

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN “REY BALDUINO DE BÉLGICA”**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y
ADQUISICIÓN DE DATOS DE UNA PLANTA DE RILES**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero de Ejecución en Control e
Instrumentación Industrial

Alumno: Esteban Ulloa Fernández

Profesor guía: Rodrigo Méndez

2022

DEDICATORIA

Agradezco primero que todo, a Dios por permitirme llegar hasta este punto y gozar de salud para lograr mis objetivos.

Este trabajo lo dedico a mis padres por todos sus ejemplos de esfuerzo, perseverancia y optimismo los cuales, han partido siempre por el valor mostrado para salir adelante y también lo dedico a mi mujer e hijo por ser un pilar fundamental en estos años de estudio y a lo largo de los años juntos.

Por último, agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente me dieron una palabra de aliento en los momentos difíciles y ayudaron de esta manera al logro de mis objetivos.

RESUMEN

Este trabajo trata sobre un proyecto de control, supervisión y adquisición de datos de una planta de RILES existente en una empresa dedicada al procesamiento de sub productos de origen animal.

Se detallan algunos conceptos generales utilizados en el tratamiento de riles, así como también, los principios básicos de funcionamiento de la planta de tratamiento de RILES.

Para realizar el control del sistema se utiliza un controlador lógico programable de la línea S7-1200 de la marca Siemens y una pantalla HMI TPK900 de la misma marca. Se explican los componentes a utilizar y los lenguajes de programación utilizados para la configuración del controlador, se detallan también los módulos de comunicación que se pueden incorporar a este controlador y los módulos de ampliación, tanto para señales digitales como para señales analógicas.

Con el fin de realizar una supervisión de variables se explica en primera instancia las formas utilizadas para lograr medir correctamente las variables de flujo y pH, con la finalidad de seleccionar el equipo adecuado para la supervisión de cada variable.

Luego de esto se seleccionan los equipos a utilizar, se dimensiona el tamaño y diseño del tablero de control con sus componentes y se realiza la programación y diseño de la pantalla HMI las cuales, se muestran en el último capítulo de este documento. Junto con el procedimiento de programación para realizar la adquisición de datos con el servidor web incorporado en el PLC S7-1200 de Siemens.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL:	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	13
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	14
1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RILES	15
1.1.1 Aerocondensador.....	18
1.1.2 Foso de recepción de RILES.....	18
1.1.3 Filtro Parabólico.....	18
1.1.4 Estanque Desgrasador	19
1.1.5 Tanque de Homogenización.....	19
1.1.6 DAF flotación por aire disuelto.....	20
1.1.7 Filtro Rotativo.	21
1.2 MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN EN AUTÓMATAS PROGRAMABLES SIEMENS.....	22
1.2.1 TIA Portal	22
1.2.1.1 STEP 7 (TIA Portal)	22
1.2.1.2 WinCC (TIA Portal).....	22
1.2.2 Estructura de la interfaz de usuario	23
1.2.2.1 Vista del portal	23
1.2.2.2 Vista del proyecto	24
1.2.3 Programación PLC	26
1.2.3.1 Bloques de organización de funciones (FB) y datos (DB).....	26
1.2.3.2 Lenguaje de programación KOP	27
1.2.3.3 Lenguaje de programación FUP.....	28
1.2.3.4 Lenguaje de programación AWL.....	29
1.2.3.5 Lenguaje de programación SCL.....	30
1.2.3.6 Lenguaje de programación GRAPH	30
1.2.4 Registro de datos con S7-1200.....	32
1.3 MEDICIÓN DE CAUDAL.....	39
1.3.1 Medidor de placa orificio	40

1.3.2	Tipos de placa orificio.....	40
1.3.3	Medidor de Venturi.....	41
1.3.4	Tubo Pitot.....	42
1.3.5	Tubo Annubar	42
1.3.6	Rotámetros	43
1.3.7	Caudalímetro magnético	43
1.3.8	Sensor ultrasónico Doppler.....	44
1.4	MEDICIÓN DE pH	44
1.4.1	Electrodos de pH.....	45
1.4.2	Principio de medición de un sensor de pH.....	45
1.4.3	Compensación de Temperatura.....	47
1.4.4	Soluciones Tampón.....	48
CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL Y CONFIGURACIÓN		
		49
2.0	SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL Y CONFIGURACIÓN.....	50
2.1	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	50
2.1.1	Módulos de entradas y salidas digital	51
2.1.2	Módulos de entrada y salida analógica	53
2.1.3	Módulo de comunicación.....	54
2.1.4	Switch compacto 1277	55
2.1.5	Conexión switch 1277.....	55
2.2	SELECCIÓN EQUIPO MEDICIÓN DE pH	56
2.2.1	Sensor de pH SMARTPAT PH 2390.....	56
2.2.2	Sensor y transmisor de pH HANNA.....	58
2.3	SELECCIÓN MEDICIÓN DE NIVEL.....	59
2.4	SELECCIÓN EQUIPO MEDIDOR DE CAUDAL.....	60
2.4.1	Decripcion del medidor Magfluk	61
2.4.2	Precauciones para la instalación.....	61
2.4.3	Compensación de potencial y puesta a tierra	63
2.4.4	Convertidor de flujo	64
2.4.5	Salida análoga	65
2.4.6	Salida digital	65
2.4.7	Entrada digital	66
2.4.8	Sensor de caudal local (compacto).....	67

2.5 SELECCIÓN COMPONENTES TABLERO DE CONTROL.....68

2.5.1 Interruptor termo magnético. 68

2.5.2 Fuente de poder 69

2.5.3 Borneras de control 70

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO.....72

3.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO PANTALLA HMI SIEMENS

TPK900 74

3.2.1 Pantalla Desgrasador 74

3.2.2 Pantalla Homogeneizador 75

3.2.3 Pantalla DAF.....76

3.2.4 Pantalla gráfico de variables de pH.....77

3.2.5 Pantalla gráficos de caudal.....78

3.2.6 Pantalla emergente de alarmas 78

3.3 ADQUISICIÓN DE DATOS CON WEB SERVER S7-1200.....79

3.3.1 Uso de "Data Log" en el PLC S7-1200.....80

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....85

BIBLIOGRAFÍA.....86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Diagrama general de la planta.....	17
Figura 1-2: Aerocondensador.....	18
Figura 1-3: Filtro Parabólico.....	19
Figura 1-4: Homogeneizador	20
Figura 1-5: DAF	21
Figura 1-6: Filtro Rotatorio.....	21
Figura 1-7: Vista de portal	23
Figura 1-8: Vista del proyecto	24
Figura 1-9: Vista árbol de proyecto	26
Figura 1-10: Ejemplo de bloque de función [FB] en TIA Portal V14.	27
Figura 1-11: Ejemplo de bloque de datos [DB] en TIA Portal V14	27
Figura 1-12: Ejemplo programación KOP	28
Figura 1-13: Ejemplo programación FUP.....	28
Figura 1-14: Ejemplo programación AWL.....	29
Figura 1-15: Esquema bloque lógico	31
Figura 1-16: Ejemplo programación GRAPH.....	32
Figura 1-17: Bloque crear registro de datos.....	33
Figura 1-18: Bloque escribir registro de datos.....	35
Figura 1-19: Bloque nuevo archivo.....	36
Figura 1-20: Abrir registro de datos.....	37
Figura 1-21: Cerrar registro de datos	39
Figura 1-22: Esquema placa orificio	41
Figura 1-23: Medidor de Venturi	42
Figura 1-24: Esquema tubo Pitot	42
Figura 1-25: Tubo Annubar	43
Figura 1-26: Rotámetro	43
Figura 1-27: Sensor ultrasónico Doppler	44
Figura 1-28: Esquema principio de medición sensor de pH	45
Figura 1-29: Gráfico de pH vs voltaje.....	47
Figura 1-30. Dependencia de la temperatura del factor Nernst	47
Figura 1-31: Grafico compensación de pH por temperatura.....	48
Figura 2-1: CPU Siemens S7-1200	51
Figura 2-2: Descripción autómeta S7-1214C.....	52
Figura 2-3: Módulo de entrada digital	52

Figura 2-4: Módulo de salida digital.....	53
Figura 2-5: Módulo de entrada analógica	54
Figura 2-6: Switch compacto 1277	55
Figura 2-7: Ejemplo topología estrella switch SM 1277	55
Figura 2-8: Esquema de dimensiones sensor pH	58
Figura 2-9: Sensor de pH	58
Figura 2-10: Transmisor de pH.....	59
Figura 2-11: Conexión de transmisor de pH.....	59
Figura 2-12: Equipos medición de flujo.....	60
Figura 2-13: Etiqueta de identificación.....	61
Figura 2-14: Posiciones de montaje flujómetro	62
Figura 2-15: Montaje correcto sensor de caudal	63
Figura 2-16: Compensación de potencial tuberías no conductoras.....	63
Figura 2-17: Compensación de potencial tuberías conductoras.....	63
Figura 2-18: Terminales de conexión convertidor de flujo.....	64
Figura 2-19: Esquema de conexión sensor de caudal	67
Figura 2-20: Interruptor automático de control.....	68
Figura 2-21: Fuente de poder DRAN 120.....	69
Figura 2-22: Tablero metálico IP 65 BM ELCTIC.....	70
Figura 2-23: Borne de control ABB.....	71
Figura 3-1: Diseño tablero de control	74
Figura 3-2: Pantalla Desgrasador	74
Figura 3-3: Pantalla Homogeneizador	75
Figura 3-4: Pantalla DAF	76
Figura 3-5: Pantalla de gráfico de pH	77
Figura 3-6: Pantalla grafico de flujo	78
Figura 3-7: Pantalla emergente de alarmas	78
Figura 3-8: Normalizado y escalado de la entrada analógico	80
Figura 3-9: Variables creadas en el bloque de datos agregado	81
Figura 3-10: Instrucción DataLogCreate completa.....	81
Figura 3-11: Agregar instrucción DataLogWrite.....	82
Figura 3-12: Instrucción mover variables a registrar.	82
Figura 3-13: Data Logs disponibles desde el servidor web del PLC	83
Figura 3-14: Contenido del archivo registrotemp.csv.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Parámetros de DataLog Create 33

Tabla 1-2: Parámetros de DataLog Write 36

Tabla 1-3: Parámetros DataLog NewFile 37

Tabla 1-4: Parámetros DataLogOpen.....38

Tabla 1-5: Parámetros DataLogClose 39

Tabla 2-1: Tensión de trabajo módulo de entrada digital 53

Tabla 2-2: Tensión de trabajo Módulo de salida digital 53

Tabla 2-3: Características técnicas sensor de pH.....56

Tabla 2-4: Comparación flotador de nivel 60

Tabla 2-5: Bornes de alimentación convertidor de flujo.....64

Tabla 2-6: Rango de fusibles internos convertidor de flujo.....65

Tabla 2-7: Descripción salida analógica 65

Tabla 2-8: Descripción salida digital 66

Tabla 2-9: Descripción entrada digital.....66

Tabla 2-10: Conexionado sensor de caudal 67

Tabla 3-1: componentes tablero de control.....73

Tabla 3-2: Listado de alarmas programadas 79

LISTA DE SIGLAS

RIL	Residuo Industrial Líquido
PLC	Controlador lógico programable
MBR	Reactor Biológico de membrana
pH	Coefficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
DAF	Flotación por aire disuelto
FB	Bloque de función
DB	Bloque de datos
CPU	Unidad Central de Proceso
CSV	(Valores separados por comas) Documento de formato abierto
ORP	Medir energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo,
PROFINET	Estándar abierto de ethernet industrial de la asociación Profibus internacional
RTD	Detector de temperatura resistivo
DN	Diámetro nominal
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
PE	Tierra de protección
DO	Salida digital
DI	Entrada digital
COM	Común
CCM	Centro control de motores
TC	Tablero de control
CPM	Consola y pupitre de comando

INTRODUCCIÓN

El fuerte crecimiento del sector industrial en los últimos años, ha traído como consecuencia en muchos casos, serios problemas de contaminación producto de las emisiones industriales.

Uno de los temas relevantes vinculados a la conservación del medio ambiente y a la utilización racional de los recursos naturales existentes, es el eficiente tratamiento de los Residuos Industriales Líquidos (RILES), que generan las diferentes actividades económicas que se desarrollan en nuestro país.

El estudio que a continuación se presenta fue realizado en Ecofood S.A., una planta industrial ubicada en la comuna de Retiro, región del Maule. Su principal actividad es el procesamiento de subproductos de origen animal, convirtiendo este material en insumos de alta calidad y ricos en nutrientes que son utilizados por la industria de alimentos para animales, mascotas y grasas industriales.

Cuando los niveles de contaminación en las aguas generadas superan los límites impuestos por la normativa de cada país, éstas deben ser tratadas para reducir su nivel de contaminación y ser descargadas cumpliendo con la normativa vigente. Existe gran cantidad de tecnologías que es posible aplicar al tratamiento de aguas servidas; en Chile la mayoría de los sistemas de tratamiento utilizados son de tratamiento químico y biológico.

Este estudio se enfoca en generar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el proceso primario del tratamiento de RILES, esto corresponde a uno de los enfoques de la ingeniería en control e instrumentación industrial, cuyo objetivo consiste en implementar sistemas auto-controlados para mejorar la correcta respuesta de los procesos, los cuales adquieren alto grado de autonomía al minimizar la injerencia del humano.

La planta de tratamiento de RILES de la empresa Ecofood, se ha diseñado como consecuencia de normativas jurídicas, las cuales propician la reducción del impacto ambiental principalmente en las aguas de los suelos aledaños. El tratamiento de las aguas residuales se compone de dos procesos: tratamiento primario en el cual se desgrasa el líquido afluente y se produce el lodo que es deshidratado, en el tratamiento secundario se eliminan bacterias.

Para Ecofood constituye una problemática el control de la planta de RILES, respecto a la detección y solución de falla en los equipos, debido a que el proceso se realiza diariamente de forma manual y es el operador quien realiza las mediciones, regulaciones y registro de datos del sistema.

Para lograr dar solución a esta problemática se proponen algunos objetivos específicos que se detallan a continuación:

- Diseño de una pantalla HMI, Siemens capaz de visualizar, modificar variables y generar un histórico de alarmas, con el fin de facilitar la detección y solución de falla del sistema.
- Realizar un programa capaz de controlar de manera eficiente el proceso, permitiendo un funcionamiento y control efectivo, incorporando un PLC Siemens S7-1200 con sus respectivos módulos de expansión y componentes necesarios. Estos dispositivos serán instalados de manera ordenada dentro de un tablero de control.
- Realizar un sistema de adquisición de datos, por medio del servidor web incorporando bloques de función para registro de datos en el PLC Siemens S7-1200.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Generar sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el proceso primario de tratamiento en planta de RILES.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Crear sistema de supervisión y adquisición de datos del proceso de tratamiento de RILES.
- Implementar sistema auto-controlado para mejorar la respuesta de manera eficiente de los procesos.
- Mejorar autonomía de la planta al realizar control efectivo a través de sistema.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 **PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RILES**

Las aguas residuales producidas en las industrias no deben ser desechadas sin un previo saneamiento, debido a que producen contaminación y pueden causar efectos irreversibles en los suelos donde son evacuadas; como la muerte de especies principalmente en ríos utilizados como depósito final de las mismas. Esta medida la toman cada día mayor cantidad de industrias, debido a la problemática ambiental y contaminación de aguas que acarrea la infertilidad de los suelos aledaños. Además, los gobiernos han logrado decretar legislaciones que en conjunto con la ingeniería ambiental acreditan estándares de calidad de dichas aguas para minimizar daños.

A continuación, se describen los principales contaminantes existentes en el agua residual:

- Sólidos en suspensión: Cuando sólidos en suspensión son vertidos en lechos y ríos, conducen al desarrollo del depósito de fangos y aumentan las condiciones llamadas anaerobias de la zona.
- Material orgánico biodegradable: la materia orgánica biodegradable se mide en términos de DBO y DQO. El vertido de aguas residuales con elevados DBO y DQO en el entorno acuático, lleva al agotamiento del oxígeno en la zona.
- Materia orgánica refractaria: este tipo de material orgánico interfiere en los métodos convencionales de tratamiento, por otra parte, pueden contaminar las aguas naturales de productos tóxicos, o según algunos estudios, incluso cancerígenos.
- Nutrientes: los principales nutrientes acuáticos son el nitrógeno, fósforo y carbón. Un agua residual que los contenga, y se vierta sin tratar, puede producir el crecimiento de vida acuática no deseada.
- Metales pesados: estos provienen generalmente de aguas residuales comerciales e industriales. Aunque algunos de éstos metales son necesarios para el desarrollo de vida biológica, las concentraciones elevadas de estos pueden interferir en el proceso de depuración y podrían poner en peligro el aprovechamiento de aguas naturales dada su alta toxicidad.
- Compuestos tóxicos: estos compuestos tienen la misma problemática que los metales pesados, algunos ejemplos son: plata, cobre, oro, cianuro, cromados, plomo y arsénico.

A grandes rasgos, el proceso de saneamiento de tratamiento de RILES consiste en dos etapas las cuales se realizan consecutivamente; en la primera ocurre la separación de sólidos y grasa del líquido afluente y la segunda consta de una planta de tratamiento biológico (MBR) que permiten la separación de bacterias para obtener el líquido final. De esta manera, la planta de tratamiento de Ecofood se ha dividido en dos zonas llamadas: tratamiento primario (planta de RILES) y tratamiento secundario (planta MBR). Los presentes apartados describen el sistema implementado y teoría necesaria de la variable de pH, la importancia de que éste sea constante en la salida del tratamiento primario. Posteriormente, se toma el tema central del proyecto que consiste en la implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos de las variables más importantes del tratamiento primario.

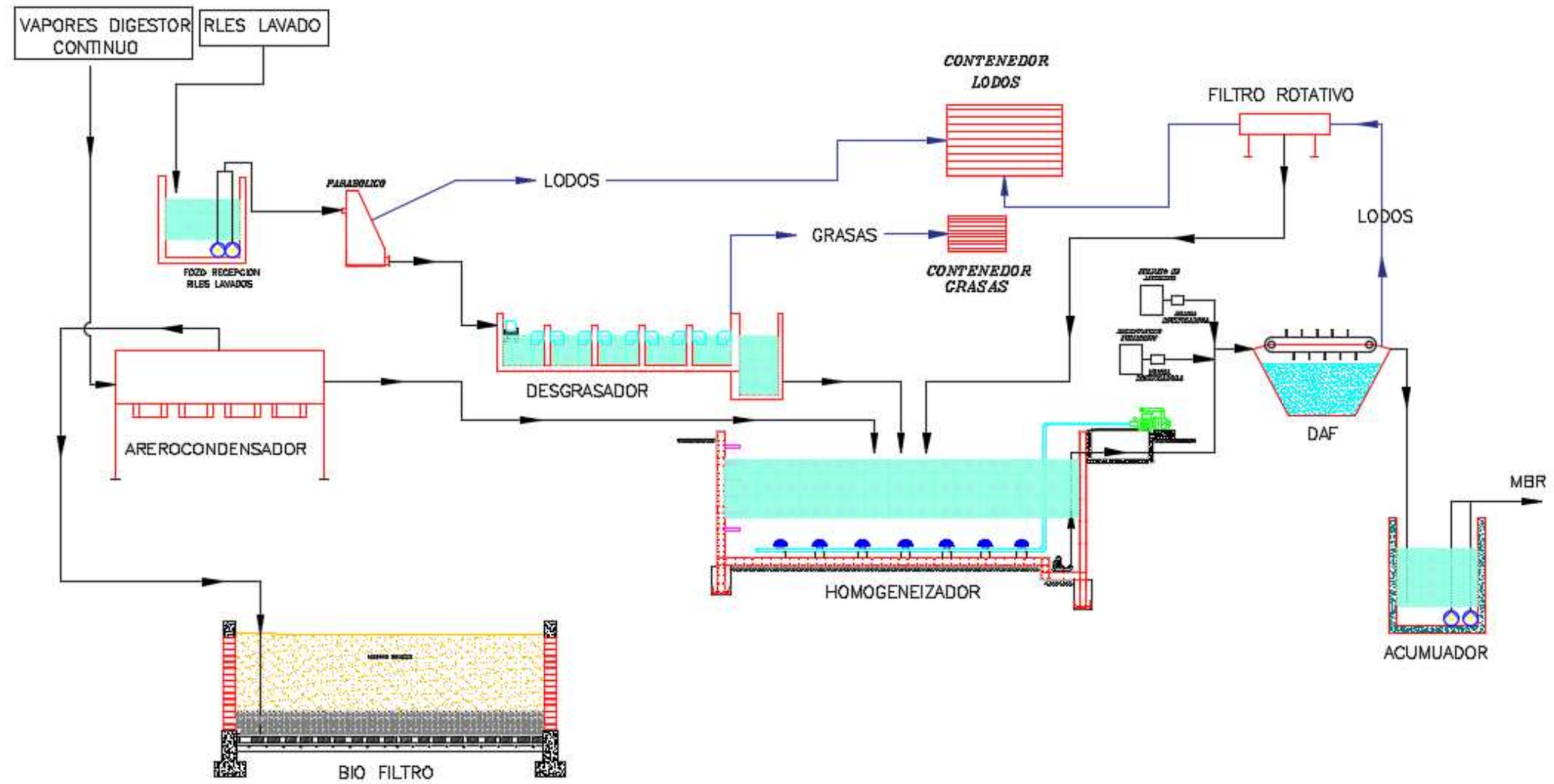


Figura 1-1: Diagrama general de la planta

1.1.1 Aerocondensador

El aerocondensador se encarga de recepcionar todos los gases provenientes del digestor continuo, ubicado en el área de producción.

Este equipo es un intercambiador de calor, en el cual se utiliza como fluido refrigerante, aire atmosférico en lugar de agua u otro refrigerante líquido. Los aerocondensadores están formados por un haz de tubos aleteados, lo que favorece la transferencia de calor, por los que circulan los vapores a condensar. A través del haz de tubos se hace circular una corriente de aire atmosférico impulsado por ventiladores, de modo que se produce el enfriamiento y la condensación de los vapores a costa del calentamiento del aire. Todo el condensado producido es enviado por gravedad al Estanque Desgrasador.



Figura 1-2: Aerocondensador

1.1.2 Foso de recepción de RILES

Todos los camiones que transportan los subproductos de origen animal, utilizados como materia prima, se someten a un lavado antes de retirarse de la planta, todos los rieles generados son enviados a un foso de recepción.

1.1.3 Filtro Parabólico

Los RILES, son impulsados por medio de bombas desde el foso de recepción hasta el Filtro Parabólico, ingresando por la parte superior del equipo. Este posee un sistema de distribución para garantizar la separación eficiente en toda la superficie filtrante, así los sólidos de tamaño mayor a la ranura del filtro caen por gravedad y son impulsados por un tornillo sin fin hasta el contenedor de sólidos, pasando por la malla solo el líquido, el cual es enviado al Estanque Desgrasador.

Los Filtros Parabólicos son equipos de separación Sólido – Líquido, presenta gran funcionalidad debido a su sencillez, pudiendo ser utilizado para cualquier tipo de RIL. Su

construcción en acero inoxidable y el mínimo de elementos mecánicos en su operación, garantizan su durabilidad.



Figura 1-3: Filtro Parabólico

1.1.4 Estanque Desgrasador

El RIL que proviene del Aerocondensador y el Filtro Parabólico, llega al Estanque Desgrasador, donde se permite la separación de las grasas que el RIL contiene, lo cual impide la obstrucción de acueductos, equipos y unidades posteriores de tratamiento, además de reducir las cantidades de aceites y grasas y en menor grado de DBO5 y sólidos suspendidos.

El funcionamiento del Estanque Desgrasador se basa en la diferencia de densidad específica del agua y de las grasas, siendo las grasas de menor densidad. Por esta razón los RILES entran al fondo del depósito perdiendo velocidad con el objeto de ser tranquilizados, permitiendo la separación del sólido y las grasas. Al ser de menor densidad las grasas suben a la superficie del Estanque Desgrasador y son retiradas de forma manual por el operador.

1.1.5 Tanque de Homogenización

El Tanque de Homogenización se ha diseñado para amortiguar por laminación las variaciones del caudal, debido al flujo inconstante de los efluentes de las distintas etapas. Con ello se logra un efluente lo suficientemente uniforme en cuanto a características y caudal a partir de unos residuos discontinuos y variables en calidad y cantidad. Se produce por una parte una igualación de caudales que tiene como efecto secundario una disminución en la concentración de contaminantes, al reducirse los picos máximos de concentración de cromo y sulfuro y por las reacciones que se dan durante el periodo de retención. Además de lograr una regulación de los caudales vertidos, el Estanque Homogeneizador también actúa como depósito.

El sistema de aireación está compuesto por un sistema de 28 difusores de burbujas finas para asumir un caudal de aire de 1.000 m³/h. El sistema de tuberías de distribución de aire instaladas en el fondo del aparato, está montado sobre tubos de PVC de Ø 90 mm, éste sistema evita además la sedimentación de los sólidos y previene la emanación de olores.

El Estanque Homogeneizador está fabricado en hormigón armado y tiene una capacidad de 112 m³.

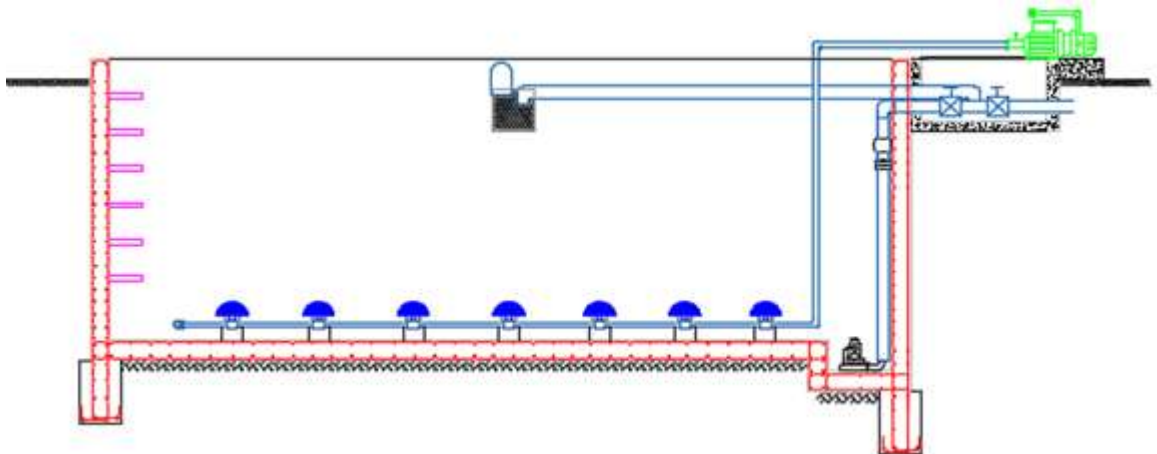


Figura 1-4: Homogeneizador

1.1.6 DAF flotación por aire disuelto.

El DAF (Flotación por aire disuelto), permite la separación de los sólidos suspendidos y la remoción parcial de la materia orgánica disuelta (DBO), mediante un principio de flotación fisicoquímica. Su acción se basa en la facultad de algunos compuestos químicos de coagular los sólidos suspendidos, formando grumos de mayor peso molecular en forma de lodos.

La flotación introduce microburbujas al RIL, de modo que al ascender éstas, arrastren las partículas de sólidos suspendidos, aceites y grasas hacia arriba, permitiendo que floten y puedan ser separados del RIL. El DAF es de base rectangular y los lodos superficiales serán retirados por un barredor superficial. Los lodos removidos del DAF son enviados por medio de una bomba al Filtro Rotatorio donde son deshidratados, para ser dispuestos como residuo sólido en un vertedero autorizado.

El sistema de generación de microburbujas del tipo DAF permite el menor tamaño de burbujas, y por lo tanto la mejor eficiencia en flotación. Se recicla parte del efluente tratado y lo introduce al inicio del estanque, junto con una determinada cantidad de aire disuelto a una presión de 4 a 5 bar. Para ello, el efluente es parcialmente bombeado por una bomba de presurización, hacia el estanque de presurización alcanzando la presión deseada, en este estanque se inyecta aire, el que se mezcla con el agua que impulsa la

bomba. Una tubería lleva la mezcla de agua con aire hasta el principio del estanque de flotación donde una válvula reductora de presión especial permite que se despresurice violentamente el agua generándose las microburbujas. La cantidad de aire inyectado puede ser variada y medida mediante un conjunto válvula reguladora-rotámetro.



Figura 1-5: DAF

1.1.7 Filtro Rotativo.

Los Filtros Rotativos, son equipos de separación sólido – líquido utilizados para la realización del tratamiento primario del RIL, de funcionamiento automático, los cuales operan sin la necesidad de supervisión constante, pudiendo programar su activación a medida que el RIL ingresa al sistema de pretratamiento. La operación automática de estos equipos, es complementada con la limpieza del filtro, dado que los sólidos separados se desplazan debido al movimiento rotacional de la superficie filtrante, cayendo a un depósito de recolección, lo que no solo permite que el equipo cuente con su máxima capacidad de filtración en todo momento, sino que además disminuye de manera considerable el problema soluble de los sólidos, el RIL que es separado es enviado nuevamente al homogeneizador.



Figura 1-6: Filtro Rotatorio

1.2 **MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN EN AUTÓMATAS PROGRAMABLES SIEMENS**

Para el desarrollo del control, supervisión y adquisición de datos de este proyecto es necesario realizar una programación específica en el PLC, al que se conectarán todos los elementos de campo. El PLC y HMI empleado es fabricado por Siemens. Para este proyecto se utiliza un PLC Siemens de la serie S7-1200. La programación de los autómatas programables de marca Siemens, se realiza a través de su propio entorno de desarrollo, llamado TIA Portal.

1.2.1 **TIA Portal**

TIA Portal es el software oficial para la programación de autómatas Siemens. Este software facilita mucho las tareas de programación, al contar con muchas opciones de configuración y de programación automáticas que de utilizar un software más antiguo habría que realizar manualmente.

1.2.1.1 **STEP 7 (TIA Portal)**

STEP 7 (TIA Portal) es el software de ingeniería para configurar la familia de controladores SIMATIC S7-1200, S7-1500, S7-300/400 y WinCC. Hay disponibles dos ediciones de STEP 7 (TIA Portal), dependiendo de las familias de controladores que se desee configurar:

- STEP 7 Basic para la configuración del S7-1200
- STEP 7 Professional para configurar S7-1200, S7-1500, S7-300/400 y controladores de software (WinCC)

1.2.1.2 **WinCC (TIA Portal)**

WinCC (TIA Portal) es un software de ingeniería que se utiliza para configurar SIMATIC Panels, PC industriales SIMATIC y PC estándar con el software de visualización WinCC Runtime Advanced o el sistema SCADA WinCC Runtime Professional.

Hay disponibles cuatro ediciones de WinCC (TIA Portal), dependiendo de los sistemas de control que se desee configurar:

- WinCC Basic para la configuración de los Basic Panels WinCC Basic se incluye siempre en las ediciones STEP 7 Basic y STEP 7 Professional.

- WinCC Comfort para la configuración de todos los Panels (incluidos los Comfort Panels, Mobile Panels)
- WinCC Advanced para la configuración de todos los Panels y PCs con el software de visualización WinCC Runtime Advanced.
- WinCC Runtime Advanced es un software de visualización para sistemas monopuesto basados en PC. WinCC Runtime Advanced está disponible con licencias para 128, 512, 2k, 4k, 8k y 16k PowerTags (variables con conexión al proceso).

1.2.2 Estructura de la interfaz de usuario

Para el proyecto de automatización se dispone de tres vistas diferentes:

- La vista del portal es una vista orientada a las tareas del proyecto.
- La vista del proyecto es una vista de los componentes del proyecto con sus áreas de trabajo y editores.
- La vista de librerías, muestra los elementos de la librería del proyecto y de las librerías globales abiertas.

1.2.2.1 Vista del portal

La vista del portal ofrece una vista de las herramientas orientada a las tareas. Esta vista permite decidir rápidamente qué hacer y seleccionar una herramienta para la tarea en cuestión.

La figura siguiente muestra un ejemplo de los componentes de la vista del portal:



Figura 1-7: Vista de portal

- ① Portales para las distintas tareas
- ② Acciones del portal seleccionado
- ③ Ventana de selección de la acción elegida
- ④ Cambiar a la vista del proyecto
- ⑤ Indicación del proyecto abierto actualmente

1.2.2.2 Vista del proyecto

La vista del proyecto ofrece una vista estructurada de todos los componentes del proyecto.

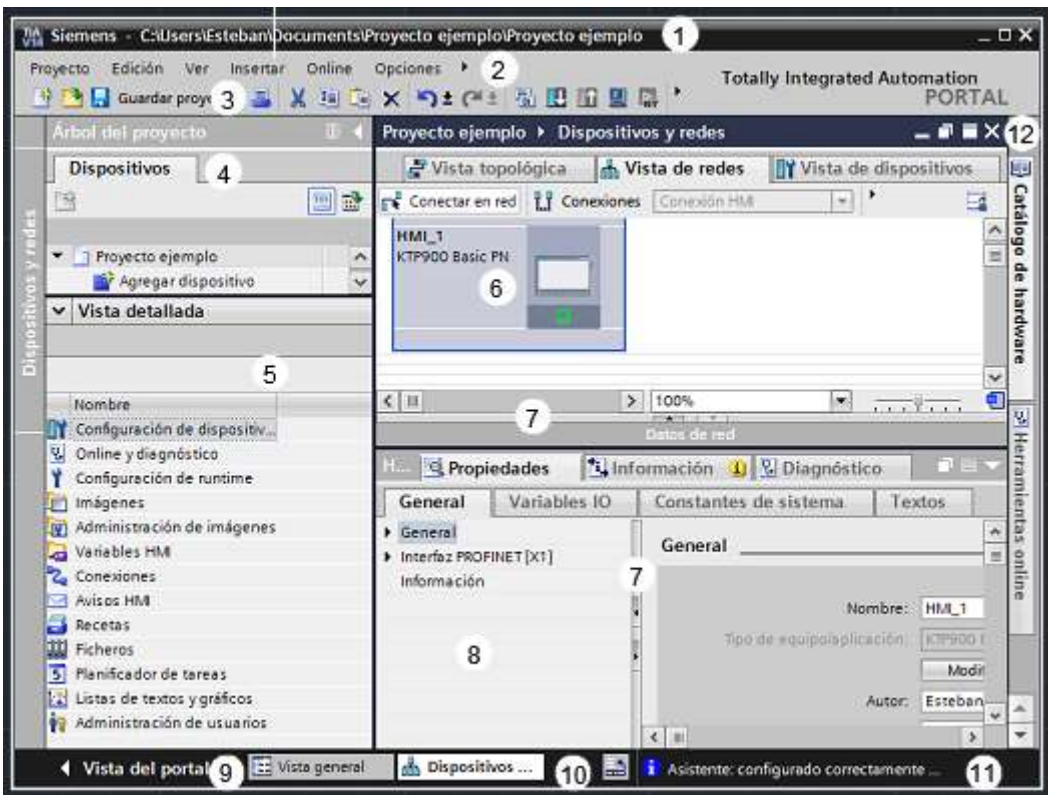


Figura 1-8: Vista del proyecto

- ① Barra de título
- ② Barra de menús
- ③ Barra de herramientas
- ④ Árbol del proyecto
- ⑤ Vista detallada
- ⑥ Área de trabajo
- ⑦ Divisor de ventana
- ⑧ Ventana de inspección
- ⑨ Cambiar a la vista del portal
- ⑩ Barra de editores

- ⑪ Barra de estado con indicador de progreso
- ⑫ Tarjeta de tarea

Vista de librerías

La vista de librerías ofrece una vista general de los elementos de la librería del proyecto y de las librerías globales abiertas. En la tarjeta de tarea "Librerías" se puede cambiar a la vista de librerías.

1.2.2.3 Árbol del proyecto

A través del árbol del proyecto es posible acceder a todos los componentes y datos del proyecto. En el árbol del proyecto pueden realizarse por ejemplo las siguientes acciones:

- Agregar componentes adicionales
- Editar componentes existentes
- Visualizar y modificar las propiedades de los componentes existentes

Los objetos del árbol del proyecto se pueden seleccionar con el ratón o con el teclado introduciendo la letra inicial del objeto en cuestión. Si existen varios objetos que comienzan con la misma letra, se selecciona el siguiente objeto en orden descendente. El árbol del proyecto debe ser el elemento actual de la interfaz para poder seleccionar los objetos por su letra inicial.



- ① Barra de título
- ② Barra de herramientas
- ③ Encabezado de columna
- ④ Proyecto Interfaz de usuario y manejo
- ⑤ Dispositivos
- ⑥ Dispositivos no agrupados
- ⑦ Dispositivos no asignados
- ⑧ Datos comunes
- ⑨ Configuración de la documentación
- ⑩ Idiomas y recursos
- ⑪ Accesos online
- ⑫ Lector de tarjetas / Memoria USB

Figura 1-9: Vista árbol de proyecto

1.2.3 Programación PLC

1.2.3.1 Bloques de organización de funciones (FB) y datos (DB)

Los autómatas programables ofrecen la posibilidad de agrupar funciones (una serie de líneas de lógica ladder) y ejecutarlas cuando sea conveniente, tantas veces como sea necesario durante el programa. Lo interesante de los bloques de funciones es que se pueden llamar varias veces en un mismo programa, pudiendo obtener resultados totalmente distintos. Esto se debe a que un bloque de función cuenta con entradas y salidas definibles por el desarrollador que permiten variar el valor de las salidas definidas dependiendo de las entradas que se introduzcan.

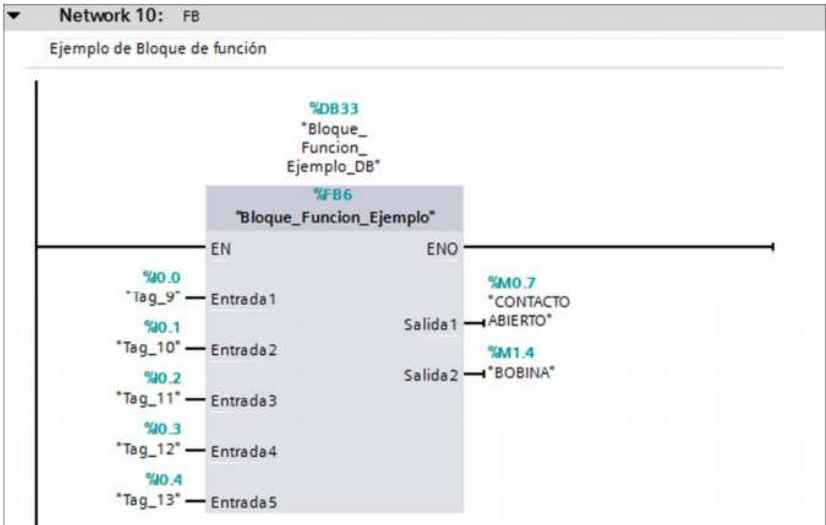


Figura 1-10: Ejemplo de bloque de función [FB] en TIA Portal V14.

Los bloques de datos son definidos por el desarrollador, y son útiles para agrupar diversos tipos de datos en bloques separados, obteniendo así una mayor organización del programa y un acceso más fácil al valor de los datos si estos se quisieran consultar.

Proyecto2 ▸ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▸ Program blocks ▸ Bloque_Funcion_Ejemplo_DB [DB33]

Bloque_Funcion_Ejemplo_DB							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	Input						
2	Entra1	Bool	false		☒	☒	☐
3	Entra2	Bool	false		☒	☒	☐
4	Entra3	Bool	false		☒	☒	☐
5	Entra4	Bool	false		☒	☒	☐
6	Entra5	Bool	false		☒	☒	☐
7	Output						
8	Salida1	Bool	false		☒	☒	☐
9	Salida2	Bool	false		☒	☒	☐
10	InOut						
11	Static						

Figura 1-11: Ejemplo de bloque de datos [DB] en TIA Portal V14

1.2.3.2 Lenguaje de programación KOP

KOP es un lenguaje de programación gráfico. Su representación es similar a los esquemas de circuitos.

El programa se mapea en uno o varios segmentos. Un segmento contiene en el margen izquierdo una barra de alimentación de la que parten los circuitos. Las consultas de las señales binarias se disponen en los circuitos en forma de contactos. Las funciones complejas se representan mediante cuadros.

Un programa KOP consta de distintos elementos que pueden conectarse en serie o en paralelo a la barra de alimentación de un segmento. Es preciso asignar variables a la

mayoría de los elementos del programa. Desde la barra de alimentación parte por lo menos un circuito. La programación del segmento comienza en el margen izquierdo del circuito. La barra de alimentación se puede ampliar con varios circuitos y ramas.

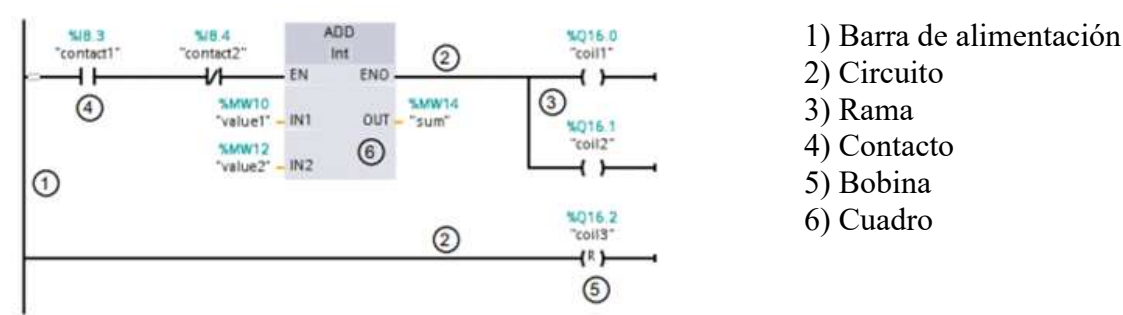


Figura 1-12: Ejemplo programación KOP

1.2.3.3 Lenguaje de programación FUP

FUP es un lenguaje de programación gráfico. Su representación es similar a los diagramas de circuitos electrónicos.

El programa se mapea en uno o varios segmentos. Un segmento contiene uno o varios circuitos lógicos. Las consultas de las señales binarias se combinan lógicamente mediante cuadros. Para representar la lógica se utilizan los símbolos lógicos gráficos del álgebra booleana.

Un programa FUP consta de distintos elementos conectados unos con otros a través del flujo de señales binarias. Es preciso asignar variables a la mayoría de los elementos del programa. Un segmento FUP se programa de izquierda a derecha.

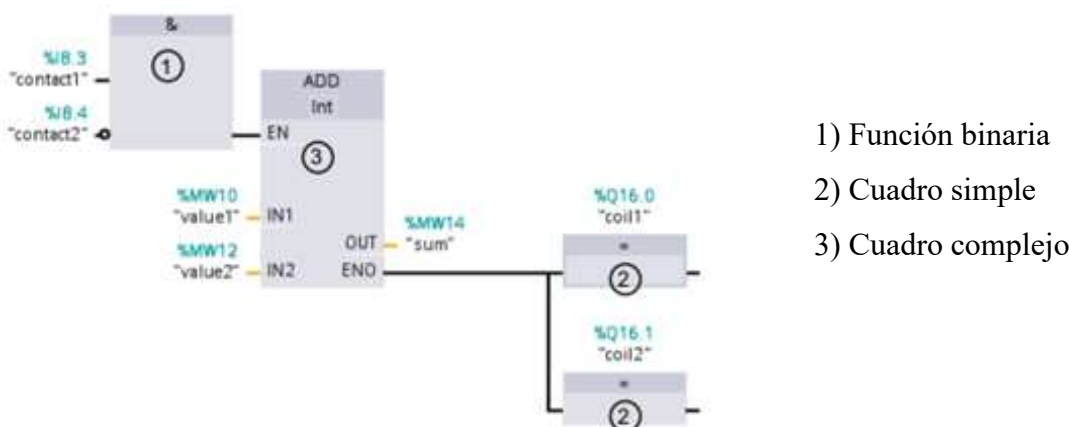


Figura 1-13: Ejemplo programación FUP

Función binaria:

Las funciones binarias sirven para consultar los operandos binarios y combinar lógicamente sus estados lógicos. Las operaciones lógicas "Y", "O" y "O-exclusiva" son algunos ejemplos de funciones binarias.

Los cuadros simples:

Sirven para controlar operandos binarios, evaluar flancos o ejecutar funciones de salto en el programa. Generalmente, los cuadros simples tienen sólo una entrada.

Cuadro complejo:

Los cuadros complejos son elementos del programa con funciones complejas. El cuadro vacío es una excepción al respecto. Un cuadro vacío es un comodín en el que puede seleccionarse la instrucción deseada.

1.2.3.4 Lenguaje de programación AWL

AWL es un lenguaje de programación basado en un texto con el que se podrán programar bloques de código. El programa AWL se divide en segmentos. Cada segmento puede tener una o varias líneas. La numeración de las líneas comienza en cada segmento con 1 y continuará de manera ascendente con cada nueva línea. En las líneas del segmento se programarán las instrucciones individuales de AWL, pudiéndose indicar sólo una instrucción AWL por línea. Cada instrucción representa una prescripción de trabajo para la CPU. La CPU ejecuta las instrucciones de arriba abajo.

AWL	Explicación
A "Tag_Input_1"	// Consultar si el estado lógico del operando es "1" y combinar el resultado lógicamente con Y con el RLO actual
A "Tag_Input_2"	// Consultar si el estado lógico del operando es "1" y combinar el resultado lógicamente con Y con el RLO actual
S "Tag_Output"	// Poner el operando a "1" si el RLO es "1"

Figura 1-14: Ejemplo programación AWL

1.2.3.5 Lenguaje de programación SCL

SCL (Structured Control Language) es un lenguaje de programación de alto nivel que se orienta a PASCAL. Este lenguaje se basa en la norma DIN EN-61131-3 (internacional: IEC 1131-3).

Esta norma estandariza los lenguajes de programación para autómatas programables. El lenguaje de programación SCL cumple el PLCopen Basis Level del lenguaje ST (texto estructurado) definido en esta norma.

SCL ofrece instrucciones prácticas para el control del programa que permiten realizar, por ejemplo, ramas, bucles o saltos del programa.

Por estos motivos, SCL es especialmente adecuado para los siguientes campos de aplicación:

- Gestión de datos
- Optimización de procesos
- Gestión de recetas
- Tareas matemáticas/estadísticas

1.2.3.6 Lenguaje de programación GRAPH

GRAPH es un lenguaje de programación gráfico para crear controles secuenciales. Permite programar controles secuenciales de manera clara y rápida utilizando cadenas secuenciales. El proceso se descompone en etapas individuales con un alcance funcional delimitable y se organiza en las cadenas secuenciales. En las etapas individuales se determinan las acciones que se deben ejecutar. El paso entre las etapas lo forman las transiciones. Estas contienen condiciones para pasar a la etapa siguiente.

- Bloques del control secuencial

Un control secuencial controla el proceso en un orden predeterminado y en función de ciertas condiciones. La complejidad del control secuencial depende de la tarea de automatización. Un control secuencial está formado siempre por tres bloques como mínimo:

- Bloque de función GRAPH

En el bloque de función GRAPH se describen las diferentes etapas y transiciones del control secuencial dentro de una o varias cadenas secuenciales.

- Bloque de datos

El bloque de datos de instancia contiene los datos y parámetros del control secuencial. Está asignado al bloque de función GRAPH y puede ser generado por el sistema automáticamente.

- Bloque lógico

Efectúa la llamada Para que el bloque de función GRAPH pueda ejecutarse dentro del ciclo, debe ser llamado por un bloque lógico de nivel superior. Dicho bloque puede ser un bloque de organización (OB), una función (FC) u otro bloque de función (FB). El bloque de función GRAPH se llama siempre como instancia individual.

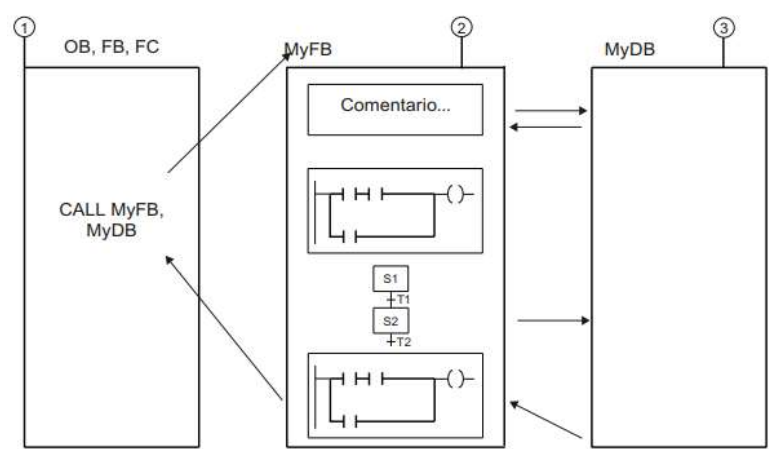


Figura 1-15: Esquema bloque lógico

- ① Bloque que efectúa la llamada
- ② Bloque de función GRAPH
- ③ Bloque de datos de instancia

El ciclo de un bloque de función GRAPH está definido por el ciclo del bloque que efectúa la llamada. En cada ciclo del bloque de función GRAPH se ejecutan en primer lugar las instrucciones permanentes anteriores. Seguidamente se procesan las acciones de las etapas activas. Por último, se ejecutan las instrucciones permanentes posteriores.

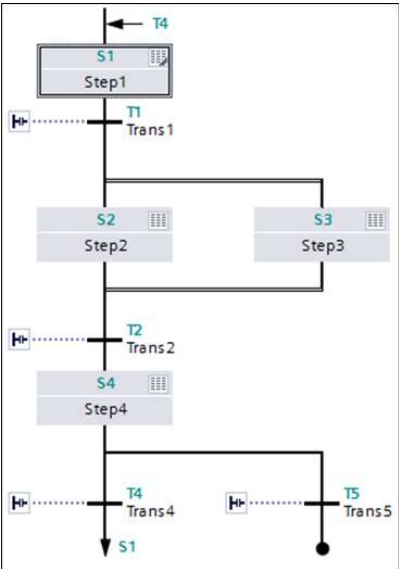


Figura 1-16: Ejemplo programación GRAPH

1.2.4 Registro de datos con S7-1200

El PLC S7-1200 de Siemens posee una función específica para el registro de datos, esto nos permite utilizar el mismo dispositivo que está gobernando el proceso como registrador de datos, ahorrándonos así la compra de otros dispositivos para este fin, además de equipo complementario para su adaptación al proceso.

Con las instrucciones para registrar datos, la información se almacena en formato CSV en la memoria flash ya sea del CPU o de una tarjeta de memoria externa para su posterior análisis, los archivos creados también pueden ser accesibles por medio de Internet a través del web server integrado del PLC.

Con las instrucciones Data Log los registros de datos se organizan como un archivo de registro circular con un tamaño predeterminado. Los registros nuevos se añaden al archivo de registro. Una vez que el archivo de registro ha almacenado el número máximo de registros, el siguiente registro sobrescribe el registro más antiguo. Para evitar que el registro de datos se sobre escriba, se debe utilizar la instrucción DataLog NewFile, de esta forma los registros de datos nuevos se almacenan en el archivo de registro nuevo, mientras que el archivo de datos antiguo permanece en la CPU.

A continuación, veremos las instrucciones de registro de datos del S7_1200.

DataLog Create: Crea e inicializa un archivo de registro que se guarda en el directorio \DataLogs de la CPU. El archivo de registro se crea con un tamaño fijo predeterminado.

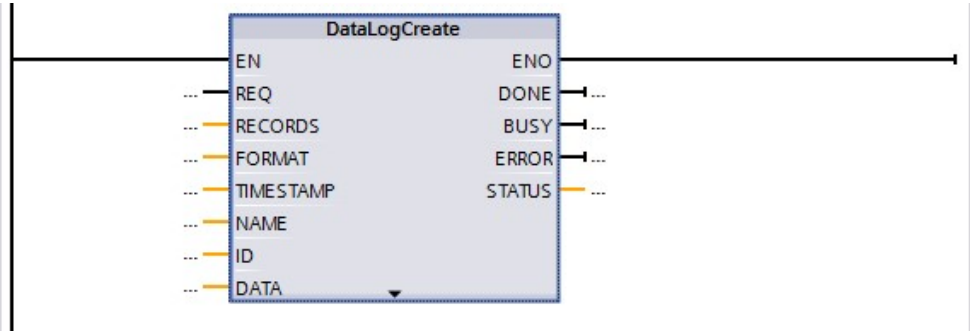


Figura 1-17: Bloque crear registro de datos

Tabla 1-1: Parámetros de DataLog Create

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
REQ	Input	BOOL	Ejecución de la instrucción El Data Log se crea cuando se detecta un flanco ascendente en el parámetro REQ.
RECORDS	Input	UDInt	Número máximo de registros en el Data Log Si con la instrucción "DataLogWrite" se escriben más registros que los especificados en este parámetro, el registro más antiguo se sobrescribe.
FORMAT	Input	UInt	Formato de datos: 0: Interno (no soportado) 1: CSV (Comma separated values)
TIMESTAMP	Input	UInt	Sellado horario: 0: Sin sello horario 1: Fecha y hora Si el sello horario está activado, se agregan automáticamente columnas adicionales en el encabezado.
NAME	Input	VARIANT	Nombre del Data Log El nombre asignado también se utiliza como nombre de archivo del archivo CSV. En las CPU S7-1200 rigen las siguientes restricciones para el nombre del Data Log:

			- El nombre no debe tener más de 35 caracteres. - Se permiten todos los caracteres ASCII entre 0x20 y 0x7E con la excepción de \ ' / " : ; [] = . * ? < > En las CPU S7-1500 rigen las siguientes restricciones para el nombre del Data Log: - El nombre no debe tener más de 55 caracteres. Se admiten los siguientes caracteres: 0 ... 9, a ... z, A ... Z así como - y _
ID	InOut		ID de objeto del Data Log (solo Output) La ID del Data Log se necesita para otras instrucciones de Data Logging a fin de direccionar el Data Log creado.
HEADER	InOut	VARIANT	Encabezado del Data Log (opcional) El parámetro se oculta después de insertar la instrucción. El encabezado se escribe en la primera fila del archivo CSV.
DATA	Output	VARIANT	Puntero a la estructura de datos que debe escribirse como registro al ejecutar la instrucción "DataLogWrite".
DONE	Output	BOOL	Parámetro de estado: 0: el procesamiento todavía no ha finalizado 1: procesamiento de la instrucción finalizado correctamente.
BUSY	Output	BOOL	Parámetro de estado:

			• 0: el procesamiento de la instrucción aún no ha comenzado, ha terminado o se ha interrumpido. • 1: la instrucción se está procesando.
ERROR	Output	BOOL	Parámetro de estado: • 0: Ningún error. • 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro STATUS contiene información más detallada.
STATUS	Output	WORD	Información de estado detallada: En el parámetro STATUS se visualiza información de estado y error detallada. El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

DataLog Write: escribe un registro de datos en el registro especificado en el ID. El registro de destino previo debe estar creado y abierto, por esta razón es necesario monitorear la salida DONE de DataLogCreate para habilitar DataLogWrite.

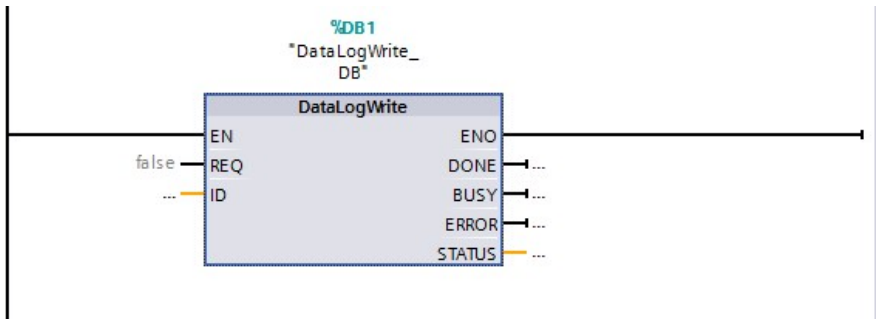


Figura 1-18: Bloque escribir registro de datos

Tabla 1-2: Parámetros de DataLog Write

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
REQ	Input	BOOL	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
ID	InOut	DWORD	ID de objeto del Data Log
DONE	Output	BOOL	La instrucción se ha ejecutado correctamente.
BUSY	Output	BOOL	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	Output	BOOL	- 0: Ningún error. - 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro STATUS contiene información más detallada.
STATUS	Output	WORD	Parámetro de estado El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

DataLog NewFile: Permite al programa crear un archivo de registro nuevo basado en otro ya existente. Se creará y abrirá un nuevo registro con el valor NAME especificado. El registro del encabezado se duplicará a partir del registro original, junto con las propiedades del registro original. El archivo de registro original se cerrará.

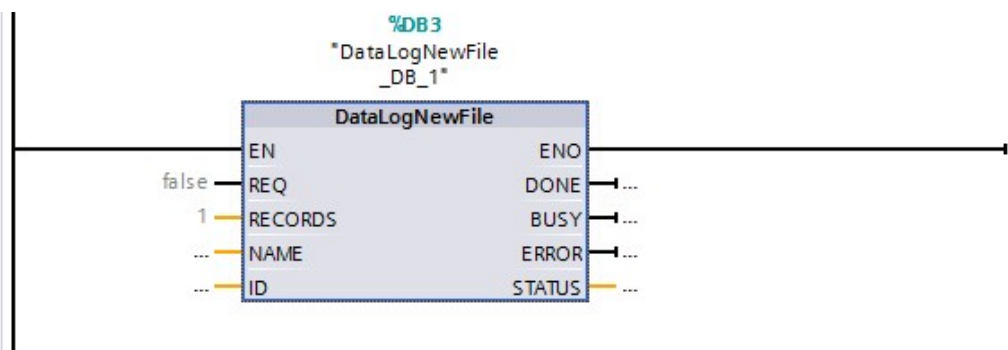


Figura 1-19: Bloque nuevo archivo

Tabla 1-3: Parámetros DataLog NewFile

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
REQ	Input	BOOL	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente
RECORDS	Input	UDInt	Número de juegos datos Data Log nuevo
NAME	Input	VARIANT	Nombre archivo del Data Log nuevo.
ID	InOut	DWORD	ID de objeto del Data Log In: ID del Data Log ya existente Out: ID del Data Log nuevo
DONE	Output	BOOL	La instrucción se ha ejecutado correctamente.
BUSY	Output	BOOL	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	Output	BOOL	• 0: Ningún error. • 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro STATUS contiene información más detallada.
STATUS	Output	WORD	Parámetro de estado Este está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

DataLogOpen: abre un archivo de registro ya existente. Es necesario abrir un registro antes de poder escribir registros nuevos en él. Los registros se pueden abrir y cerrar de forma individual. Se pueden abrir ocho registros simultáneamente.

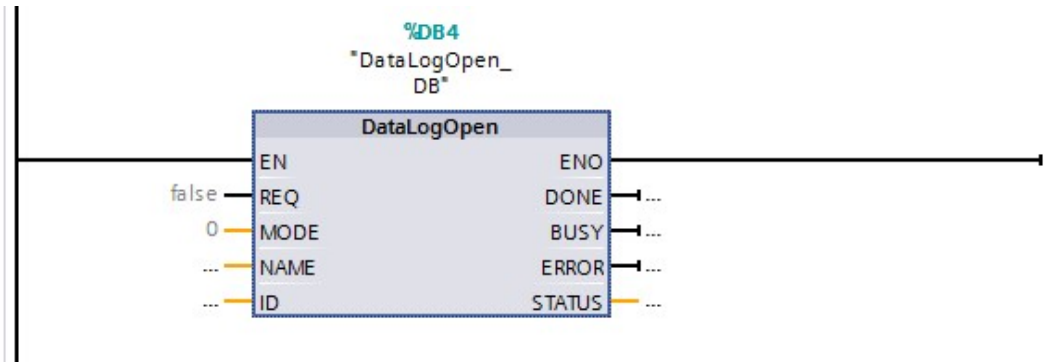


Figura 1-20: Abrir registro de datos

Tabla 1-4: Parámetros DataLogOpen

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
REQ	Input	BOOL	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
MODE	Input	UDInt	Modo para abrir el Data Log: - MODE= "0" Los juegos de datos del Data Log se mantienen - MODE= "1" Los juegos de datos del Data Log se borran, el encabezado se mantiene
NAME	Input	VARIANT	Nombre (de archivo) del Data Log.
ID	InOut	DWORD	ID de objeto del Data Log.
DONE	Output	BOOL	La instrucción se ha ejecutado correctamente
BUSY	Output	BOOL	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	Output	BOOL	- 0: Ningún error. - 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro STATUS contiene información más detallada.
STATUS	Output	WORD	Parámetro de estado El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

DataLogClose: cierra un archivo de registro abierto. El empleo de DataLogWrite sobre un registro cerrado produce un error. No se permite realizar operaciones de escritura en este registro hasta que no se lleve a cabo otra operación DataLogOpen.

La transición al estado operativo STOP cierra todos los archivos de registro abiertos.

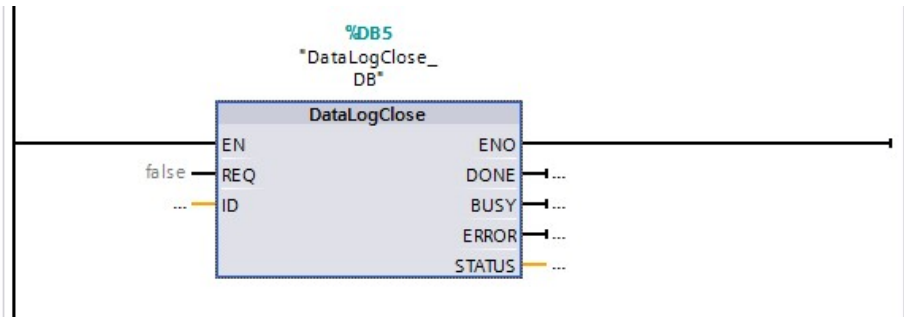


Figura 1-21: Cerrar registro de datos

Tabla 1-5: Parámetros DataLogClose

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
REQ	Input	BOOL	Ejecutar función con flanco ascendente
ID	InOut	DWORD	ID de objeto del Data Log
DONE	Output	BOOL	La instrucción se ha ejecutado correctamente.
BUSY	Output	BOOL	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	Output	BOOL	0: Ningún error. 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro STATUS contiene información más detallada.
STATUS	Output	WORD	Parámetro de estado El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

1.3 MEDICIÓN DE CAUDAL

La medición de flujo es una de las variables con más alto porcentaje de medición en nivel industrial. Es una variable de mucha importancia, puesto que, sin mediciones de

flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y la operación de procesos continuos.

Existen varias formas para medir flujos, en la mayoría de los cuales, es imprescindible el conocimiento de algunas características básicas de los fluidos para una buena selección del mejor método a emplear. Estas características incluyen viscosidad, densidad, gravedad específica, compresibilidad, temperatura y presión.

Básicamente, podemos decir que existen dos formas de medir el flujo: el caudal y el flujo total. El caudal es la cantidad de fluido que pasa por un punto determinado en cualquier momento dado. El flujo total es la cantidad de fluido por un punto determinado durante un periodo de tiempo específico. A continuación, veremos algunos de los métodos empleados para medir flujo

1.3.1 Medidor de placa orificio

La placa orificio es un dispositivo que permite medir el caudal o flujo de un fluido que pasa por una tubería. Consta de un disco con un orificio en el centro de este que se coloca perpendicular a la tubería.

Es un elemento de medición primario pero muy utilizado debido a su facilidad de uso, bajo presión, poco mantenimiento y gran eficiencia.

El funcionamiento de una placa orificio se basa en el efecto Venturi. Este consiste en un fenómeno que hace reducir la presión de un fluido que transita por una tubería y este aumenta su velocidad debido a la disminución del diámetro de la tubería.

Por lo tanto, para medir el flujo se colocan dos tomas una antes de la placa y otra después, que captan la presión diferencial que se genera debido al aumento de velocidad. Luego a través del principio de Bernoulli se llega a que la diferencia de presión es proporcional al cuadrado del flujo.

1.3.2 Tipos de placa orificio

- Placa orificio concéntricas

En estas placas el orificio del disco se encuentra en el centro del mismo. Es de aplicación universal para fluidos limpios.

- Placa orificio concéntricas cónicas

En este caso el orificio al igual que las placas concéntricas se encuentra en el centro del disco, pero en este el diámetro del orificio se va reduciendo a medida que el fluido va atravesando el disco. Es utilizado para fluidos que tienen un alto número de Reynolds, es decir fluidos que tienden a comportarse de forma turbulenta.

- Placa orificio excéntrica

Son aquellas en las que el orificio no se encuentra en el centro del disco, sino que levemente hacia abajo. Se utiliza para tuberías de diámetro pequeño.

- Placa orificio concéntricas segmentadas

Aquí la diferencia con las otras placas concéntricas es que el orificio no es un círculo, sino que está segmentado, formando un semicírculo. Es utilizado para medición de fluidos que contienen partículas.

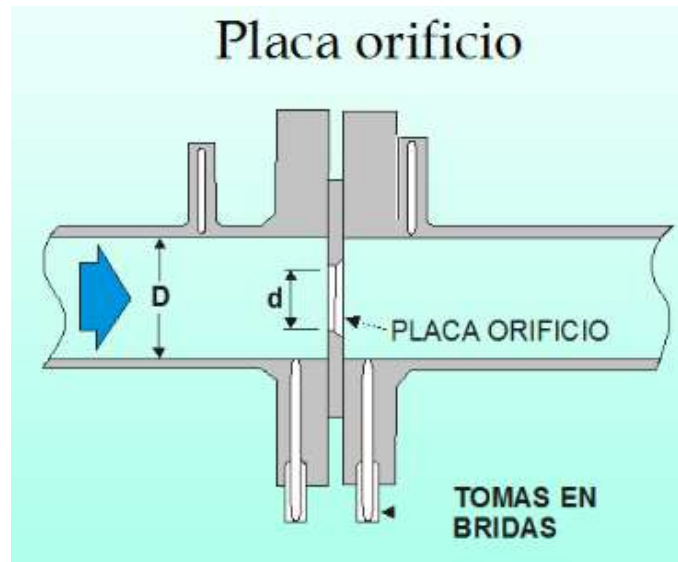


Figura 1-22: Esquema placa orificio

1.3.3 Medidor de Venturi

La teoría del tubo de Venturi es la misma de la placa orificio. Sin embargo, el Venturi está diseñado para reducir la turbulencia inherente en el orificio y por consiguiente reducir la pérdida de presión por fricción; esto se efectúa haciendo una disminución gradual hacia la garganta del Venturi, y una salida igualmente gradual. La disminución de la sección del tubo es realizada directamente por el mismo tubo.

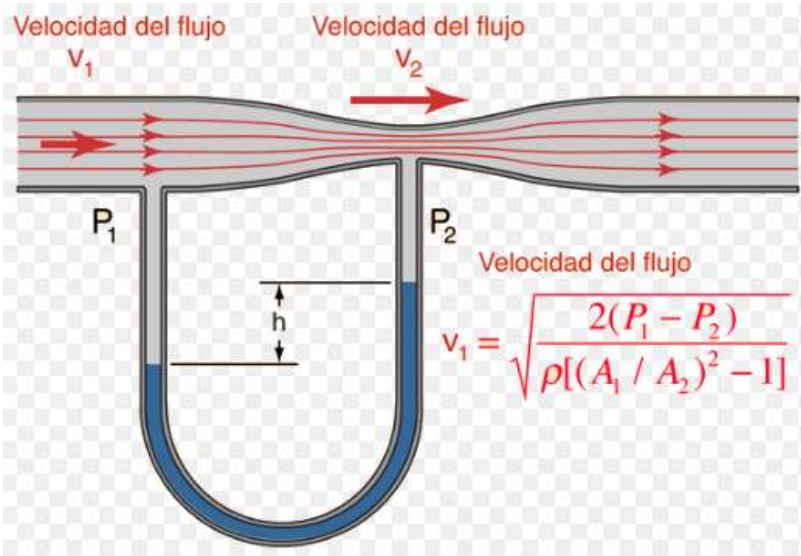


Figura 1-23: Medidor de Venturi

1.3.4 Tubo Pitot

El tubo de Pitot realiza la medición generando una presión diferencial en función a la diferencial del caudal. El flujo del fluido se calcula a partir de la diferencia entre la presión estática y la presión dinámica por el principio de Bernoulli.

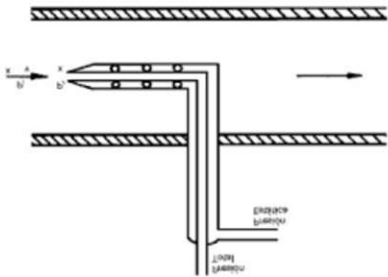


Figura 1-24: Esquema tubo Pitot

1.3.5 Tubo Annubar

El tubo de Annubar es otra variante del tubo de Pitot, con la diferencia que posee una mayor precisión, debido a que las tomas de presión esta mejor controlada, se obtiene automáticamente un promedio de la presión de estancamiento en unos puntos determinados en la construcción del instrumento.

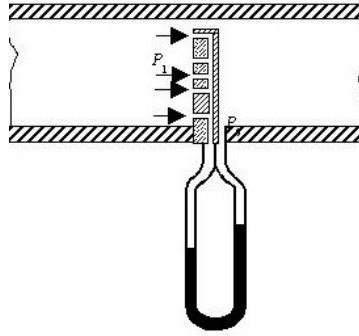


Figura 1-25: Tubo Annubar

1.3.6 Rotámetros

El rotámetro es un flujómetro industrial que se usa para medir el flujo de líquidos y gases. El rotámetro consiste en un tubo y un flotador. La respuesta del flotador a los cambios de caudal es lineal, y un rango de flujo de 10 a 1 GPM es estándar.

La operación del rotámetro se basa en el principio de área variable: El flujo de fluido eleva el flotador en un tubo ahusado, lo que aumenta el área para el paso del fluido. Cuanto mayor es el flujo, más alto se eleva el flotador. La altura del flotador es directamente proporcional al caudal. Con líquidos, el flotador se eleva por una combinación de la flotabilidad del líquido y la altura equivalente de velocidad del fluido.



Figura 1-26: Rotámetro

1.3.7 Caudalímetro magnético

Los sensores magnéticos de caudal, son dispositivos que miden caudal de líquidos con bajas pérdidas de presión. El diseño exige bajo mantenimiento, no tiene partes móviles, alta precisión, salidas analógicas lineales, insensible a la gravedad, viscosidad, presión y temperatura. Tiene gran facilidad para medir un amplio rango de fluidos que presentan dificultad para hacerlo.

1.3.8 Sensor ultrasónico Doppler

Un flujómetro que opera con el método Doppler utiliza el efecto que se produce cuando una secuencia de ondas de sonido choca contra un objeto en movimiento. A modo de ejemplo, es similar al sonar que utiliza un submarino para detectar el movimiento de las naves que están en su cercanía. El efecto Doppler utiliza este principio, un incremento (o una disminución) de la frecuencia de las ondas sonoras a medida que la distancia entre una fuente sonora y un receptor aumenta o disminuye. Por tanto, una condición previa para que el flujómetro de efecto Doppler funcione es que el fluido contenga partículas, burbujas de gas u otras sustancias similares, que reflejen las ondas de sonido.

Para su funcionamiento, el flujómetro de efecto Doppler requiere dos sensores. El primero emite una señal de ultrasonido que se desplaza por el flujo en las partículas o burbujas que éste contiene, el segundo en tanto recibe la onda de sonido reflejada en dicha partícula. La variación producida en la frecuencia del haz de ondas sonoras reflejadas es directamente proporcional a la velocidad de las partículas o burbujas del flujo en movimiento. Se asume que la velocidad de las partículas o burbujas de gas es la misma que la velocidad del fluido.

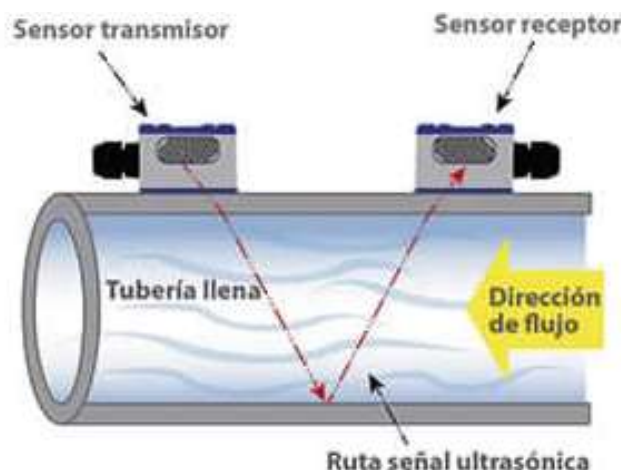


Figura 1-27: Sensor ultrasónico Doppler

1.4 MEDICIÓN DE pH

Una indicación aproximada del pH puede ser obtenida utilizando indicadores o cintas de pH, que cambian de color en función de la variación del nivel de pH. Esos indicadores presentan limitaciones en términos de exactitud y pueden ser difíciles de interpretar correctamente en muestras oscuras o coloridas.

Mediciones más exactas son obtenidas usando un medidor de pH. El sistema de medición es formado por tres partes: un electrodo de medición de pH, un electrodo de

referencia y un medidor de alta impedancia de entrada. El electrodo de pH puede ser considerado como si fuera una batería, con una tensión que varía conforme el pH de la solución medida. El electrodo que mide el pH es un bulbo de vidrio sensible a iones de hidrógeno, con una salida en mili voltios que varía conforme las alteraciones en la concentración relativa de los iones de hidrógeno dentro y fuera del bulbo. La salida del electrodo de referencia no cambia con la actividad de los iones de hidrógeno. El electrodo de pH posee una resistencia interna muy alta, lo que dificulta la medición de la variación de la tensión con el pH. Por lo tanto, la impedancia de la entrada del medidor de pH y las resistencias de dispersión son factores importantes. Básicamente, el medidor de pH es un amplificador de alta impedancia que mide con exactitud las tensiones mínimas del electrodo y exhibe los resultados directamente en unidades de pH en una pantalla analógica o digital. En algunos casos, las tensiones también pueden ser interpretadas para aplicaciones especiales o uso con electrodos de iones selectivos o de potencial de oxidación/reducción (ORP).

1.4.1 Electrodos de pH

La tecnología del electrodo de pH no ha cambiado mucho en los últimos 50, 60 años. Con todos los avances tecnológicos en los últimos 30, 40 años, la fabricación de electrodos de pH continúa siendo un arte. Modeladores soplan el cuerpo de vidrio especial del electrodo hasta obtener la configuración deseada. No se trata de un proceso altamente avanzado o de alta tecnología y sí de una etapa fundamental y muy importante de la fabricación de los electrodos. En verdad, la espesura del vidrio determina su resistencia y afecta sus resultados

1.4.2 Principio de medición de un sensor de pH

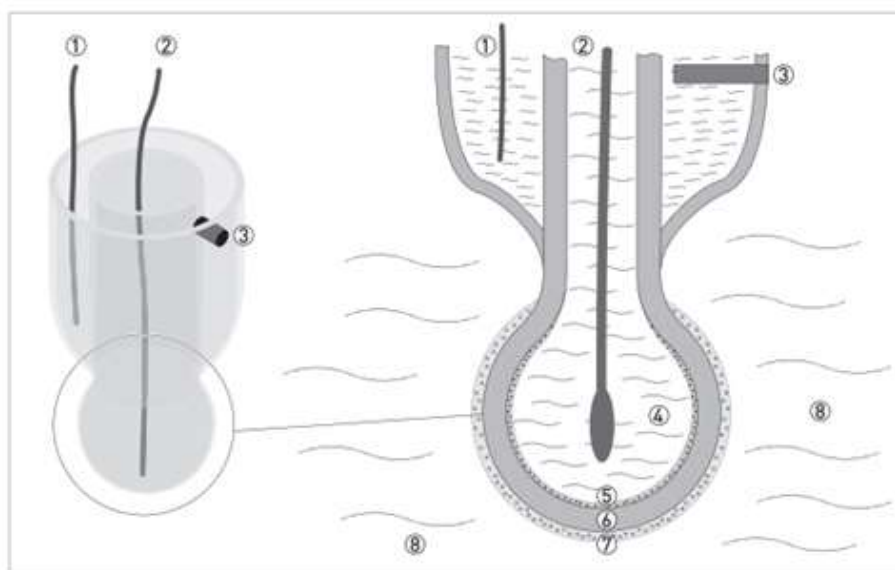


Figura 1-28: Esquema principio de medición sensor de pH

- 1- Electrodo de referencia
- 2- Electrodo de medición
- 3- Diafragma en contacto con solución de KCl y medio de medición.
- 4- Solución tampón de pH 7 interior
- 5- Potencial de superficie en el interior (contacto con solución tampón)
- 6- Vidrio sensible al pH (vidrio de membrana)
- 7- Potencial de superficie en el exterior (contacto con el medio de medición).
- 8- Medio de medición

El principio de medición de un sensor de pH se basa en un vidrio sensible al pH (vidrio de membrana). Cuando el vidrio sensible al pH entra en contacto con un líquido, se desarrolla una capa delgada de gel hidratado en la superficie, permitiendo un intercambio de iones entre la superficie de vidrio y el líquido. El potencial de Nernst se acumula en la superficie del vidrio. Si ambos lados del cristal están en contacto con líquidos, se puede detectar un voltaje entre los dos potenciales de superficie. El voltaje se correlaciona con la diferencia en la concentración de iones H^+ y, por lo tanto, la diferencia de valores de pH en ambos líquidos.

El sensor de pH contiene una solución tampón interna con un valor de pH conocido. Si el valor de pH de la medición en el exterior del sensor es igual al valor de pH del búfer interno, el voltaje resultante es 0 V.

Si el valor de pH del medio difiere del valor de pH interno, se producirá una tensión entre los valores internos y la capa externa puede ser medida. De la tensión resultante, las diferencias de pH de los dos líquidos pueden ser calculados.

La tensión se mide utilizando un electrodo de medición y un electrodo de referencia; ambos están contruidos en el sensor. El electrodo de medición está en contacto con la solución tampón conocida en el pH en la bombilla de vidrio sensible. El electrodo de referencia se sumerge en una solución saturada de potasio, cloruro (KCl). La propia solución de KCl está en contacto eléctrico con el medio de medición por los medios del diafragma. El diafragma evita que el medio de medición penetre en el sistema de referencia, pero todavía permite el contacto eléctrico con el medio de medición.

El cambio de voltaje de un sensor de pH a $25^{\circ}C / 77^{\circ}F$ es de alrededor de -59 mV para cada unidad de pH. Esto también es llamado la pendiente del sensor de pH. La pendiente es dependiente de la temperatura y disminuye con el tiempo de vida del sensor.

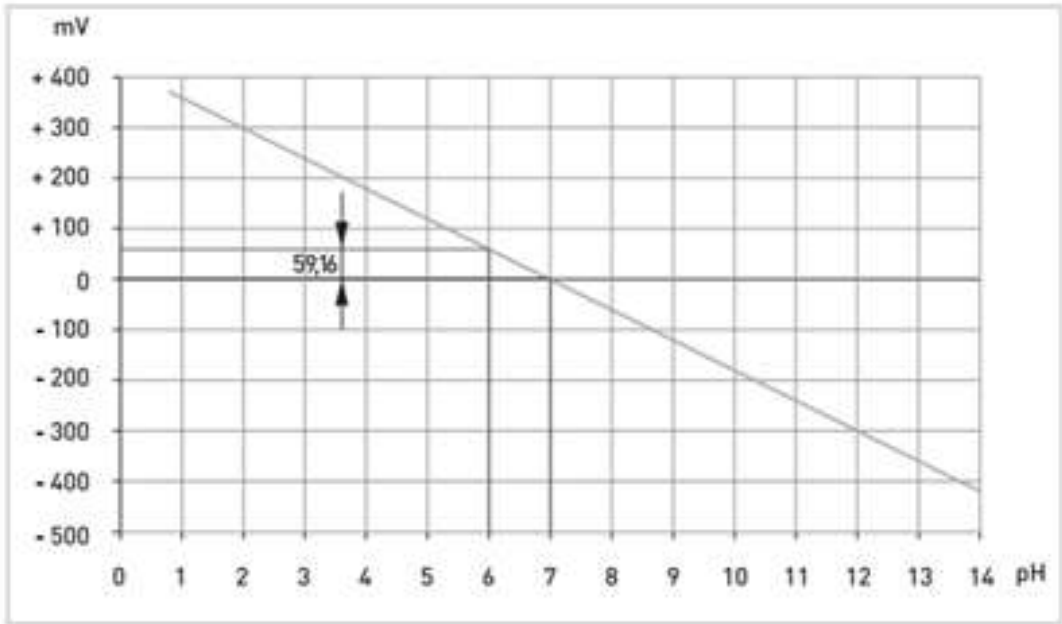


Figura 1-29: Gráfico de pH vs voltaje

Para compensar la dependencia de la temperatura de la medición del pH, la temperatura del medio se puede medir y compensar automáticamente.

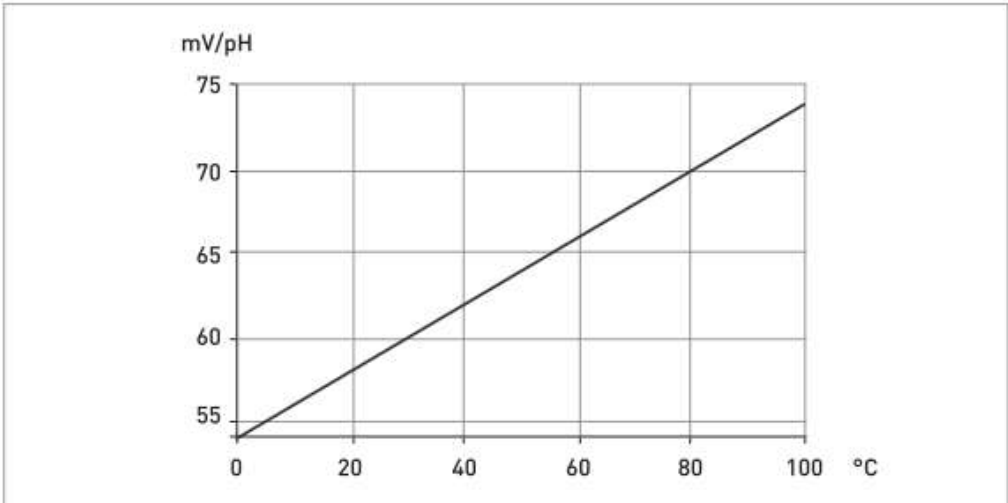


Figura 1-30. Dependencia de la temperatura del factor Nernst

1.4.3 Compensación de Temperatura

La compensación de temperatura es contenida dentro del instrumento, pues los electrodos de pH y las mediciones son sensibles a la temperatura. La compensación puede ser manual o automática. En la compensación manual, es necesaria una medición de temperatura separada y el control de compensación manual del medidor de pH puede ser ajustado con el valor aproximado de la temperatura. En la compensación automática (ATC), la señal de una sonda de temperatura separada es transmitida para el medidor, de

modo que sea posible determinar con precisión el valor del pH de la muestra en aquella temperatura.

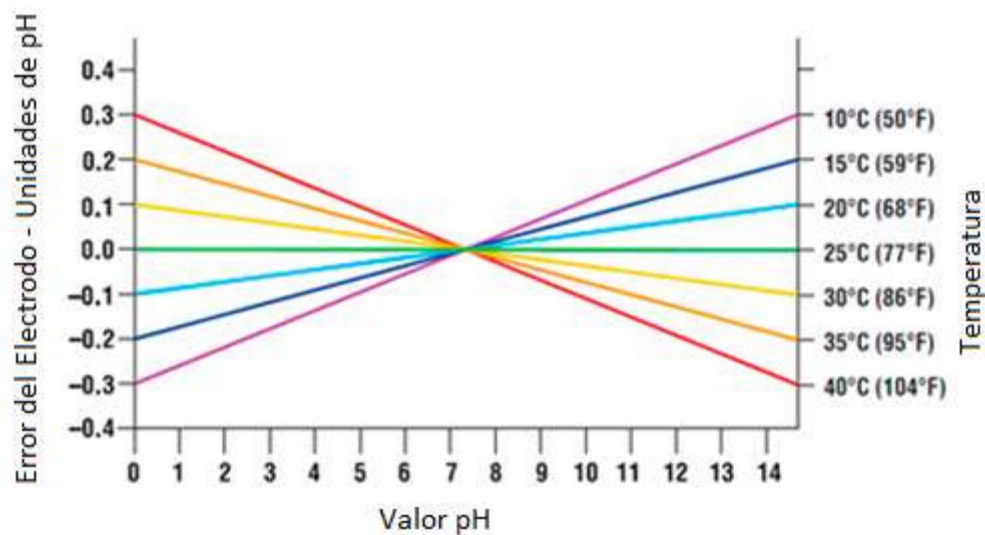


Figura 1-31: Grafico compensación de pH por temperatura

1.4.4 Soluciones Tampón

Los tampones son soluciones con valores constantes de pH y capacidad de resistir a cambios en determinado nivel de pH. Son usados para calibrar el sistema de medición de pH (electrodo y medidor) puede haber pequeñas diferencias entre los resultados de un electrodo y otro, además de alteraciones con el pasar del tiempo. Por lo tanto, el sistema debe ser periódicamente calibrado. Las soluciones tampón son colocadas a la disposición en un amplio rango de valores de pH y en forma de líquido premezclado o en convenientes cápsulas de polvo seco. La mayoría de los medidores exige calibración en varios valores de pH específicos. Generalmente, una calibración es realizada cerca del punto isopotencial (la señal producida por un electrodo a un pH 7 es 0 mV a 25°C) y una segunda normalmente ocurre a un pH igual a 4 o 10. Es mejor escoger una solución que esté lo más cerca posible del valor real del pH de la muestra a ser medida.

CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL Y CONFIGURACIÓN

2.0 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL Y CONFIGURACIÓN

Los elementos de control son todos aquellos equipos necesarios para que nuestro sistema funcione de una manera adecuada y debe cumplir con las normas oficiales o norma chilena para garantizar su funcionalidad, calidad y seguridad.

Cada equipo seleccionado debe cumplir las condiciones y características previstas para la instalación eléctrica, es decir, debe ser adecuado para el ambiente y las condiciones de operación que tendrá, ya que de lo contrario puede provocarse un accidente que ponga en riesgo la integridad de las personas que harán uso de la instalación; éstas deben en particular cumplir con los requisitos siguientes:

2.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Para realizar el sistema de supervisión, control y adquisición de datos de la planta de RILES se ha seleccionado un PLC de marca Siemens modelo S7-1200.

Este controlador ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para distintas tareas de automatización. Posee un diseño compacto y amplio juego de instrucciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

La CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones y contiene un puerto de comunicación PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 y RS232.

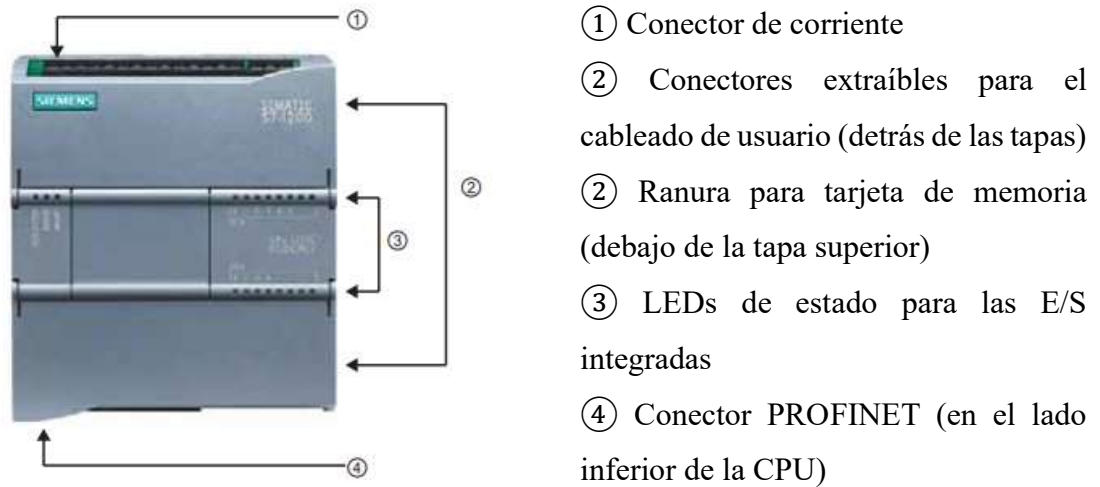


Figura 2-1: CPU Siemens S7-1200

El PLC también posee módulos de expansión que nos permiten ampliar el número de entradas y salidas que posee. Cuando la capacidad del PLC no cumple con los requisitos exigidos por la aplicación de automatización. Algunos de los módulos de expansión son:

- Entradas y salidas digitales
- Entradas y salidas analógicas 4-20 mA
- Entradas y salidas analógicas 0 – 10 V
- Entradas de RTD
- Expansión de memoria
- conexión a redes de datos industriales

Para la supervisión, control y adquisición de datos de la planta de RILES utilizaremos módulos de entrada digitales, salidas digitales y entradas analógicas.

2.1.1 Módulos de entradas y salidas digital

El autómata S7-1214C integra 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y su capacidad de expansión es mucho mayor que los modelos S7-1211C y S7-1212C, esto es muy importante al momento de alguna ampliación de la planta.

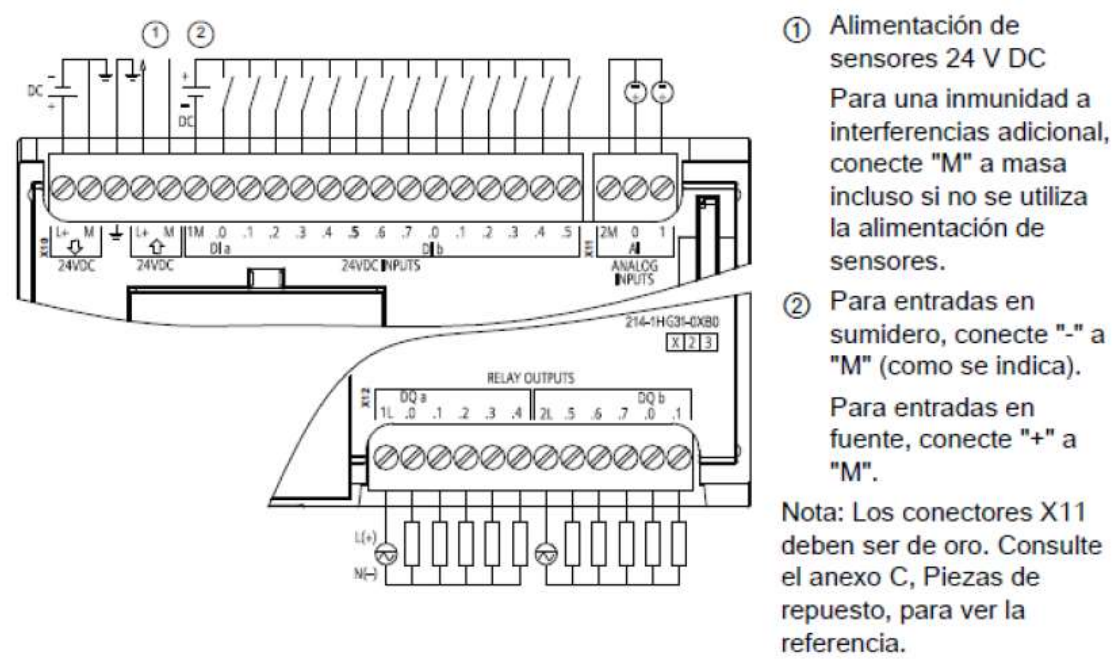


Figura 2-2: Descripción automática S7-1214C

En nuestro caso la cantidad de entradas digitales del sistema sobrepasa las entradas que el PLC posee de fábrica, por esta razón se debe expandir el PLC con dos módulos de entradas digitales.

- 1 módulo de 16 entradas digitales
- 1 módulo de 8 entrada digitales.

Entrada digital SM 1221, 16DI, 24V DC



Figura 2-3: Módulo de entrada digital

Tabla 2-1: Tensión de trabajo módulo de entrada digital

Tensión de alimentación	
Valor nominal DC	24
Rango límite inferior	20,4
Rango Límite superior	28,8

- Salida Digital SM 1222, 8 DO, RELÉ



Figura 2-4: Módulo de salida digital

Tabla 2-2: Tensión de trabajo Módulo de salida digital

Tensión de alimentación	
Rango límite inferior DC	5 V
Rango límite superior DC	30 V

2.1.2 Módulos de entrada y salida analógica

Los módulos de señales analógicas son tarjetas electrónicas que tienen como función digitalizar las señales analógicas cuando son tarjetas de entrada para que puedan ser procesados por el PLC y convertir de digital a analógico cuando son tarjetas de salida analógica. Estas señales analógicas varían continuamente y pueden ser de distintos tipos de variables, como por ejemplo temperatura, presión, caudal, pH, nivel, etc.

El PLC S7-1200 posee varios tipos de tarjeta de entradas y salidas analógicas en nuestro caso solo utilizaremos una tarjeta de entradas analógicas de corriente de 4-20 mA con 8 entradas, la cual se describe a continuación.

Módulo de entradas analógicas AI8 x 13 bits; bloques de bornes enchufables; entrada: 2,5V, 5V, 10V y 0/4...20mA.



Figura 2-5: Módulo de entrada analógica

2.1.3 Módulo de comunicación

La comunicación ethernet es un estándar de redes de computadores conocido como IEEE 802.3 Posee diferentes velocidades de transmisión de datos según su categoría, tipo de cable y factores como atenuación de señal.

Se utiliza este dispositivo para conectarse a la red de datos de la empresa Ecofood. Mediante esta conexión se descargan los datos guardados en la tarjeta de memoria del PLC todo a través del servidor web.

El switch que se utilizara es el 1277 de la marca Siemens.

2.1.4 Switch compacto 1277



Figura 2-6: Switch compacto 1277

El CSM 1277 cuenta con cuatro conectores hembra RJ45 para la conexión de equipos terminales o de otros segmentos de red.

La alimentación de tensión se conecta a través de un bloque de bornes de 3 contactos enchufables. La tierra funcional se puede conectar al riel de perfil de sombrero puesto a tierra.

También podemos decir que para el correcto funcionamiento del switch existen 2 recomendaciones por parte del fabricante y estas son las siguientes:

- No conecte nunca el equipo a tensión alterna.
- No usar nunca el equipo con tensiones continuas superiores a 28,8 V DC.

2.1.5 Conexión switch 1277

En este proyecto se realiza una conexión topológica de tipo estrella como se puede apreciar en la imagen siguiente.

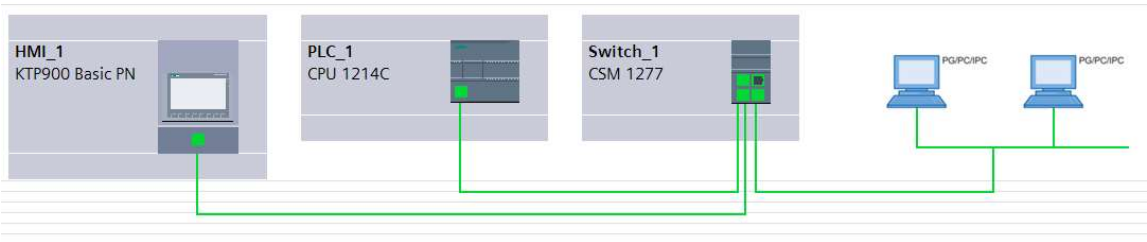


Figura 2-7: Ejemplo topología estrella switch SM 1277

2.2 SELECCIÓN EQUIPO MEDICIÓN DE pH

El principio de medición de los sensores de pH consiste en generar una diferencia de potencial en respuesta al cambio en la concentración de una determinada especie química utilizada como muestra con la sustancia ubicada dentro del sensor utilizada como referencia.

Para realizar la medición de pH se evaluaron dos tipos de sensores, el primero de la marca KROHNE modelo SMARTPAT PH 2390 y el segundo de la marca HANNA modelo HI 6101405. A continuación, se observan sus características.

2.2.1 Sensor de pH SMARTPAT PH 2390

El SMARTPAT PH 2390 es un sensor de pH alimentado por bucle de 2 hilos para aplicaciones de aguas residuales como, por ejemplo, en plantas de tratamiento de aguas residuales. Equipado con Rytón ® material del cuerpo, gran diafragma PTFE e integrado Pt1000 para compensación de temperatura, el sensor cumple varios requisitos de aplicación. Se permite la instalación directa en un tubo o tanque con el 3 / 4 de conexión al proceso (macho) NPT.

Algunas de sus características principales son:

- No se necesita un transmisor externo
- Calibración fuera de línea bajo condiciones controladas: Ahorro de costos debido a un menor tiempo de operación en el sitio y una mayor vida útil del sensor
- Doble unión para una vida útil prolongada y un amplio rango de aplicaciones
- Material del cuerpo robusto PPS
- Con sensor de temperatura integrado y conector estándar VP2
- Gratuito PACTware TM FDT / DTM para un fácil manejo de la configuración fuera de línea y en línea
- Conexión directa a través de bus de campo estandarizado (HART ® 7)
- Varios ensambles de montaje para una fácil instalación y un manejo confiable

Tabla 2-3: Características técnicas sensor de pH

Características	
Principio de medición	Potenciómetro
Rango de medición	0.....14 pH

Diseño	
Diámetro del eje	20 mm / 0.79"
Longitud de inserción	23 mm / 0.91"
Sensor de temperatura	Pt1000
Conector	Vario Pin 2.0 (VP2)
Condiciones de operación	
Temperatura de proceso	0...+80°C / +32...+176°F
Temperatura ambiente	-10...+85°C / +14...+185°F
Temperatura de almacenamiento	4...+30°C / +40...+86°F
Presión de proceso	Max. 5.9 bar at +60°C /
Conductividad	> 150 µS/cm
Condiciones de instalación	
Protección de ingreso	IP68
Peso	Aprox. 193 g / 0.43 lb
Conexión	3/4-14 NPT
Protección de ingreso	IP68
Peso	Aprox. 193 g / 0.43 lb
Conexión	3/4-14 NPT
Comunicación	
Fuente de alimentación	15...30 VDC
Rango de medición	4...20 mA + HART® protocolo
Carga	Mínimo 0 Ω; máximo RL = ((Uext. - 15 VDC) / 22 mA)
Señal de error	Acc. to NAMUR NE 43
	Valor superior : ≥ 21.0 mA
HART®	HART® protocolo a través de la salida de corriente
Revisión del dispositivo	1
Capa física	FSK
Categoría de dispositivo	Sensor, galvánicamente aislado
Requisitos del sistema	Resistencia de bucle de 250 Ω para la comunicación HART®
Operación multipunto	4 mA En un sistema de comunicación multipunto, se pueden conectar hasta 32 dispositivos. Para la instalación en un sistema de comunicación multipunto, considere la caída de voltaje para la resistencia de bucle de 250 para la comunicación HART®. La tensión de alimentación debe ser ajustada.

Dimensiones

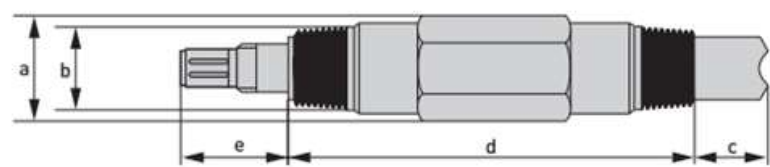


Figura 2-8: Esquema de dimensiones sensor pH

	Dimencion [mm]	Dimension [pulg.]
a	Ø 33	Ø 1,3
b	³ / ₄ NPT	
c	24	0,96
d	128	5,04
e	34	1,34

2.2.2 Sensor y trasmisor de pH HANNA

EL Electrodo HI 6101405 de punta plana con opción de compensación de Temperatura. Posee Conector BNC y diferentes longitudes de cable. Apto para presiones de hasta 6 bar y pila externa para alargar la vida del electrodo.



Figura 2-9: Sensor de pH

Este electrodo debe ser conectado con un equipo controlador el cual se encarga de transformar la medida de pH a corriente de 4-20mA. Este equipo es un controlador modelo HI 8710E.

El transmisor de pH tiene por objetivo recibir la señal del sensor de pH y transformarla a una señal que el PLC pueda decodificar. Típicamente la señal hacia el PLC es de corriente ya sea en configuraciones de 0-20 mA o de 4-20 mA según se programe en el transmisor. El transmisor utilizado es de tipo HI8710 puede ser conectado

a todo tipo de sensor de pH con conector BNC para conseguir el control continuo de pH, es idóneo para el uso prolongado en ambientes industriales.



Figura 2-10: Transmisor de pH

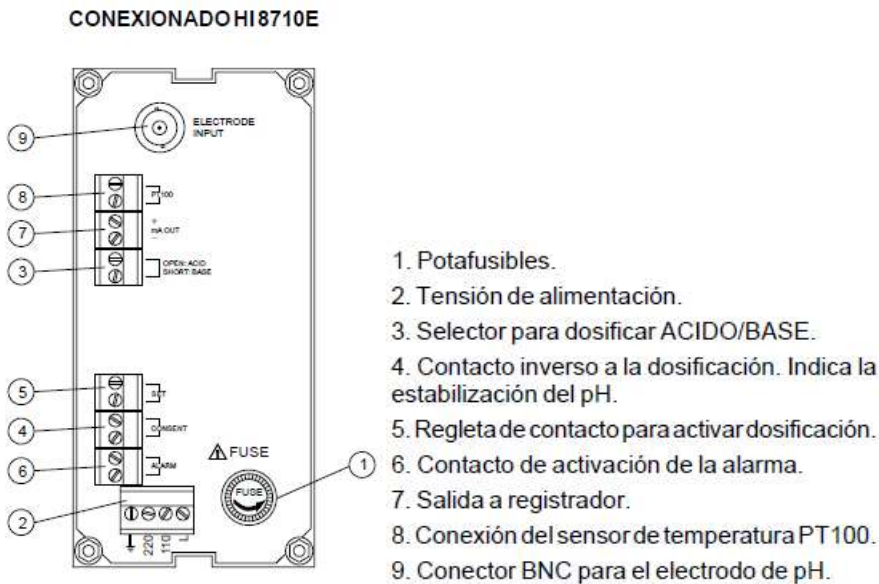


Figura 2-11: Conexión de transmisor de pH

Finalmente, se decide que se utilizar el sensor del fabricante HANNA a solicitud de Ecofood S.A. puesto que el equipo ya se utiliza, se conoce su programación y ha funcionado correctamente.

2.3 SELECCIÓN MEDICIÓN DE NIVEL

Para poder controlar y señalar niveles en los estanques se utilizarán interruptores de nivel tipo flotador adecuado para diferentes líquidos limpios y aguas servidas en

estanques abiertos y cerrados. Sirve para señalización de niveles, conectar bombas, válvulas de descarga, etc.

Tabla 2-4: Comparación flotador de nivel

CODIGO	N024216K	N0242208	N0242224	N0242127	 N0242127
Material flotador	Polipropileno				
Presion maxima	10 bar			2 bar	
Contactos	10 A / 250 VAC			16 A/250VAC	
Proteccion	IP68				
Diametro cable	7mm			7,5mm	
Largo cable	5 Metros	10 Metros	15 Metros	10 Metros	
Temperatura max.	45°C			60°C	

2.4 SELECCIÓN EQUIPO MEDIDOR DE CAUDAL

Para medir el caudal de RIL que genera en la planta se proponen dos tipos de medidores de caudal ambos realizan el mismo principio de medición y es a través de electromagnetismo. Estos modelos son:

- Modelo N0480508 correspondiente a la marca VTU
- Modelo Magflux correspondiente a la marca MJK



Figura 2-12: Equipos medición de flujo.

El medidor de caudal seleccionado a utilizar es el Magflux, este equipo ya existe en otros puntos de la planta y a funcionado de manera correcta bastante tiemo por esta razon Ecofood solicito que continuar utilizando este equipo.

2.4.1 Decripcion del medidor Magfluk

Este equipo apto para hacer mediciones de flujo en todo tipo de fluidos conductivos, especialmente medición de caudal de agua, agua servida, lodo y otros fluidos conteniendo partículas.

El medidor electromagnético es un instrumento para medir líquidos conductivos utilizando la ley de inducción electromagnética de Faraday, en consecuencia, el líquido debes ser conductora de la electricidad.

Este equipo se divide en dos partes un convertidor y un sensor de medición. El número (Part no.) y código de calibración están impresos en la etiqueta de identificación adherido al propio convertidor.



Figura 2-13: Etiqueta de identificación

El código de calibración (Cal. Code) es único y proporciona el convertidor MagFlux® con información sobre el número de sensor de caudal, diámetro nominal del sensor de caudal y dato de calibración del sensor.

2.4.2 Precauciones para la instalación

El sensor debe ser instalado en una ubicación libre de elementos que puedan interferir la medición como válvulas, uniones T, bombas, etc. Para asegurar un caudal sin turbulencias aguas arriba del sensor. Por ese motivo el sensor debe estar instalado en una

tubería recta a una distancia de elementos de interferencia mínima de 3 x DN aguas arriba y mínima de 2 x DN aguas abajo.

Es importante considerar que las válvulas siempre deben estar instaladas aguas abajo del sensor.

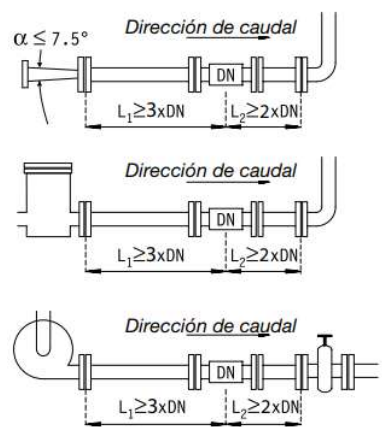


Figura 2-14: Posiciones de montaje flujómetro

El sensor de caudal siempre debe estar lleno con líquido. Por esto el sensor de caudal no puede estar instalado en el punto más alto del sistema ni en salidas libres, donde la gravedad podría vaciar o parcialmente vaciar la tubería.

Es posible instalar el sensor de caudal de manera horizontal y vertical. Si el sensor de caudal está Instalado de forma vertical, la dirección siempre debe estar hacia arriba. De esa manera el efecto de posibles burbujas en el líquido se reducirá significativamente, y también se asegura que el sensor de caudal siempre este lleno de líquido.

Al instalarse de forma horizontal se puede rotar el sensor máximo +/- 45° visto del extremo de conexión. Si el sensor de caudal esta rotado más de 45° los electrodos pueden no estar en buen contacto con el líquido.

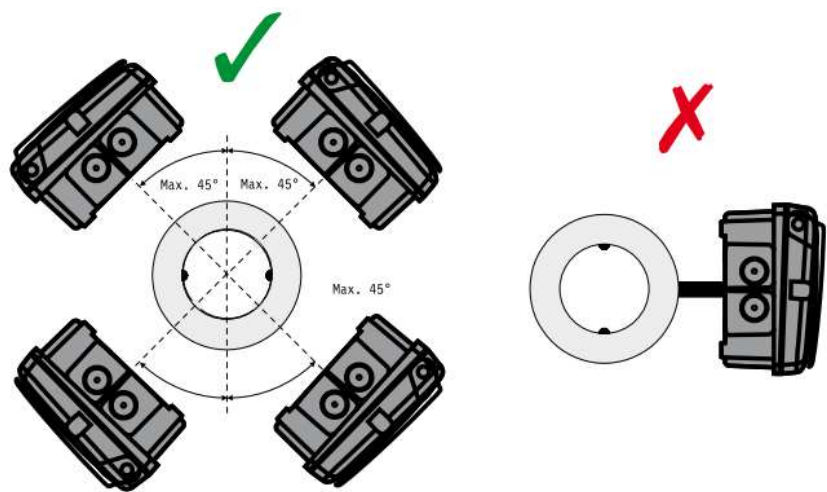


Figura 2-15: Montaje correcto sensor de caudal

2.4.3 Compensación de potencial y puesta a tierra

Conexión en tuberías no conductoras

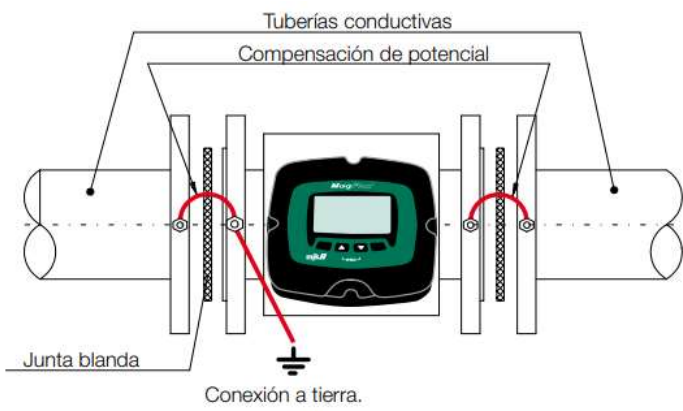


Figura 2-16: Compensación de potencial tuberías no conductoras

Conexión en tuberías conductoras

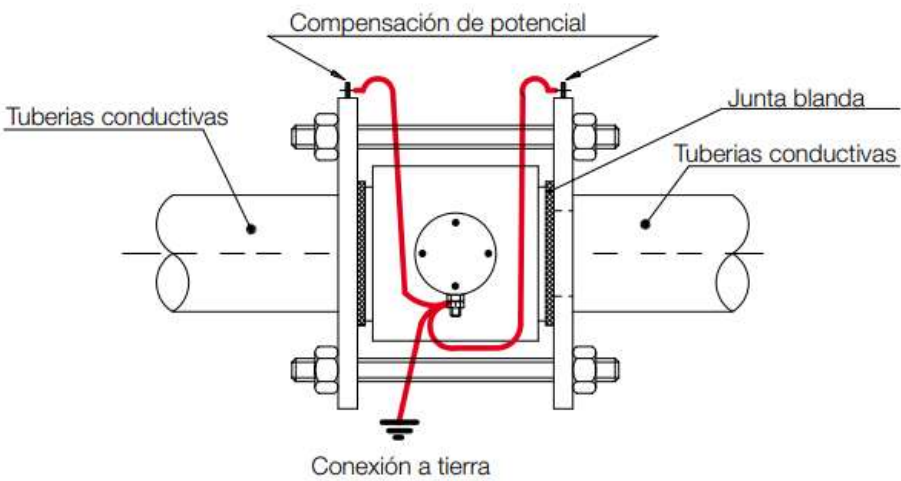


Figura 2-17: Compensación de potencial tuberías conductoras

En los dos casos anteriores el sensor debe ser conectado a una toma de tierra eficaz, y la dimensión del cable debe ser al menos 1,5mm².

2.4.4 Convertidor de flujo

Al aflojar los cuatro tornillos (ubicaciones indicadas con flechas rojas) y remover la unidad de display para obtener acceso a los terminales.

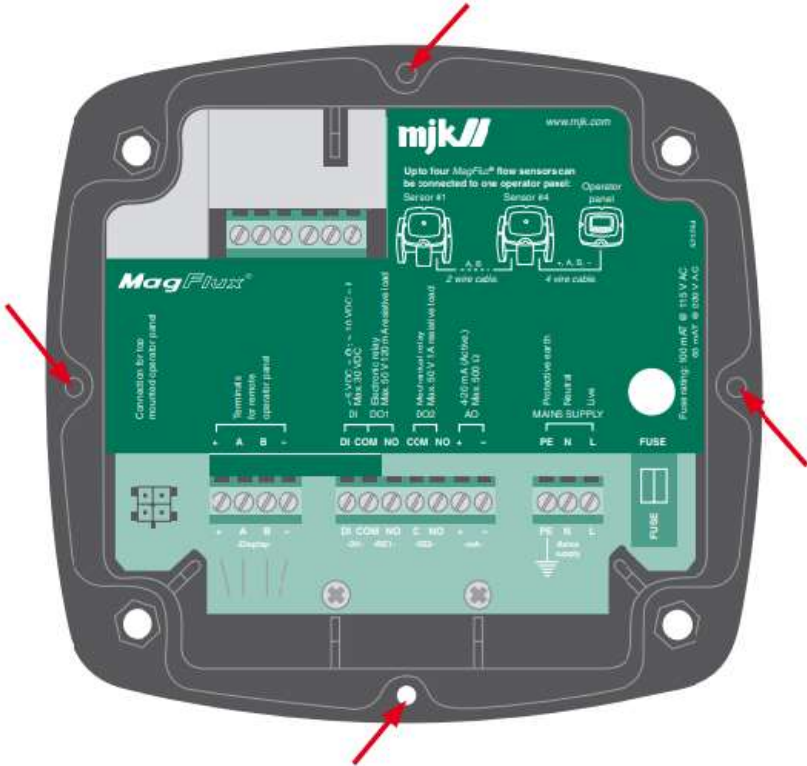


Figura 2-18: Terminales de conexión convertidor de flujo

El convertidor debe ser alimentado con una tensión de 24 VAC o una fuente de poder de 10-30 VDC.

Tabla 2-5: Bornes de alimentación convertidor de flujo

Alimentación 230VAC, 115VAC o 24VAC		Alimentación 10-30 V AC	
Terminal	Designación	Terminal	Designación
PE	Tierra protección	PE	Tierra protección
N	230/115/24VAC Neutro	-	DC Neutro
L	230/115/24VAC Línea	+	DC Línea

Tabla 2-6: Rango de fusibles internos convertidor de flujo

Rango de Fusibles internos			
Voltaje	Rango	Nº orden	Dimensión
230 VAC	0,063 mA T	550030	5 x 20 mm
115 VAC	0,125 mA T	550035	5 x 20 mm
24 V AC	0,5 mA T	550049	5 x 20 mm
10 – 30 V AC	1A T	550051	5 x 20 mm

2.4.5 Salida análoga

Las salidas análogas son salidas activas con una carga máxima de 800Ω.

Tabla 2-7: Descripción salida analógica

Salida Analógica		
Terminal		Designación
AO	+	4-20 mA
AO	-	4-20 mA

La entrada análoga puede ser programada para las siguientes funciones:

- Caudal directo
- Caudal inverso
- Caudal bidireccional
- Caudal absoluto

2.4.6 Salida digital

El medidor de caudal posee dos salidas digitales;

- DO1 con un opto relé (activado por luz)
- DO2 con un relé mecánico.

Ambos pueden ser programados para las siguientes funciones.

- Alarmas de caudal alto y bajo

- Salida de pulso para R totalizer adelante y revés
- Contadores de lote 1 y lote 2
- Alarma de error del sistema
- Alarma de tubería vacía
- Indicación de flujo de caudal

Tabla 2-8: Descripción salida digital

Relé opto acoplador (DO1)		
DO 1	Com	MAX. 50 V DC/120mA
DO 1	NO	
RELE MECANICO (DO2)		
DO 2	Com	MAX. 50 V DC/1A
DO 2	Com	

2.4.7 Entrada digital

El medidor de caudal tiene una entrada digital que puede ser activada con un voltaje mayor a 10 VDC y des activada con un voltaje menor a 5 VDC.

Tabla 2-9: Descripción entrada digital

ENTRADA DIGITAL		
Terminal		Designación
DI	Com	
DI		MAX. 30 V DC

La entrada digital (DI) puede ser programada para las siguientes funciones.

- Iniciar y pausar contadores de lote 1 y lote 2
- Resetear contadores R totalizer adelante y revés
- Resetear contador R totalizar suma

DI comparte el terminal común (COM) con DO1.

2.4.8 Sensor de caudal local (compacto)

El sensor de caudal compacto (local) debe ser conectado al convertidor de caudal con los cables saliendo del sensor según la siguiente tabla.

Tabla 2-10: Conexionado sensor de caudal

SENSOR DE CAUDAL			
TERMINAL	SEÑAL	DESIGNACIÓN	COLOR
1	GND	TIERRA	NEGRO / PANTALLA
2	E1	ELECTRODO	ROJO
3	E2	ELECTRODO	BLANCO
4	GND	SUELO	NEGRO
5	L1	BOBINA	AZUL
6	L2	BOBINA	CAFE
7, 8 y 9	NO USE		

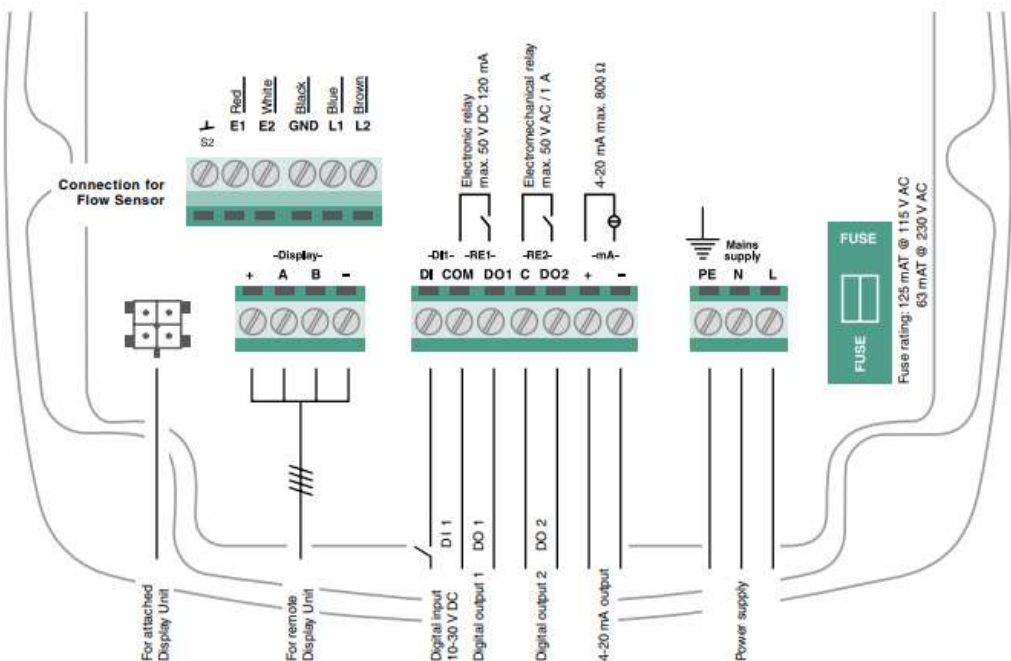


Figura 2-19: Esquema de conexión sensor de caudal

2.5 SELECCIÓN COMPONENTES TABLERO DE CONTROL

Los tableros de automatización y control eléctricos son paneles donde se encuentran instrumentos para la conexión, control y maniobra.

2.5.1 Interruptor termo magnético.

Un interruptor automático es un dispositivo de corte que puede establecer, soportar e interrumpir corrientes cuya intensidad es como máximo igual a su corriente nominal (In), y también un dispositivo de protección que puede interrumpir automáticamente las sobre intensidades.

Para este proyecto se han seleccionado 3 interruptores que se describen a continuación:

- F1 Interruptor de protección control general y fuente de poder 220VAC
- F2 Interruptor 24VDC alimentación CPU PLC
- F3 Interruptor 24VDC Alimentación control entradas y salidas PLC

Tabla 2-11: comparación valores interruptor automático

Descripción	Valor NETO
INT. AUT. ABB 2P 6A C 10KA S200	\$ 13990
INT. AUT. MITSUBISHI 2P 6A C 10KA S200	\$ 8000

El interruptor seleccionado es de marca ABB, su valor es un poco mayor, pero posee stock disponible no así la marca Mitsubishi.



Figura 2-20: Interruptor automático de control

2.5.2 Fuente de poder

La fuente de poder es la encargada de transformar la tensión monofásica de 220VAC en 24VDC. Esta tensión es utilizada para alimentar la CPU del PLC y todos las entradas y salidas del PLC.

Uno de los motivos de usar esta tensión continua en terreno es por su contacto con el ambiente húmedo provocado por el RIL.

Tabla 2-12: comparación valor fuente de poder

Descripción	Valor NETO
Fuente de poder DRAN 120 4A	\$ 75000
Fuente de poder siemens 24DC / 2,5A	\$ 65000

La fuente de poder seleccionada pertenece a la marca TELE modelo DRAN 120, por el valor versus capacidad de corriente.



Figura 2-21: Fuente de poder DRAN 120

2.5.3 Tablero eléctrico

El tablero eléctrico a utilizar es de 600mm de alto x 400mm de ancho x 200mm de profundidad de la marca BM ELECTRIC.

Tabla 2-13: comparación valor tablero eléctrico

Descripción	Valor NETO
Caja metálica BM 1000x600x300 IP67	\$ 110000
Caja metálica TOTEM 1000x600x300 IP67	\$ 192000

El tablero seleccionado pertenece a la marca BM, esta selección se realiza por la diferencia de valor ante las mismas características.



Figura 2-22: Tablero metálico IP 65 BM ELCTIC

2.5.3 Borneras de control

Para la interconexión con los elementos de campo se decide utilizar bornera de 4mm de la marca ABB.

Tabla 2-14: comparación valores bornes de conexión

Descripción	Valor NETO
BORNE DE CONTROL ABB 4MM	\$ 400
BORNE DE CONTROL CABUR 4MM	\$ 460

El borne de control seleccionado pertenece a la empresa ABB por su calidad y valor.

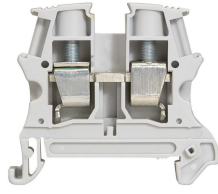


Figura 2-23: Borne de control ABB

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO

3.1 **DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL**

El tablero de control es un gabinete donde se alojan todos los equipos encargados del control, medición, comunicación, conexión y señalización, que realizan funciones específicas dentro del proceso del tratamiento de RILES.

El tablero de control tiene las siguientes funciones:

- a) Garantizar la seguridad de los operadores e instalaciones cuando el sistema esta energizado.
- b) Proteger los equipos frente de las condiciones ambientales o propias del proceso de tratamiento de RILES.
- c) Prevenir acceso no autorizado al hardware del sistema de control, comunicación, maniobra o cualquier otro agente que ponga en peligro el estado del proceso.
- d) Garantizar una adecuada puesta a tierra de los equipos alojados en su interior.
- e) Proveer condiciones adecuadas de ventilación, climatización e iluminación del equipamiento interno para facilitar mantenimiento.

Entre los tipos de tableros más comunes encontramos.

- Centro de Control de Motores (CCM)
- Tableros de Control (TC)
- Consolas y Pupitres de Mando (CPM)

Tabla 3-1: componentes tablero de control

Código	Proveedor	Descripción
ST16 1050	BM ELEC	CAJA METALICA BM 1000 x 600 x 300
80 60 77	UNEX	CANAleta RANURADA 60x80 (ALTO x ANCHO)
2CDS252001R0064	ABB	INT. AUT. ABB 2P 6A C 10KA S200
2CDS252001R0024	ABB	INT. AUT. ABB 2P 6A C 10KA S200
DRAN120-24/4.4A	TELE	FUENTE PODER 220/24VCC DRAN120-24/4.4A
6ES7 214-1HG40-0XB0	SIEMENS	CPU 1214C
6ES7 221-1BH32-0XB0	SIEMENS	SM 1221 DC DI 16 x 24 V DC
6ES7 222-1BF32-0XB0	SIEMENS	SM 1222 DC DQ 8 x 24 V DC 0,5 A
6ES7 231-4HF32-0XB0	SIEMENS	SM 1231 AI 8 x 13
6GK7 277-1AA10-0AA0	SIEMENS	CSM 1277 Switch no gestionado de 4 puerto
1SNK505010R0000	ABB	TERM.DE CONEX. 4 MM2 ZS4- ABB

6AV2 123-2JB03-0AX0	SIEMENS	SIMATIC HMI KTP900 Basic
---------------------	---------	--------------------------

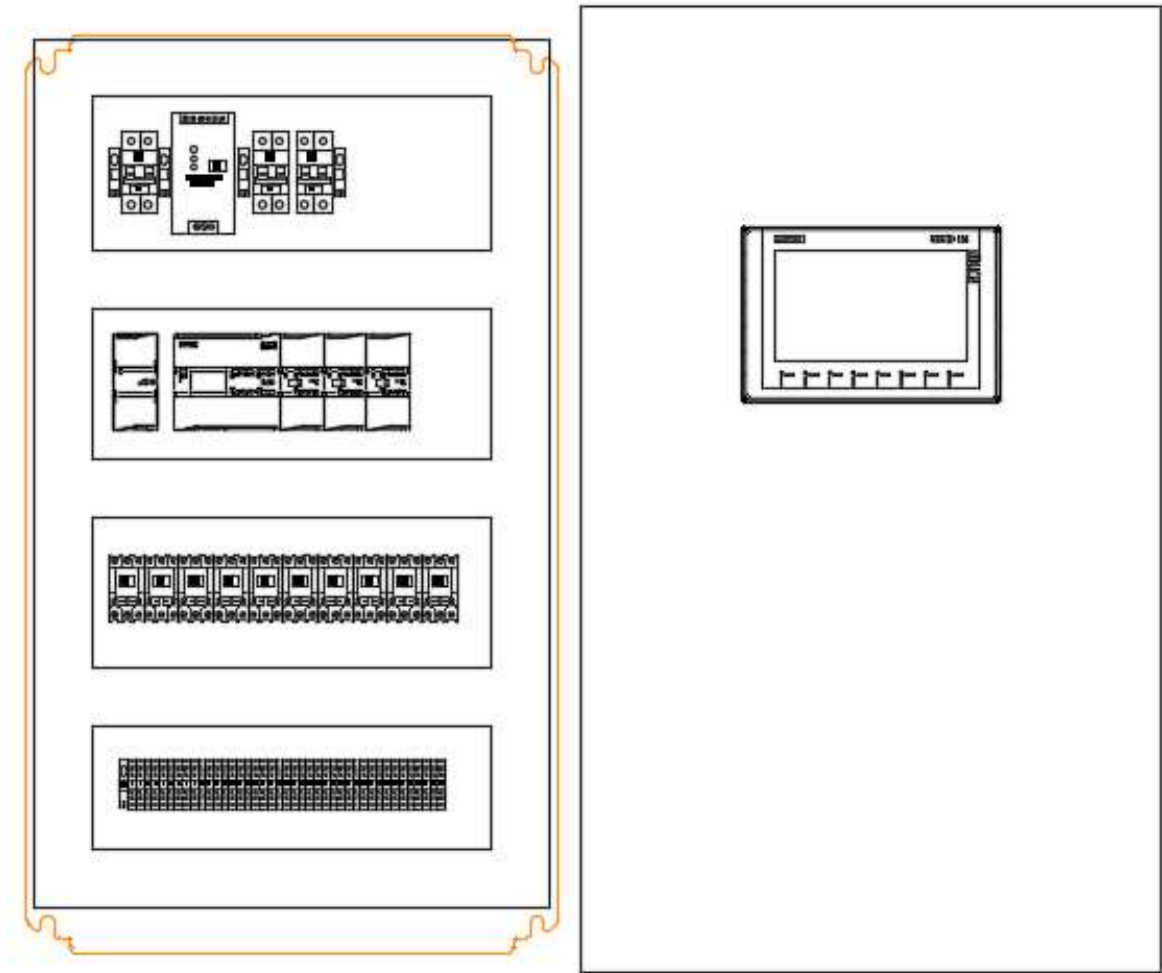


Figura 3-1: Diseño tablero de control

3.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO PANTALLA HMI SIEMENS TPK900

3.2.1 Pantalla Desgrasador

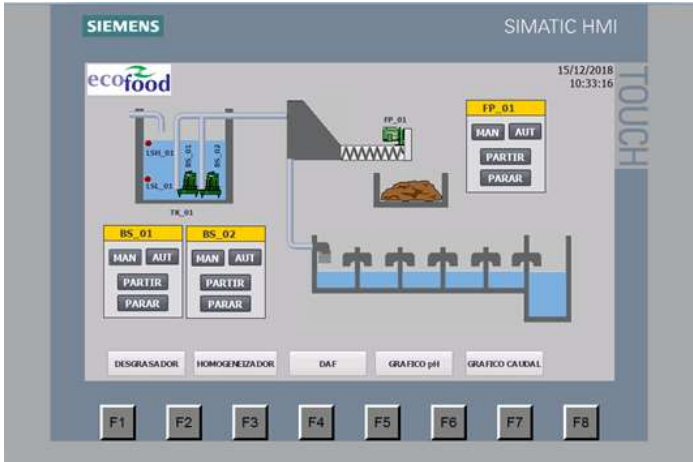


Figura 3-2: Pantalla Desgrasador

En la pantalla del desgrasador se puede realizar el control de dos equipos los cuales son:

- Estanque de recepción de TK_01 donde se controlan dos bombas BS_01 y BS_02
- Filtro Parabólico se controla sinfín de retiro de lodo FP_01.

Descripción de funcionamiento bombas estanques TK_01

Las bombas del estanque TK_01 pueden funcionar en forma manual o automático. En modo manual se pueden contralar ambas bombas deteniéndose siempre por el nivel mínimo del estanque con el fin de evitar que éstas trabajen en vacío.

En modo automático las bombas trabajan de forma alternada, para esto, ambas bombas deben estar en automático, si la protección térmica de alguna de las dos bombas se activa, se detiene de manera inmediata el alternado de bombas quedando en servicio permanente la bomba que no posee falla, hasta que la protección térmica sea reseteada.

La bomba parte con la activación del nivel alto y se detiene cuando se activa el nivel bajo.

3.2.2 Pantalla Homogeneizador

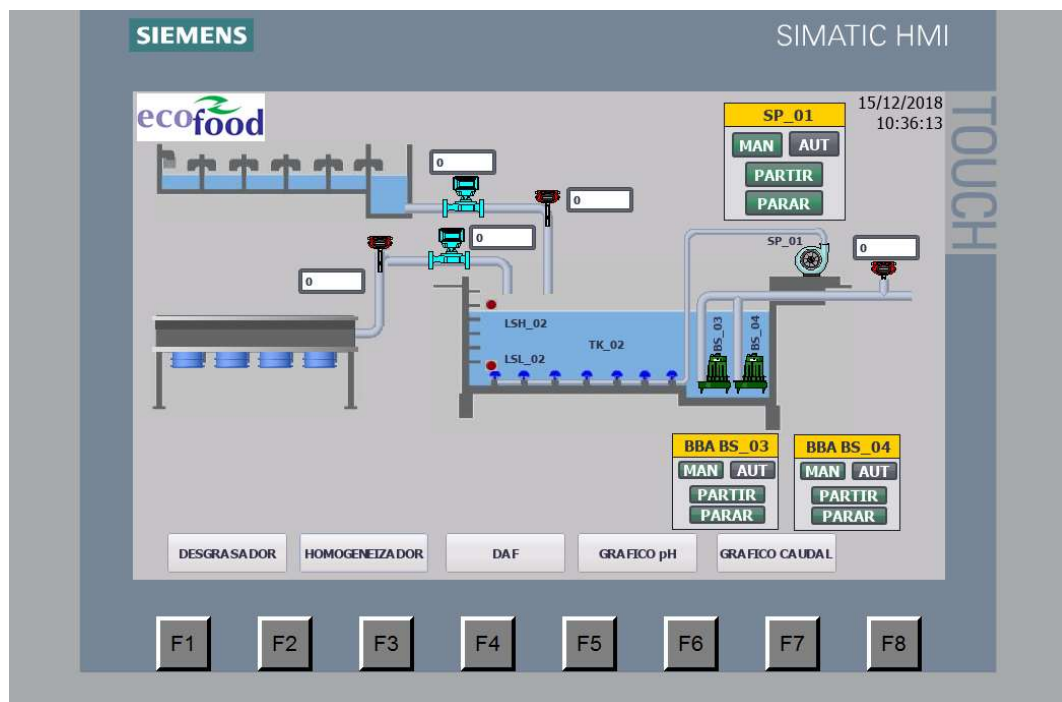


Figura 3-3: Pantalla Homogeneizador

En la pantalla del estanque homogeneizador TK_02 se pueden controlar dos bombas BS_03 y BS_04, ambas bombas se pueden controlar de forma manual y automática

En forma manual se pueden controlar ambas bombas de forma independiente se activan desde el HMI y se detienen cada vez que se activa el nivel bajo del estanque TK_02.

En modo automático las bombas trabajan de forma alternada, para esto, ambas bombas deben estar en automático, si la protección térmica de alguna de las dos bombas se activa, se detiene de manera inmediata el alternado de bombas quedando en servicio permanente la bomba que está en buen estado, hasta que la protección térmica sea reseteada.

La bomba parte con la activación del DAF y se detiene con la activación de nivel bajo o la detención del DAF.

Otro equipo que se controla desde esta pantalla es el soplador. Este equipo funciona en modo automático con la señal de nivel bajo, funciona cada vez que el nivel bajo se activa y se detiene cuando se desactiva y en modo manual con partir y parar desde HMI.

Esta pantalla nos permite visualizar en tiempo real las variables de pH y caudal del RIL que proviene desde el Desgrasador y desde el Aerocondensador. También se puede observar el pH de salida del Homogeneizador.

3.2.3 Pantalla DAF

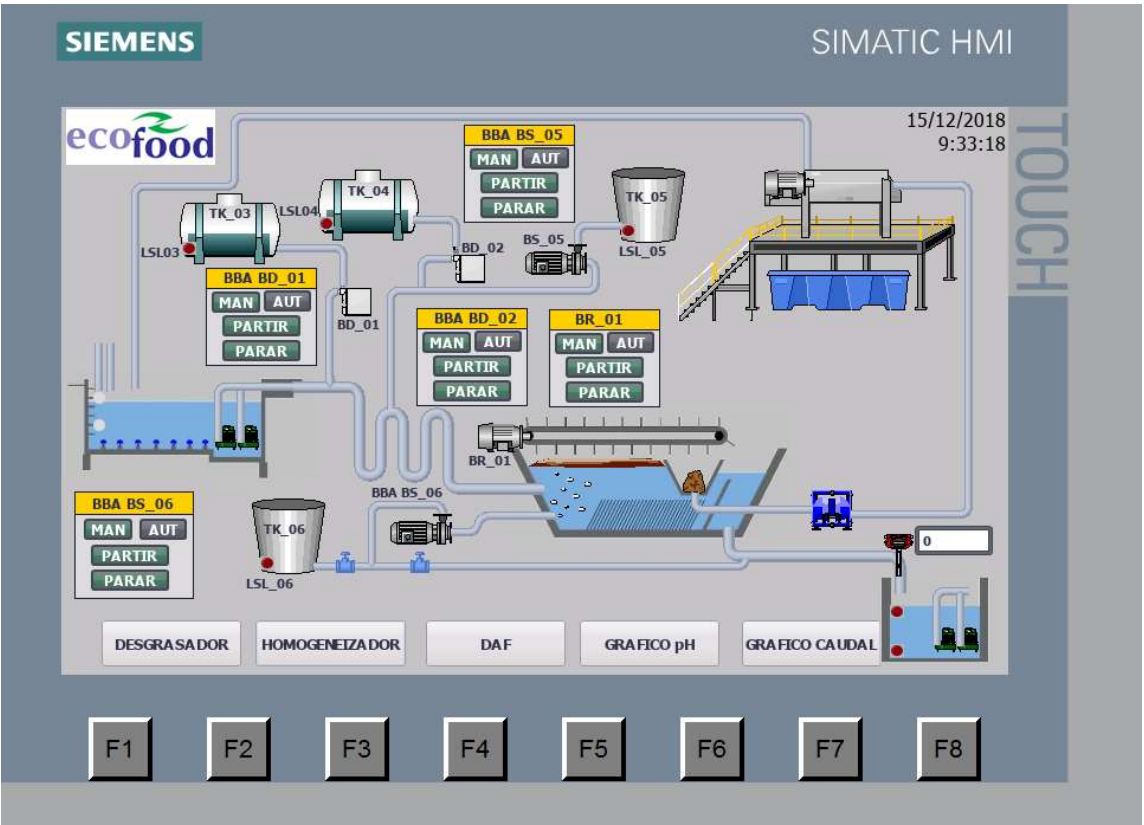


Figura 3-4: Pantalla DAF

En esta pantalla podemos controlar la dosificación de los químicos y sus respectivos estanques que se detallan a continuación:

- Estanque TK_03 sulfato de aluminio
- Estanque TK_04 polímero
- Estanque TK_05 Agua para inyección de polímero
- Estanque TK_06 agua para generación de microburbujas (inicio de proceso)

Todos los estanques poseen su respectivo nivel bajo los cuales se encargan de detener las bombas para evitar su trabajo en vacío

Podemos controlar una bomba de agua bs_05, 2 bombas dosificadoras de químicos BD_01, BD_02, una bomba generadora de microburbujas BS_04 y el motor del barredor br_01 los cuales se puede controlar de manera manual cada una accionada desde el partir parar desde el HMI de manera independiente y de manera automática con la activación de cualquiera de las bombas del homogeneizador.

También podemos ver el valor de pH en tiempo real en la salida del DAF.

No se considera mando para el filtro rotatorio y la bomba pulmón puesto que estas poseen un tablero de control independiente.

3.2.4 Pantalla gráfico de variables de pH

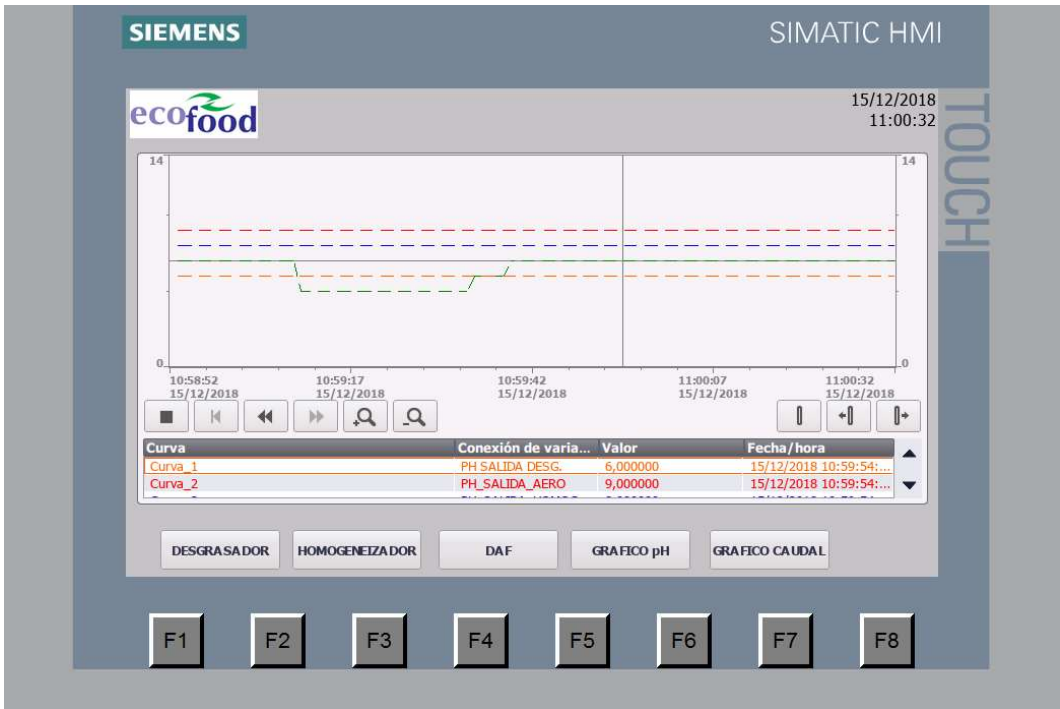


Figura 3-5: Pantalla de gráfico de pH

Con la finalidad de poder observar el comportamiento en el tiempo de las variables de pH es que estas se grafican en una pantalla del HMI.

3.2.5 Pantalla gráficos de caudal

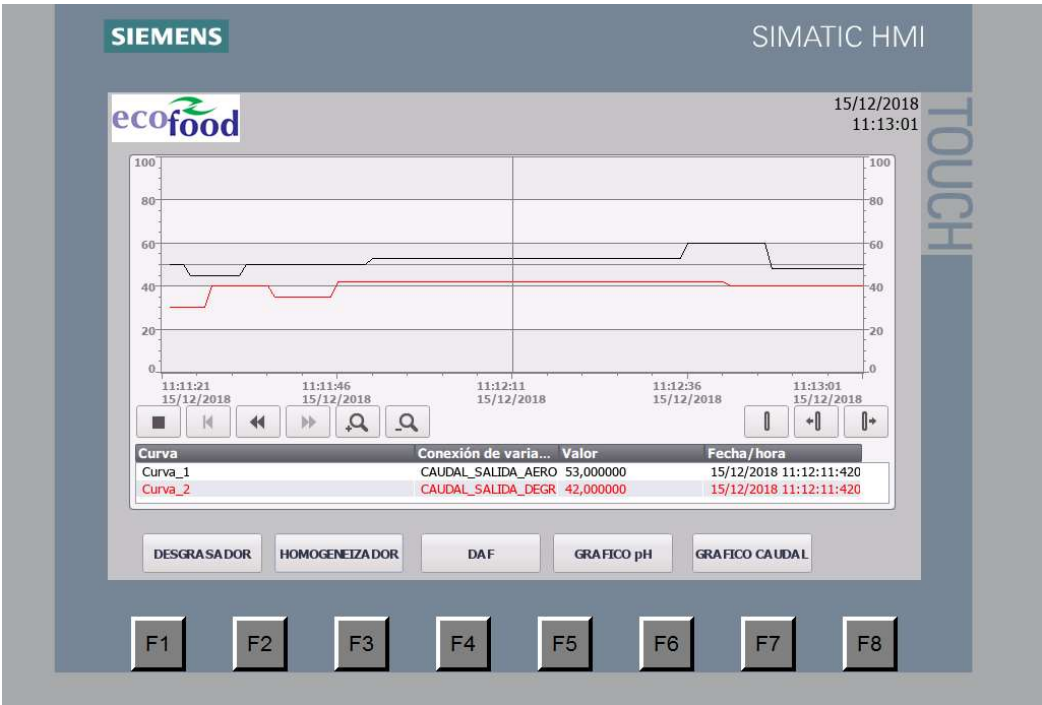


Figura 3-6: Pantalla grafico de flujo

De igual manera que en la pantalla de pH en esta pantalla podemos ver grafica de comportamiento de las variables de caudal en tiempo real.

3.2.6 Pantalla emergente de alarmas

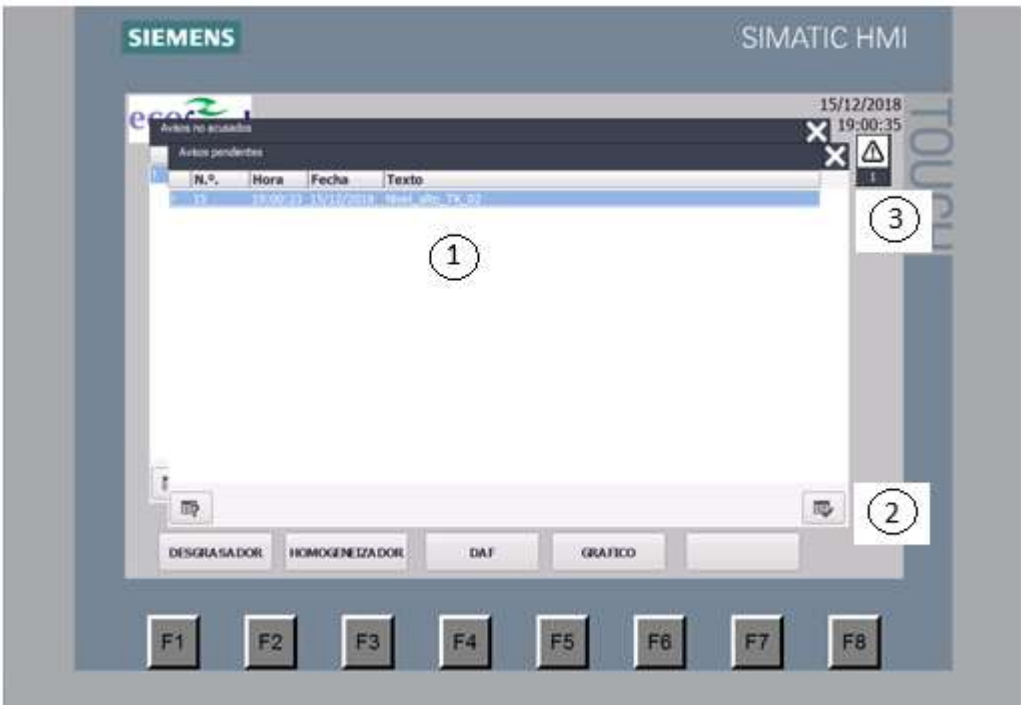


Figura 3-7: Pantalla emergente de alarmas

Cada vez que se active una de las variables del listado de alarmas aparecerá una ventana emergente que contiene:

- 1- Texto de alarma fecha y hora del evento ocurrido
- 2- Botón de reconocimiento de alarma
- 3- Indicador del número de alarmas presentes

Tabla 3-2: Listado de alarmas programadas

ALARMA	DATO	ALARMA	DATO
Térmico_BS01	Boolean	Nivel_bajo_TK_01	Boolean
Térmico_BS02	Boolean	Nivel_bajo_TK_02	Boolean
Térmico_FP01	Boolean	Nivel_bajo_TK_03	Boolean
Térmico_SP01	Boolean	Nivel_bajo_TK_04	Boolean
Térmico_BS03	Boolean	Nivel_bajo_TK_05	Boolean
Térmico_BS04	Boolean	Nivel_bajo_TK_06	Boolean
Térmico_BR01	Boolean	Nivel_alto_TK_01	Boolean
Térmico_BS05	Boolean	Nivel_alto_TK_02	Boolean
Nivel_bajo_TK_01	Boolean		
Nivel_bajo_TK_02	Boolean		
Nivel_bajo_TK_03	Boolean		

3.3 ADQUISICIÓN DE DATOS CON WEB SERVER S7-1200

En ciertos procesos industriales es muy importante registrar el comportamiento en el tiempo de ciertas variables que son críticas, para este caso las variables son caudal y pH. Para llevar a cabo esta tarea se suelen utilizar dispositivos especializados llamados registradores de datos (data loggers) los cuales recogen datos de diversos sensores para el posterior análisis de estos o para realizar acciones inmediatas. Para introducir un elemento de estos al proceso es necesario buscar uno que sea compatible con los sensores que ya existes y que se comunique por un medio que ya se esté utilizando, de lo contrario se deberá incurrir en costos extra además del costo del dispositivo, pues será necesario adquirir nuevo equipo que se adapte al registrador.

Actualmente la mayoría de procesos industriales son controlados por un PLC los cuales han ido evolucionando incluyendo cada vez más prestaciones, así el PLC Siemens S7-1200 desde su firmware versión V2.0, incluye ya una función de registro de datos "Data log", de esta manera el mismo dispositivo que gobierna el proceso puede ser también el encargado de hacer el registro de datos de una o más variables, ahorrando la compra de equipo extra pues los sensores solo se adaptan al PLC y se aprovechan los

buses de campo disponibles de este para comunicarse con otros dispositivos que necesiten los datos.

3.3.1 Uso de "Data Log" en el PLC S7-1200

Se procederá a crear un registrador de datos que almacenará los valores en la memoria del PLC para ser accedidos desde el servidor web.

Primero creamos un programa con el PLC realizando los siguientes pasos.

- Seleccionar PLC en nuestro caso el S7-1214C
- Se asigna una dirección IP
- Se activan las marcas del sistema y de ciclo
- se activa el servidor web y se le coloca la hora correcta al CPU

Luego de estos pasos se comienza a realizar el programa lo primero es la normalización de la entrada analógica con la función NORM_X y se escala con la función ESCALE_X

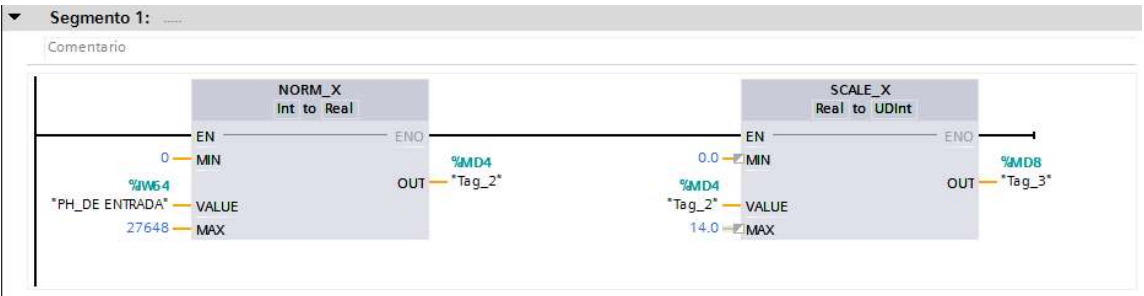


Figura 3-8: Normalizado y escalado de la entrada analógico

Luego se añade la instrucción DataLogCreate, en la entrada REQ se debe colocar una entrada para comenzar la operación, en este caso colocaremos una marca de sistema M1.0 First Scan que solo se activa al arrancar el PLC y luego no se activa más; en la entrada RECORDS se va a colocar un valor de 100, esto hará que se almacenen 100 datos de manera circular (al terminar empieza a sobre escribir los antiguos), en FORMAT se pone 1 para guardar los datos en formato CSV y en TIMESTAMP se pone 1 para que registre también el tiempo de la toma de datos.

Para los otros parámetros se añadirá un nuevo Bloque de datos (en árbol del proyecto, en bloques de programa dar clic en opción Agregar nuevo bloque) le colocamos el nombre “archivodatos”, en este agregamos las variables que nos faltan del bloque de DataLogCreate.

plc_siemes ▶ PLC_1 [CPU 1212C DC/DC/RIy] ▶ Bloques de programa ▶ Bloque de datos_1 [DB3]								
Conservar valores actuales Instantánea Copiar instantáneas a valores de arranque								
Bloque de datos_1								
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	Static							
2	Name	String	'archivodetos'					
3	ID	DWord	16#0		☒	☒	☒	
4	Header	String	'ph'					
5	valores	Struct						
6	DONE	Bool	false		☒	☒	☒	
7	BUSY	Bool	false		☒	☒	☒	
8	ERROR	Bool	false		☒	☒	☒	
9	STATUS	Word	16#0		☒	☒	☒	

Figura 3-9: Variables creadas en el bloque de datos agregado

La variable Name será del tipo String y su valor es 'archivodetos' (note que debe estar entre apostrofes) este será el nombre del archivo donde quedarán registrado los datos.

La variable ID es para el indicador numérico del registro, es del tipo palabra doble y tiene el valor de 0 (colocado como hexadecimal 16#0)

La variable Header contendrá el encabezado de las columnas del archivo de registro, en este caso se desea ver el valor de pH entonces se necesitarán 1 columnas, por lo tanto, se separan por comas los nombres de los encabezados y se colocan entre apostrofes, el valor de la variable Header que en este caso se coloca del tipo string será: 'pH'.

La variable Data se define como Struct, la estructura tendrá una variable llamada pH_desgrasador que serán del tipo entero doble sin signo y es donde se almacenara el dato de pH leídos que fueron previamente escalados a dobles enteros sin signo.

Finalmente se definen las variables que indican el estado del registro de datos: Done, Busy y Error como booleanos y Status como palabra doble.

Luego se completa la instrucción DataLogCreate colocando las variables creadas en el bloque de datos

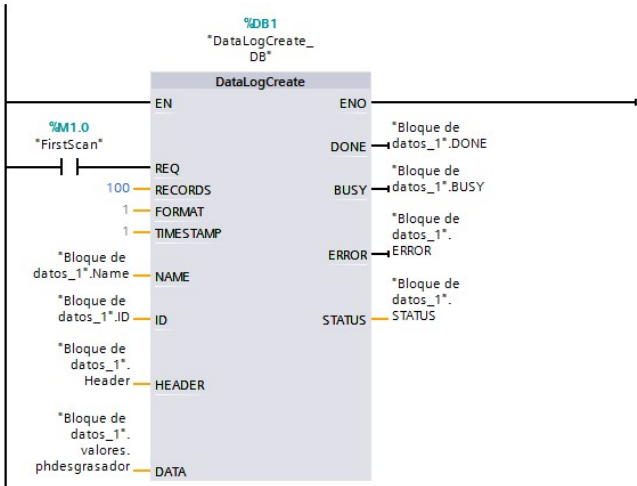


Figura 3-10: Instrucción DataLogCreate completa

Al arrancar el PLC se hará la petición de crear un archivo llamado 'archivodatos' para almacenar 100 datos de pH

Ahora insertamos la instrucción DataLogWrite, el activador o enable EN irá a un contacto con la marca que se setea si ya se terminó de crear el archivo de registro. En REQ que es la entrada para solicitar la petición debemos de colocar el tiempo en el que se desea hacer la toma de datos en este caso debería ser cada hora, pero para efectos de prueba se hará el muestreo de la señal cada 0.2s utilizando la marca de ciclo M0.1 (señal de reloj de 5Hz), en ID colocamos el mismo valor que para el bloque de DataLogCreate

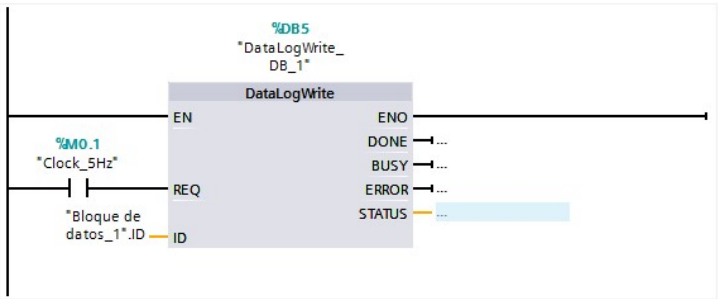


Figura 3-11: Agregar instrucción DataLogWrite.

Ahora se agregarán las instrucciones que pasarán el dato leído de la entrada analógica a la variable creada que se irá registrando, el valor ya normalizado y escalado, por lo que debemos copiar su contenido a la variable creada dentro del bloque de datos.

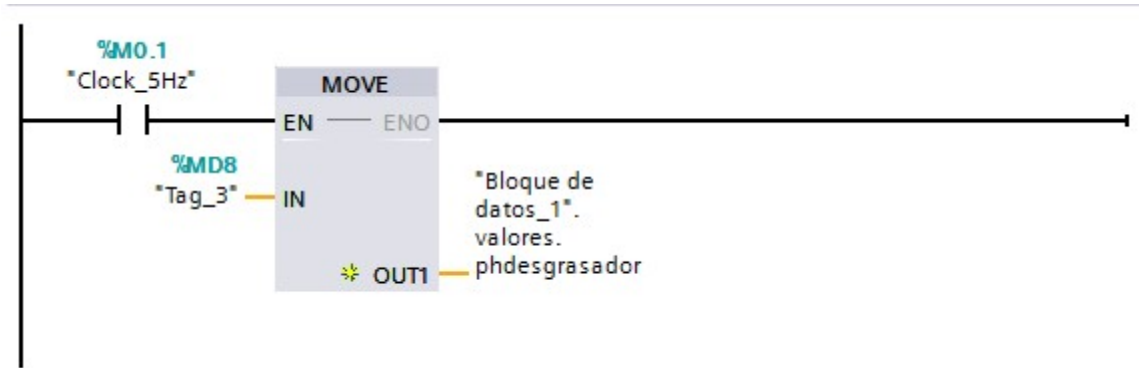


Figura 3-12: Instrucción mover variables a registrar.

Se descarga configuración y programa al PLC, se coloca en modo RUN y debería estar leyendo el dato del sensor conectado a la entrada analógica y guardando el valor cada 0.2s en 20 registros de manera cíclica.

Para ver el registro actual debemos ingresar al servidor web del PLC (colocar dirección IP del PLC en el navegador, loguearse como admin (en nuestro caso no utilizamos contraseña)) y luego en el menú de la izquierda dar clic en el enlace Data Logs,

esto nos llevará donde están los archivos de registro de datos que en este caso solo será 1 con el nombre archivodetos. desde ahí podremos descargarlo, limpiarlo o borrarlo.

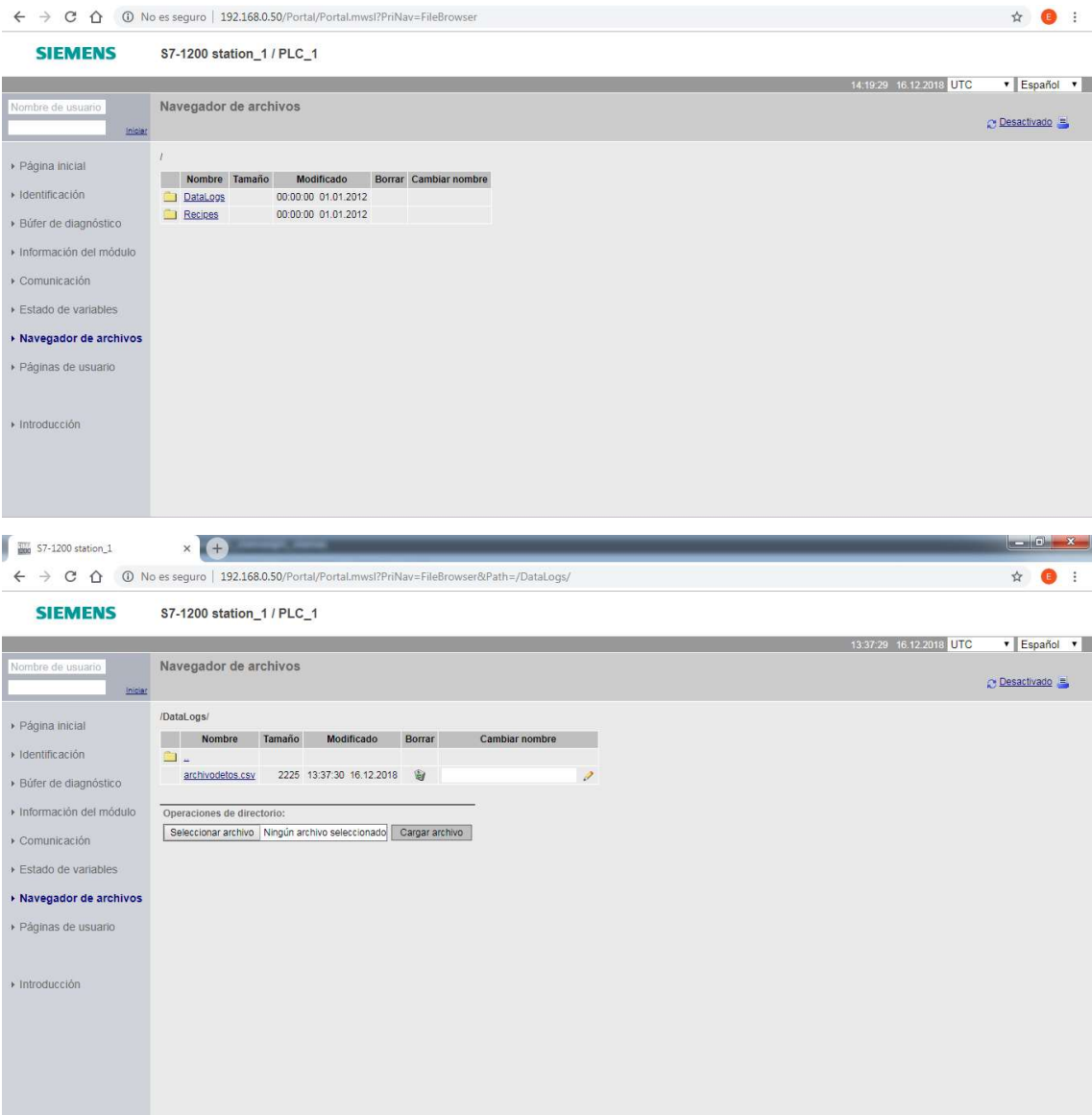
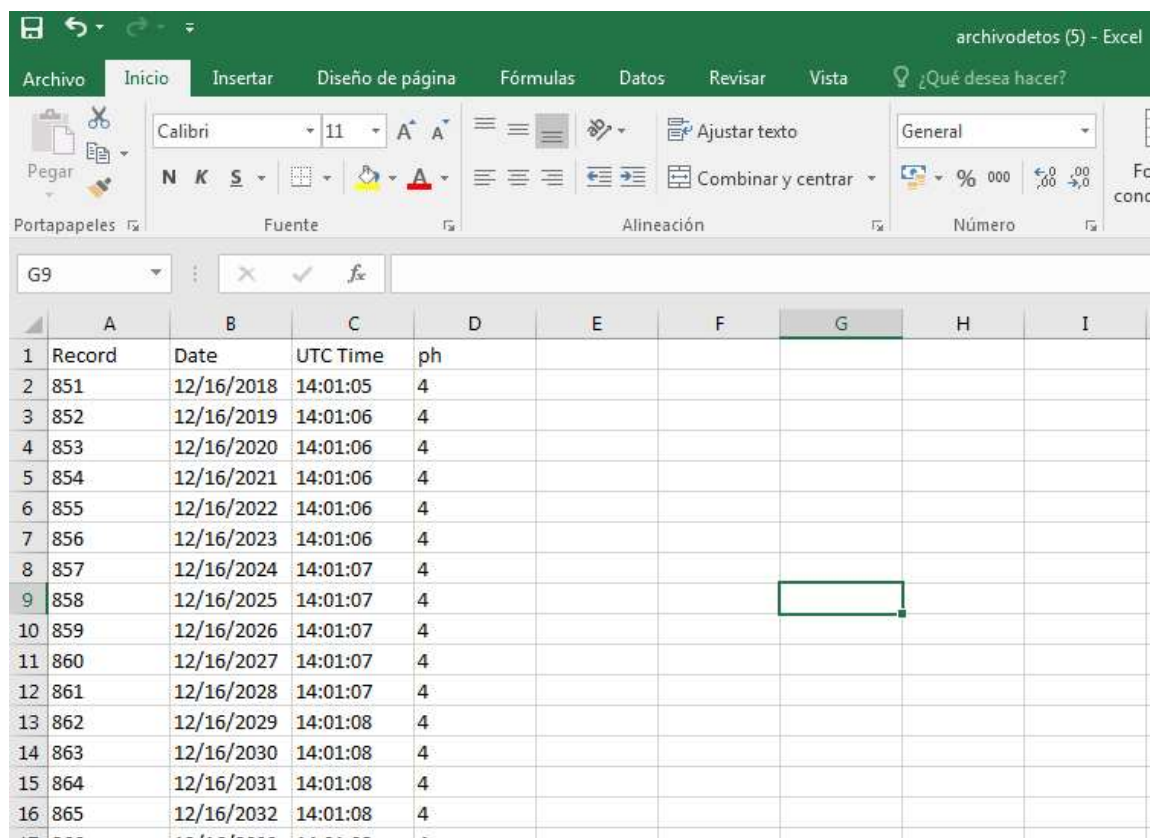


Figura 3-13: Data Logs disponibles desde el servidor web del PLC

Si se le da clic a la opción Download se descargará el archivo registrotemp.csv que puede ser abierto con Microsoft Excel.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Record	Date	UTC Time	ph					
2	851	12/16/2018	14:01:05	4					
3	852	12/16/2019	14:01:06	4					
4	853	12/16/2020	14:01:06	4					
5	854	12/16/2021	14:01:06	4					
6	855	12/16/2022	14:01:06	4					
7	856	12/16/2023	14:01:06	4					
8	857	12/16/2024	14:01:07	4					
9	858	12/16/2025	14:01:07	4					
10	859	12/16/2026	14:01:07	4					
11	860	12/16/2027	14:01:07	4					
12	861	12/16/2028	14:01:07	4					
13	862	12/16/2029	14:01:08	4					
14	863	12/16/2030	14:01:08	4					
15	864	12/16/2031	14:01:08	4					
16	865	12/16/2032	14:01:08	4					

Figura 3-14: Contenido del archivo registrotemp.csv.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La incorporación del PLC S7 1200 cumple con el objetivo de controlar de manera eficiente el proceso comunicando el proceso de tratamiento de RILES con el operador a través de la pantalla HMI configurada para indicar alarmas, supervisar variables y realizar control sobre los equipos existentes. Permitiendo el funcionamiento del proceso de manera manual o automática.
2. La configuración del HMI permite la supervisión de las variables, indica los equipos que presentan fallos y la cantidad de fallos presentes. Además, muestra de manera gráfica el comportamiento de las variables supervisadas, cumpliendo de esta manera con los objetivos planteados.
3. La adquisición de datos a través del servidor web de S7-1200 en este caso cumple con lo deseado puesto que la cantidad de muestras del proceso es pequeña, si fuera necesario una cantidad mayor de variables, junto con un tamaño de muestras mayores sería necesario optar por otras alternativas como por ejemplo la utilización de un software de adquisición de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ingeniería de control moderna. Ogata, editorial Prentice Hall.
- [2] Sensores y acondicionadores de señal. Pamon Pallas Areny, editorial Marcombo.
- [3] Tratamiento de aguas residuales (teoría y principios de diseño), Jairo Alberto Romero Rojas, editorial Escuela de Ingeniería.
- [4] PLC S7-1200 Manual del sistema
- [5] Instruction Manual sensor de PH, Hanna Instruments.
- [6] Simatic STEP 7 Profesional V14 SP1