una tabla de tiempos para cada valor de consistencia.
- El producto a purgar no siempre cuenta con los mismos valores de consistencia por diversos factores, por lo cual los tiempos de purga de manera manual requieren cierto tanteo para alcanzar los valores requeridos.

Adicionalmente se presentan desafíos académicos relacionados a la aplicación real de sistemas de control en el mundo de la industria, tomando en cuenta equipos de uso industrial, en este caso el PLC que es el equivalente del microcontrolador en el mundo industrial.

1.4 OBJETIVOS.

- Diseñar un sistema de control para automatizar el proceso de purga de levadura de cerveza en una empresa dedicada al rubro cervecero en Bolivia.
- Obtener una precisión de la purga de un valor igual o menor al 5%. Para reducir la merma de levadura de cerveza.

Para alcanzar estos objetivos será necesario:

- Identificar los pasos que involucrarán realizar el proceso automatizado de purga de levadura de cerveza.
- Definir los requerimientos para realizar la automatización del proceso.
- Diseñar el sistema de control, en base a una metodología de automatización de un proceso industrial.
- Diseñar un algoritmo computacional para el sistema de control, aplicable en un controlador lógico programable (PLC), el cual tome en cuenta el principio de funcionamiento del proceso y la función de los actuadores y sensores que intervendrán en el sistema.
- Implementar el sistema, en la planta de producción de cerveza de la empresa cervecera.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

Económico. - La propuesta de automatizar el proceso de purga de levadura de cerveza, tiene como objetivo reducir las cantidades de pérdidas generadas en dicho proceso (mermas). Dada esta

reducción de las mermas, se puede reducir los costos de producción de cerveza con una inversión pequeña comparada con los costos generados por las pérdidas.

Académico. - El proyecto pretende enriquecer los conocimientos técnicos y tecnológicos con la finalidad de poner en práctica aspectos propios de la formación académica en el desarrollo del proyecto. Enfatizando en los temas de control y regulación industrial, con la finalidad de entrar en el campo aplicativo hacia la industria en Bolivia.

1.6 ALCANCES Y LÍMITES.

1.6.1 Alcances.

- El estudio del proceso de purga de levadura de cerveza, se enfocará en el algoritmo de control para automatizar el proceso.
- En el proyecto se pretende aplicar conocimiento adquirido en la carrera de ingeniería electrónica.
- El diseño y la implementación del proyecto contará con asesoramiento, por parte de una empresa en el rubro de automatización industrial.
- El proyecto abarcara el diseño de un algoritmo, la implementación del algoritmo, armado de un gabinete de control sistema y configuración de los componentes dentro del mismo.

1.6.2 Límites.

- El proyecto tiene énfasis en el diseño del sistema, mas no en la implementación del mismo debido a que los datos de prueba se realizan en laboratorios de la empresa cervecera y no pueden ser mostrados en este documento.
- El uso de ciertos componentes como la bomba para la purga y el sensor de conductividad, están determinados por la empresa cervecera o la de automatización, las cuales, a partir de su experiencia, determinan el uso de ciertos componentes.
- El proyecto no puede abarcar algunos aspectos técnicos que involucran otras áreas como la mecánica de fluidos, normas de conexiones eléctricas industriales, estudio de materiales de construcción de máquinas entre otros.
- El sistema a diseñarse siempre tomará en cuenta valores ideales, debido a que no se puede tener parámetros reales sin hacer una calibración del equipo.

The image features a large, faded watermark of the University of the Pacific logo in the background. The logo is an oval shape with a sunburst at the top, a mountain range in the middle, and a green banner at the bottom with a cross and other symbols. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ADORE AE" is written around the perimeter of the oval.

Parte II: INVESTIGACIÓN.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO.

2.1 AUTOMATIZACIÓN.

El área de automatización desarrolla actividades educativas de investigación y desarrollo y de extensión, en el área de sistemas dinámicos y sus aplicaciones al control automático, teoría de señales, identificación, moldeamiento e Instrumentación [9].

La Automatización es un Sistema de fabricación diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi independiente del control humano [9].

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas [10]. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado [10].

2.2.1 Estructura de un PLC.

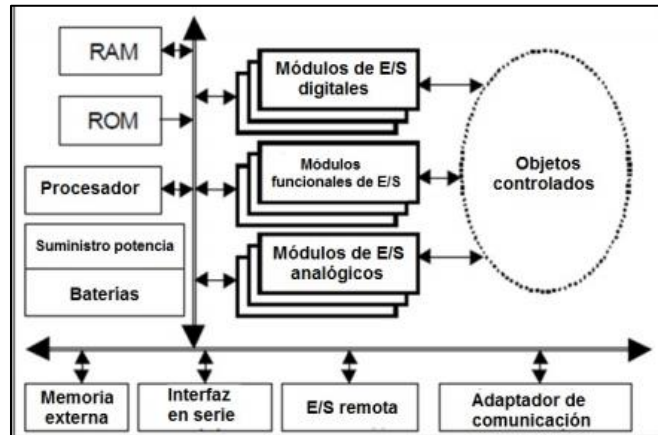


Figura 2.1 Diagrama generalizado de un PLC.

Fuente: *Controladores Industriales Inteligentes-UNED* [10].

Como puede observarse en la figura, para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques. Los valores más frecuentemente utilizados son $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$ y existen principalmente dos módulos de suministro de potencia: los que utilizan un voltaje de entra de la red de trabajo los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos. La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, testea también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo [10].

2.2.3 Programación PLC.

Los lenguajes de programación para PLC son de dos tipos, visuales y escritos. Los visuales (SFC, FBD y LAD) admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos, similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques. Sin embargo, los escritos (ST e IL o STL) son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar.

2.2.3.1 Diagrama de funciones secuenciales (SFC).

Este lenguaje de programación para los PLCs se trata de un método gráfico de modelado y descripción de sistemas de automatismos secuenciales, en los que el estado que adquiere el sistema ante el cambio de una entrada depende de los estados anteriores. Se trata de programas que están bien estructurados y cuyos elementos básicos son las etapas, las acciones y las transiciones. De este modo, una secuencia en SFC se compone de una serie de etapas representadas por cajas rectangulares y que se encuentran conectadas entre sí por líneas verticales. Así, cada etapa representa un estado particular del sistema y cada línea vertical a una transición. Estas transiciones

están asociadas a una condición “verdadero/falso”, dando paso así a la desactivación de la etapa que la precede y activación de la posterior [10].

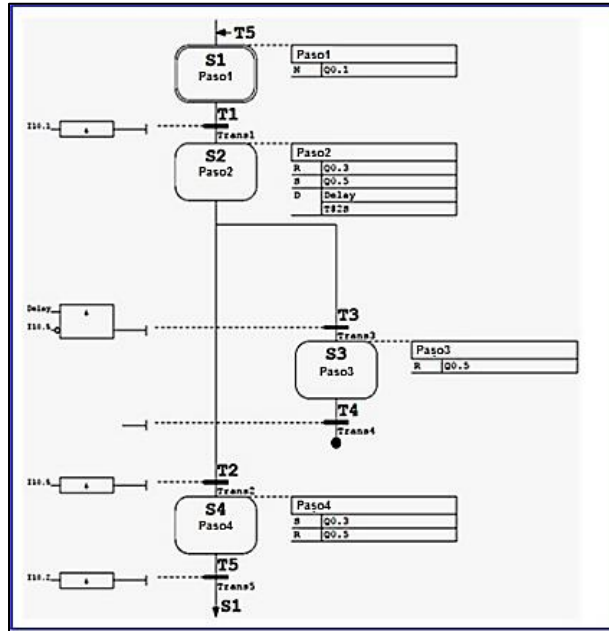


Figura 2.2 Extracto de un programa utilizando lenguaje SFC.

Fuente: Controladores Industriales Inteligentes-UNED [10].

2.2.3.2 Diagrama de bloques de funciones (FBD).

Este lenguaje de programación es también de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente, tanto expresiones como en lógica booleana. FBD proviene del campo del procesamiento de la señal y su utilización es conveniente cuando no hay ciclos, pero existen, sin embargo, varias ramas en el programa a crear. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite resumir funciones básicas en bloques de modo que el usuario solo se preocupa por una programación funcional de su rutina [10].

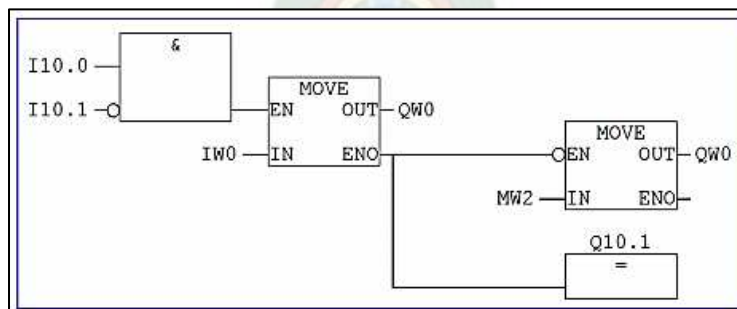


Figura 2.3 Extracto de programa FBD.

Fuente: Controladores Industriales Inteligentes-UNED [10].

2.2.3.3 Diagrama de tipo escalera (LAD).

Este tipo de lenguaje es también un lenguaje gráfico, que pueden soportar casi todos los PLCs. Se trata de una conexión gráfica entre variables de tipo Booleano, comparable a los antiguos controladores de tipo relé, donde se representa el flujo de energía en diagramas de circuitos eléctricos. Así, este lenguaje de programación se utiliza para la mayoría de las señales Booleanas y prácticamente no se utiliza para trabajar con variables analógicas. Dentro de sus características principales se encuentra el uso de barras de alimentación y elementos de enlace y estados (ej. flujo de energía); la posibilidad de utilizar contactos, bobinas y bloques funcionales; así como de evaluar las redes en orden, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en la industria debido a su simplicidad, soportado, disponibilidad y legado [10].

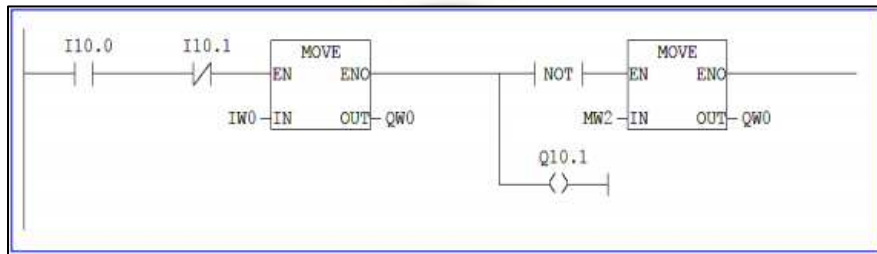


Figura 2.4 Extracto de programa realizado con lenguaje de tipo LAD.

Fuente: Controladores Industriales Inteligentes-UNED [10].

2.2.3.4 Texto estructurado (ST).

Este tipo de lenguaje, ST, está basado, en cambio, en los lenguajes de tipo texto de alto nivel y es muy similar a los ya conocidos PASCAL, BASIC y C. Aunque todavía no es muy popular se le considera como un lenguaje nuevo ya que requiere conocimiento previo de programación. Las principales ventajas de este lenguaje respecto al basado en el listado de instrucciones o IL es que incluye la formulación de las tareas del programa, una clara construcción de los programas en bloques con reglas (instrucciones) y una potente construcción para el control. De este modo, se trata de la forma más apropiada de programar cuando queremos realizar ciclos (ej. “if”, “while”, “for”, “case”)[10].

```

Q 4.0 := I 0.0 AND I 1.1 OR NOT I 0.1
IF Q 4.0 == 1 THEN GOTO M001
ELSE Q 1.0 = NOT Q 4.0;
END_IF;
M001 MW 2= 1+MW 2;
    
```

Figura 2.5 Extracto de programa de tipo SFC.

Fuente: Controladores Industriales Inteligentes-UNED [10].

2.3 CONDUCTIVIDAD EN LÍQUIDOS.

La conductividad es la capacidad que tiene una solución para conducir una corriente eléctrica. La conductividad es una medida de la concentración total de iones en una solución. Se utiliza en una amplia variedad de industrias. En algunos casos, la naturaleza de los iones es un

factor conocido y se utiliza para determinar su concentración. Por ejemplo, en la industria alimentaria, se usa un medidor de conductividad para medir la "salinidad" de las muestras y se aplica en el control de calidad. Sin embargo, medir la conductividad en aguas residuales, efluentes industriales, etc. ayuda a proporcionar lecturas de su iónico total. En términos generales, medir la conductividad es una forma rápida y fácil de determinar la fuerza iónica de una solución. La principal desventaja es que es una técnica no específica [7].

2.3.1 Medición de la conductividad.

Un sistema completo para medir la conductividad incluye estos componentes básicos:

- Una celda de conductividad.
- Una sonda de temperatura.
- Un instrumento para medir.

El medidor de conductividad mide la conductividad eléctrica de los iones en una solución. Para hacer esto, aplica un campo eléctrico entre dos electrodos y mide la resistencia eléctrica de la solución. Para evitar que se produzcan cambios en las sustancias, o el depósito de una capa en los electrodos, etc [7].

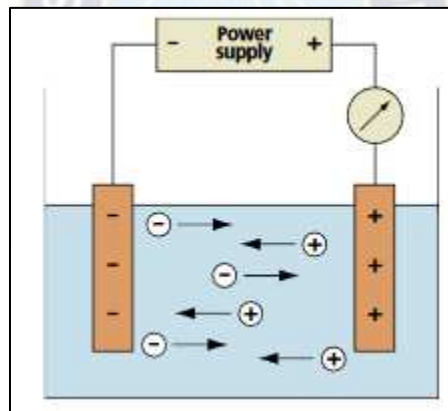


Figura 2.6 Sistema de medida de conductividad.

Fuente: Crison instruments [7].

2.4 MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA.

Una de las características de un motor de corriente alterna o motor AC (CA) es el número de polos del rotor.

Este dato automáticamente dará el número de devanados que tiene el motor: $\# \text{ devanados} = \# \text{ polos} \times 2$. Por ejemplo:

- Si un motor tiene 4 polos, entonces el motor tiene 8 devanados.
- Si un motor tiene 6 polos, entonces el motor tiene 12 devanados.

Los devanados que tenga un motor AC se dividen en dos grupos. (ver figura). Un grupo A y el otro B. Todos los devanados de cada grupo están conectados en serie, formando dos grandes devanados. Estos dos grandes devanados se diferencian entre sí, en que el voltaje que los alimenta

está desfasado 90° . Este desfase se logra con un capacitor / condensador y es el desfase que existe en devanados adyacentes en el motor. En la figura el voltaje de alimentación es [20]:

$$E = E \text{ sen } (wt + 90^\circ).$$

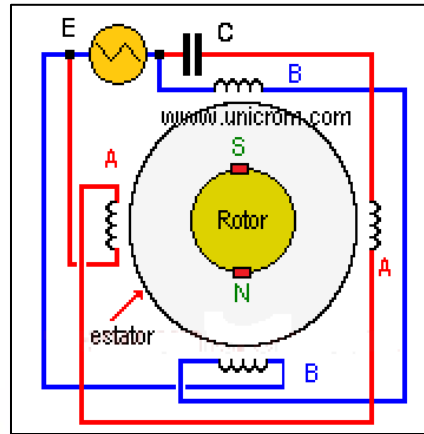


Figura 2.7 Representación de un motor AC.

Fuente: Unicrom-motores AC [20].

2.4.1 Velocidad de un motor AC.

Como en el rotor los polos son fijos y en estator la polaridad de los campos varía (está alimentado por corriente alterna), los polos fijos del rotor, siguen las variaciones de polaridad de los devanados del estator. Habrá efectos de atracción y repulsión de campos magnéticos que causará la rotación del rotor. Como el voltaje de alimentación del estator es periódica, entonces el movimiento del rotor (rotación) sigue esta variación periódica del voltaje de alimentación y como consecuencia la velocidad de rotación es constante[8].

La velocidad del motor AC está dada por la fórmula: $N_s = 60 \times f/p$, donde:

N_s = velocidad del motor en rpm (revoluciones por minuto)

f = frecuencia de la alimentación en Hertz (Hz)

p = número de pares de polos del motor.

Mientras más polos tenga un motor, menor es su velocidad de rotación y si el rotor por tener una carga muy grande, no puede seguir las variaciones del estator, causará que el motor deje de girar. La velocidad de giro del motor AC depende exclusivamente de la frecuencia del voltaje que alimenta el motor [8].

2.5 MÉTODO DE LIMPIEZA CIP (cleaning-in-place).

El sistema de limpieza CIP es un sistema de lavado automático in situ, es decir, sin desmontaje del equipo de producción, que consiste en recircular la solución de limpieza a través de los componentes de la línea de proceso, como tuberías, intercambiadores de calor, bombas, válvulas, etc. La solución de limpieza pasa a gran velocidad por la línea, generando la fricción requerida para eliminar la suciedad. Siempre hay que tener en cuenta que la solución sea adecuada

para todas las superficies por las que circulará y evitar que se acumule en el fondo de los equipos porque pierde su poder esterilizador [12].

La limpieza de la línea de proceso es un requisito básico para la producción higiénica de alimentos de alta calidad. Los ciclos de limpieza se deben repetir inmediatamente después de terminar el ciclo productivo con el fin de eliminar los depósitos de compuestos orgánicos, como las proteínas, hidratos de carbono, grasas, minerales y otros, que constituyen la base para el crecimiento bacteriano y que favorecen la bio corrosión. Los parámetros de los ciclos de lavado dependen del producto, de la línea de proceso y de los estándares de sanitización [12].

2.5.1 Proceso CIP.

El proceso de limpieza tiene las siguientes secuencias y parámetros:

Enjuague: con agua fría para remover cualquier suciedad suelta. Se usa agua fría para reducir el consumo de agua caliente [13].

Pre enjuague: con agua a 50-60°C, para remoción del azúcar y fundir cualquier grasa. La temperatura no debe exceder 60°C para evitar la desnaturalización de las proteínas que entonces se volverían mucho más difíciles de limpiar [13].

Limpieza con un detergente alcalino: para remover proteínas y grasas. Se recomienda a una concentración de 1,5 - 2,0 y temperatura de 85°C mínimo [13].

Enjuague con agua: para remover cualquier residuo de detergente alcalino [13].

Limpieza con un detergente ácido: para disolver sales minerales y depósitos dejados por el producto o por agua dura. Este proceso debe repetirse tan a menudo como sea necesario, dependiendo de si las superficies son calientes o frías, del tipo de alimento y de la calidad de agua. Se recomienda a una concentración de 1,0 - 1,5 y temperatura de 60°C mínimo [13].

2.5.2 Factores del proceso.

Temperatura: La temperatura medida en la línea de retorno a la unidad de CIP es el factor más importante. Asegúrese de que la temperatura no caiga por debajo del valor recomendado en ningún punto de la línea. El control y registro de la temperatura deben ser automáticos y estar coordinados con el cronómetro. Esto es para asegurar que el tiempo de circulación se mide sólo a la temperatura correcta [13].

Tiempo: El tiempo de circulación siempre debe controlarse y registrarse automáticamente. El cronómetro siempre debe coordinarse con el control de temperatura [13].

Velocidad: Es preferible verificar el flujo en todo momento. Sino debe verificarse el flujo por lo menos cuando se monta o se modifica en alguna forma la instalación. Si hay algún problema para alcanzar el flujo recomendado, hay varias soluciones, tales como el uso de bombas de refuerzo, división de los circuitos de limpieza, etc. Cuando diseñe un circuito de CIP, por favor estudie las caídas de presión y también las curvas de capacidad de las bombas para obtener los valores correctos [13].

Concentración y composición del detergente: La dosificación de los líquidos en el sistema debe hacerse automáticamente para lograr una concentración uniforme de detergente. La concentración debe ser medida y registrada automáticamente en cada ciclo de limpieza [13].

2.6 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

Para el desarrollo del presente proyecto, se tomará en cuenta un artículo que propone una metodología específicamente para automatización. El artículo es de la revista *“Impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales”* Revista publicada por el departamento de eléctrica y electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora (México). Los pasos por seguir para aplicar la metodología son: descripción del sistema, diagrama de flujo, descripción de los equipos del sistema, requerimientos del cliente, selección del autómatas programable, programación del PLC.

- ***Paso No. 1 (Descripción del sistema).***

Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere recabar la siguiente información: procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro), dispositivos que intervienen en el proceso (sensores, transductores, motores, variadores, etc.), variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas. Esta actividad se lleva a cabo mediante entrevistas con los operadores y encargados de mantenimiento del proceso, visitas de campo y la experiencia del integrador.

- ***Paso No. 2 (Diagrama de flujo).***

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en un proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso de mejora continua, sobre todo en definición de proyectos, diagnóstico, diseño e implantación de soluciones, mantenimiento de las mejoras, traslado de materiales, pasos para ventas y procedimientos del proceso.

- ***Paso No. 3 (Descripción de los equipos del sistema).***

Aquí se agrupan todos los dispositivos que intervienen en el proceso, se describe bien su función e identifica las entradas y salidas del sistema. Esto ayuda a conocer con mayor detalle el sistema y las funciones para los cuales fueron diseñados los dispositivos. Además, sirve para conocer más a detalle el proceso y entenderlo mejor; es decir, tener una amplia visión para la siguiente etapa.

- ***Paso No. 4 (Requerimientos del cliente).***

Estos se obtienen, de las entrevistas realizadas con los operadores y jefes de mantenimiento, los cuales indican características de operación, características de los equipos, rango de operación y en algunos casos el rango del costo de los equipos a utilizar.

- ***Paso No. 5 (Selección del autómatas programable).***

Para llevar a cabo la selección del autómatas se deben de realizar dos evaluaciones, una para seleccionar el tipo de autómatas y la otra para seleccionar la marca, esto debido a las diferentes opciones que brinda el mercado actualmente.

- **Paso No.6 (Programación del PLC).**

Existen dos formas de programación para el PLC: El método heurístico o informal (función memoria) y el método formal (redes de Petri o GRAFCET), se recomienda este último. Primero se debe de realizar el diagrama GRAFCET [11], el cual consiste en un diagrama gráfico de etapas y transiciones, por medio del cual se puede llevar a cabo con facilidad la programación del PLC elegido de acuerdo con el software del mismo.

- **Paso No. 6.1 (GRAFCET del proceso).**

Se debe caracterizar el funcionamiento del automatismo con total independencia de los componentes con los que vaya a ser construido. Esto equivale a centrar el interés no tanto en la estructura física o en la tecnología empleada para implementar el automatismo, sino en la función que debe realizar.

El elemento fundamental de un proceso es la operación (denominada etapa en el lenguaje de GRAFCET), entendiendo como tal una acción realizada por el automatismo. Obsérvese que en una primera aproximación se puede dividir el proceso en unas pocas operaciones relativamente complejas, llamadas macro etapas. Estas operaciones podrán ser subdivididas a su vez en operaciones más elementales a medida que se avanza en el nivel de detalle.

Se debe dividir el proceso en macro etapas y éstas en etapas más elementales, hasta conseguir que las acciones a realizar en cada una de ellas dependa sólo de relaciones combinatorias entre entradas y salidas.

- **Paso No. 7 (Descripción de entradas y salidas del proceso).**

De acuerdo con el diagrama del GRAFCET se describen las entradas y salidas que intervienen en el programa para tener una mejor visualización del mismo. Esto ayuda en mayor parte para la siguiente etapa que se refiere a la programación del PLC.

- **Paso No. 8 (Programa del PLC).**

Este se realiza en el software del autómatas elegido, usando el diagrama de GRAFCET realizado anteriormente. Cada línea de programa se puede ir leyendo directamente del GRAFCET.

The background features a large, faint watermark of the University of the Pacific logo. The logo is an oval shape containing a sun with rays, a mountain range, and a green banner with a white emblem. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI A. TORRES" is written around the perimeter of the oval.

**Parte III: DESARROLLO DEL
PROYECTO.**

Capítulo 3 DISEÑO DEL SISTEMA.

3.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.

Las condiciones para el diseño del sistema tienen como base los requerimientos mencionados por la empresa cervecera (BBO).

Requerimientos por parte de la empresa:

- El sistema debe automatizar el proceso de purga de levadura de cerveza. Con una interfaz hombre máquina (HMI) sencilla y de fácil manipulación para los operadores.
- Mediante el HMI el operador debe ser capaz de manipular el sistema en cuatro (4) modos: tres (3) en diferentes referencias de consistencia de la levadura y una en modo de limpieza CIP.
- El sistema debe tener una diferencial de consistencia de purga no mayor a cinco por ciento (5 %).

3.1.1 Condiciones de funcionamiento.

El sistema debe ser capaz de purgar la levadura de cerveza a partir de su consistencia, ésta puede ser medida tomando en cuenta su conductividad eléctrica.

Se puede determinar la consistencia bajo los siguientes valores de conductividad.

Descripción	Conductividad
Consistencia de 70%	634 μ S/cm
Consistencia de 50%	822 μ S/cm
Consistencia de 20%	1102 μ S/cm
Consistencia de 10%	1196 μ S/cm
CIP soda caustica de 2.5%	14.0 mS/cm
Conductividad agua cervecera	530 μ S/cm

Tabla 3-1 Relación de valores de conductividad.

Fuente: Laboratorios de Bebidas Bolivianas.

El sistema además debe tener la posibilidad de soportar y extraer los fluidos de una limpieza del tipo CIP. Estos valores son referenciales y el operador deberá tener la posibilidad de cambiar los valores de consistencia según vea necesario mediante una interfaz hombre – máquina (HMI), variando los valores de conductividad deseado, más allá de valores que están en la tabla.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

La purga de levadura de cerveza se realiza durante el proceso de fermentación del mosto para convertirse en cerveza, esta purga consiste en extraer la levadura del fondo del tanque de fermentación. Este procedimiento tiene dos fines:

- Quitar la levadura del fondo del tanque de fermentación que ya cumplió su proceso de fermentación, y por lo cual su permanencia podría modificar el sabor del lote de cerveza.
- Obtener levadura de cerveza, para su posterior reutilización en un nuevo lote de fermentación.

3.2.1 Principio de funcionamiento del sistema de purga.

El principio de funcionamiento del sistema puede expresarse en el siguiente diagrama:



Figura 3.1 Diagrama general del funcionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento del sistema comprende:

- ***Levadura precipitada en el tanque de fermentación.***

Para que el sistema pueda entrar en funcionamiento es necesario que, la levadura de cerveza agregada al mosto, haya cumplido con su fermentación y después de cierto reposo, esta levadura se haya asentado en el fondo del tanque de fermentación, cabe resaltar que estos tanques tienen ya su propio sistema de control para regular la temperatura de fermentación.

Una vez asentada la levadura se puede proceder al proceso de purga.

- ***Inicialización del sistema de purga.***

En esta etapa es cuando se enciende el equipo y se configura el proceso de purga de levadura, donde el operador puede escoger la consistencia a la cual se requiere la purga, mediante una interfaz hombre – máquina.

Cabe resaltar algunos parámetros de seguridad que ha de tener el sistema, botones de inicio, paro, parada de emergencia y luces indicadoras.

- ***Funcionamiento del algoritmo de control en el PLC.***

Una vez configurado los parámetros en el proceso de inicialización, el algoritmo implementado en el PLC, comienza a procesar datos de sus entradas (botones, sensor de conductividad e interfaz hombre -máquina) y convertir estos datos en señales de salida para controlar la bomba de extracción de purga, luces indicadoras e interfaz hombre – máquina.

- **Extracción de levadura de cerveza.**

Una vez realizado las etapas anteriores el sistema procede a entrar en un bucle, este bucle consiste en extraer la levadura de cerveza del tanque de fermentación por medio de la bomba extractora, hasta que esta levadura extraída alcance el valor de consistencia determinado por el operador. Esta consistencia es medida por el sensor de conductividad.

3.2.2 Diagrama del sistema de control.

El sistema de control a implementarse es un sistema de control a lazo cerrado, y a continuación se explicarán cada uno de los elementos que componen el sistema.

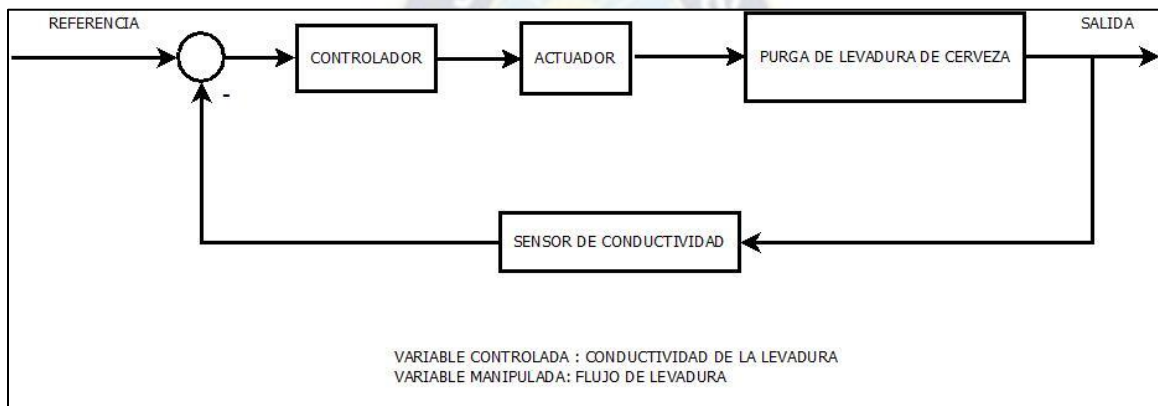


Figura 3.2 Diagrama de bloques del sistema de control.

Fuente: *Elaboración propia.*

- **Referencia:**

La referencia o set point viene dada por la **consistencia** de levadura que se quiere obtener en el proceso de purga, este valor de consistencia se obtiene a partir de la tabla de relación de valores de **conductividad**.

- **Señal de error:**

El error es la diferencia entre la referencia y el valor que se obtiene del sensor de conductividad, para lograr esta diferencia es necesario que ambas señales (referencia y señal del sensor) sean representadas en la misma magnitud física.

Este error es la señal entrada del controlador.

- **Controlador y actuador.**

Este bloque tiene como objetivo modificar la señal error del sistema, con el fin de enviar una señal al actuador y que este modifique el valor de la variable manipulada. Este proceso de funcionamiento del actuador se lo denomina en este caso purga de levadura de cerveza.

- **Sensor de conductividad.**

El bloque del sensor de conductividad comprende la conversión del valor de la variable controlada en un valor que el PLC pueda leer y comparar con el set point.

- **Salida:**

La salida del sistema es una **variación de consistencia del producto**, medido por conductividad

3.3 EQUIPOS QUE INTERVENDRÁN EN EL SISTEMA.

En el siguiente apartado se explican los equipos que intervendrán en el sistema, algunos de estos componentes son determinados a partir de la experiencia que la empresa cervecera ha adquirido al realizar el proceso de purga de manera no automatizada como es el caso de la bomba peristáltica y el variador de frecuencia.

- **Bomba peristáltica:**

Una bomba peristáltica es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba.

Las bombas peristálticas son típicamente usadas para bombear fluidos limpios o estériles porque la bomba no puede contaminar el líquido, o para bombear fluidos agresivos porque el fluido puede dañar la bomba. Algunas aplicaciones comunes incluyen bombear productos químicos agresivos, mezclas altas en sólidos y otros materiales donde el aislamiento del producto del ambiente, y el ambiente del producto, son críticos.

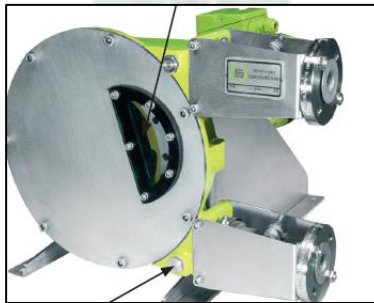


Figura 3.3 Bomba peristáltica.

Fuente: ALBIN PUMP ALH, bomba peristáltica - manual de instrucciones.

- **Sistema de medición de conductividad Smartec CLD134.**

Smartec CLD132 es un sistema de medición de conductividad inductivo para la industria alimentaria. La combinación de un transmisor y un sensor no presenta interferencias, es fácil de utilizar y cuenta con un diseño higiénico que protege sus productos y procesos de contaminación. Además, Smartec CLD132 presenta un sensor de temperatura de acero inoxidable que le proporciona una respuesta ultrarrápida en temperatura para una medición fiable en aplicaciones de separación.

Aplicación:

- control de concentración de ácidos/álcalis
- separación de fases en sistemas de tuberías
- seguimiento y control de sistemas de limpieza de botellas
- seguimiento de productos en cervecerías, lecherías e industria de bebidas
- control del sistema CIP.

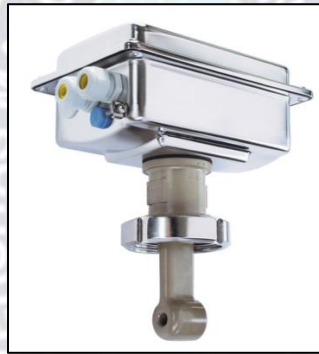


Figura 3.4 Sistema de medición de conductividad Smartec CLD132.

Fuente: *Operating Instructions, Smartec CLD134 - Conductivity measuring system.*

- **Variador de frecuencia.**

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



Figura 3.5 Variador de frecuencia Danfos serie FC.

Fuente: Guía de programación Danfos serie FC.

- **Controlador lógico programable.**

Los autómatas programables o PLCs son equipos electrónicos que dan solución al control de circuitos complejos de automatización. El más utilizado en la industria es el LOGO de SIEMENS, que se define como un Módulo Lógico Inteligente que permite el control de varias Salidas Mediante la Programación de Varias Entradas.

- Salidas pueden ser bombillas, bobinas de contactores o relés, y cualquier receptor eléctrico.
- Entradas pueden ser interruptores, pulsadores, temporizadores, sensores, en definitiva, cualquier elemento de control de un esquema eléctrico.



Figura 3.6 PLC Siemens.

Fuente: Siemens.com

- **Display Logo TDE.**

Es un visor tipo pantalla, en el cual el operador del proceso o máquina, puede controlar el proceso, variar parámetros, observar procesos. Dependiendo de la programación que se le hizo por parte del diseñador del sistema.



Figura 3.7 Visor Logo TDE.

Fuente: Siemens.com

3.4 DISEÑO DEL ALGORITMO DEL SISTEMA.

3.4.1 Elección del PLC (controlador lógico programable).

El PLC es la parte principal del sistema de control para lograr la automatización del proceso de purga de levadura de cerveza. Ya que éste es el núcleo del sistema, pues es en él que se aplicará el algoritmo de control del sistema. El componente que se empleará para desarrollar el proyecto, es el PLC Logo 8 de la marca Siemens.

3.4.2 Justificación de la elección del PLC.

Las características que sobresalen de este PLC son los siguientes:

- Siemens es una marca muy difundida a nivel mundial en equipos dedicados a procesos industriales.
- Dada su difusión mundial, la comunidad dedicada a la programación de éste PLC es bastante grande, por lo cual existe mayor información sobre estos dispositivos.
- El PLC Logo 8 tiene un software de programación exclusivo para el equipo llamado LOGO! Soft Comfort V8.2
- El software de programación del Logo 8 admite una programación del tipo escalera (ladder) y del tipo bloques.

3.4.3 Diagramas de flujo del algoritmo del sistema.

El uso de diagramas de flujo, son para entender a detalle cada uno de los pasos necesarios para que el sistema funcione.

3.4.3.1 Diagrama general del sistema.

Este diagrama, muestra una perspectiva general del proceso que comprende cuatro etapas principales:

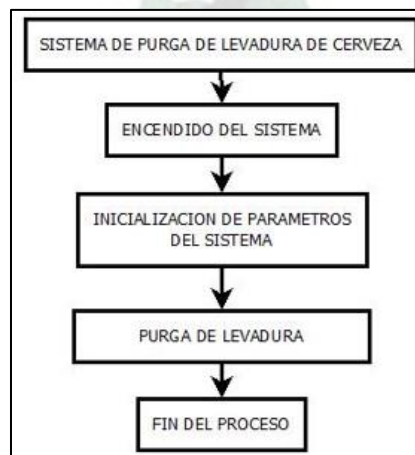


Figura 3.8 Diagrama de flujo del sistema de purga.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2 Inicialización de parámetros.

El proceso de inicialización de parámetros, comprende la lectura de datos necesarios como base para el proceso de purga.

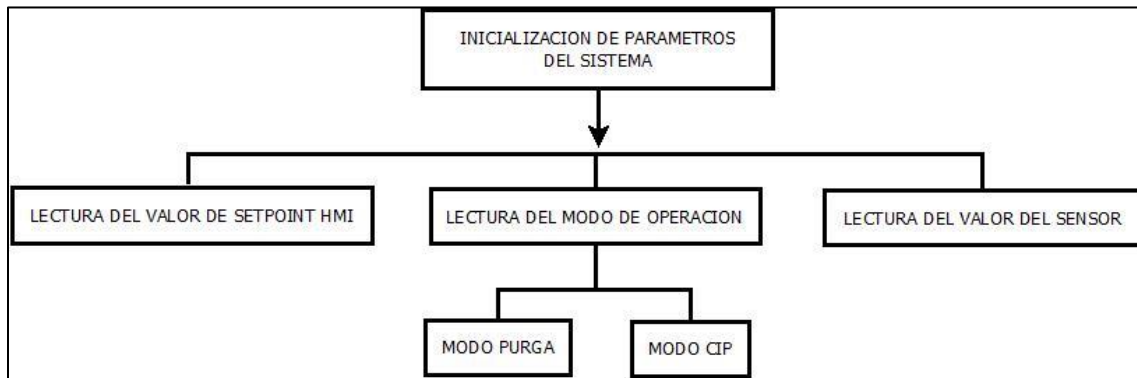


Figura 3.9 Inicialización de parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

- ***Lectura del valor de set point HMI.***

Comprende la configuración y lectura del valor de consistencia o conductividad que el operador requiere para purgar la levadura, es decir es el valor de consistencia o conductividad deseada para el proceso.

- ***Lectura del modo de operación.***

El sistema según los requerimientos debe tener dos modos de operación, los cuales son: el modo de purga y el modo de limpieza CIP.

- ***Lectura del valor del sensor.***

Al mismo tiempo de inicializar el sistema, también se debe comprobar que el sensor de conductividad está funcionando de manera correcta.

3.4.3.3 Purga de levadura.

La purga de levadura viene dada por el siguiente diagrama:

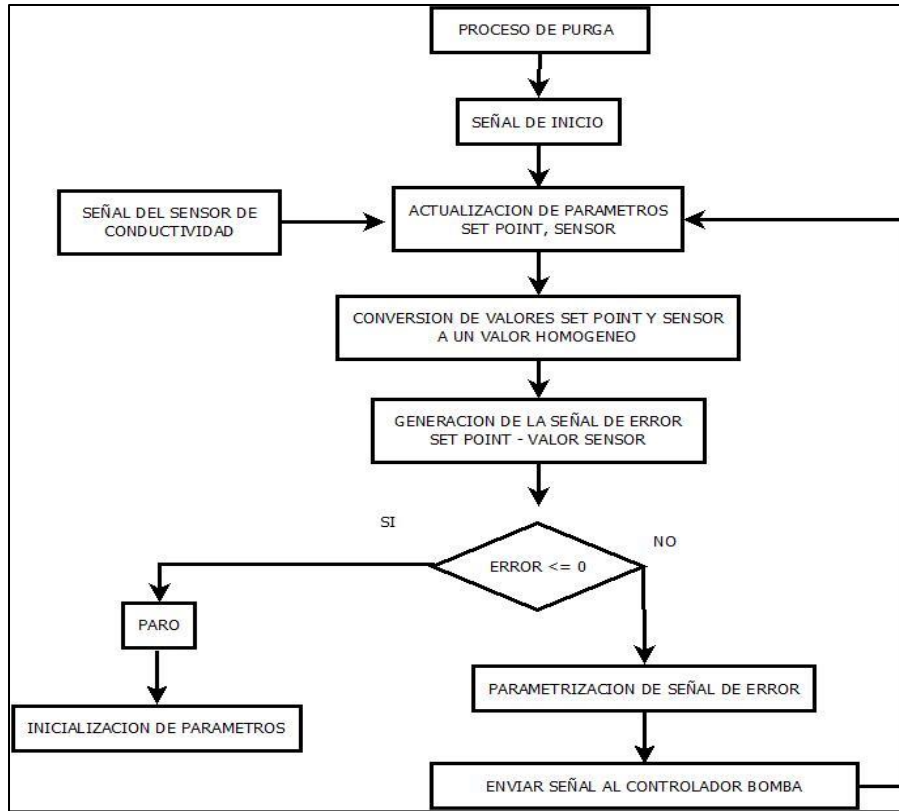


Figura 3.10 Diagrama de flujo de la purga.

Fuente: Elaboración propia.

- **Actualización de parámetros.**

La actualización de parámetros, es el refresco de datos que intervienen en que el algoritmo lee los datos provenientes de la señal inicio, paro, paro de emergencia, referencia y modo de operación.

- **Conversión de valores.**

Este bloque es uno de las importantes para el algoritmo, este bloque comprende la conversión de datos provenientes de la referencia, configurada mediante el HMI y también el valor del sensor.

El valor a configurarse en el HMI que viene a ser la referencia del sistema, esta dado por un valor de consistencia o conductividad, según el operador vea pertinente, por lo cual es necesario que sea el dato que ingrese el operador, el algoritmo sea capaz de convertir este parámetro, en uno que pueda ser procesado en el programa, así también es el caso del valor del sensor de conductividad, el cual nos indica cierto valor de conductividad mediante un valor de corriente o voltaje.

Esta conversión se la realizara mediante una ecuación matemática, hallada de la relación entre consistencia y la conductividad.

- **Generación de la señal de error.**

En este bloque se realiza la resta de la señal de referencia con la señal que proviene del sensor de error, previamente parametrizado. Para enviar luego esta señal al controlador de la bomba. Luego del cálculo de la señal de error el algoritmo debe tomar una decisión de continuar con el proceso de purga o no, dependiendo del valor de la señal de error.

- **Parametrización de la señal de error.**

Este bloque comprende la conversión del valor de error del algoritmo en una señal, compatible con el controlador de la bomba, que en este caso vendría a ser un variador de frecuencia.

3.4.3.4 Interfaz HMI.

El HMI es el interfaz mediante el cual el operador puede comunicarse con el sistema (modo de operación y cambio de parámetros).



Figura 3.11 Bloques para el interfaz HMI.

Fuente: *Elaboración propia.*

3.5 DISEÑO DEL PROGRAMA.

El programa a diseñarse para el PLC Siemens Logo 8, tiene la característica de ser una programación en bloques, para lo cual se procede a emplear bloques, como compuertas lógicas (OR, AND, XOR, NOR, ETC), como así también, bloques lógicos más complejos como MUX, Amplificadores, regulador y similares.

Para la sección del programa destinado al HMI (interfaz hombre - máquina), se hará uso de una pantalla del tipo siemens TDE, el mismo software para la programación del PLC, tiene unos bloques dedicados a la programación del visor TDE.

3.5.1 Operación de arranque y paro.

La operación de arranque y paro comprende las condiciones de funcionamiento para los botones de inicio y paro, estas condiciones estarán basadas en lógica digital.

I	P	PE	FUNCIÓN	LUZ INDICADORA
0	0	0	NO	LUZ ANTERIOR O AMBAR
0	0	1	BLOQUEAR Y PARAR	ROJA PARPADEANTE
0	1	0	PARAR	ROJA PARPADEANTE
0	1	1	BLOQUEAR Y PARAR	ROJA PARPADEANTE
1	0	0	INICIAR	LUZ BLANCA
1	0	1	BLOQUEAR Y PARAR	ROJA PARPADEANTE
1	1	0	PARAR	ROJA PARPADEANTE
1	1	1	BLOQUEAR Y PARAR	ROJA PARPADEANTE

Tabla 3-2 Tabla de verdad para las condiciones de arranque.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla de verdad para las condiciones de arranque tiene como variables a:

I: Botón de pulsado de inicio de proceso de purga normalmente abierto (NO).

P: Botón de pulsado de paro del proceso de purga, normalmente cerrado (NC).

PE: Botón de enclave de parada de emergencia, normalmente cerrado (NC).

- **Bloques para el programa en el PLC.**

En base a las condiciones de la tabla de verdad anterior, se construye el siguiente conjunto de bloques:

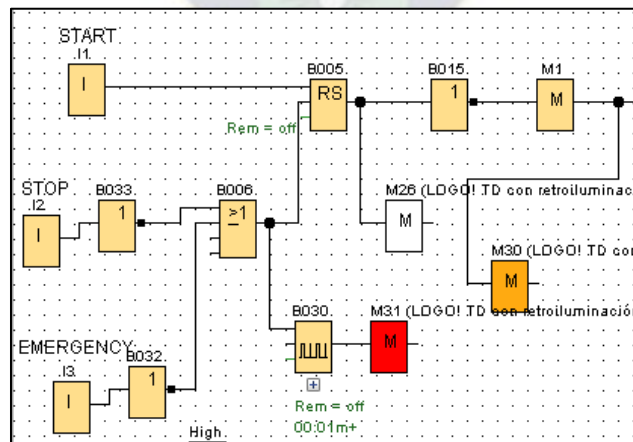


Figura 3.12 Circuito en bloques de las condiciones de arranque.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura de circuito en bloques de las condiciones de arranque:

- **Bloque I1,2,3:** son representaciones de entradas del PLC, estas entradas son binarias, de valores 1 o 0.
- **Bloques B033,32:** son funciones negadoras o inversoras, es decir convierten un 1 en 0 o viceversa, se las emplea debido a que los botones P y PE son normalmente cerrados NC.
- **Bloque B006:** es un bloque que representa la función “OR”.
- **Bloque B005:** es un flip flop del tipo set – reset, tiene la característica que si las señales set y reset son activadas al mismo tiempo, la señal de reset tendrá prevalencia sobre la otra.
- **Bloques M26,31:** son bloques de uso específico para el cambiar el color de la pantalla Logo TDE,
- **Bloque B030:** es un generador de pulsos programable, en este caso se emplea para que la luz roja de paro parpadee con periodo t.

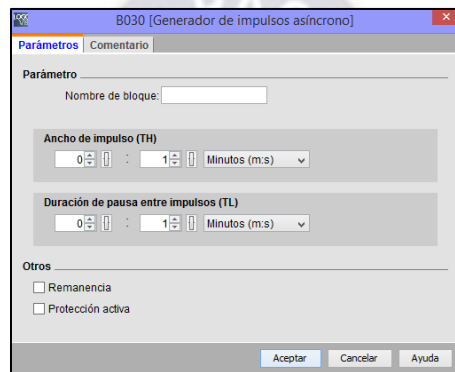


Figura 3.13 Configuración del generador de impulsos.

Fuente: software Logo8 confort.

3.5.2 Parametrización de los valores de consistencia y conductividad.

Como se menciona anteriormente en los diagramas de bloques en la sección del diseño del algoritmo, es necesario convertir los valores de las entradas del HMI y del sensor de conductividad en un valor que el PLC pueda procesar según nuestro algoritmo.

- **Relación consistencia- conductividad.**

Según la tabla de relación de valores de consistencia y conductividad en el subtítulo de requerimientos del sistema podemos hallar las siguientes relaciones matemáticas:

CONSISTENCIA %	CONDUCTIVIDAD [us]
70	634
50	822
20	1102
10	1196

Tabla 3-3 Valores de consistencia y conductividad para la regresión lineal.

Fuente: Elaboración propia.

- **Identificación de la función de relación entre consistencia y conductividad.**

Con la finalidad de obtener una función de relación entre la consistencia y la conductividad de la levadura de cerveza, y hacer uso de esta en el programa para el PLC, se hace uso del software EXCEL y su función de regresión lineal, dando como resultado:

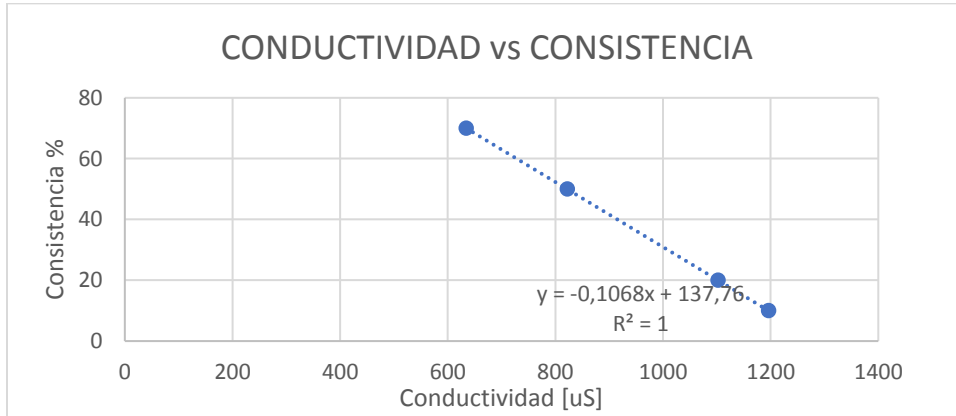


Figura 3.14 Curva para la consistencia en función de la conductividad.

Fuente: Elaboración propia.

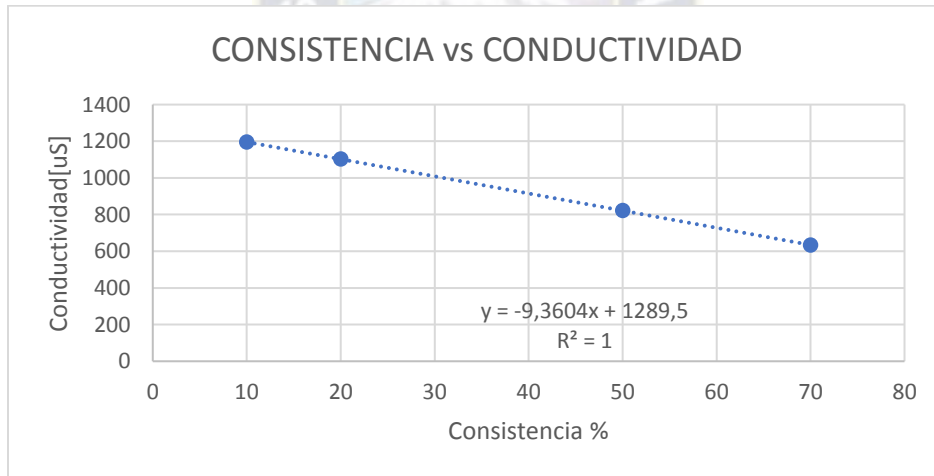


Figura 3.15 Curva para la conductividad en función de la consistencia.

Fuente: Elaboración propia.

- Ecuación de la consistencia en función de la conductividad.

$$Y[c\%] = -0,1068x[uS] + 137,76 \quad (1)$$

- Ecuación de la conductividad en función de la consistencia:

$$Y[uS] = -9,3604x[c\%] + 1289,5 \quad (2)$$

Las ecuaciones 1 y 2 son las relaciones, que se implementaran en el programa del PLC para realizar las conversiones de valores de conductividad a consistencia.

3.5.2.1 Bloques lógicos para la parametrización del valor de referencia.

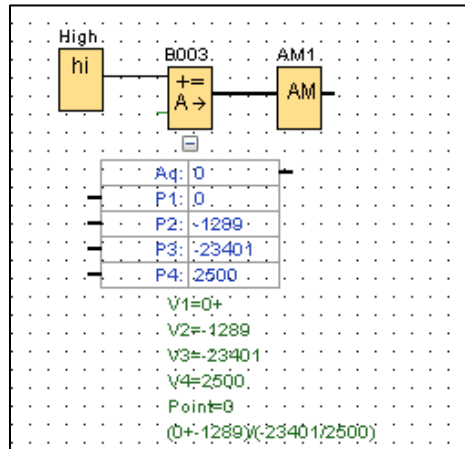


Figura 3.16 Bloques para la conversión de datos de referencia del HMI.

Fuente: Elaboración propia

De la figura:

- **Bloque high:** este bloque es un bloque que siempre se encuentra en estado activo, su función es la de activar B003, que es un bloque de operación matemático.
- **Bloque B003:** este bloque es el encargado de realizar operaciones matemáticas básicas, por lo cual se implementa la ecuación matemática (1), hallada en el ajuste de curva para obtener la relación entre consistencia y conductividad.

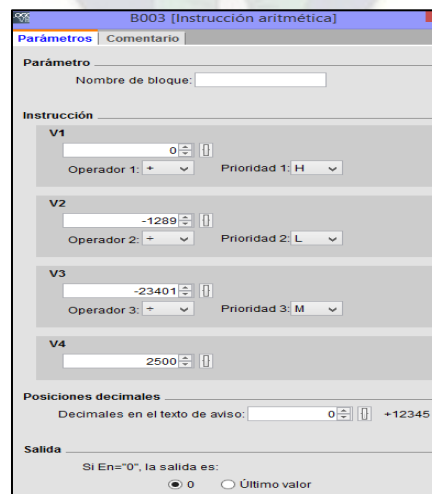


Figura 3.17 Bloque de operación aritmética.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

El bloque permite un máximo de 4 operaciones básicas para lo cual convertimos la ecuación (1) en otra ecuación en fracciones basados en una limitante, que el bloque no admite números decimales en los operandos representados por V 1,2,3,4, por lo cual se realiza las operaciones matemáticas para poder implementar un equivalente de la ecuación (1).

$$y = -0,1068x + 137,76$$

Tomando en consideración la cantidad de decimales y las limitantes de operaciones del bloque aritmético, empleamos la ecuación (2):

$$y = -9,3604x + 1289,5 \rightarrow x = \frac{y - 1289,5}{-9.3604} * \frac{10000}{10000}$$

$$x = \frac{y - 1289,5}{-23401} * 2500 \quad (3)$$

Donde:

X: Consistencia %

Y: Conductividad [uS]

- **Bloque AM1:** este bloque es un bloque de memoria digital, y es necesario que esté conectado al bloque B003, como requisito del mismo para que funcione correctamente. En este bloque también se puede observar el valor de la operación matemática que realiza B003.

3.5.3 Parametrización de los valores obtenidos del sensor de conductividad.

El sensor de conductividad tiene su propio controlador, formando un subsistema, este es “*Smartec CLD 134 -Conductivity measuring system*”, el sensor de conductividad envía valores de señales a su controlador, el cual nos indica el valor de conductividad leído por el sensor, este controlador cuenta con una interfaz HMI propia y muchos parámetros configurables. Basándonos en las configuraciones de parámetros obtenemos lo siguiente:

El sistema de conductividad, entregará un valor de corriente equivalente a un valor de conductividad.

Function	Factory setting
Type of measurement	Inductive measurement of conductivity, Temperature measurement in °C
Type of temperature compensation	Linear with reference temperature 25 °C (77 °F)
Temperature compensation	Automatic (ATC on)
Relay function	Alarm
Hold	Active during configuration and calibration
Measuring range	100 µS/cm to 2000 mS/cm (measuring range selected automatically)
Current outputs 1* and 2*	4 to 20 mA
Current output 1: measured value for 4 mA signal current	0 µS/cm
Current output 1: measured value for 20 mA signal current	2000 mS/cm
Current output 2: temperature value for 4 mA signal current*	0 °C (32 °F)
Current output 2: temperature value for 20 mA signal current*	150 °C (302 °F)

Tabla 3-4 Configuración de fábrica del controlador de conductividad.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

3.5.3.1 Determinación de límites en los parámetros para el sensor y controlador de conductividad.

De la ecuación (2): $y = -9,3604x + 1289,5$

Obtenemos los límites de consistencia al 0% y al 100%

Los límites son:

Límite superior consistencia al 100%:

$$y = -9,3604 * (100) + 1289,5 = 353.46 \text{ [uS]} \approx \mathbf{353[uS]}$$

Límite inferior consistencia al 0%:

$$y = -9,3604 * (0) + 1289,5 = 1289.5 \text{ [uS]} \approx \mathbf{1289[uS]}$$

3.5.3.2 Determinación de los parámetros en el controlador del sensor de conductividad.

En el manual del sensor se especifican la configuración de los parámetros, como así también sus límites.

Mediante la configuración de los mismos, el controlador del sensor de conductividad enviará una señal del tipo 0-20 mA al PLC.

25.	In O211, select the current range for your current output, e.g. 4 to 20 mA. Press ENTER to confirm your entry.	4 to 20mA 0 to 20 mA	
26.	In O212, specify the conductivity at which the minimum current value is applied at the transmitter output, e.g. 0 µS/cm. Press ENTER to confirm your entry.	0.00 µS/cm 0.00 µS/cm to 2000 mS/cm.	
27.	In O213, specify the conductivity at which the maximum current value is applied at the transmitter output, e.g. 930 mS/cm. Press ENTER to confirm your entry. The display returns to the initial display of the 'Current output' function group.	2000 mS/cm 0.00 µS/cm to 2000 mS/cm	

Tabla 3-5 Fragmento de la configuración de parámetros de valores de conductividad.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

Mediante la configuración de estos parámetros se determina lo siguiente:

Con el fin de facilitar las operaciones matemáticas en el PLC, es conveniente determinar el rango de operación de 0 – 20 mA.

Considerando que la señal que se enviará al PLC es 0-20 mA y que los límites de conductividad están en un rango de 0-2000 [uS], que los límites que se le configurarán en el controlador del sensor de conductividad serán:

$$0 \text{ mA} \rightarrow 0 \text{ uS}$$

$$20 \text{ mA} \rightarrow 2000 \text{ uS}$$

3.5.3.3 Bloques para leer la señal del sensor de conductividad.

En el programa para el PLC se utilizarán los siguientes bloques:

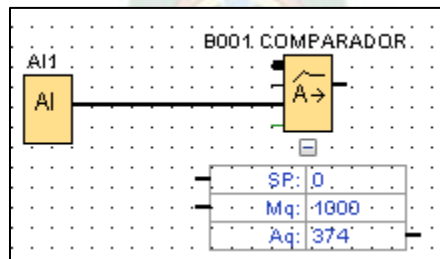


Tabla 3-6 Bloques para la lectura del valor del sensor.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bloque AI1:** este bloque representa una entrada analógica del PLC, dado que la señal proveniente del sensor es de 0 a 20 mA, es necesaria el uso de esta entrada analógica.

- **Bloque B001:** comparador: este bloque multiuso, que puede regular una señal aplicando una regulación del tipo PI (proporcional e integral). Pero en este caso, lo emplearemos solamente como un comparador entre la señal de referencia y el valor del sensor.

Este bloque tiene una configuración como se muestra en las siguientes figuras:

Conexión	Descripción
Entrada A/M	Permite ajustar el modo del regulador: 1: modo automático 0: modo manual
Entrada R	La entrada R sirve para desactivar la salida AQ. Mientras esta entrada está activada, la entrada A/M está desactivada. La salida AQ se pone a 0.
Entrada PV	Valor analógico: valor real, influye en la salida
Parámetro	Sensor: Tipo de sensor utilizado Min.: valor mínimo de PV Rango de valores: de -10.000 a +20.000 Máx.: valor máximo de PV Rango de valores: de -10.000 a +20.000 Ganancia Rango de valores: de -10,00 a +10,00 Decalaje Rango de valores: de -10.000 a +10.000 SP: Asignación del valor de ajuste Rango de valores: de -10.000 a +20.000 Mq: valor de AQ en modo manual. Rango de valores: de 0 a 1.000 Juegos de parámetros: valores predeterminados según la aplicación para KC, TI y Dir (v. abajo) KC: ganancia Rango de valores: de 00,00 a 99,99 TI: tiempo integral Rango de valores: de 00:01 min a 99:59 min Dir: sentido de actuación del regulador Ajustes posibles: + o - p: número de decimales Ajustes posibles: 0, 1, 2, 3
Salida AQ	Salida analógica (magnitud manipulada) Rango de valores para AQ: 0 a 1.000



Tabla 3-7 Descripción de los pines del bloque de regulación.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Tabla 3-8 Parámetros del bloque de comparación.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

En la figura se configura el sensor con el rango 0 - 20 mA también este bloque convertirá este amperaje en un valor numérico entre 0 – 2000. Además, en la sección de regulación se le

asignara una ganancia de x1 al error obtenido. También se configura el valor de salida manual MQ al valor máximo, este se empleará luego para el modo de limpieza CIP, ya que según la tabla de pines y configuración si se activa la salida manual, este bloque en su salida dará una salida numeral máxima 1000.

3.5.3.4 Consideraciones en los parámetros de los bloques del PLC.

Según las especificaciones del Logo 8, la lectura o escritura a través de las salidas o entradas en el PLC se puede dividir solamente en 1000 partes.

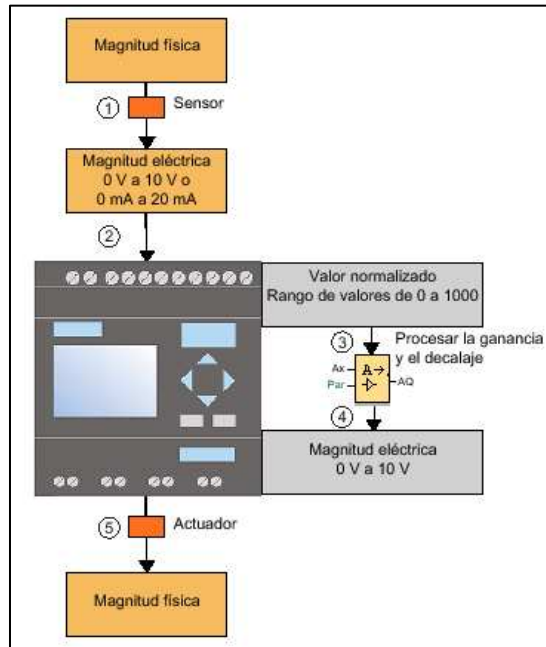


Figura 3.18 Procesamiento de una magnitud física en el PLC Logo 8.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

En el caso de la parametrización de los valores cuando se determina el rango de valores de conductividad en el controlador del sensor de conductividad se tiene la siguiente relación:

$$0 [\mu S] \rightarrow 0 [mA]; 2000[\mu S] \rightarrow 20[mA]$$

$$1[\mu S] = 0.01[mA] \dots (a)$$

En el caso de la lectura de valores analógicos en el PLC:

$$\frac{20[mA]}{1000} = 0.02[mA] \dots (b)$$

De las ecuaciones a y b podemos deducir que los valores impares de conductividad que el controlador del sensor de conductividad envíe al PLC pueden tener un error de 1 [uS] en la lectura del valor en el puerto de entrada del PLC.

3.5.4 Parametrización de la salida del PLC al controlador de la bomba.

Una vez obtenida la señal error del bloque comparador, este procede a una salida analógica del PLC. La diferencia respecto a la entrada analógica que es del tipo corriente eléctrica, es que para la salida se generará una señal de voltaje de 0-10 Voltios.

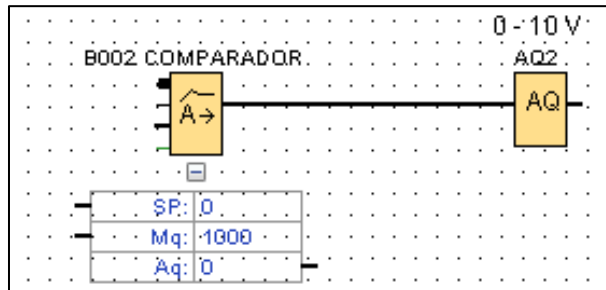


Figura 3.19 Bloque de salida analógica conectado al comparador en el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

- **El bloque AQ:** es un bloque de salida analógica del PLC y en su configuración se pueden parametrizar los límites de funcionamiento:

Reacción de las salidas analógicas en modo STOP		
<input checked="" type="checkbox"/> Todas las salidas conservan su último valor		
	Tipo de intervalo de valores	Valor en estado operativo STOP
AQ1	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ2	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ3	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ4	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ5	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ6	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ7	0-20mA / 0-10V	0,00
AQ8	0-20mA / 0-10V	0,00

Figura 3.20 configuración de los valores de las salidas analógicas del PLC.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Como en el caso de las entradas analógicas, las salidas analógicas también se dividen en 1000 valores iguales.

3.5.5 Interfaz hombre – máquina del sistema.

El sistema requiere una interfaz para poder comunicarse con el operador. Como se mencionó en la descripción de los equipos que intervendrán en el sistema, se hará el uso de una pantalla Logo TDE.

Una de las facilidades del software Logo 8 Soft comfort, es que este display puede configurarse y programarse en el mismo software.

3.5.5.1 Diseño de la interface del Logo TDE.

Según requerimiento, son necesarios tres opciones de referencia de conductividad de purga y una opción de limpieza del modo CIP.

PANEL DE CONTROL		
1	CONDUCTIVIDAD 1	CONSISTENCIA 1
2	CONDUCTIVIDAD 2	CONSISTENCIA 2
3	CONDUCTIVIDAD 3	CONSISTENCIA 3
4	CIP	
SENSOR	CONDUCTIVIDAD	CONSISTENCIA

Figura 3.21 Modelo para el HMI.



Figura 3.22 Logo TDE display.

Fuente: Siemens-products.

De la imagen del Logo TDE, se puede apreciar que posee 10 botones, de los cuales solo 8 son configurables (F1, F2, F3, F4, 4 flechas), los cuales según el software son considerados como entradas digitales los primeros y las flechas como cursores de navegación.

Entonces para que el operador del sistema puede elegir una de las opciones de referencia.

F1	SELECCIONA OPCIÓN 1
F2	SELECCIONA OPCIÓN 2
F3	SELECCIONA OPCIÓN 3
F4	SELECCIONA OPCIÓN 4

Tabla 3-9 Lista de funciones de los botones inferiores Logo TDE.

Fuente: Elaboración propia.

Para la programación del HMI con el algoritmo computacional en el PLC es necesario expresarlo en un diagrama de bloques:



Figura 3.23 Pasos para relacionar el HMI y los bloques del algoritmo.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5.2 Bloque lógico.

El bloque lógico es el encargado de generar las señales de control en el bloque MUX analógico.

BOTONES				MUX	
F1	F2	F3	F4	S1	S2
1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	1

Tabla 3-10 Tabla de verdad para generar señales de control en el multiplexador.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla de verdad, en el HMI solo se debe poder seleccionar solo una opción a la vez.

- **Bloque lógico en el programa.**

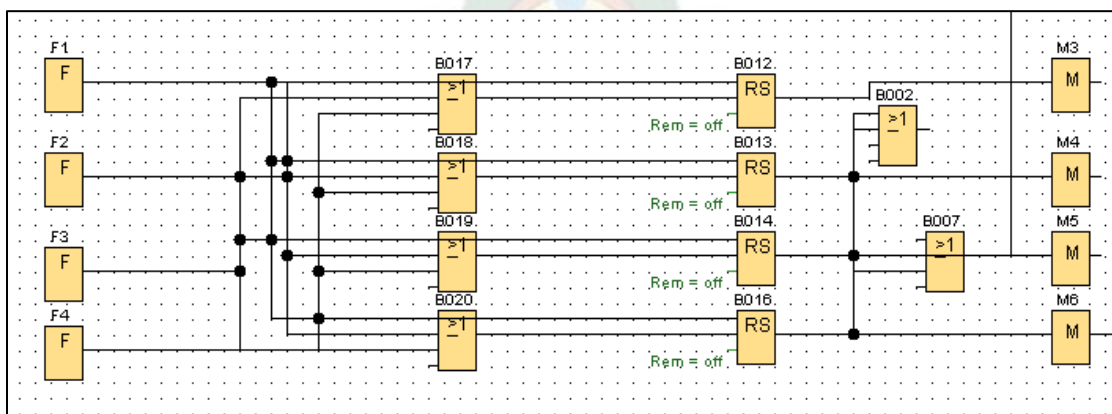


Figura 3.24 Bloque lógico en programa del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

- **Los bloques F:** representan cada uno de los botones F en el display del Logo TDE. Se emplea funciones OR y flip flips SR para cumplir con la tabla de verdad.
- **Los bloques B002 y B007:** representan las funciones S1 y S2 de la tabla de verdad.

3.5.5.3 Valores de entradas analógicas para el multiplexador.

Una vez obtenidas las señales de control del multiplexador, para determinar las señales se construye lo siguiente:

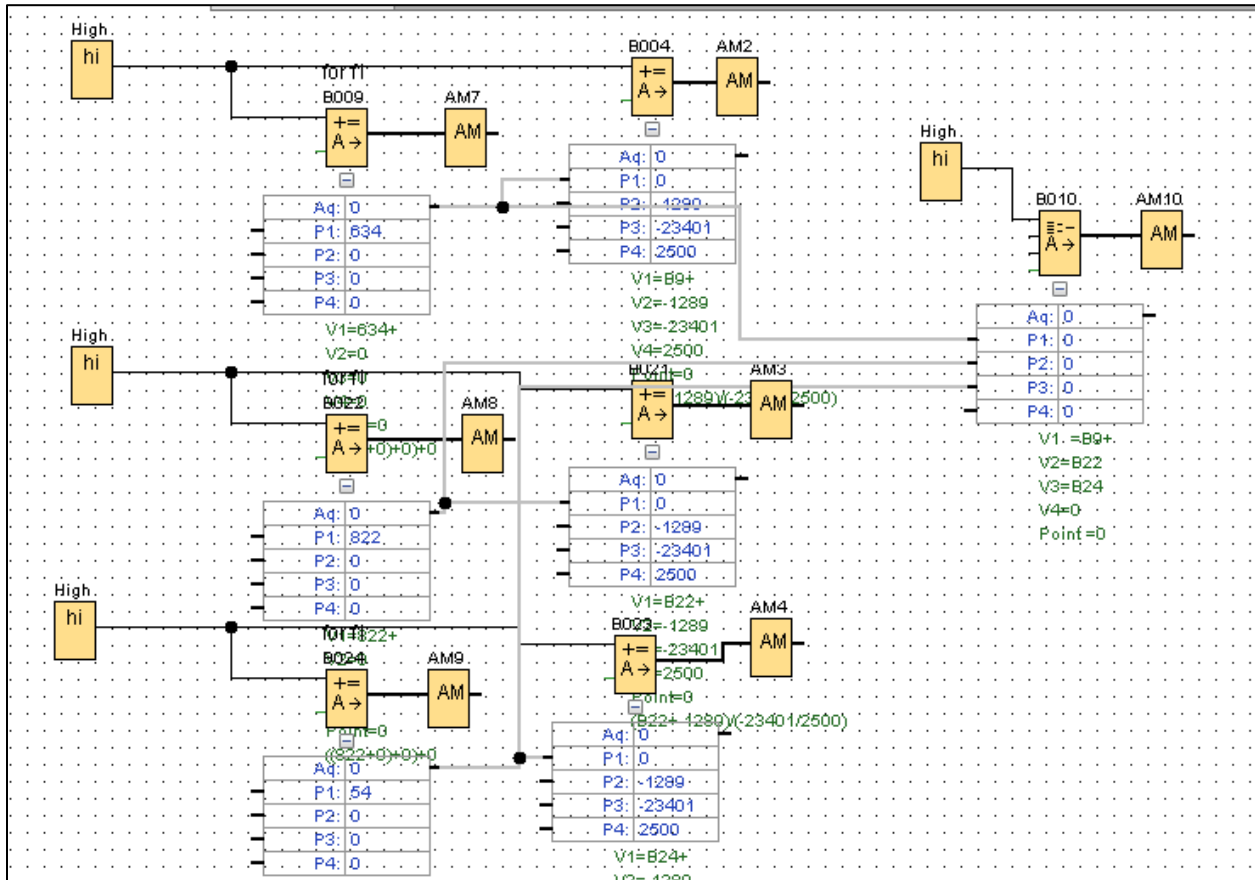


Figura 3.25 Señales para el MUX en el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura:

- **El bloque B010 MUX:** este bloque como en la figura recibe 3 señales y según la señal de control permite el paso de una de ellas a su salida Aq o AM.
- **Los bloques aritméticos (A→):** son los bloques, los cuales sus parámetros pueden ser cambiados en el interfaz HMI.

3.5.5.4 Interfaz visual del HMI.

Existen bloques específicos para la programación de pantalla Logo TDE en el mismo software de programación como se muestra en la siguiente figura:

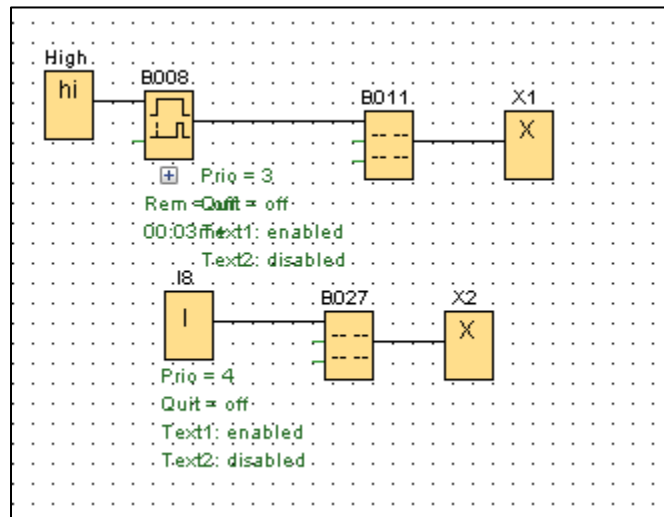


Figura 3.26 Bloques para la programación del HMI.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura de Bloques para la programación del HMI:

- **Los bloques B011, B027:** son las dos diferentes pantallas disponibles que se mostrarán en el display Logo TDE Además, estos bloques para activarse necesitan un 1 lógico. Por lo cual, en la primera parte de la figura, se tiene un bloque “high” que se puede interpretar como un 1 lógico, seguido del bloque B008, el cual es un retardo a la conexión:

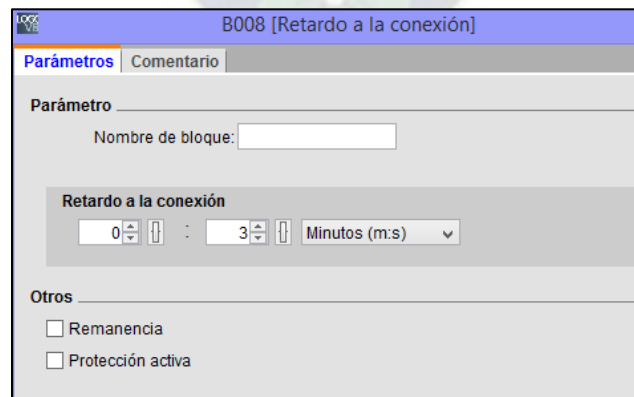


Figura 3.27 Bloque de retardo a la conexión.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Por lo tanto, una vez encendido el sistema, la pantalla programada en B011, se mostrará luego de 3 segundos de retardo y quedará siempre activa a partir de ese momento, hasta apagar el sistema.

- Los bloques X1,2 son bloques de conexión abierta requeridas, ya que el programa no puede compilarse si existen bloques en las que sus salidas no estén conectadas.

3.5.5.5 Interfaz a mostrarse en el Logo TDE.

Para poder modificar los parámetros de los bloques aritméticos, es necesario poner estos parámetros en la interfaz del HMI para que el operador pueda cambiarlos. Esta interfaz pertenece a los bloques B011 y B027 con la única diferencia que B027 la modificación de parámetros se encuentra bloqueada y en B027 esta no está bloqueada.

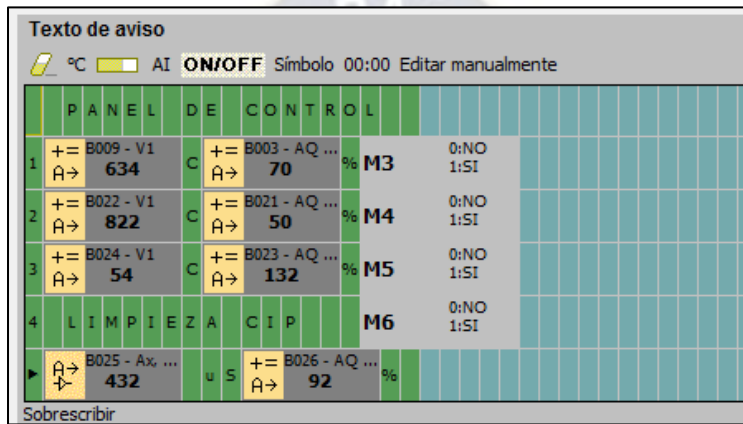


Figura 3.28 Programación de la interfaz en el HMI parámetros de purga.

Fuente: Elaboración propia.

- En la figura los bloques que terminan en B0XX – V1 representan “y” de la ecuación 3 previamente hallada.

$$x = \frac{y - 1289.5}{-23401} * 2500 \dots (3)$$

- Los bloques con terminación B0XX-AQ, representan las salidas de los bloques aritméticos y por lo tanto vienen a representar los valores de “x” de la ecuación (3).
- Lo mismo sucede con la última línea, pero a diferencia de los anteriores, en esta línea el dato proviene de la señal de entrada del PLC que viene a ser el sensor de conductividad.
- Los bloques M(3, 4, 5, 6) son indicadores provenientes del bloque lógico, que indican que opción se ha seleccionado.

3.5.5.6 Modo de limpieza CIP.

El modo CIP consiste en activar la bomba a una velocidad máxima, hasta que el operador decida pararlo, cuando todo el líquido de limpieza haya sido extraído.

Para esto se usa una de las opciones del bloque de comparación (ANEXO A, regulador):

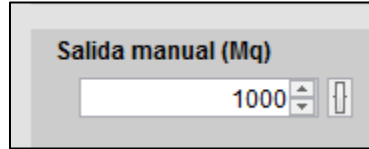


Figura 3.29 Fragmento para activar la salida manual del bloque de comparación.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Para esto se conecta directamente la marca M6 al terminal de activación de la salida manual del bloque de comparación.

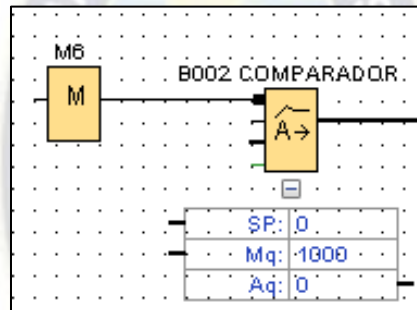


Figura 3.30 Conexión para la salida manual.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Programa completo del sistema de control en el PLC.

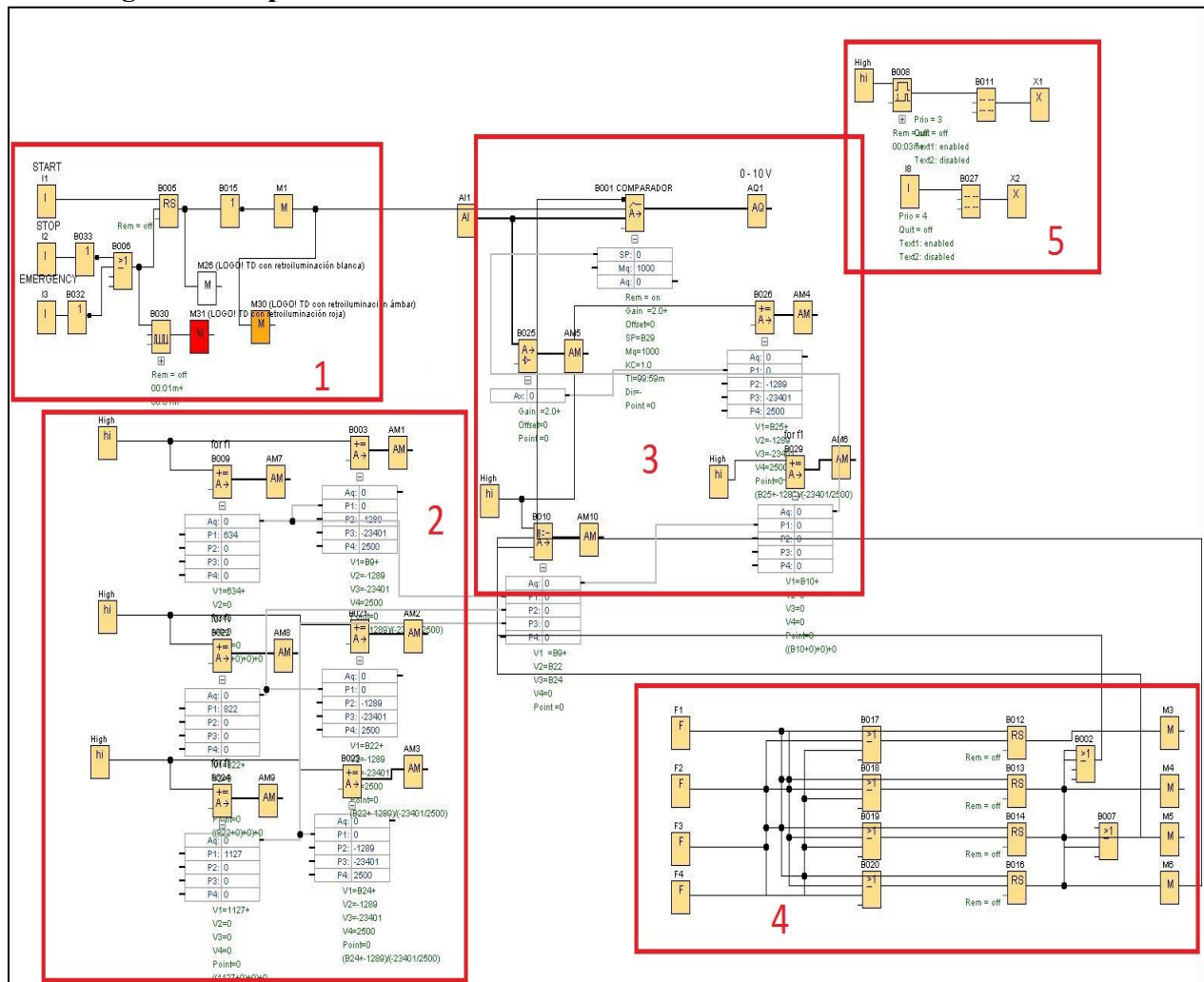


Figura 3.31 Programa completo del sistema de control en el software Logo8 soft comfort.

Fuente: Elaboración propia.

1. Condiciones de arranque y paro.
2. Bloques matemáticos para el tratamiento de datos del HMI.
3. Bloques de referencia, controlador, sensor y salida.
4. Bloques de lógica digital para los botones del Logo TDE.
5. Bloques de la pantalla Logo TDE.

3.5.7 Simulación del sistema en el PLC.

3.5.7.1 Simulación del funcionamiento del algoritmo.

El mismo software del Logo8 tiene un modo de simulación, donde se puede observar el comportamiento de la salida del PLC en función de la entrada del sensor y referencia del sistema.

En las siguientes simulaciones se presentará la selección de la referencia en la interfaz HMI juntamente con el comportamiento del sistema.

De las figuras de simulación:

- AQ: salida del bloque comparador o regulador PI (referencia para el variador de frecuencia 0 – 10V).
- SP: set point o referencia de conductividad del sistema.
- PV: valor del sensor de conductividad.

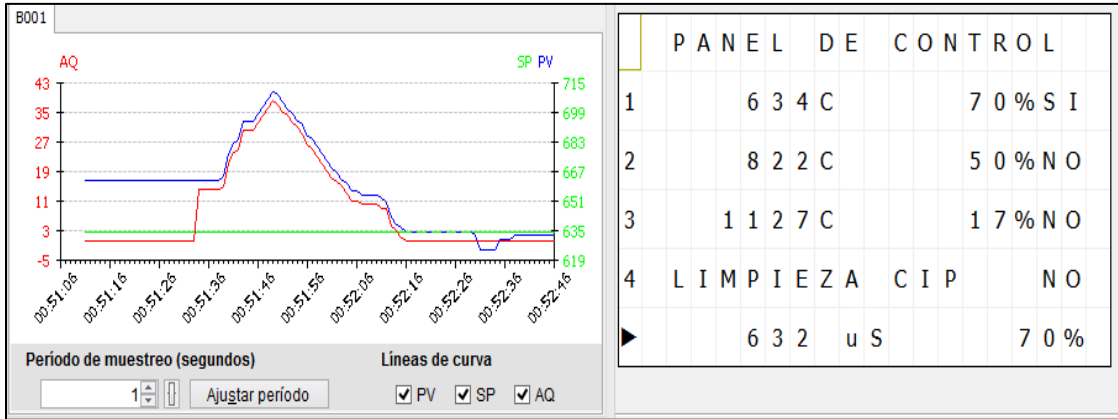


Figura 3.32 Simulación con referencia 1.

Fuente: Elaboración propia.

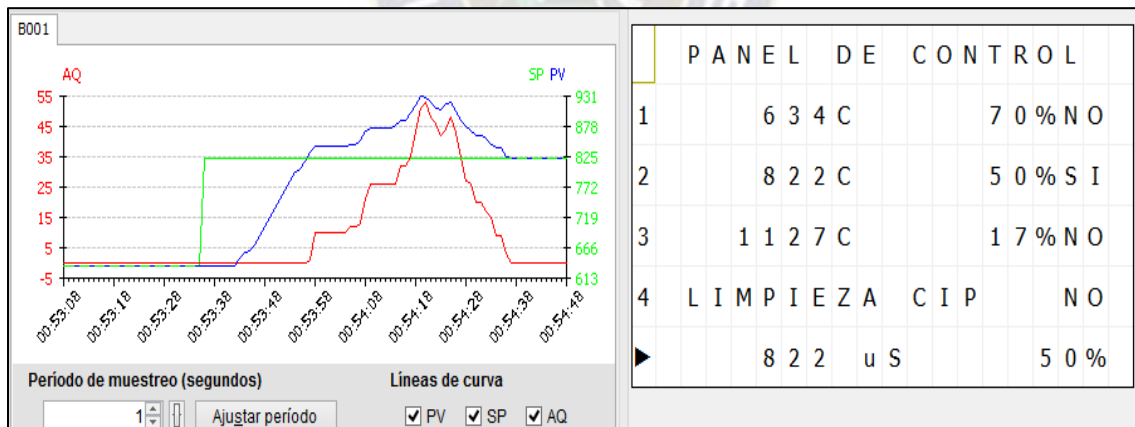


Figura 3.33 Simulación con referencia 2.

Fuente: Elaboración propia.

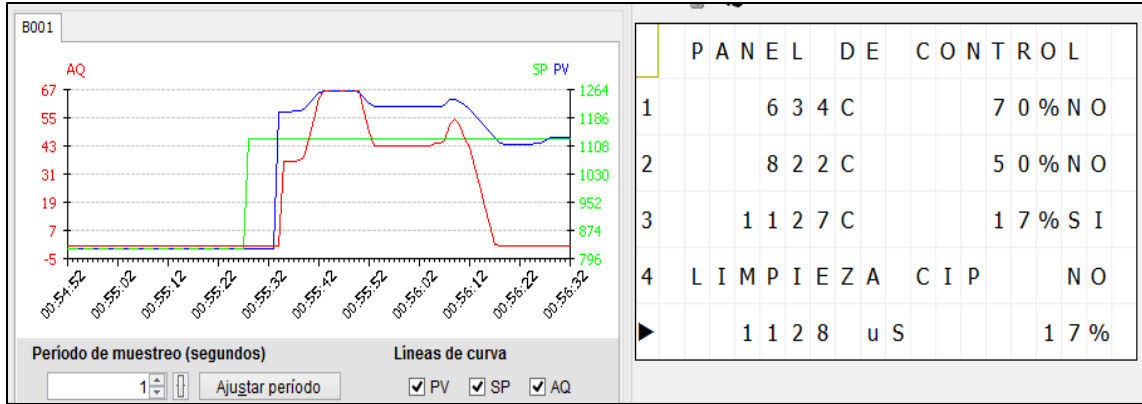


Figura 3.34 Simulación con referencia 3.

Fuente: Elaboración propia.

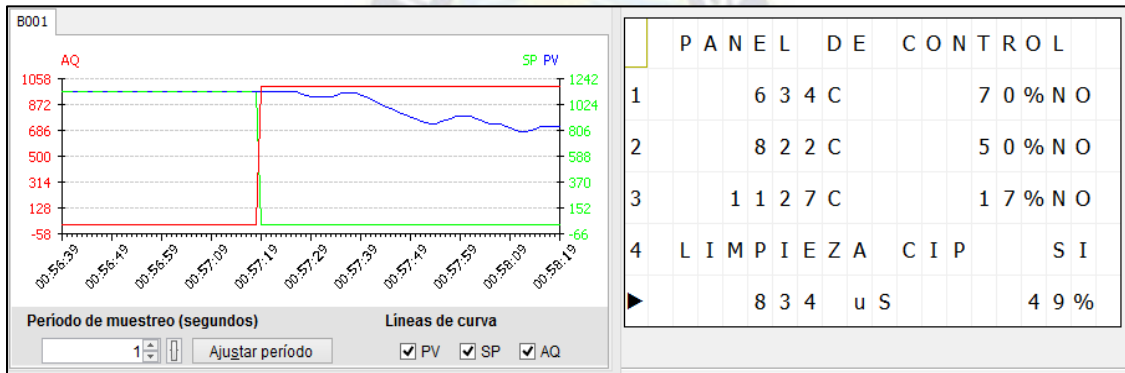


Figura 3.35 Simulación con limpieza CIP.

Fuente: Elaboración propia.

En las simulaciones 1,2 y 3 las se puede observar que las salidas AQ van variando proporcionalmente a la variación del sensor de conductividad, siempre y cuando esté por encima del valor de referencia, si este no es el caso y el sensor indica un valor por debajo de la referencia, la salida AQ tiene un valor de 0, que significará que el variador debe parar al motor de la bomba peristáltica.

La salida AQ se rige bajo la siguiente ecuación:

$$AQ = \frac{\text{valor sensor} - \text{valor referencia}}{\text{Ganancia bloque regulador PI}} * Kc \dots (4)$$

De la ecuación anterior (4), si el resultado es negativo, este se convierte a un valor de 0.

En la simulación de la limpieza CIP, se puede observar que el valor de la salida AQ siempre es 1000 o el valor máximo sin importar el valor del sensor de conductividad. El tiempo de muestreo mínimo para el bloque de comparación es de 1s.

Parte IV: IMPLEMENTACIÓN.



Capítulo 4 IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.

La implementación del sistema se lo realiza en un denominado tablero de control, el cual contiene en su interior la mayoría de los componentes mencionados en el apartado “3.3 Equipos que intervendrán en el sistema” del capítulo anterior. Además, la implementación consiste en algunos procedimientos de verificación de funcionamiento del sistema.

4.2 RESTRICCIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN.

Para la implementación es necesario establecer algunas restricciones que sobrepasan los alcances del proyecto porque entran en aspectos técnicos de otras áreas de estudio.

- El armado del tablero de control se lo realiza bajo supervisión y colaboración del equipo técnico de la empresa MATHOR SRL. Por lo cual no se tomará en cuenta en la redacción de este proyecto aspectos técnicos de normas en conexiones eléctricas y/o armado de tableros de control.
- El esqueleto donde se montará el sistema, el posicionamiento de la bomba y el gabinete de control tiene la supervisión de técnicos de la empresa cervecera, por lo cual en este documento no se tomará en cuenta este aspecto, debido a que la información pertenece a otra área distinta al diseño del sistema de control.
- Las pruebas de validación de funcionamiento del sistema se los realiza directamente en la empresa cervecera, y la verificación de los datos de purga se los realiza en laboratorios de la misma, por lo cual no es posible mostrar datos de calibración del sistema.

4.3 ARMADO DEL TABLERO DE CONTROL.

El tablero de control consta de dos partes: un exterior y una interior (gabinete).

En la parte interior se encuentran la mayoría de los componentes del sistema, además de su conexión.

En la parte exterior se encuentra la interfaz hombre – máquina, además de los botones de inicio, paro y paro de emergencia.

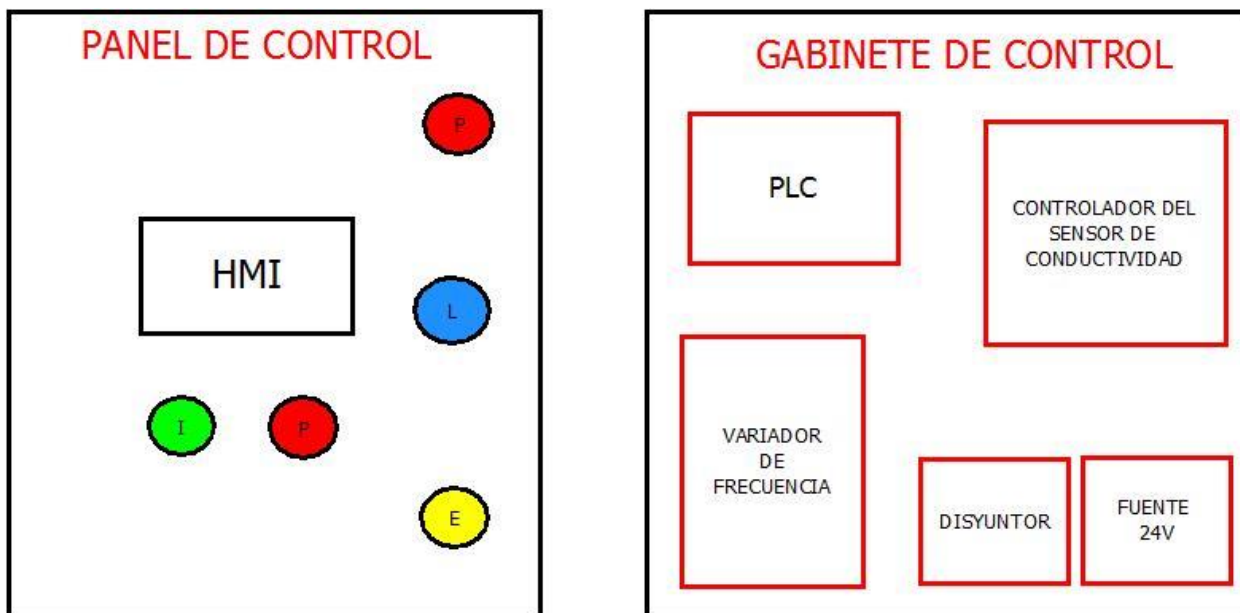


Figura 4.1 Diagrama del tablero de control.

Fuente: Elaboración propia.

- El panel de control consta del HMI o Logo TDE en la parte central, rodeado de los botones, de inicio(I), paro y paro de emergencia(P), llave de seguridad(L) para habilitar variación de parámetros y el switch de paso de energía (E).
- El gabinete de control consta del PLC, controlador del sensor de conductividad, variador de frecuencia (para la bomba peristáltica), disyuntor y la fuente de 24V para alimentar el PLC.



Figura 4.2 Tablero de control real.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 COMPONENTES EN EL GABINETE DE CONTROL.

Para la implementación del sistema es necesario configurar los componentes del sistema, para que funcionen de manera correcta con el algoritmo de control implementado en el PLC.

4.4.1 Características eléctricas de los componentes.

En la siguiente tabla se muestra algunas de sus características más importantes obtenidas de las hojas técnicas de los componentes.

COMPONENTE	ALIMENTACIÓN	SALIDA
VARIADOR DE FRECUENCIA DANFOS FC51	200-240 V AC	Trifásica 230V AC
CONTROLADOR DEL SENSOR DE CONDUCTIVIDAD Smartec CLD134	100/115/230 V AC +10/-15 %, 48 to 62 Hz	0/4-20 mA
FUENTE 24V	200 – 240 V AC	24V DC
PLC LOGO8	24 V DC	0-24 V DC
DISYUNTOR	100 – 400V	100-400V

Tabla 4-1 Características eléctricas de los componentes.

Fuente: Elaboración propia.

Basados en la tabla anterior podemos concluir que el sistema será alimentado con un voltaje de 220 V AC.

4.4.2 Configuración de las conexiones del PLC.

El PLC es el controlador de las acciones del sistema, por lo cual este se conecta con todos los componentes del sistema a excepción del disyuntor y la bomba peristáltica.

En la siguiente tabla se muestra todas sus conexiones:

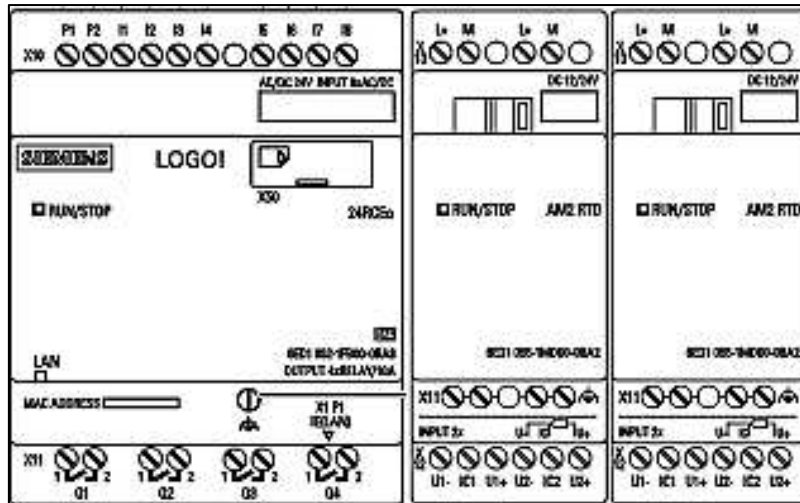


Figura 4.3 Diagrama del PLC Logo 8.

Fuente: LOGO! Manual de producto.

PIN	CONEXIÓN	PIN	CONEXIÓN
24 V	FUENTE +24	Q1	SIN CONEXIÓN
GND	FUENTE GND	Q2	SIN CONEXIÓN
I1	BOTON INICIO	Q3	SIN CONEXIÓN
I2	BOTON PARO	Q4	SIN CONEXIÓN
I3	BOTON EMERGENCIA	U1+	SIN CONEXIÓN
I4	SIN CONEXIÓN	M1	PIN 32 CONTROLADOR SENSOR
I5	SIN CONEXIÓN	I1	PIN 31 CONTROLADOR SENSOR
I6	SIN CONEXIÓN	U2+	SIN CONEXIÓN
I7	SIN CONEXIÓN	M2	SIN CONEXIÓN
I8	SIN CONEXIÓN	I2	SIN CONEXIÓN
I+	24V	U1+	PIN 53 VARIADOR DE FRECUENCIA
M+	GND	M1	PIN 55 VARIADOR DE FRECUENCIA
I+	SIN CONEXIÓN	I1	SIN CONEXIÓN
M+	SIN CONEXIÓN	U2+	SIN CONEXIÓN
I+	24V	M2	SIN CONEXIÓN
M+	GND	I2	SIN CONEXIÓN
I+	SIN CONEXIÓN		
M+	SIN CONEXIÓN		

Tabla 4-2 Conexiones del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Configuración del variador de frecuencia.

El variador de frecuencia será el encargado en el sistema de controlar la bomba peristáltica para la purga de levadura de cerveza.



Figura 4.4 Variador de Frecuencia Danfos FC51.

Fuente: Danfos manual

El variador de frecuencia se conecta de manera directa con el motor de la bomba peristáltica en los pines **U,V,W**.

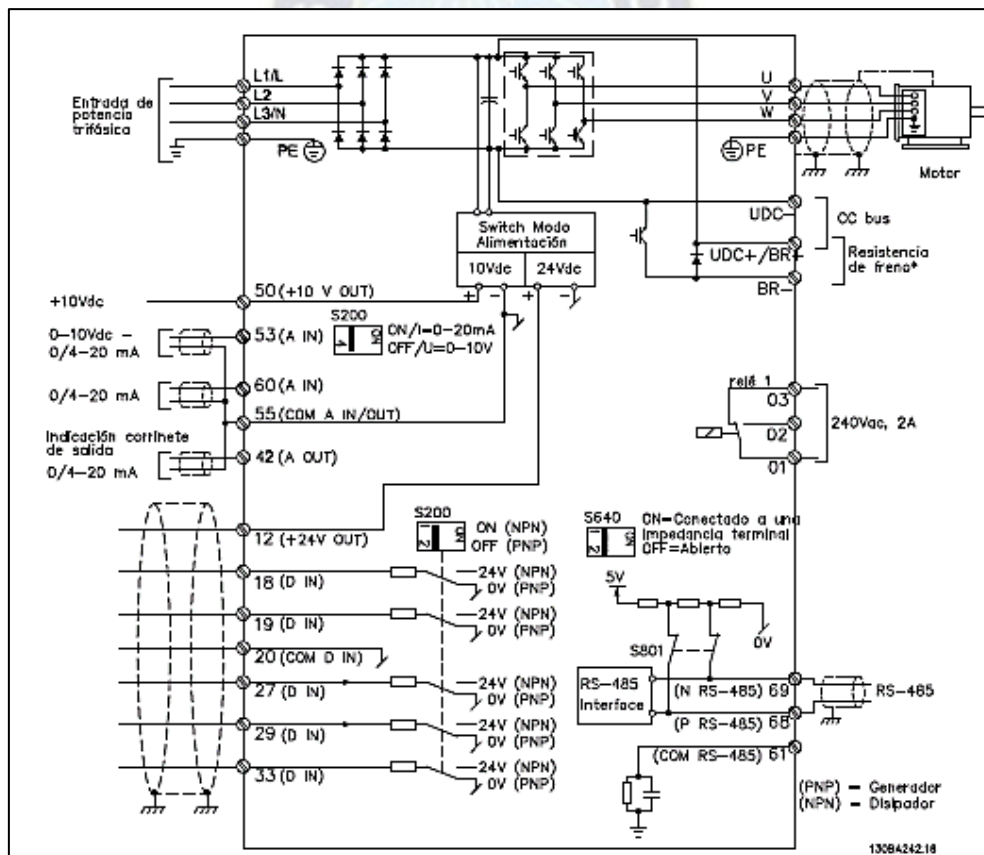


Figura 4.5 Todas las conexiones del Variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

Según el algoritmo implementado en el PLC la referencia de velocidad viene dado por una de las salidas analógicas del PLC, esta referencia viene en una magnitud de voltaje (0-10V DC), por lo tanto, hay configurar este tipo de referencia en el variador y emplear los pines de conexión en el variador destinado a este tipo de referencia.

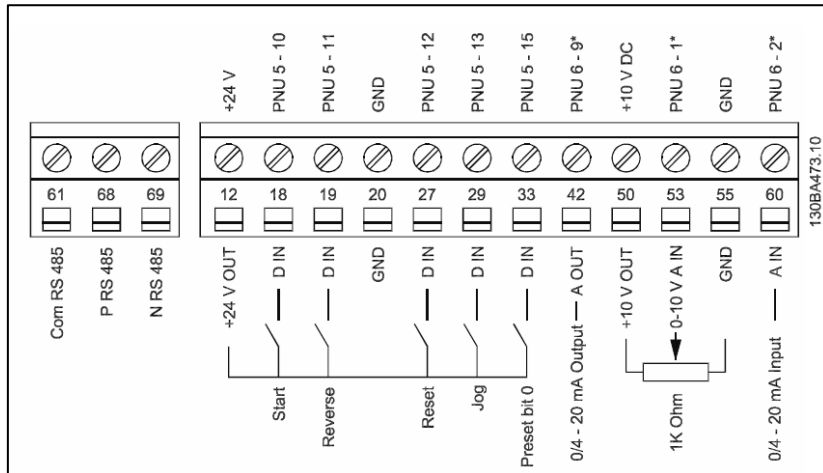


Figura 4.6 Pines de conexión del variador Danfos FC51.

Fuente: Danfos FC51 manual.

De la figura los pines destinados para conectarse con la salida analógica del PLC son los pines 53 y 55, destinado para la referencia externa de velocidad.

3-15 Fuente 1 de referencia		
Option:		Función:
		3-15 Fuente 1 de referencia, 3-16 Fuente 2 de referencia y 3-17 Fuente 3 de referencia definen hasta tres señales de referencia distintas. La suma de estas señales de referencia define la referencia actual.
[0]	Sin función	No se define ninguna señal de referencia.
[1] *	Entrada analógica 53	Utilice señales de la entrada analógica 53 como referencia, consulte el grupo

Tabla 4-3 Configuración de la referencia de velocidad en el variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

Según el manual de configuración del Danfos FC51 existen cientos de parámetros que pueden ser configurados, pero el mismo fabricante configura ciertos valores normalizados para un uso rápido y sencillo, siendo que solo sea necesario cambiar algunos de ellos según las especificaciones del motor que gira a la bomba peristáltica.

En el variador se configuran en base a los siguiente parámetros siguientes parámetros:

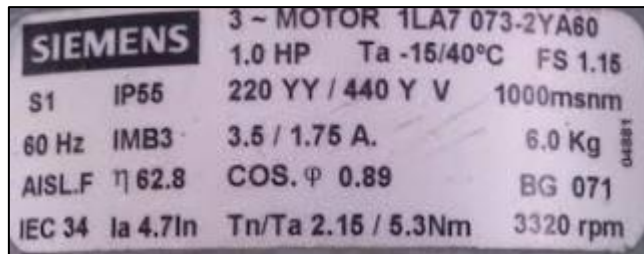


Figura 4.7 Placa del motor para la bomba peristáltica.

Fuente: Elaboración propia.

- Frecuencia máxima de 40 Hz y mínima de 0 Hz (dentro del rango según la placa).

3-02 Referencia mínima		
Range:	Función:	
0,00* [-4999-4999]	Introduzca el valor de referencia mínima. La suma de todas las referencias internas y externas está limitada al valor de referencia mínima, 3-02 Referencia mínima.	
3-03 Referencia máxima		
Range:	Función:	
	La referencia máxima se puede ajustar dentro del intervalo comprendido entre Referencia mínima y 4999.	
50,00* [-4999-4999]	Introduzca un valor para la referencia máxima. La suma de todas las referencias internas y externas está limitada al valor de referencia máxima, 3-03 Referencia máxima.	

Tabla 4-4 Configuración de la referencia de Velocidad.

Fuente : FC51 manual

- Corriente máxima: 3.5 A.

16-14 Corriente del motor		
Range:	Función:	
0,00 A* [0,00-655 A]	Ver la intensidad de la fase del motor.	

Tabla 4-5 Configuración corriente máxima.

Fuente: FC51 manual.

- Potencia 7.5 HP.

1-20 Potencia del motor [kW]/[CV] ($P_{m,n}$)		
Option:	Función:	
[7]	0,75 kW/1,00 CV	
[8]	1,10 kW/1,50 CV	
[9]	1,50 kW/2,00 CV	
[10]	2,20 kW/3,00 CV	
[11]	3,00 kW/4,00 CV	
[12]	3,70 kW/5,00 CV	
[13]	4,00 kW/5,40 CV	
[14]	5,50 kW/7,50 CV	
[15]	7,50 kW/10,0 CV	
[16]	11,00 kW/15,00 CV	
[17]	15,00 kW/20,00 CV	
[18]	18,50 kW/25,00 CV	
[19]	22,00 kW/29,50 CV	
[20]	30,00 kW/40,00 CV	

Tabla 4-6 Configuración de la potencia del motor.

Fuente: FC51 manual.

De la tabla de configuración seleccionamos la opción [7].

- Aceleración del motor: la aceleración y desaceleración del motor será del tipo lineal (Anexo rampa de variador de frecuencia) con un tiempo de 250 ms hasta alcanzar la referencia.

3-42 Tiempo de desaceleración de rampa 1		
Range:	Función:	
Depende del tamaño*	[0,05-3600,00 s]	Introduzca el tiempo de rampa de desaceleración desde la frecuencia nominal del motor ($f_{M,N}$) en 1-23 Frecuencia del motor hasta 0 Hz.

Tabla 4-7 Configuración aceleración y desaceleración del motor en el variador.

Fuente: FC51 manual.

Existen otros parámetros, que pueden configurarse, pero según los técnicos asesores, estos se encuentran dentro de los márgenes de los valores predeterminados en el variador, configurados ya de fábrica.

4.4.4 Fuente de 24 V.

La fuente es un componente conversor de voltaje de 110 - 240 V AC a 24 V,, su función principal en el sistema es alimentar al PLC, y además estar conectado a los botones conectados al PLC (inicio, paro, emergencia, llave de seguridad), para cuando estos se activen enviar estos 24 V a las entradas del PLC, donde este toma el valor de 24 V como un "1" lógico (*high*).



Figura 4.8 Fuente de poder Flinder 24V, 1,7 A.

Fuente: Amazon.

4.4.5 Controlador del sensor de conductividad.

El controlador del sensor de conductividad es el encargado de procesar los datos que el sensor envía y además puede convertir estos valores de conductividad en valores de corriente 0/4 -20mA.

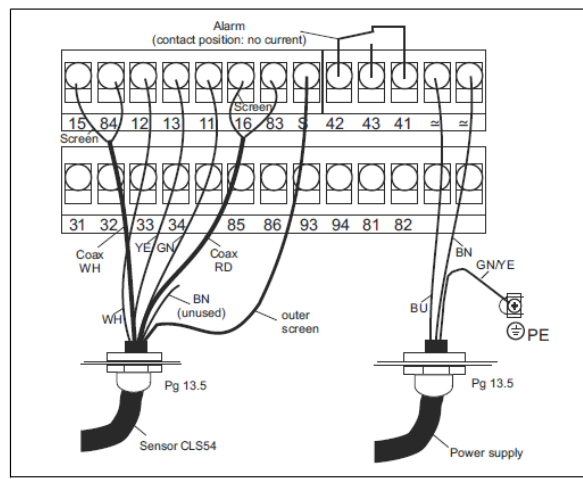


Figura 4.9 Conexión del controlador del sensor de conductividad.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

Los pines 15,84,12,13,11,16,83, S son empleados para la conexión del sensor, CLS54.

Según el diagrama de conexión (Anexos: sensor de conductividad) los pines 31 y 32, son conectados a las entradas M1 e I1 del PLC.



Figura 4.10 Pines de conexión del controlador del sensor de conductividad al descubierto.

Fuente: Elaboración propia.

La alimentación de este controlador es en los dos últimos pines de la parte superior derecha.

4.5 PREPARACIÓN DEL SISTEMA.

4.5.1 Calibración del sensor de conductividad.

Para el funcionamiento del sistema es necesario realizar una pre calibración, al sensor de conductividad, este sensor en su mismo manual tiene un procedimiento de calibración, especificado en la sección de calibración del manual del sensor *Smartec CLD 134*.



Figura 4.11 Sensor de conductividad del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

La calibración puede ser desarrollado por dos diferentes métodos.

- Mediante la calibración del sensor en un líquido de conductividad conocido.
- Configurando el valor exacto de “constante de celda de conductividad” del sensor.

En el caso del proyecto, la calibración se la hace mediante la segunda opción, el producto viene con un certificado de manufactura.



Figura 4.12 Certificado de manufactura del sensor de conductividad.

Fuente: Elaboración propia.

En la configuración de parámetros existen otras variables más, pero estas se encuentran preconfiguradas de fábrica, para un funcionamiento regular, por lo cual no se hace mayor modificación de los mismos, salvo el sensor presente ciertas variaciones o problemas de medición.

Para la verificación del funcionamiento se realiza una prueba con agua, alcanzando un valor próximo al valor obtenido de la siguiente tabla:

Tabla N° 1. PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO	
Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 µS/cm*
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

Tabla 4-8 Parámetros de control del agua potable Bolivia.

Fuente: NB-512-Reglamento-Control-de-Calidad-del-Agua-para-Consumo-H.



Figura 4.13 Controlador del sensor de conductividad en funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Posicionamiento del sensor de conductividad.

El sensor de conductividad tiene un posicionamiento en un tubo de acero inoxidable conectado a una de las salidas de bomba peristáltica.



Figura 4.14 Posicionamiento del sensor de conductividad.

Fuente: Elaboración propia.

Esta posición va de acuerdo a una imagen del manual del sensor.

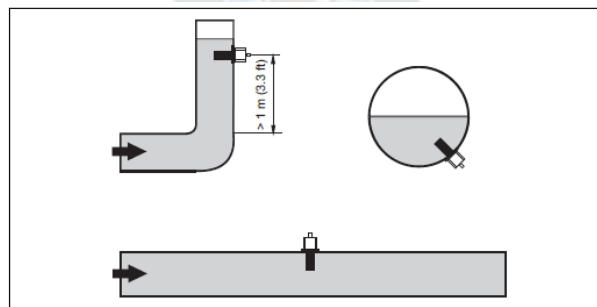


Figura 4.15 Posicionamiento del sensor según el manual de usuario.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

4.5.4 Montado de la bomba peristáltica y motor.

Para que la bomba peristáltica funcione, requiere ser conectado a un motor y este a un reductor para incrementar su fuerza de torque. A su vez estos equipos se montan sobre un carrito metálico mediante soldadura realizada por los técnicos del área.



Figura 4.16 Diagrama del montaje del Sistema.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.17 Montado del sistema en el carrito.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.18 Sistema montado.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

Para verificar el funcionamiento del sistema, primero se conecta el sistema a una de los tanques de fermentación, para realizar las pruebas con producto real, luego, se procede a verificar el funcionamiento de todos los componentes del programa implementado en el PLC, como las lecturas de los valores del sensor, estados de salida, estados del HMI.



Figura 4.19 Verificación del funcionamiento del algoritmo en el PLC en el computador.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.20 Llave de salida del tanque de fermentación conectado al sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del funcionamiento se selecciona una de las opciones de referencia de purgado. Una vez seleccionada la referencia se procede a presionar el botón de inicio, para que se inicie la purga.



Figura 4.21 Interfaz HMI seleccionando la primera referencia en modo paro.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.22 Interfaz HMI del sistema en modo marcha.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez el sistema está en modo marcha se abre una de las llaves auxiliares para proceder a la purga, y cuando el sistema llega a parar se recoge una pequeña cantidad de la levadura purgada para ser llevada a los laboratorios de la empresa para ser confirmar la consistencia de la levadura purgada.



Figura 4.23 Abriendo válvula para expulsar la muestra de levadura.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada las pruebas, se obtuvieron los siguientes resultados:

REFERENCIA	CONSISTENCIA	PURGA	CONSISTENCIA	ERROR
822 [uS/cm]	50%	808 [uS/cm]	51%	1%
1102 [uS/cm]	20%	1092 [uS/cm]	21%	1%
1196 [uS/cm]	10%	1181 [uS/cm]	12%	2%

Tabla 4-9 Datos de las pruebas de purga.

Fuente: Documento de la empresa Mathor S.R.L.

Según la tabla de pruebas de purga, el error oscila entre los valores de 1-2%, este valor de error es debido a que la conductividad de la levadura de cerveza purgada no tiene un comportamiento lineal.

Estos datos fueron validados por los laboratorios de la empresa Cervera, demostrando que el sistema no solo tenía un error menor al 5%, sino que también era preciso y por lo tanto la cantidad de merma de producto sería mucho menor al esperado.



Parte V. CONCLUSIVA.



Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A continuación, se presenta las conclusiones obtenidas a partir de la experiencia en el proceso del diseño del sistema y así también las recomendaciones para proyectos futuros que tienen como tema la automatización de un proceso industrial.

5.1 CONCLUSIONES.

- Diseñar un sistema de control para automatizar el proceso de purga de levadura de cerveza en una empresa dedicada al rubro cervecero en Bolivia.

Conclusión: Se diseñó un sistema de control, para automatizar el proceso de purga de levadura de cerveza de la empresa Bebidas Bolivianas, para lo cual se empleó una metodología, conocimientos de técnicas de control, y conocimiento en programación de un controlador lógico programable. Así también, se contó con el asesoramiento técnico por parte de una empresa dedicada al rubro de la automatización durante el proceso de diseño e implementación del proyecto. Para el diseño e implementación del sistema también se tomó en cuenta, parámetros de seguridad para el operador como para el propio sistema, como es el caso de botones de emergencia y luces indicadoras para el caso del operador; como también protección del sistema mediante el uso de un gabinete de acero inoxidable que protegiera los componentes de control de los efectos del medio de operación.

- Obtener una precisión de la purga de un valor igual o menor al 5%. Para reducir la merma de levadura de cerveza.

Se diseño e implementó el sistema en la planta de elaboración de cerveza de manera satisfactoria, donde se lograron cumplir todos los requerimientos, y resaltando que el error que se obtiene del sistema es de 1 – 2 %, un resultado que implica que el sistema será más preciso y por lo tanto se tendrá una menor cantidad de merma de producto.

- Identificar los pasos que involucrarán realizar el proceso automatizado de purga de levadura de cerveza.

Conclusión: Para el diseño del sistema de control, se Identificaron cuatro pasos necesarios que describieran el funcionamiento del sistema (Figura 3.1 Diagrama general del funcionamiento del sistema). Los cuales se emplearon como base para la realizar el diagrama del sistema de control (Figura 3.2 Diagrama de bloques del sistema de control). Una vez identificado estos pasos, se pudo comprender el principio de funcionamiento y así diseñar el sistema para realizar la automatización.

- Definir los requerimientos para realizar la automatización del proceso.

Conclusión: Los requerimientos para la automatización fueron establecidos por la empresa cervecera donde se implementó el sistema, estos requerimientos se los puede observar en la sección: “3.1 *Requerimientos del sistema*”. Estos requerimientos conjuntamente con el principio de funcionamiento de funcionamiento, son los pilares para el diseño del sistema.

- Diseñar el sistema de control, en base a una metodología de automatización de un proceso industrial.

Conclusión: Se diseñó el sistema de control, en base a una metodología propuesta por un artículo de una revista de la universidad tecnológica de Sonora, México. En este artículo se propone una metodología en automatización de un proceso, haciendo uso de un controlador lógico programable. Durante el diseño del sistema se pudo evidenciar que la aplicación de esta metodología era bastante práctica y tenía mucha similitud con los procedimientos que empleaba la empresa de automatización donde con quienes se desarrolló el proyecto.

- Diseñar un algoritmo computacional para el sistema de control, aplicable en un controlador lógico programable (PLC), que tome en cuenta el principio de funcionamiento del proceso y la función de los actuadores y sensores que intervendrán en el sistema.

Conclusión: Se diseñó el algoritmo computacional para el sistema de control, con el fin de aplicarlo en el controlador lógico programable, este algoritmo fue de gran importancia para el sistema, debido a que el PLC se lo podría denominar como el cerebro del sistema.

El programa que se diseñó, empleó un lenguaje en bloques, que es propio del software de programación del PLC Logo 8 de Siemens, que se empleó para el proyecto. Entonces, fue necesario emplear lógica digital, para ciertas condiciones de funcionamiento del sistema, tales como las funciones de arranque y paro, además de selección y configuración de los valores de referencia del sistema.

Para el desarrollo del algoritmo que se implementó en el PLC, fue necesario la identificación de relaciones matemáticas, que pudieran traducir los requerimientos de consistencia de purga de levadura de cerveza, en números que puedan ser computables por el algoritmo y comparables con la referencia. Así también el uso de ecuaciones para convertir los valores que el controlador del sensor de conductividad en valores computables en el algoritmo. Estas ecuaciones se pudieron hallar a partir de las especificaciones y configuración del controlador del sensor de conductividad, tomando en cuenta la resolución de las entradas y salidas del PLC.

Además de los bloques lógicos, también se emplearon bloques que analógicos, y aritméticos, en los cuales se implementaron las ecuaciones y relaciones matemáticas halladas para el funcionamiento del sistema.

El programa que se diseñó, conserva la característica de ser un sistema de control a lazo cerrado, gracias a la aplicación de un bloque “regulador” que nos permite aplicar este tipo de sistema de control empleando un controlador del proporcional de ganancia unitaria.

5.2 RECOMENDACIONES.

Con base a la experiencia, del diseño y parte de la implementación del presente proyecto se hace mención a las siguientes recomendaciones.

- Para realizar la automatización de un proceso industrial, es necesario primero comprender el principio de funcionamiento, y luego idear que componentes serán necesarios para realizar el proyecto, tomando en cuenta aspectos tales como: compatibilidad de componentes, o si se puede adquirir el componente fuera o dentro del territorio.
- Uno de los temas importantes dentro de la automatización de un proceso industrial, es el análisis de costo / beneficio del mismo, el presente proyecto no muestra este análisis, debido a que se entra en otro campo de estudio y este fue realizado por la empresa encargada de automatización.
- El sistema debe ser constantemente monitoreado durante los primeros días de prueba, luego de este periodo se sugiere un monitoreo semestral, y mantenimiento anual. Es importante realizar estos mantenimientos ya que el sistema puede sufrir algún tipo de deterioro por el medio en el que se encuentra, por ejemplo, la humedad o temperatura del ambiente, puede deteriorar algunos componentes plásticos y esto podría afectar al funcionamiento del sistema.
- Es importante tener asesoramiento, en aspectos técnicos como normas eléctricas industriales y seguridad industrial, para la implementación, debido a que cualquier sistema con partes eléctricas y mecánicas puede representar un riesgo para el operador, razón por la cual todas las conexiones se encuentran debidamente aisladas para evitar riesgos eléctricos y el sistema tiene un botón de paro de emergencia para algún percance cuando el sistema esté en funcionamiento, todo esto con el fin de hacer el sistema seguro para el operador.

Bibliografía.

- [1] Maribel Quiroga Fernández (2018). “*ingredientes básicos de la cerveza*”. www.forbes.com.mx/los-cuatro-ingredientes-basicos-de-la-cerveza. Septiembre 2019
- [2] Chris White and Jamil Zainasheff (2014). “*Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation*”
- [4] Martí, M., & Rodríguez, L. (2012). “*Proyecto de automatización de una cervecería artesanal*”.
- [5] López Fuster, A. (2019). “*Diseño de la automatización del proceso de fermentación en una cervecería artesanal (Doctoral dissertation)*”.
- [6] Picado, A., Mendieta, R., Porrás, L., & Martínez, J. (2002). “*Diseño de un sistema para la recuperación de cerveza residual y secado de la levadura sobrante.*”
- [7] Crison_instruments (2004) “*conductivity. A little theory*”. *Laboratory Catalogue 2004 1st Edition*
- [8] Sayontan Sinha (2016). Electrónica Unicrom “*Motores de corriente alterna*”. unicrom.com/motor-de-corriente-alterna-o-motor-ac
- [9] Moreno, E. G. (2001). “*Automatización de procesos industriales*”. Valencia: Alfaomega.
- [10] UNED. Ingeniería de Sistemas Industriales (2013). “*Controladores Industriales Inteligentes*”. [Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf](#)
- [10] Aguilar, Horacio, Estados Unidos, (2003), “*Revista de manufactura industrial*”.pág. 12,13.
- [11] Balcells Joseph, Romeral José Luis (1999) “*Autómatas programables*”, Alfaomega, México D. F.
- [12] Viruega Sevilla, D. (2018). “*Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de cerveza*”.
- [13] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Junio, (1999). “*INDUSTRIA DE LA CERVEZA, Guía para la Aplicación del Sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (ARCPC)*”. Pag 29

[14] Mettler-Toledo AG, Process Analytics, Inc. “*Conductivity for media separation control in beer filler machines*”

[15] SPX Corporation (2008). “*Beer Processing Solutions*”.

[16] BEBIDAS BOLIVIANAS BBO S.A. bebidasbolivianas.com/pages/nosotros. Septiembre 2019

[17] Plevnik “*Equipamiento para el procesamiento de alimento*”. www.plevnik.si/es. Septiembre de 2019.

[18] GÓMEZ GARCÍA, A. D. R. I. Á. N. (2014). “*Mejora y optimización del proceso de elaboración de la cerveza dentro de una industria cervecera (Doctoral dissertation)*”.

Glosario de términos.

C

Conductividad Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso a través de sí del calor o la electricidad.

I

Interpolación Se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

L

Lager Ejemplo de tipo de cerveza con sabor acentuado que se sirve fría, caracterizada por fermentar en condiciones más lentas empleando levaduras especiales.

Lógica digital Forma en la que usamos el álgebra de Boole aplicado a la informática y la programación.

M

Mosto Líquido extraído del proceso de remojo de malta durante el proceso de fabricación de la cerveza.

P

Purga Proceso de extracción.

R

Repitching Proceso para la reutilización de la levadura de cerveza.

T

Tabla de verdad Tabla que se emplea para mostrar los valores booleanos, como resultado de la combinación de variables.

Acrónimos.

PLC Controlador lógico programable.

CIP Cleaning in place.

uS Micro Siemen.

HMI Interfaz Hombre máquina.

mA Mili amperios.

V Voltios.

R Coeficiente de correlación.

Anexos

ANEXO A. BLOQUES EMPLEADOS EN LA PROGRAMACIÓN DEL PLC.

A.1 bloque elementales (Software Logo soft comfort).

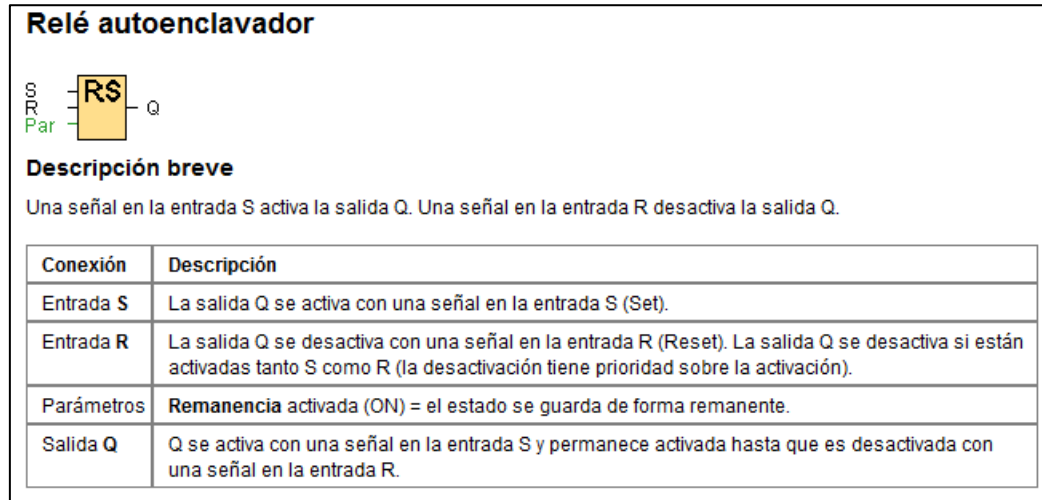


Figura 5.1 Bloque relé autoenclavador.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

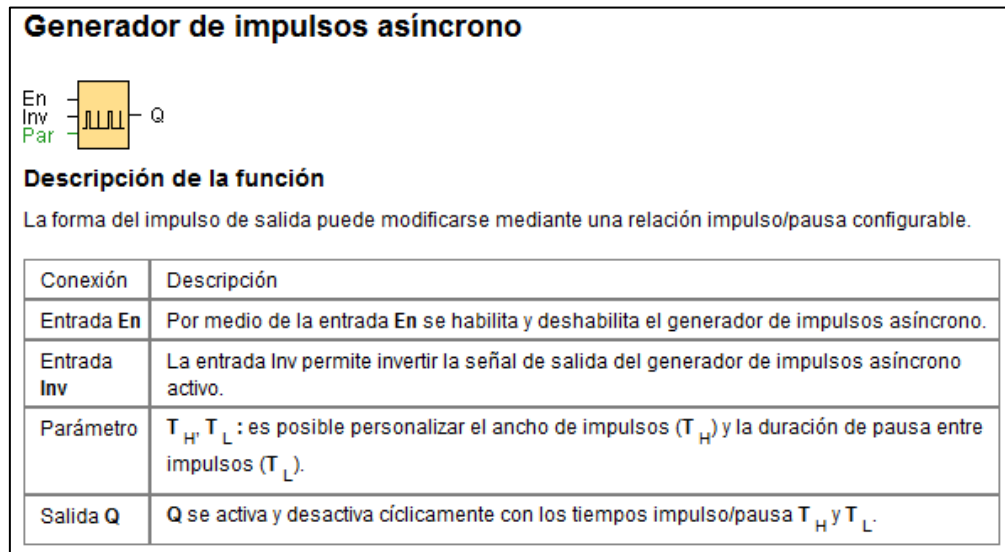
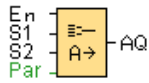


Figura 5.2 Bloque generador de impulsos asíncronos.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Multiplexor analógico



Descripción breve

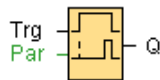
Cuando está activado, el SFB Multiplexor analógico muestra uno de cuatro valores analógicos predeterminados, dependiendo de las condiciones de la entrada.

Conexión	Descripción
Entrada En	El estado de señal 1 en la entrada En (Enable) devuelve en la salida AQ un valor analógico parametrizado, en función de S1 y S2. El estado de señal 0 en la entrada EN pone a 0 la salida AQ.
Entradas S1 y S2	S1 y S2 (selectores) para seleccionar el valor analógico que debe devolverse. S1 = 0 y S2 = 0: se devuelve el valor V1 S1 = 0 y S2 = 1: se devuelve el valor V2 S1 = 1 y S2 = 0: se devuelve el valor V3 S1 = 1 y S2 = 1: se devuelve el valor V4
Parámetro	V1 a V4: valores analógicos que se devolverán. Rango de valores: -32768 a +32767 p: número de decimales Ajustes posibles: 0, 1, 2, 3
Salida AQ	Salida analógica Rango de valores para AQ: -32768 a +32767

Figura 5.3 Bloque multiplexor analógico.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Retardo a la conexión



Descripción breve

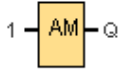
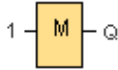
La salida no se activa hasta que ha transcurrido un tiempo de retardo configurado.

Conexión	Descripción
Entrada Trg	La entrada Trg (Trigger) dispara el temporizador de retardo a la conexión.
Parámetro	T: tiempo de retardo tras el que se activa la salida (transición de la señal de salida de 0 a 1). Remanencia activada = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Q se activa una vez expirado el tiempo parametrizado, si Trg sigue activada.

Figura 5.4 Bloque de retardo a la conexión.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Marcas



Los bloques de marcas devuelven en su salida la señal de entrada. LOGO! 0BA7 dispone de 27 marcas digitales (M1 a M27) y 16 marcas analógicas (AM1 a AM16). LOGO! 0BA8 dispone de 64 marcas digitales (M1 a M64) y 64 marcas analógicas (AM1 a AM64).

0BA0	0BA6: 27 marcas digitales (M1 a M27); seis marcas analógicas (AM1 a AM6).
0BA4, 0BA5	0BA4, 0BA5: 24 marcas digitales (M1 a M24); seis marcas analógicas (AM1 a AM6)
0BA3, 0BA2	0BA3, 0BA2: ocho marcas digitales (M1 a M8)
0BA1	0BA1: cuatro marcas digitales (M1 a M4)
0BA0	0BA0: cero marcas

En la configuración de bloques puede asignar un nuevo número a una marca, siempre y cuando el nuevo número no exista aún en el programa.

En la salida está aplicada siempre la señal del anterior ciclo del programa. Este valor no cambia en el ciclo actual del programa.

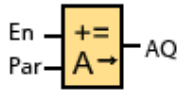
Las siguientes marcas especiales tienen un color de fondo distinto:

- M8 = marca de inicialización (se muestra en azul en LOGO!Soft Comfort)
- M25 = LOGO! con retroiluminación blanca
- M26 = LOGO! TD con retroiluminación blanca
- M27 = marca del juego de caracteres de mensaje (se muestra en verde en LOGO!Soft Comfort)
- M28 = LOGO! con retroiluminación ámbar
- M29 = LOGO! con retroiluminación roja
- M30 = LOGO! TD con retroiluminación ámbar
- M31 = LOGO! TD con retroiluminación roja

Figura 5.5 Bloques de Marcas.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Instrucción aritmética



Descripción breve

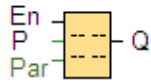
El bloque "Instrucción aritmética" calcula el valor AQ de una ecuación formada por operandos y operadores definidos por el usuario.

Conexión	Descripción
Entrada En	Un flanco ascendente en la entrada En habilita el bloque de función "Instrucción aritmética"
Parámetro	V1: Valor 1: primer operando V2: valor 2: segundo operando V3: valor 3: tercer operando V4: valor 4: cuarto operando Rango de valores: -32768 a 32767 Operador 1: primer operador Operador 2: segundo operador Operador 3: tercer operador Prioridad 1: prioridad de la primera operación Prioridad 2: prioridad de la segunda operación Prioridad 3: prioridad de la tercera operación p: número de decimales Ajustes posibles: 0, 1, 2, 3
Salida AQ	La salida AQ es el resultado de la ecuación de valores de operandos y operadores. AQ se pone a 32767 si ocurre una división por 0 o un rebase por exceso, o bien a -32768 si ocurre un rebase por defecto.

Figura 5.6 Bloque instrucción aritmética.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

Texto de aviso (solo LOGO! 0BA8 y versiones posteriores)



Descripción breve

Cuando LOGO! está en modo **RUN**, esta función muestra textos de aviso y parámetros de otros bloques en el display integrado de LOGO! o en LOGO! TDE.

Conexión	Descripción
Entrada En	Una transición de 0 a 1 en la entrada En (Enable) inicia la visualización del texto de aviso.
Entrada P	P es la prioridad del texto de aviso. 0 es la prioridad más baja y 127 la más alta. Ack: acuse del texto del aviso
Parámetro	<p>Texto: entrada del texto de aviso</p> <p>Par: parámetro o valor real de otra función preprogramada que puede visualizarse de forma numérica o en un diagrama de barras (consulte "Parámetros o valores reales visualizables")</p> <p>Hora: muestra la hora continuamente actualizada</p> <p>Fecha: muestra la fecha continuamente actualizada</p> <p>Hora En: visualización de la hora de cambio de estado de señal de 0 a 1 en la entrada En</p> <p>Fecha En: visualización de la fecha de cambio de estado de señal de 0 a 1 en la entrada En</p> <p>Nombres de estado de E/S: visualización del nombre de un estado de entrada o salida digital, p. ej. "On" u "Off". Los dispositivos LOGO! 0BA8 pueden visualizar los nombres de estado de los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Entradas digitales ● Salidas digitales ● Marcas ● Teclas de cursor ● Teclas de función del LOGO! TDE ● Bits de registro de desplazamiento ● Salidas del bloque de función <p>Entrada analógica: indicación del valor de la entrada analógica que debe visualizarse en el texto de aviso y actualizarse conforme al tiempo analógico.</p> <p>Escala de tiempo: indicación del valor real de un bloque de función referenciado como un valor de tiempo escalado de acuerdo con la base de tiempo configurada para el bloque de función de textos de aviso. A continuación se indican los formatos de tiempo disponibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● horas : minutos : segundos . milisegundos ● horas : minutos : segundos ● horas : minutos ● horas <p>(por ejemplo, "01: 20 : 15.15")</p> <p>Símbolo: indicación de los caracteres seleccionados en los juegos de caracteres soportados</p>

Figura 5.7 Bloque texto de aviso.

Fuente: Logo 8! Soft comfort software.

ANEXO B. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD SMARTEC CLD 134.

B.1 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.

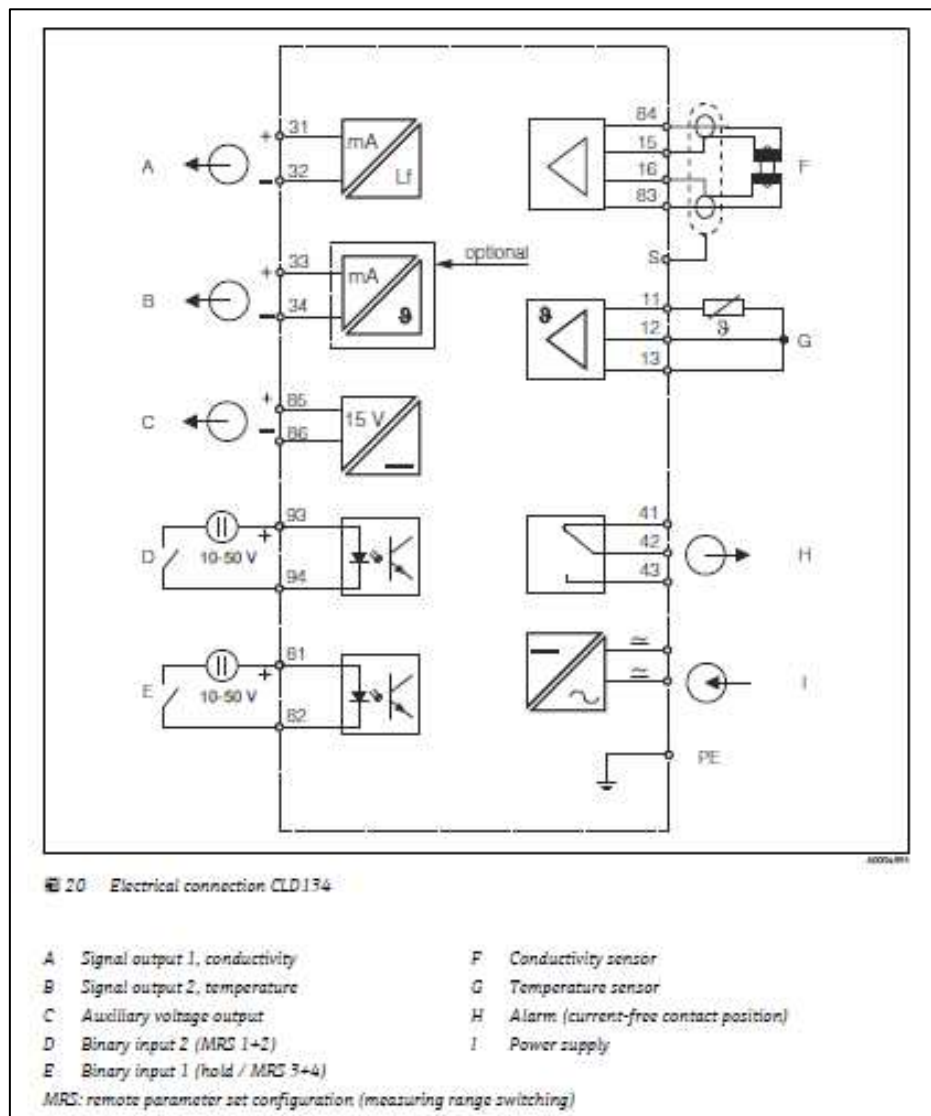


Figura 5.8 Conexión eléctrica del CLD 134.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

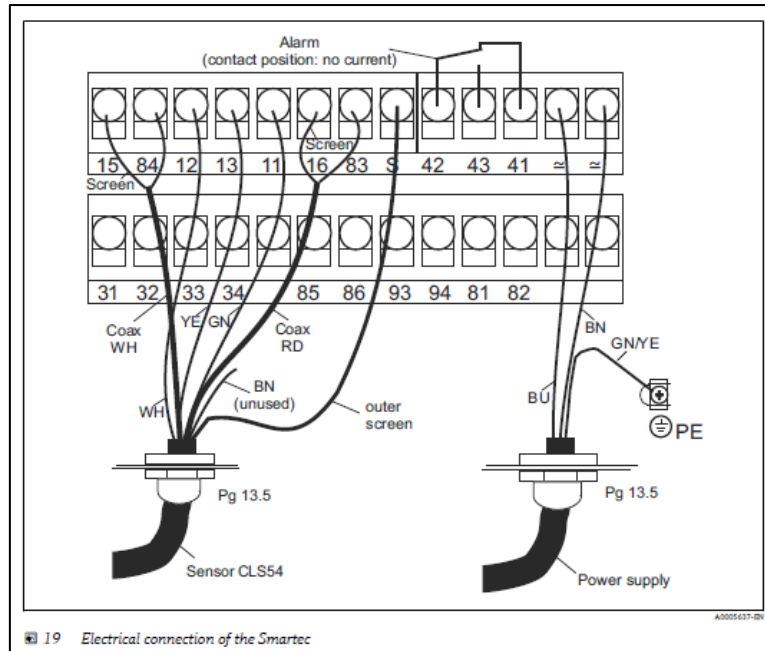


Figura 5.9 Conexión eléctrica del sensor de conductividad y la alimentación.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

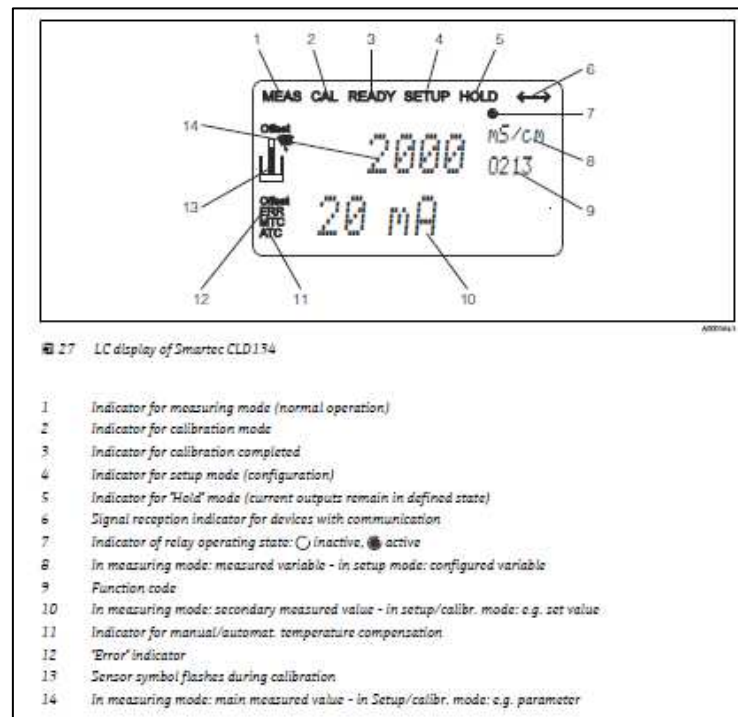


Figura 5.10 Pantalla del Smartec CLD 134.

Fuente: Smartec CLD 134 manual.

B.2 PARÁMETROS PARA CALIBRACIÓN DEL SENSOR.

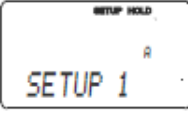
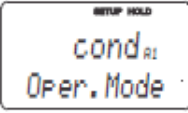

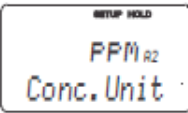
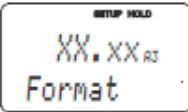
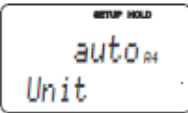
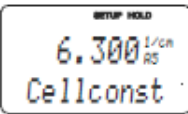
Coding	Field	Range of adjustment (factory settings in bold)	Display	Info
A	SETUP 1 function group			Configuration of basic functions
A1	Select the operating mode	cond = conductivity conc = concentration		Display varies depending on the device: <ul style="list-style-type: none"> cond conc  When the operating mode is changed, all user settings are automatically reset.
A2	Select the concentration unit to be displayed	% ppm mg/l TDS = total dissolved solids None		
A3	Select the display format for the concentration unit	XX.XXX X.XXX XXX.X XXXX		
A4	Select the unit to be displayed	auto, $\mu\text{S}/\text{cm}$, mS/cm , S/cm , $\mu\text{S}/\text{m}$, mS/m , S/m		If 'auto' is selected, the highest possible resolution is automatically selected.
A5	Enter the cell constant for the connected sensor	0.10 to 6.3 to 99.99		The exact cell constant is provided on the sensor quality certificate.

Figura 5.11 Configuración para la calibración del sensor de conductividad.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

Signal resolution Max. 700 digits/mA

Figura 5.12 Resolución de señales de salida del controlador del sensor.

Fuente: Smartec CLD134 manual.

ANEXO C. BOMBA PERISTÁLTICA Y VARIADOR DE FRECUENCIA.

C.1 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA PERISTÁLTICA F26740-ALH 25.

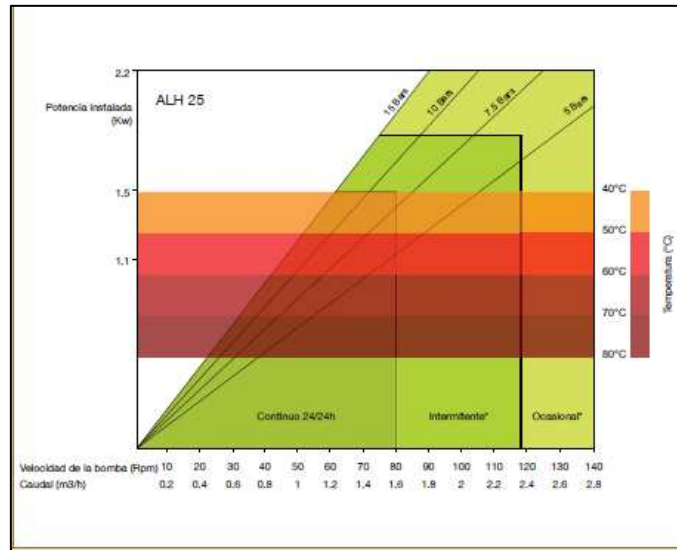


Figura 5.13 Curvas características de la bomba peristáltica.

Fuente: ALH-instruction manual.

C2. PINES DE CONEXIÓN VARIADOR DE FRECUENCIA DANFOS FC51.

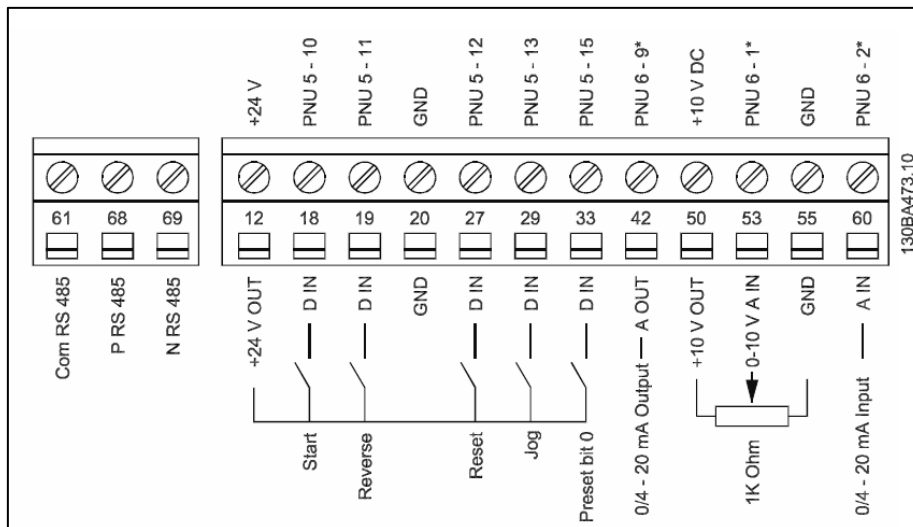


Figura 5.14 Pines de conexión del variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

C.3 DISPLAY VARIADOR DANFOS FC 51.

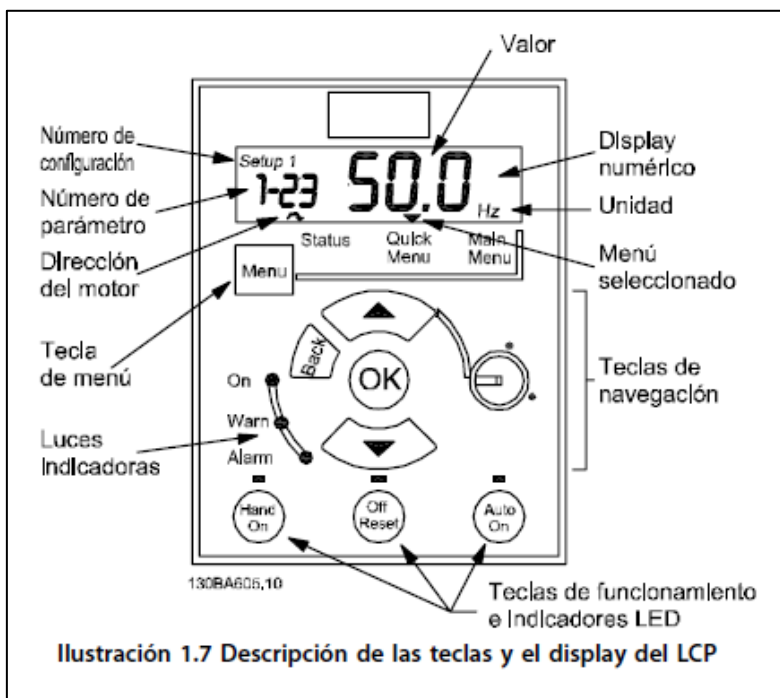


Figura 5.15 Pantalla del variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

C.4 RAMPA DE ACELERACIÓN DEL VARIADOR.

Una rampa lineal se caracteriza por una aceleración constante hasta alcanzar la velocidad del motor deseada. Puede producirse cierta sobremodulación al alcanzar la velocidad, lo cual a su vez podría provocar tirones durante unos momentos antes de estabilizarse. Una rampa en S acelera con mayor suavidad, de manera que los tirones quedan compensados al alcanzar la velocidad.

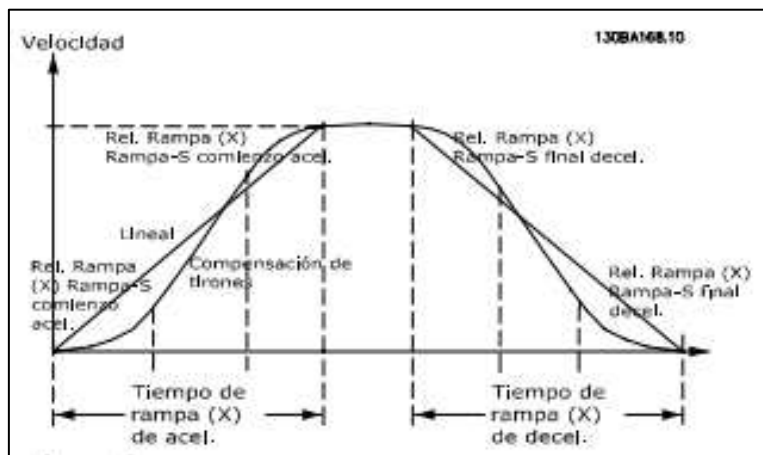


Figura 5.16 Rampas de aceleración del variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

3-40 Tipo Rampa 1		
Option:	Función:	
[0] *	Lineal	Aceleración/desaceleración constante.
[2]	Rampa en S	Aceleración/deceleración suave con compensación de sacudidas.

3-41 Tiempo de aceleración de rampa 1		
Range:	Función:	
Depende del tamaño*	[0,05-3600,00 s]	Introduzca el tiempo de aceleración de rampa desde 0 Hz hasta la frecuencia nominal del motor (f_{MN}), ajustada en 1-23 <i>Frecuencia del motor</i> . Seleccione un tiempo de aceleración de rampa asegurándose de no superar el límite. Consulte 4-16 <i>Modo motor límite de par</i> .

3-42 Tiempo de desaceleración de rampa 1		
Range:	Función:	
Depende del tamaño*	[0,05-3600,00 s]	Introduzca el tiempo de rampa de desaceleración desde la frecuencia nominal del motor (f_{MN}) en 1-23 <i>Frecuencia del motor</i> hasta 0 Hz. Elija un tiempo de desaceleración de rampa que no provoque sobretensión en el inversor debido al funcionamiento regenerativo del motor. Además, el par regenerativo no debe superar el límite ajustado en 4-17 <i>Modo generador límite de par</i> .

Figura 5.17 Configuración de la rampa de aceleración y desaceleración del variador de frecuencia.

Fuente: Danfos FC51 manual.

Correo electrónico: Carlos.tfhtc@gmail.com

Número telefónico: +591 77297745

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-280-D/2020
La Paz, 30 de Septiembre del 2020



La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **29 de Septiembre del 2020** vía online, por **CARLOS DANIEL TANCARA FERNANDEZ** con C.I. Nº **8362300 LP.**, con número de trámite **DA-120-DIG/2020**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PURGA DE LEVADURA DE CERVEZA"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo Nº 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo Nº 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo Nº 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor Nº 1322, Decreto Reglamentario Nº 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo Nº 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.



Que, el Decreto Supremo, N° 4218 del 14 de Abril de 2020, regula el teletrabajo como una modalidad especial de prestación de servicios caracterizada por la utilización de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC, en los sectores públicos y privados, estableciendo a través de su Artículo 12 que *"con el objeto de implementar y, promover el teletrabajo, las entidades públicas, deben desarrollar e implementar una estrategia de digitalización para la atención de trámites y servicios en línea en el marco del Plan de Implementación del Gobierno Electrónico ..."*.

Que, mediante Resolución Administrativa N° 14/2020 del 22 de Abril de 2020, el Director General Ejecutivo del SENAPI, Resuelve: *"... Aprobar el Reglamento para trámites On-Line de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos del Servicio Nacional de Propiedad Intelectual ..."*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

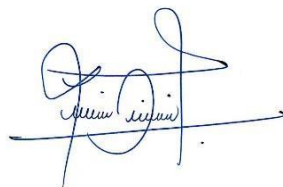
POR TANTO

La Directora de Derecho de Autor y Derechos Conexos, sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PURGA DE LEVADURA DE CERVEZA"**, a favor del autor y titular: **CARLOS DANIEL TANCARA FERNANDEZ** con **C.I. N° 8362300 LP.**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abog. Gabriela Arancibia Peredo
**DIRECTORA DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL**