

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO, SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA EN EL ÁREA DE INYECTABLES DE LIFE C.A.

AUTORES:

ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ
MILTON STALIN LEÓN ENCALADA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2012

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Fausto Ludeña,

Ing. Hugo Ortiz

CERTIFICAN

Que el trabajo “Diseño e implementación del sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de inyectables de LIFE C.A.”, realizado por los Sres. Alan Daniel Cuenca Sánchez y Milton Stalin León Encalada, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los Sres. Alan Daniel Cuenca Sánchez y Milton Stalin León Encalada que lo entreguen al Ingeniero Víctor Proaño, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Ing. Fausto Ludeña

DIRECTOR

Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Cuenca Sánchez Alan Daniel y León Encalada Milton Stalin

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO, SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA EN EL ÁREA DE INYECTABLES DE LIFE C.A.**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Cuenca Sánchez Alan Daniel

León Encalada Milton Stalin

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Cuenca Sánchez Alan Daniel y León Encalada Milton Stalin

AUTORIZAMOS A LA Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO, SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA EN EL ÁREA DE INYECTABLES DE LIFE C.A.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolqui, 7 de Septiembre de 2012

Cuenca Sánchez Alan Daniel

León Encalada Milton Stalin

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la vida y la fuerza para seguir adelante día tras día, a mis padres, hermanas y familiares, por su confianza, por sus consejos, por todo el apoyo y cariño incondicionales que me brindaron durante este duro trayecto.

Agradezco profundamente a mis maestros quienes supieron compartir sus enseñanzas con sabiduría y responsabilidad, virtudes que me han formado como persona y como profesional.

A la empresa LIFE, por su abnegado apoyo durante todo el desarrollo de mi proyecto, gracias a todo el personal de mantenimiento por su excelente colaboración.

A todos mis amigos y compañeros con los cuales compartí muchas experiencias buenas y malas que me han servido y me servirán por el resto de mi vida.

Finalmente, gracias a todas las personas que estuvieron a mi lado de una u otra manera e hicieron que haya llegado a ser la persona que soy en este momento.

A todos ustedes quedo eternamente agradecido.

Alan D. Cuenca S.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi apoyo espiritual y guiarme por el camino correcto durante mi diario vivir, a mis padres, hermana y familiares, por su apoyo incondicional en todo momento y circunstancias, por ayudarme cuando más lo necesité durante esta etapa dura pero al mismo tiempo grandiosa de mi vida..

A la empresa LIFE, específicamente al departamento de mantenimiento por su completa colaboración, paciencia, entrega y ayuda durante el desarrollo del proyecto.

Gracias a todos mis amigos que estuvieron durante toda esta etapa estudiantil brindándome su ayuda para poder superarme en el día a día.

Milton S. León E.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con todo mi corazón a las personas que más amo en este mundo, a Dios por ayudarme y encaminarme siempre hacia el camino del bien, a mi madre Aidé por su apoyo incondicional durante toda mi vida, por ser mi fuente de inspiración, por pasar largas noches orando y velando por mí, por compartir todas mis alegrías y por ayudarme en mis tristezas, por hacer hasta lo imposible sufriendo días y noches enteras para que yo pueda ser feliz y cumplir mis sueños. A mi Padre Gary que está en los cielos por estar junto a mí aunque no físicamente pero sí espiritualmente, por sus infinitas oraciones las cuales me han ayudado cuando más lo necesitaba, por ser mi héroe, mi ídolo, mi inspiración, mi modelo perfecto a seguir.

A Papangel por estar allí siempre cuando más lo necesité, por protegerme, por sus enseñanzas y conocimientos, sabias palabras que han formado mi mente y mi corazón y sobre todo por considerarme su hijo.

A mi segunda Madre Betty por cuidarme, por estar ahí junto a mí en los momentos más duros de mi vida, por sus palabras ejemplares llenas de amor y sabiduría, por apoyarme y rezar por mí.

A mi sobrina Lucianita, a mis hermanos Rosita, Alberto y Ana Paula, por confiar en mí en todo momento, por sus sabias palabras, por sus consejos y oraciones, por darme fuerzas y

sacarme siempre una sonrisa, por haber compartido junto a mí muchas caídas y muchas batallas.

A mis tíos Danny, Anita, Geovanny, Yerman, Oscar y María, a mis abuelitos Enrique y Angélica por ayudarme siempre, por su paciencia y dedicación, por sus consejos, por soportar mis errores y por su incondicional apoyo durante toda mi vida.

A mis primas, primos y a todas las personas que me han brindado su ayuda y apoyo durante mi carrera.

No tendré más recompensa que verlos feliz. Éste es mi regalo. Dedicarles mi trabajo es mi manera de agradecerles todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí. Así solamente podré pagarles todo lo que les debo en amor, esfuerzo y disciplina.

Alan D. Cuenca S.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres Milton y Ligia por ayudarme durante todos los días de mi vida, por darme la guía correcta hacia el camino del bien, gracias padre por guiarme siempre por el camino correcto y a ser siempre cada día una mejor persona, gracias madre porque cada día me diste ánimos y fuerzas para seguir siempre adelante y no olvidar cuales son mis principios como persona. A mi hermano que ha estado conmigo de manera espiritual acompañándome siempre en todo momentos. A mi hermana y Abuelita por estar siempre de mi lado y brindándome su cariño y amor incondicional en todo momento.

Milton S. León E.

PRÓLOGO

El proyecto se realizó en el área de Inyectables de gran volumen de los Laboratorios Industriales Farmacéuticos del Ecuador LIFE C.A, la cual es una empresa dedicada a la producción de medicamentos de uso humano y veterinario y productos de consumo masivo.

Se realizó una inspección previa del sitio donde se llevaría a cabo la ejecución del proyecto, con el fin de precisar los lugares donde se colocaría el nuevo tablero de control, gabinete y las rutas por donde se llevaría el cableado desde el proceso hacia el PLC.

Se adquirieron los equipos y accesorios necesarios para la implementación del sistema automatizado, los cuales fueron instalados en sus debidos sitios. El nuevo tablero de control fue colocado cerca del destilador de agua, y fue armado en base a los planos correspondientes que se diseñaron para la aplicación.

Una vez implementado físicamente todo el sistema, se procedió a programar tanto el PLC como el HMI y su respectiva comunicación.

Posteriormente se realizaron las pruebas de la programación y funcionamiento del PLC, el HMI y el sistema en conjunto, dando como resultado un sistema automatizado que brinda eficiencia, disponibilidad, estabilidad y seguridad al proceso de destilación de agua de LIFE C.A.

RESUMEN

Este proyecto presenta una necesidad requerida por el área de Inyectables de gran volumen de los Laboratorios Industriales Farmacéuticos del Ecuador LIFE C.A, supervisión, monitoreo y control del proceso de destilación de agua, el resultado de este proceso es usado para la elaboración de los principales productos farmacéuticos de la empresa.

LIFE se centra en tres principales grupos de negocio: salud humana, salud animal y productos de consumo masivo. El área de producción se encarga de la parte industrial de la empresa y relaciona los principales procesos farmacéuticos. El agua que se usa en la industria farmacéutica se denomina agua de tipo inyectable y debe ser preparada a partir del agua purificada.

El principal equipo del proceso de destilación de agua es el DESTILADOR OLSA QV-2000, el cual utiliza el proceso de simple efecto. El destilador de simple efecto dispone de sensores de nivel, presión y temperatura, electroválvulas que monitorean y controlan las diferentes etapas del proceso.

Para la realización del proyecto se dispone de un autómata programable SIEMENS S7-300, pantalla táctil MP 277 y una computadora personal, estos dispositivos permiten el control, monitoreo y supervisión del proceso de una manera ordenada y precisa. Además el sistema automatizado brinda eficiencia, disponibilidad, estabilidad y seguridad al proceso de destilación de agua de LIFE C.A.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN	1
1.2. LA EMPRESA.....	3
1.2.1. Áreas de producción.....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	9
CAPÍTULO 2.....	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
2.1. PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA	14
2.1.1. Métodos de Destilación.....	15
2.2. CONTROLADORES PARA SISTEMAS RETROALIMENTADOS	20
2.3. AUTÓMATA PROGRAMABLE.....	28
2.4. BASE DE DATOS	30
2.4.1. Lenguaje SQL.....	31
2.5. SOFTWARE PC ACCESS	35
2.6. NORMAS NEC.....	36
CAPÍTULO 3.....	39
DISEÑO DEL HARDWARE DE SUPERVISIÓN	39
3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y VARIABLES	43
3.2. MATRIZ CAUSA EFECTO	55
3.3. COMPONENTES.....	62

3.4.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL HARDWARE DEL SISTEMA	65
3.5.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PLC	66
3.6.	DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN	68
3.7.	DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ARMARIO.....	70
CAPÍTULO 4.....		71
DESARROLLO DEL SOFTWARE.....		71
4.1.	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC	71
4.1.1.	<i>Regulación del controlador PID.....</i>	72
4.2.	PROGRAMACIÓN DEL PLC	85
4.3.	ESTACIÓN DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN	95
	DIAGRAMA DE FLUJO	95
4.4.	REPORTES EN MICROSOFT EXCEL	110
4.5.	BASE DE DATOS	113
4.6.	SOFTWARE PC ACCESS	118
CAPÍTULO 5.....		120
IMPLEMENTACIÓN		120
5.1.	SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	120
5.1.1.	<i>PLC SIEMENS S7-300.....</i>	121
5.1.2.	<i>Módulo Profinet SIEMENS CP 343-1 Lean.....</i>	122
5.1.3.	<i>Módulo de entradas digitales SIEMENS SM 321.....</i>	123
5.1.4.	<i>Módulo de salidas digitales SIEMENS SM 322.....</i>	123
5.1.5.	<i>Módulo de entradas analógicas SIEMENS SM 331.....</i>	124
5.1.6.	<i>Módulo de salidas analógicas SIEMENS SM 332.....</i>	125
5.1.7.	<i>Multipanel tipo táctil MP277.....</i>	125
5.1.8.	<i>Sensores y Transmisores de Temperatura.....</i>	126
5.1.9.	<i>Sensores de nivel.....</i>	127
5.1.10.	<i>Electroválvulas 3/2.....</i>	128
5.1.11.	<i>Fuente de alimentación SIEMENS de 24 VDC.....</i>	129
5.1.12.	<i>Transductor de Presión.....</i>	130
5.1.13.	<i>Relés CAMSCO.....</i>	131
5.1.14.	<i>Computador.....</i>	131

5.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO	132
5.2.1.	<i>Conexiones de Armario</i>	133
5.2.2.	<i>Instalación de equipos y accesorios</i>	138
5.3.	INSTALACIÓN PLC SIEMENS S7-300.....	140
5.4.	DIAGRAMAS DE INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA	145
5.5.	CABLEADO DEL SISTEMA	146
5.6.	MONTAJE Y CONEXIÓN DEL PANEL DE OPERADOR MP 277 10”	161
5.7.	COMUNICACIÓN	165
5.8.	PUESTA EN MARCHA.....	167
CAPÍTULO 6.....		171
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		171
6.1.	PRUEBAS EN LA PROGRAMACIÓN.....	172
6.1.1.	<i>Prueba con el cable de comunicación</i>	172
6.1.2.	<i>Prueba del programa en el PLC</i>	174
6.1.3.	<i>Pruebas en las señales digitales</i>	176
6.1.4.	<i>Pruebas en las señales analógicas</i>	178
6.2.	PRUEBA DEL CONTROLADOR.....	181
6.3.	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL MONITOREO Y SUPERVISIÓN DEL PROCESO....	198
6.4.	PRUEBA DEL SISTEMA REPORTES Y ALMACENAMIENTO DE DATOS	202
6.5.	PRUEBA DEL SERVIDOR OPC (PC- ACCESS).....	204
6.6.	RESULTADOS	206
CAPÍTULO 7.....		218
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		218
7.1.	CONCLUSIONES.....	218
7.2.	RECOMENDACIONES	220
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		222
ANEXOS		224
ANEXO A.....		225

ANEXO B.....	226
ANEXO C.....	247
ANEXO D.....	270
ÍNDICE DE FIGURAS.....	276
ÍNDICE DE TABLAS.....	282
GLOSARIO.....	285

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción¹

La destilación es una de las técnicas de separación más importantes en la industria química y farmacéutica. Puede definirse como una técnica para separar sustancias mezcladas en el estado líquido, considerando la diferencia entre sus puntos de ebullición. Este proceso consiste en: la evaporación, la condensación y la recolección de las fracciones de los compuestos.

El agua, en la industria farmacéutica, se utiliza tanto en lo que hace referencia a la preparación de formas farmacéuticas estériles y no estériles, como al lavado de equipos e instrumentos utilizados para la preparación de éstas. La gran diversidad de aplicaciones del agua farmacéutica hacen que, para cada una de ellas, la calidad del agua requerida no sea necesariamente la misma.

En función del uso que se vaya hacer del agua, se requieren ciertas especificaciones químicas y microbiológicas determinadas. El agua potable es la materia prima para

¹http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/217MC_aag.pdf

TESIS: Observador Continuo-Discreto para la Estimación de Concentraciones en una Columna de Destilación, para la Mezcla Etanol-Agua”

todas las formas de agua de uso en la industria farmacéutica, ya sea agua purificada o agua inyectable.

Mediante la destilación se obtiene agua inyectable, eliminándose endotoxinas del agua. El proceso consiste en vaporizar el agua purificada, posteriormente, condensar el vapor. Toda el agua debe vaporizarse y además es conveniente evitar que el proceso de ebullición sea agitado o brusco, ya que esto podría conducir a que se arrastrarán gotas de agua con productos no deseables disueltos en ellas. Para la obtención de agua destilada se pueden utilizar diferentes tipos de destiladores, entre los que se encuentran: destilador de simple efecto, destilador de doble efecto y destilador por termocompresión.

Es necesario controlar el posible estancamiento del agua, el diseño de las bombas y compresores, las variaciones de conductividad durante el funcionamiento, y la correcta eliminación de impurezas.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de Inyectables de gran volumen de los Laboratorios Industriales Farmacéuticos del Ecuador LIFE C.A

Una de las motivaciones de este proyecto es, precisamente obtener un alto nivel de producción industrial en la sección de Inyectables de mayor volumen. Dicha área mantiene dos turnos permanentes con 29 trabajadores en cada uno de ellos, su producción mensual supera las 600000 unidades para sueros. La materia prima principal constituye el agua purificada la cual después de pasar por un riguroso tratamiento de destilación es mezclada con el ingrediente activo, para luego ser

envasada en fundas plásticas de acuerdo a la presentación y posteriormente empacado en cartones para ser llevados a la bodega de productos terminados para su posterior despacho.

Cabe resaltar que uno de los factores de riesgo que más se presenta en esta sección es la contaminación por endotoxinas en el agua inyectable debido a la mezcla de agua purificada e inyectable.

Por este motivo, el departamento de Ingeniería de Mantenimiento de laboratorios LIFE C.A. se ha propuesto automatizar el proceso de destilación de agua por medio del diseño e implementación del mismo con el fin de optimizar el recurso energético, ayudar al personal de mantenimiento con el monitoreo y control de los equipos, garantizando de este modo la destilación de agua para uso farmacéutico de tipo inyectable.

1.2. La Empresa²



Figura 1. 1. Logotipo LIFE C. A.

²<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/150/1/86579.pdf>

TESIS: Estructuración del Sistema de Administración de la Seguridad y Salud en el Trabajo - Modelo Ecuador - para una empresa farmacéutica (LIFE).

Para la realización del proyecto de automatización del proceso de destilación de agua es muy importante conocer las principales características de la empresa, así como sus secciones, especialmente de producción, las cuales disponen de tecnología de tipo industrial para familiarizarse con los diferentes procesos y equipos que intervienen en el área farmacéutica. LIFE (Laboratorios Industriales Farmacéuticos Ecuatorianos) (Figura 1.1) es una empresa dedicada a la producción de medicamentos de uso humano y veterinario y productos de consumo masivo.

La empresa se enfoca en tres grupos principales de negocio: Salud Humana, Salud Animal y Consumo Masivo. Sus modernas instalaciones permiten la fabricación de una amplia gama de formas farmacéuticas cumpliendo con Normas de Buena Manufactura, aceptadas a nivel internacional.

La planta industrial de LIFE (Figura 1.2) tiene facilidades para la producción de soluciones parenterales de gran volumen (únicos en Ecuador), inyectables, suspensiones extemporáneas, jarabes, tabletas, cápsulas, entre otros. Posee además una planta separada para la producción de Penicilinas. Para la salud animal existen áreas de producción biológica, bacteriana y vacunas.



Figura 1. 2. Instalaciones de Laboratorios LIFE en la ciudad de Quito

Dispone de un laboratorio para el servicio al público LIFEX, para análisis de las líneas de salud humana y salud animal, además presta servicio de análisis para la industria alimentaria bajo las normas de seguridad alimentarias internacionales.

1.2.1. Áreas de producción

El departamento de producción desarrolla la parte industrial de LIFE, involucrando los procesos fundamentales de la elaboración de productos farmacéuticos a base de un gran número de materias primas e insumos, como son los principios activos farmacológicos, los aditivos y otras materias primas que le brindan ciertas características fisicoquímicas para su adecuada fabricación, empaque, almacenamiento y aplicación por parte del usuario final.

Este departamento labora las 24 horas del día en dos turnos de 12 horas de lunes a domingo, gracias a la intervención del ingeniero de mantenimiento la implementación del sistema se realizará un fin de semana (sábado y domingo), en este mismo lapso de tiempo se llevarán a cabo las respectivas pruebas de funcionamiento. Cabe destacar que también se realizarán pruebas en el laboratorio de mantenimiento electrónico para dejar todo listo y funcionando, con el fin de ganar tiempo al momento de la implementación.

A continuación se describen las actividades más importantes en cada una de las secciones que forman parte del departamento de producción.

1.2.1.1. Sección Inyectables

Es encargada de producir los productos denominados inyectables de menor volumen: frascos viales, sueros veterinarios y ampollas y los Inyectables de mayor volumen: sueros (Figura 1.3). Su producción mensual es sobre los 5 millones de unidades por mes para el caso de viales y ampollas y 600000 unidades para sueros. La principal materia prima es el agua de tipo inyectable después de haber pasado por un riguroso tratamiento (proceso de destilación).

Uno de factores de riesgo que más se presenta en esta sección es la presencia de calor ambiental debido a las altas temperaturas para los procesos de esterilización.



Figura 1. 3. Área de llenado de fundas sueros

1.2.1.2. Sección Galénicos

En esta sección se elaboran, a través de la mezcla de sus componentes en base húmeda o en base seca, los productos que en polvo son comprimidos y se empacan

en láminas finas de aluminio y PVC. Las cantidades producidas de forma mensual son de 3 millones de unidades.

1.2.1.3. Sección de Penicilinas

En esta sección se elaboran los productos de tipo penicilínicos en sus diferentes presentaciones capsulas y comprimidos, suspensiones e inyectables, uno de los productos con mayor demanda en el mercado constituye el AMPIBEX en cápsula. La producción mensual de esta sección se encuentra sobre los 2 millones de unidades.

Un caso muy particular con la sección de penicilínicos, es que se desarrolla en un área independiente de las otras secciones para evitar cualquier posible contaminación.

1.2.1.4. Sección de Empaque

La sección se distribuye en dos áreas. La primera que se encarga de la elaboración de jarabes como el COMPLEJO B y la otra área que se encarga del empaqueo de los diferentes productos que se elaboran en las otras secciones de producción de las cuales salen como un semielaborado. Los volúmenes de producción (empaqueo) están sobre las 700 mil unidades (Figura 1.4).



Figura 1. 4. Actividad de envasado y empaçado

1.2.1.5. Sección de Producción Biológica

En esta sección se producen los diferentes tipos de vacunas veterinarias a base de microorganismos principalmente bacterias que son reproducidos con sistemas de siembra en un medio de cultivo llamado AGAR, se utilizan frascos lo cual involucra un el factor de riesgo debido a la manipulación de material de vidrio.

Un área que se utiliza como parte de la producción Biológica es el Bioterio donde se manipula animales como conejos, ratones que son los medios donde se reproducen los microorganismos para luego ser extraídos para elaborar las dosis de vacuna correspondiente.

1.2.1.6. Sección Agrovét

En esta sección se elaboran los productos de uso veterinario como son Tópicos Veterinarios, productos de consumo como es el caso del PIX insecticida de uso

domestico en las regiones cálidas de nuestro país, polvos veterinarios que son suplementos alimenticios para animales.

1.2.1.7. Sección Imprenta

En esta sección se elaboran los diferentes empaques primarios o individuales así como las cartoneras o cajas para unidades, material publicitario como afiches folletos, etc. En la sección se dispone de toda la maquinaria de la industria gráfica permitiendo disponer del material para abastecer a las otras secciones para su empaque por unidad como es el caso de las cajas individuales y cartoneras.

Su producción mensual se encuentra alrededor de 8 millones de unidades entre cajas y etiquetas que se entregan a las otras secciones y al departamento de ventas (marketing).

1.3. Justificación del Proyecto

Una vez reconocida la organización de la empresa y sus respectivas secciones dentro del área de producción, se puede notar que la utilización del agua de tipo inyectable es de vital importancia para todos los procesos farmacéuticos. La actualización y automatización del proceso de destilación es un proyecto que demanda gran responsabilidad ya que como se señaló anteriormente de este depende la elaboración de productos de excelente calidad que cumplan con normas nacionales e internacionales que permitan el desarrollo y avance de LIFE en el mercado farmacéutico.

La automatización de los principales procesos farmacéuticos implica el uso de tecnología de última generación que permita mejorar los tiempos de producción, incrementar las ventas, y cumplir con estándares de calidad internacional.

Para este año 2012 existen varios proyectos, los cuales incluyen la compra de varios equipos para el área de control de calidad, otros para mejorar el empaque de los productos y la mejora de los procesos del aire y agua estéril, sin embargo el principal de todos es la actualización del PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA.



Figura 1. 5. Área de inyectables: Destilador de Agua QV 2000 marca OLSA

Así pues el proyecto empieza con el reconocimiento del área de inyectables en cuyo lugar se encuentra el equipo principal del proceso de destilación, el Destilador de Agua QV 2000 marca OLSA (Figura 1.5), el cual consta de cuatro tanques que le permiten realizar la destilación por simple efecto, como se puede observar en la Figura 1.6 esta técnica utiliza una primera columna de destilación que suministra vapor puro a una unidad condensadora. Evidentemente, el rendimiento energético y el consumo de agua es mucho más bajo que los de múltiple efecto, ya que estos reaprovechan las calorías del vapor producido para generar más vapor y al final de la serie de columnas, el vapor llega a la unidad condensadora a menor temperatura.

No obstante, en contra de la creencia general, el número de efectos no debe afectar a la calidad del producto final.

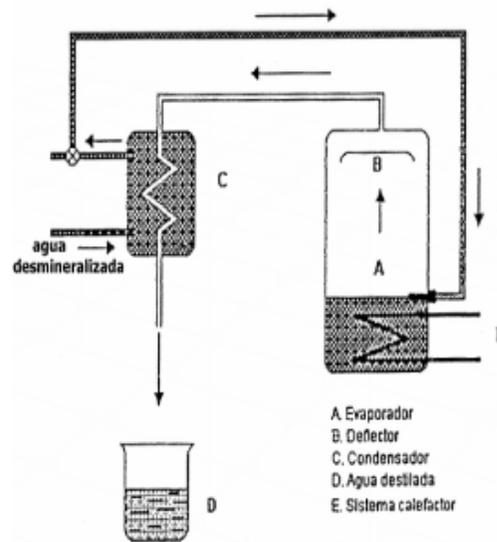


Figura 1. 6. Esquema de un destilador de simple efecto

Existen seis estados de vital importancia que permiten llevar correctamente el desarrollo del proceso destilación de agua, estos estados son: Destilación, Generación de Vapor, Control de Válvula de Vapor, Llenado, Descarga y Sanitización. Cada estado está sujeto a condiciones que deben cumplirse con precisión y exactitud, para esto se dispone de electroválvulas y sensores de nivel, presión y temperatura que deben actuar de acuerdo al respectivo estado.

Después de analizar y comprender el proceso de destilación de agua, se recolecta la información necesaria de los equipos electrónicos que intervienen en el proceso (electroválvulas, sensores), además se estudia detenidamente las condiciones establecidas por el departamento de Mantenimiento Electrónico, ya que gracias a estas se puede establecer el resto de equipos que se necesitan para el proyecto como son: el Controlador Lógico Programable y sus respectivos módulos de

entradas/salidas analógicas/digitales, Pantalla Táctil para la visualización, supervisión y monitoreo del proceso, además se establece el software para la programación y desarrollo de la Interfaz Humano Máquina.

Una vez que se dispone de todos los recursos necesarios para la realización del proyecto se procede a su desarrollo en los laboratorios de la empresa para las respectivas pruebas, algo muy importante a señalar es que el destilador de agua es de vital importancia para el funcionamiento de todos los procesos de la empresa por tal motivo no puede ser parado o interrumpido durante los días laborables ya que esto produciría pérdidas para la empresa, es por esta razón que una vez acondicionadas las respectivas señales de los sensores y electroválvulas se realizan pruebas en simuladores que permitan un nivel de seguridad adecuado y la respectiva corrección de errores.

El proyecto se desarrolla con sus respectivas pruebas, las mismas que permitirán la correcta implementación del mismo en el área de inyectables, todo este proceso será mostrado con más detalles a lo largo de los capítulos de la tesis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se desarrolla una breve introducción sobre el proceso de destilación de agua, además se realiza una descripción de los métodos utilizados para dicho proceso, planta a controlar, mecanismos de control, así como de los principales componentes de software y hardware, y las tecnologías necesarias para la realización del proyecto.

Gracias a esta descripción se puede conocer de manera más específica el proceso a automatizar así como las características básicas de todos los elementos que intervienen en el desarrollo del proyecto y las respectivas variables a controlar.

Los productos farmacéuticos exigen los máximos niveles de calidad, y, esto implica extremar los cuidados en la en producción, monitorización y control del agua purificada. El tratamiento dependerá de la composición química del agua y de los principales contaminantes que estén presentes.

2.1. Proceso de Destilación de Agua³

El agua usada en la industria farmacéutica para los inyectables se denomina AGUA INYECTABLE (Water Injection) (Figura 2.1) y debe ser preparada a partir del agua purificada.



Figura 2. 1. Agua Inyectable

La Destilación es un proceso de purificación del agua por cambio de fases. El agua se evapora desprendiéndose de la mayoría de los contaminantes. El vapor producido es condensado. Algunos contaminantes de bajo peso molecular pueden ser arrastrados por el vapor de agua. Básicamente tres tipos de destiladores se usan: de simple efecto (SE), de múltiple efecto (ME) y de compresión de vapor (VC).

Solamente el oxígeno es más esencial que el agua en sostener la vida de todos los organismos vivos. Los seres humanos podemos vivir por varias semanas sin alimento, pero apenas algunos días sin el agua. Esto no nos sorprende cuando consideramos que casi 3/4 de nuestro cuerpo está compuesto de agua. Porque el agua es tan esencial al sano mantenimiento de nuestros huesos, tejidos finos y

³http://www.laboratorioslife.com/vadecumhumano/agua_inyectable.htm

músculos. Es importante que se beba agua pura y libre de contaminantes como sea posible.

Se utiliza los siguientes métodos de destilación:

- Destilación simple o por simple efecto
- Destilación por múltiple efecto
- Destilación por comprensión de vapor

2.1.1. Métodos de Destilación⁴

Destilación por simple efecto

La destilación simple es una operación en la cual se produce la vaporización del agua por la aplicación de calor; el método es empleado en la industria de capacidad moderada y pequeña, para llevar a cabo separaciones parciales de los componentes más volátiles de mezclas de líquidos miscibles (que se pueden mezclar).

Normalmente, la mezcla líquida es cargada en lotes a un recipiente y sometida a ebullición. Los vapores que se desprenden se eliminan continuamente, se condensan y se recolectan sin permitir que tenga lugar ninguna condensación parcial ni retorno al recipiente en donde se lleva a cabo el calentamiento y ebullición de la mezcla. La primera porción del destilado será la más rica en el componente más volátil y conforme continúa la destilación, el producto evaporado se va empobreciendo. Por lo tanto, el destilado puede recolectarse en varios lotes separados, llamados

⁴http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm

fracciones, obteniéndose así una serie de productos destilados de diferente grado de pureza.

Así conforme la vaporización transcurre, se separan y condensan los vapores, y la cantidad del líquido en el recipiente va disminuyendo progresivamente, al igual que el contenido del componente más volátil en el líquido y el vapor, y la temperatura de ebullición del líquido en el recipiente va aumentando.

En la Figura 2.2 se muestra un diagrama esquemático de un equipo de destilación simple.

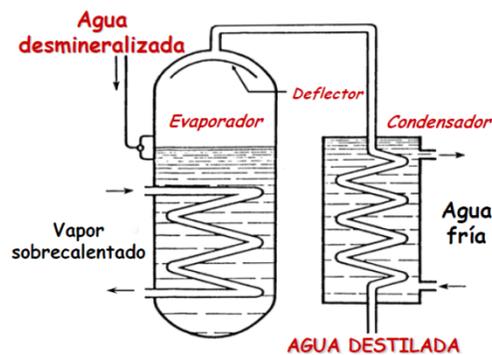


Figura 2. 2. Diagrama esquemático de un equipo de destilación simple⁵

Destilación por múltiple efecto⁶

La técnica de MED (múltiple efecto) (Figura 2.3) consiste en evaporar en etapas sucesivas. Así, la primera etapa es alimentada con vapor externo (70°C-80°C) y en

⁵http://www.excelwater.com/esp/b2c/water_tech_12.php

⁶<http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-1-4/destilacion-8220-multiple-efecto-8221-med>

el resto de las etapas se va utilizando el calor de condensación del vapor producido por la etapa anterior. Los factores que limitan el número de efectos son el rango de temperatura total disponible y la diferencia de temperatura mínima requerida entre los efectos. La temperatura de salida del último efecto está normalmente limitada por la temperatura del agua de refrigeración disponible. La temperatura del primer efecto lo está por las incrustaciones probables de acuerdo a la calidad del agua potable disponible. La diferencia de temperatura entre efectos es determinada por la elevación del punto de ebullición, las pérdidas de presión entre los efectos y la necesidad de tener una diferencia de temperatura mínima que permita obtener un caudal de destilado razonable en un evaporador de tamaño finito.

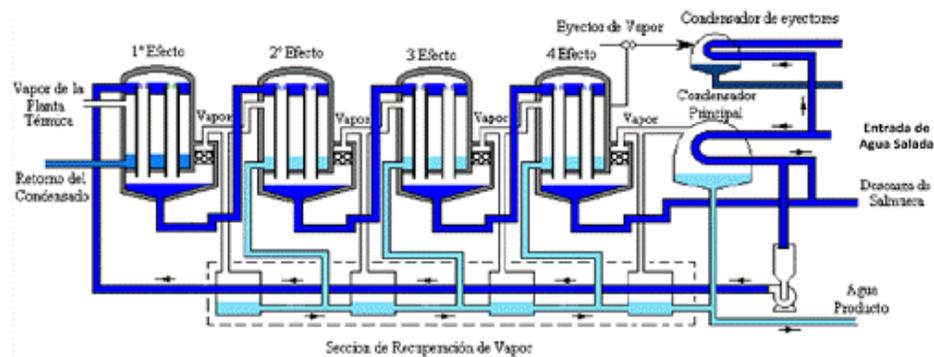


Figura 2. 3. Destilación por múltiple efecto (MED)

Destilación por compresión de vapor⁷

La caldera y el condensador reciclan el calor necesario para convertir en vapor el agua que ingresa. Es posible lograr el mismo resultado (calentar un galón de agua, evaporarlo, condensarlo y enfriarlo de vuelta a una temperatura similar (menos de un grado de diferencia) a la del agua de alimentación original) usando una tasa de consumo de energía sorprendentemente baja de 10 a 15 vatios-hora. Para

⁷<http://www.aqua-chem.com/es/content/destilacion-por-compresion-de-vapor-para-uso-farmaceutico>

comprender la diferencia en reciclar energía, el sistema tiene un coeficiente de rendimiento (COP, en inglés) de 200-a-uno, el equivalente a un destilador multi-efectos de 200 etapas. Esto es lo mismo que volver a usar la energía 200 veces o usar 1/200 de la energía necesaria para destilar un galón de agua. El sistema incorpora varios procesos bien conocidos para duplicar lo que hace la naturaleza: evaporación, condensación, separación de vapor y desvaporización ciclónica.

Durante el proceso de separación de vapor, el agua de alimentación es calentada en el intercambiador. El vapor corre en sentido contrario al agua que ingresa para separar todos los gases y líquidos volátiles. La desvaporización ciclónica encauza el vapor en una cámara circular donde gira a una velocidad de 40 millas por hora.

Este proceso hace centrifugar las gotitas de agua hacia la parte de afuera donde se desaguan de vuelta en la caldera y solamente el vapor seco es transportado y condensado. Es la combinación de estas tecnologías lo que permite que virtualmente toda el agua pueda ser purificada en la localidad a un menor costo de lo que costaría bombear agua de otras fuentes. Este proceso purifica el agua de alimentación que contiene una amplia variedad de contaminantes, incluyendo virus y bacterias, minerales, gases, radiación y sales. En la Figura 2.4 se muestra un destilador por comprensión de vapor en una instalación farmacéutica.

La compresión por destilación de vapor no depende de filtros ni productos químicos para limpiar el agua.



Figura 2. 4. Destilador por Compresión de Vapor

Destilador de agua OLSA QV-2000

La empresa LIFE dispone de un destilador de agua OLSA QV 2000 (Figura 2.5) el cual utiliza la destilación por simple efecto, debe trabajar automática y continuamente y permitir lograr una producción de 2000 lt/h de agua destilada.



Figura 2. 5. Destilador de agua OLSA QV 2000

En la Tabla 2.1 se muestra las especificaciones técnicas del destilador.

Dimensiones:	3,5 m x 1,2 m x 3 m
Alimentación eléctrica:	220 V 60 Hz 3 Ph (Max. variación +/- 5%)
Suministro de aire comprimido:	5-6 Bar lubricado y filtrado
Suministro de agua desmineralizada:	2115 lt/h 20°C 0,5 Bar
Suministro de agua de refrigeración:	27m ³ /h 3 Bar. 24,5 °C (la temperatura del agua depende de la temperatura deseada del agua destilada)
Suministro de vapor (primer efecto):	Máx. 8 Bar 630 Kg/h, 1.1/2"(vapor seco de agua limpia)

Tabla 2. 1. Especificaciones técnicas del destilador de agua OLSA QV 2000

2.2. Controladores para Sistemas Retroalimentados⁸

Los controladores PID, muestran ser robustos en muchas aplicaciones y son los que más se utilizan en la industria. La estructura de un controlador PID es simple, aunque su simpleza es también su debilidad, dado que limita el rango de plantas que pueden controlar en forma satisfactoria (existe un grupo de plantas inestables que no pueden ser estabilizadas con ningún miembro de la familia PID).

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

⁸<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>

- **P: acción de control proporcional**, proporciona una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_P \cdot e(t)$, su función de transferencia es la siguiente:

$$C_p(s) = K_p \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

- **I: acción de control integral**, proporciona una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad C_i(s) = \frac{K_i}{s} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

- **PI: acción de control proporcional-integral**, se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (\text{Ec. 1.3})$$

donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (\text{Ec. 1.4})$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control sería decreciente.

Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente sería siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

- **PD: acción de control proporcional-derivativa**, se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador.

La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que sólo es eficaz durante períodos transitorios. La función transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + sK_p T_d \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

- **PID: acción de control proporcional-integral-derivativa (Figura 2.6)**, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{Ec. 1.7})$$

y su función transferencia resulta:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (\text{Ec. 1.8})$$

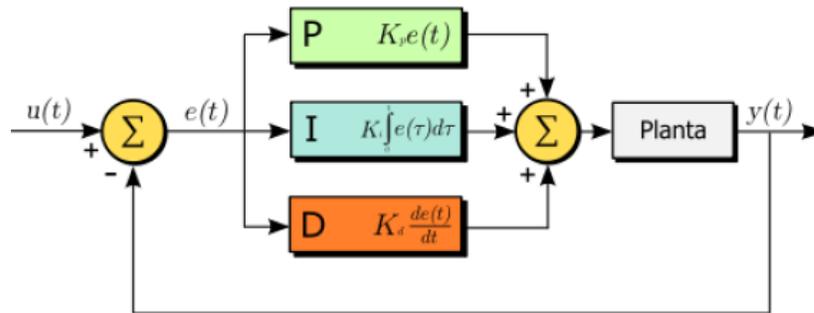


Figura 2. 6. Diagrama de bloques control PID

Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor: que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.)
- Un controlador: que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador: que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.)

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI – Human Machine Interface), la cual es un conjunto de pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres recibe el nombre de variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador que se use.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y

el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

Significado de las constantes

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

I constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID (Ver Ecuación 1.7).

Aplicaciones

Por tener una mayor exactitud a los controladores proporcional, proporcional derivativo y proporcional integral, se los utiliza en aplicaciones más cruciales tales como control de presión, flujo, fuerza, velocidad, en muchas aplicaciones química,

y otras variables. Además es utilizado en reguladores de velocidad de automóviles (control de crucero), control de ozono residual en tanques de contacto, etc.

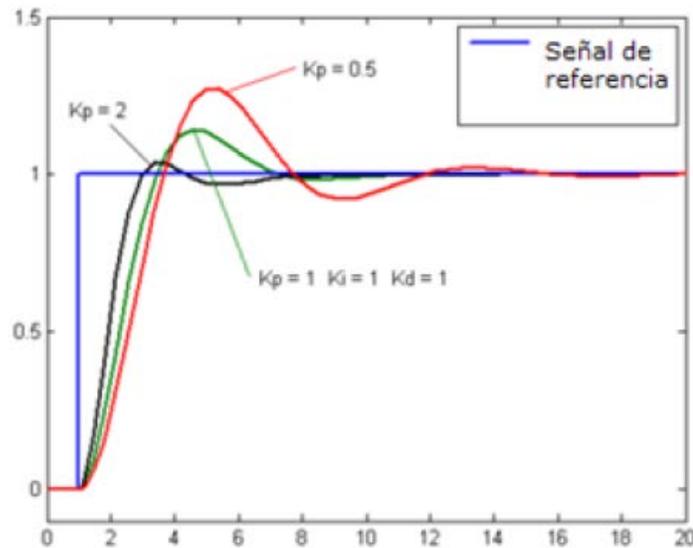


Figura 2. 7. Formas de onda del control PID con ganancias (K_p , K_d , K_i)

- **Control ON-OFF⁹:** Es la regulación más simple y económica, se utiliza en aplicaciones que puedan admitir una oscilación continua entre dos límites, pero sería necesario que la evolución del proceso sea lento. En la Figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques del control ON-OFF.

Muchos reguladores incorporan esta regulación básica y en ocasiones se combinan con otro tipo de controladores utilizándolos cuando el error es grande y cambiando de forma automática a otro controlador cuando el error se aproxima a cero.

⁹http://es.scribd.com/erodriguez_139/d/55968566/31-CONTROL-ON-OFF

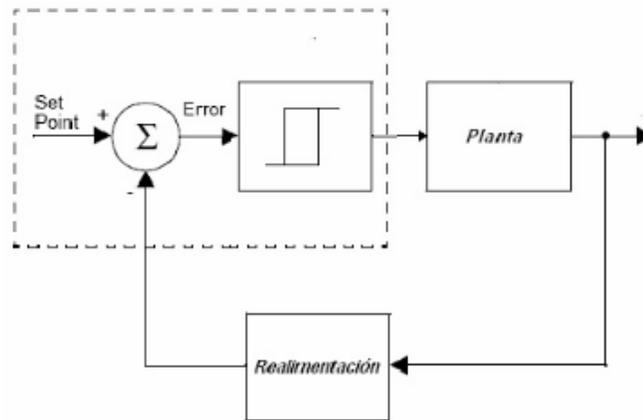


Figura 2. 8. Control ON-OFF

Para evitar un número excesivo de conmutaciones se incluye un lazo de histéresis. La histéresis es como una oposición a experimentar cualquier cambio, cosa que normalmente sería un efecto perjudicial para ciertas aplicaciones por lo que se debe escoger adecuadamente las aplicaciones en las cuales este controlador funcionaria adecuadamente. Su respuesta es de tipo todo o nada, de forma que se conecta cuando la variable regulada ha descendido hasta un valor por debajo de la variable de consigna y solo se desconecta cuando dicha variable supera el límite superior de la variable de consigna.

2.3. Autómata Programable¹⁰

El Controlador Lógico Programable (PLC) o autómata programable es un dispositivo de estado sólido usado para controlar la operación de máquinas o procesos por medio de un programa almacenado en su memoria y la lectura/actualización de sus entradas/salidas. Las salidas pueden actuar sobre motores eléctricos, válvulas, ventiladores, interruptores de luz, etc. mientras que las

¹⁰<http://www.herrera.unt.edu.ar/eiipc/material/apuntes/Automatas%20Programables.pdf>

señales de entrada suelen estar generadas por pulsadores o sensores de diversos tipos como finales de carrera, transductores de temperatura, presión, u otras magnitudes físicas.

Los PLCs surgieron para sustituir las clásicas instalaciones de contactores y relés. La gran ventaja de los sistemas programados sobre los cableados está en que la secuencia de operaciones y acciones puede ser modificada fácilmente al estar almacenada en una memoria. Además, los sistemas cableados admiten un conjunto de operaciones relativamente limitado (básicamente lógicas y en algún caso aritméticas) mientras que los sistemas programados están diseñados para realizar operaciones de cálculo y procesado mucho más complejas.

Los sistemas de control a menudo utilizan autómatas programables (Figura 2.9) por su alto grado de adaptabilidad con sistemas de control, monitoreo y supervisión y por la capacidad de comunicación con ordenadores. La instalación de estos equipos de control no involucra un nivel de complejidad alto ya que han sido diseñados para trabajar en un ambiente hostil y cumplen con las normas de instalaciones eléctricas industriales.

La evolución tanto de hardware como de software permite su utilización en una amplia gama de procesos industriales sobre todo para remplazar sistemas de control, maniobra, señalización, supervisión, entre otros. En la actualidad los fabricantes procuran reducir sus dimensiones para facilitar el montaje dentro de gabinetes estandarizados, facilitar la comunicación con otros dispositivos de control, crear y almacenar programas para su utilización, la modificación o alteración de los mismos. Por estas y otras características el PLC es empleado en procesos con necesidades como: producción periódicamente variable, procesos secuenciales,

procesos extensos y complicados, control, señalización, monitoreo, maniobra de maquinaria.



Figura 2. 9. Controladores Lógicos Programables (PLC's)

2.4. Base de Datos

Una base de datos es un conjunto de información o datos organizados que comparten algún vínculo o relación, los cuales son almacenados para su uso posterior. Al ser un sistema de archivos electrónicos nos permite almacenar grandes cantidades de información de forma organizada y así poder acceder de forma ágil a uno o varios datos.

Las principales características de una base de datos son:

- Independencia lógica y física de los datos
- Redundancia mínima
- Acceso a la información de varios usuarios
- Seguridad de datos

- Optimización en las consultas
- Recuperación y respaldo
- Acceso a través de lenguajes de programación estándar

Existen diferentes sistemas gestores de base de datos, entre estos podemos destacar:

- **MySql:** es una base de datos con licencia GPL basada en un servidor. Se caracteriza por su rapidez.
- **PostgreSql y Oracle:** Son sistemas de base de datos poderosos. Administra muy bien grandes cantidades de datos. Suelen ser utilizadas en intranets y sistemas de gran calibre.
- **Access:** Es una base de datos desarrollada por Microsoft. Esta base de datos, debe ser creada bajo el programa Access, el cual crea un archivo .mdb.
- **Microsoft SQL Server:** Es una base de datos más potente que Access desarrollada por Microsoft. Se utiliza para manejar grandes volúmenes de información.

2.4.1. Lenguaje SQL¹¹

El lenguaje de consulta estructurado (SQL) es un lenguaje gestor de bases de datos que permite especificar diversos tipos de operaciones en estas utilizando diferentes motores.

¹¹<http://sql.1keydata.com/es/>

Para la realización de consultas de una base de datos, así como cambios dentro de ella, se emplea el álgebra y el cálculo relacional.

El lenguaje SQL está formado por comandos, cláusulas, operadores y funciones de agregado. Estos elementos se combinan en las instrucciones para crear, actualizar y manipular la información de las bases de datos.

Comandos

Existen dos tipos de comandos SQL:

- Los DDL que permiten crear y definir nuevas bases de datos, campos e índices.
- Los DML que permiten generar consultas para ordenar, filtrar y extraer datos de la base de datos.

Comandos DDL

Comando	Descripción
CREATE	Utilizado para crear nuevas tablas, campos e índices
DROP	Empleado para eliminar tablas e índices
ALTER	Utilizado para modificar las tablas agregando campos o cambiando la definición de los campos.

Comandos DML

Comando	Descripción
SELECT	Utilizado para consultar registros de la base de datos que satisfagan un criterio determinado
INSERT	Utilizado para cargar lotes de datos en la base de datos en una única operación.
UPDATE	Utilizado para modificar los valores de los campos y registros especificados
DELETE	Utilizado para eliminar registros de una tabla de una base de datos

Cláusulas

Las cláusulas son condiciones de modificación utilizadas para definir los datos que desea seleccionar o manipular.

Comando	Descripción
FROM	Utilizada para especificar la tabla de la cual se van a seleccionar los registros
WHERE	Utilizada para especificar las condiciones que deben reunir los registros que se van a seleccionar
GROUPBY	Utilizada para separar los registros seleccionados en grupos específicos
HAVING	Utilizada para expresar la condición que debe satisfacer cada grupo

ORDERBY	Utilizada para ordenar los registros seleccionados de acuerdo con un orden específico
----------------	---

Operadores Lógicos

Operador	Uso
AND	Es el “y” lógico. Evalúa dos condiciones y devuelve un valor de verdad sólo si ambas son ciertas.
OR	Es el “o” lógico. Evalúa dos condiciones y devuelve un valor de verdad si alguna de las dos es cierta.
NOT	Negación

Operadores de Comparación

Operador	Uso
<	Menor que
>	Mayor que
<>	Distinto
<=	Menor o igual que
>=	Mayor o igual que
BETWEEN	Utilizado para especificar un intervalo de valores
LIKE	Utilizado en la comparación de un modelo
In	Utilizado para especificar registros de una base

	de datos
--	----------

Funciones de Agregado

Las funciones de agregado se usan dentro de una cláusula **SELECT** en grupos de registros para devolver un único valor que se aplica a un grupo de registros.

Comando	Descripción
AVG	Utilizada para calcular el promedio de los valores de un campo determinado
COUNT	Utilizada para devolver el número de registros de la selección
SUM	Utilizada para devolver la suma de todos los valores de un campo determinado
MAX	Utilizada para devolver el valor más alto de un campo especificado
MIN	Utilizada para devolver el valor más bajo de un campo especificado

2.5. Software PC Access¹²

El software PC Access cumple con la función de trabajar como un Servidor OPC para los PLC de Siemens el mismo que provee una conectividad robusta a través de

¹²<http://www.matrikonopc.es/drivers/opc-siemens.aspx>

Ethernet con la familia de PLCs S7 (S7-200, S7-300, S7-400 y S7 1200 Series), accediendo fácilmente y de inmediato a los datos del PLC de Siemens S7.

Este software permite de manera sencilla acceder a los datos del PLC desde Excel. El Servidor OPC para PLC de Siemens S7 incluye características de ahorro de tiempo, tales como:

- Posibilidad de importar Data Block Symbols (Símbolos de bloques de datos) de proyectos Simatic STEP 7 para Siemens S7-200, S7-300, y S7-400.
- Sistema de configuración de sistema "on-line" sin pérdida de datos. No requiere reiniciar el servidor.
- Modo Offline: función incorporada para ayudar al desarrollador. Esta función simplifica los trabajos de desarrollo de SCADAS y HMI permitiendo acceder a los datos configurados con datos aleatorios.

2.6. Normas NEC¹³

La NEC (National Electrical Code), es un estándar americano para la instalación de equipos eléctricos y alambrado. Forma parte de las normas de prevención de incendios de la NFPA (National Fire Protection Association). Para la implementación de cualquier proyecto eléctrico o electrónico es indispensable sujetarse a los estándares y normas internacionales que garanticen el óptimo funcionamiento de los equipos, así como la seguridad de los mismos y del personal

¹³http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electronica_y_electronica/normaselectricas/default.as

responsable de su instalación. La norma que será utilizada para el desarrollo e implementación del presente proyecto será la NEC, la cual contempla el dimensionamiento del alambrado, protección de equipos, canalización y recomendaciones para la instalación eléctrica.

En las instalaciones eléctricas se considera a la seguridad como un aspecto fundamental, tanto de los equipos como de las personas. Garantizar la seguridad en un proyecto implica considerar los siguientes aspectos:

- Normas de seguridad en instalaciones eléctricas
- Clasificación de accidentes eléctricos.
- Protecciones generales.
- Peligros principales de la electricidad.

El diseño de una instalación eléctrica debe ser claramente documentado, donde se deben tomar en cuenta las normas que resultan de la recopilación de experiencias, pruebas y resultados de la implementación de proyectos previos alrededor del mundo. Algunas especificaciones que se deben considerar para el diseño son:

- Definición de conceptos
- Clasificación de ambientes
- Normas de dibujo
- Simbología
- Descripción del diseño (memoria técnica)

Para la implementación de una instalación eléctrica se deben considerar los siguientes aspectos:

- Métodos
- Materiales utilizados

En la Tabla 2.2 se presenta la estructura de la norma NEC:

Sección	Tema
Introducción	Información de carácter general
Capítulo 1 – 4	Definiciones y normas de instalación, circuitos y protección, materiales para el cableado y uso general de equipos, entre otros
Capítulo 5 – 7	Equipos especiales, condiciones especiales
Capítulo 8	Requisitos adicionales para sistemas de comunicación
Capítulo 9	Tablas de propiedades de conductores, cables y conductos
Anexos	Normas de referencia, cálculos, ejemplos y tablas adicionales para aplicación del código.

Tabla 2. 2. Estructura de las NORMAS NEC

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL HARDWARE DE SUPERVISIÓN

Para el desarrollo del proyecto se realizará la descripción del diagrama de instrumentación P&ID del proceso de destilación de agua (ver DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN P&ID) que permitirá identificar los diferentes componentes del destilador, además en este capítulo se presentarán los diferentes diagramas de conexiones a implementar. Para diseñar el hardware de supervisión que permita manejar el proceso de una manera ordenada y precisa se parte de la descripción del diagrama de instrumentación P&ID.

El diagrama muestra los componentes más importantes que intervienen en el proceso de destilación, su ubicación en el destilador y su respectiva nomenclatura que permite identificarlos rápida y fácilmente, además cada uno funciona de manera secuencial dependiendo de los estados del proceso (Destilación, Generación de Vapor, Abrir válvula de vapor, Llenado, Descarga y Sanitización). La función que cumple cada componente será descrita en la sección 3.1.

A continuación en la Tabla 3.1 se indica la Nomenclatura P&ID de los elementos del proceso de destilación de agua.

Nomenclatura	Descripción
G1	Bomba de agua
E7	Calentador 1
E8	Calentador 2
PT1	Transmisor de Presión
TT1	Transmisor de Temperatura 1
TT2	Transmisor de Temperatura 2
CI1	Indicador de Conductividad 1
LSHH1	Interruptor de Nivel Alto-Alto
LSH1A	Interruptor de Nivel Alto tanque 1 A
LSH1B	Interruptor de Nivel Alto tanque 1 B
LSH2A	Interruptor de Nivel Alto tanque 2 A
LSH2B	Interruptor de Nivel Alto tanque 2 B
LSH3A	Interruptor de Nivel Alto tanque 3 A
LSH3B	Interruptor de Nivel Alto tanque 3 B
LSH4A	Interruptor de Nivel Alto tanque 4 A
LSH4B	Interruptor de Nivel Alto tanque 4 B
HV1	Válvula Automática todo-nada 1
HV1B	Válvula Automática todo-nada 1 B
HV2	Válvula Automática todo-nada 2
HV3	Válvula Automática todo-nada 3
HV4	Válvula Automática todo-nada 4
HV11	Válvula Automática todo-nada 11
HV12	Válvula Automática todo-nada 12
HV13	Válvula Automática todo-nada 13
HV14	Válvula Automática todo-nada 14
HV17	Válvula Automática todo-nada 17
HVF7	Relación Válvula Automática todo-nada 7
HVF20	Relación Válvula Automática todo-nada 20
HVF21	Relación Válvula Automática todo-nada 21
HVF27	Relación Válvula Automática todo-nada 27
HVM8	Medio Válvula Automática todo-nada 8
HVM9	Medio Válvula Automática todo-nada 9
PV18	Válvula de Presión 18
PV19	Válvula de Presión 19
PV20	Válvula de Presión 20

Tabla 3. 1. Descripción Nomenclatura P&ID

Descripción del diagrama de Instrumentación P&ID

En el diagrama P&ID se puede observar la bomba de agua (G1) la cual está conectada a través de una tubería al tanque de agua desmineralizada (5), esta permite el paso de agua hacia el destilador. El agua desmineralizada es conducida hacia el lote del primer efecto (E1) por medio de las válvulas automáticas todo-nada (HV1 y HV1B).

Para proveer de vapor de agua (1) a la línea principal del primer efecto (E1) se utiliza la válvula proporcional de 3 vías 2 posiciones normalmente cerrada (VCA 19) para controlar la cantidad de vapor que ingresa al destilador.

En el lote del primer efecto (E1) se encuentra un transmisor de presión (PT1), el cual monitorea la presión de vapor dentro del lote, dicha señal es enviada a un Controlador Indicador de Presión (PIC1). El vapor que se genera en el primer efecto es transmitido al lote del segundo efecto (E2) por la tubería de la parte superior del lote E1 a través de la válvula neumática normalmente abierta (HVF21). La válvula neumática (HVF20) permite conducir el vapor limpio que se genera en el lote E1 hacia un tanque de almacenamiento (26).

Los lotes de los efectos del destilador E1, E2, E3 y E4 disponen de sensores de nivel para monitorear la cantidad de agua de los tanques. El lote E1 tiene 3 sensores de nivel LSHH1, LSH1 y LSH11 los cuales controlan la válvula automática todo-nada HV1. El lote E2 tiene 2 sensores de nivel LSH2 y LSH22 los cuales controlan la válvula automática todo-nada HV2. El lote E3 tiene 2 sensores de nivel LSH3 y LSH33 los cuales controlan la válvula automática todo-nada HV3. Por último el lote

E4 tiene 2 sensores de nivel LSH4 y LSH44 los cuales controlan la válvula automática todo-nada HV4.

Las válvulas automáticas todo-nada (HV11, HV12, HV13 y HV14) permiten llenar los lotes del destilador con agua desmineralizada por el principio de vasos comunicantes. La válvula automática todo-nada (HV17) envía por la tubería el agua con residuos del lote E4 hacia el desagüe (10).

El intercambiador de calor E7 permite pre-calentar el agua desmineralizada (5) que ingresará al lote E1, además permite el ingreso de vapor proveniente del cuarto lote E4 y el paso de agua de tipo inyectable caliente al intercambiador de calor E8.

El intercambiador de calor E8 permite condensar el vapor de agua inyectable gracias al agua de refrigeración (7) cuyo ingreso es permitido por la válvula neumática (HVF27). La válvula neumática HVM8 permite el paso de agua inyectable que no cumple con los requisitos de calidad necesarios (AGUA DE BAJA DESTILACIÓN 8) y la válvula neumática HVM9 en cambio permite el paso del agua inyectable de excelente calidad (AGUA DE DESTILACIÓN 9). En la tubería de agua inyectable de salida hacia las válvulas neumáticas HVM8 y HVM9 se encuentra un indicador de temperatura (T1) el cual monitorea la temperatura del agua inyectable.

Después de conocer el diagrama de instrumentación, se analiza los principales requerimientos del proceso (Figura 3.1) los cuales demandan la utilización de una pantalla táctil que se comunicará mediante una red de datos a una computadora para el almacenamiento de información y con un PLC, el mismo que debe presentar entradas digitales a las cuales se conectaran los sensores de nivel y los diferentes

contactores de los estados del proceso, salidas digitales para controlar las electroválvulas, entradas analógicas para los sensores de presión y temperatura y salidas analógicas para su respectivo control.



Figura 3. 1. Diagrama explicativo del diseño del Hardware de supervisión

3.1. Definición de Parámetros y Variables

Para realizar el monitoreo y supervisión del proceso de destilación de agua se debe conocer de manera precisa todas las señales eléctricas que intervienen en dicho

proceso, para esto es necesario recalcar los principales estados de funcionamiento, para una mejor comprensión de los estados se dispone de un diagrama explicativo del proceso (Figura 3.2).

El proceso de destilación de agua por simple efecto está compuesto por seis estados que serán descritos a más detalle a continuación:

- **Destilación (Ver Figura 3.2)**

- Durante todo el proceso de destilación la bomba G1 se mantiene encendida.

- Las válvulas HV1, HV2, HV3, HV4 y HV14 son controladas por los sensores de nivel correspondientes a cada efecto.

I efecto: Válvula HV1 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH2A o LSH2B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

II efecto: Válvula HV2 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH2A o LSH2B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

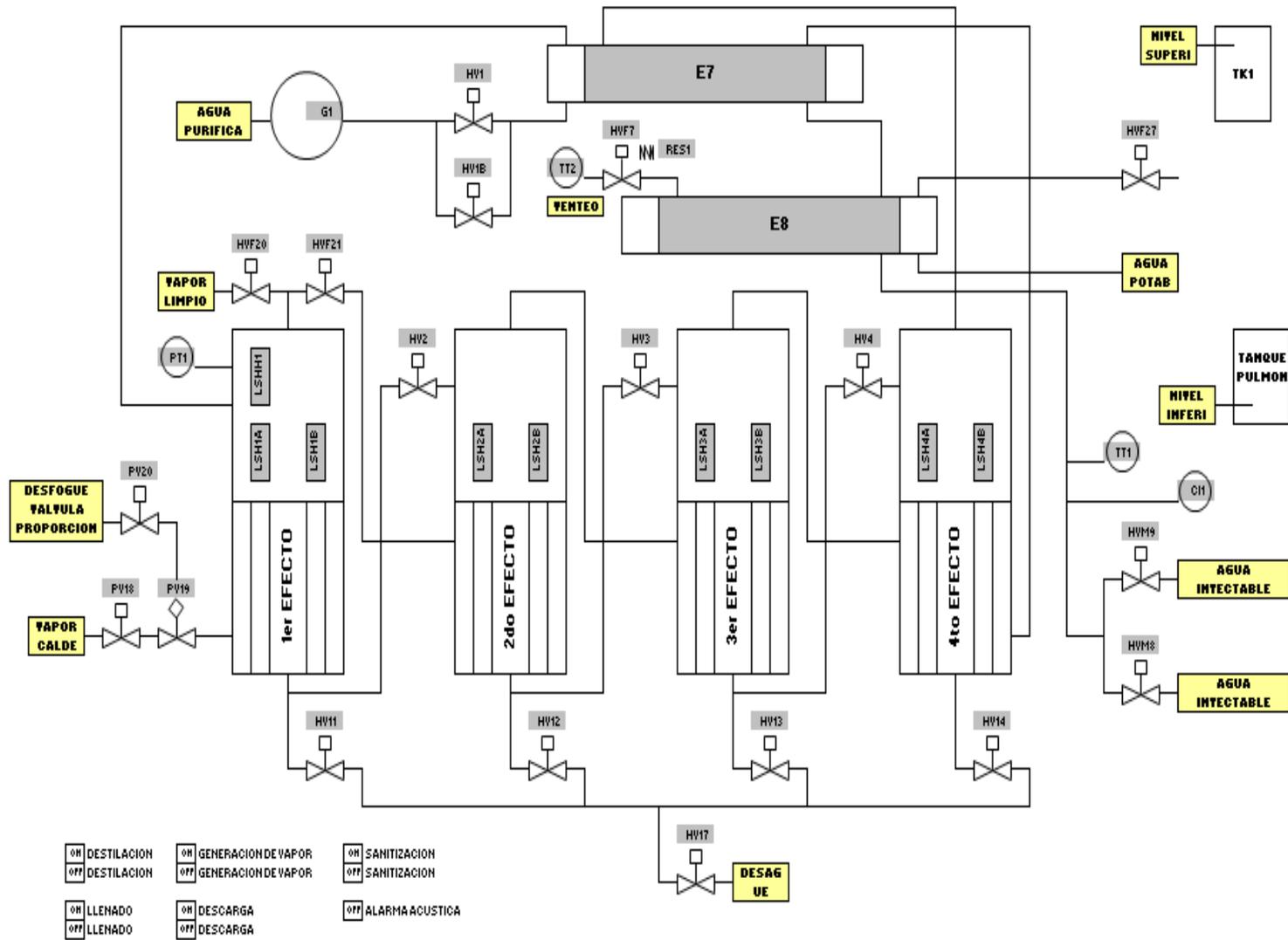


Figura 3. 2. Diagrama explicativo del proceso de destilación de agua

III efecto: Válvula HV3 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH3A o LSH3B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

IV efecto: Válvula HV4 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH2A o LSH2B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

- La válvula HVF21 se mantiene abierta para permitir el paso de vapor al II efecto durante todo el proceso de Destilación (esta válvula es normalmente abierta, por lo cual el PLC deberá enviar una salida en cero para mantenerla abierta).

- La válvula HV17 se mantiene abierta durante todo el proceso de destilación, esta válvula permite purgar el agua del cuarto efecto durante 10 segundos con intervalos de 5 minutos abriendo y cerrando la válvula HV14. Las válvulas HV11, HV12 y HV13 se mantienen cerradas durante todo el proceso de destilación.

- En el proceso de destilación se realiza un control de presión mediante un controlador electrónico que utiliza la acción PID muy adecuado para este tipo de plantas, por lo tanto en el nuevo sistema a implementar se debe mantener este tipo de control (requerimientos de la empresa) pero utilizando los bloques de regulación del PLC el mismo que permita mantener la presión dentro del valor adecuado de funcionamiento del proceso que es de 2.5 bars. El transmisor de presión PT1 envía una señal de 4 a 20mA con un rango de 0 a 60 psi (0 a 4 bar), lo cual nos permitirá realizar el control

utilizando un transductor de presión, TP1 de 2 a 18 psi, con este transductor se controla una válvula proporcional de diafragma PV19.

- Para evitar una sobrepresurización del primer efecto se ha instalado una electroválvula PV20 la cual nos ayuda a desfogar rápidamente el aire dentro de la válvula proporcional y con esto se cierra el ingreso de vapor hacia la camisa del primer efecto. La válvula PV18 se activará durante todo el proceso de destilación, esta válvula permite el paso de vapor en la línea principal de ingreso al destilador.

- Para el enfriamiento del agua inyectable (condensación de vapor de agua inyectable) se utiliza un intercambiador de calor E8, el cual tiene una entrada de agua potable de enfriamiento, esta agua ingresa por la válvula HVF27 y este sistema se vuelve vital para evitar una sobrepresurización de los efectos y del mismo intercambiador. La válvula HVF27 se abrirá durante todo el proceso de destilación, y cuando este proceso termine se mantendrá abierta durante 5 minutos más para continuar enfriando todo el agua que se queda a la salida. Para que el agua de enfriamiento llegue al intercambiador se utilizan dos bombas de agua las cuales se encuentran instaladas en el piso mecánico del área de Sueros, y estas reciben la señal del tablero del destilador cuando así lo requiera. Estas bombas P5 y P6 se activan de la misma forma que la válvula HVF27.

- El intercambiador E7 sirve para precalentar el agua purificada que ingresa al primer efecto, por una entrada del intercambiador ingresa el agua inyectable caliente y por el otro lado ingresa el agua purificada que debe ser calentada.

- Para garantizar la calidad del agua inyectable, se ha instalado un controlador de conductividad, el agua debe cumplir con una conductividad menor a $1.3\mu\text{S}/\text{cm}^2$, si la conductividad del agua inyectable está bien se abre la válvula HVM9 y si está mal se abre la válvula HVM8 (estas dos válvulas nunca se deben abrir simultáneamente). Al arrancar el proceso de destilación la válvula HVM8 se debe abrir durante 5 minutos para que el agua inyectable que recién se está generando se vaya al desagüe, sin importar el valor de la conductividad, después de estos 5 minutos se cierra la válvula HVM8 y se abre la HVM9 para permitir el paso de agua inyectable hacia el tanque de almacenamiento TK1 ubicado en el piso mecánico de Sueros, este tanque posee un control de nivel superior el cual envía una señal al tablero de destilación para detener el proceso de destilación cuando el tanque TK1 esté lleno. Al detener el proceso de destilación la válvula HVM8 se abre durante 5 minutos más para evitar que se presurice el intercambiador E8.

- En el filtro de venteo se encuentra la válvula HVF7 para eliminar el aire que se genera dentro del intercambiador E8, esta válvula se debe abrir durante todo el proceso de destilación y se cierra cuando el proceso finaliza. Para mantener seco el filtro de venteo se instalará una resistencia para calentar el filtro controlado con un sensor de temperatura TT2, esta temperatura estará seteada máximo a 80°C .

- La temperatura a la salida del agua inyectable es muy importante para evitar contaminación, por lo tanto se instalará un sensor de temperatura TT1, el cual monitoreará esta temperatura y permitirá llevar un control del operador.

- Para alimentar con agua purificada al destilador, se utiliza un tanque pulmón para que la bomba G1 no se descebe (quitar agua del interior), este tanque pulmón posee un sensor de nivel inferior el cual envía una señal al tablero del destilador y este apaga la bomba cuando el tanque se quede sin agua, al apagar la bomba se generará una alarma visual y acústica en donde se indique que no hay agua purificada. Esta alarma sonará hasta que un operador reconozca la falla y presione el botón de alarma acústica, la alarma acústica se silenciará hasta que arranque nuevamente la destilación, llenado, sanitización o generación de vapor y se vuelva a producir la alarma.

- La alarma también se activará cuando exista una sobre presión del primer efecto $P > 3.6$ bar (solo en destilación y generación de vapor), o cuando la conductividad supere los $1.3\mu\text{S}/\text{cm}^2$ (solo en destilación), o cuando la temperatura del agua inyectable baje de 65°C (solo en destilación). Las Alarmas en el estado de Destilación son las siguientes:

- FALTA DE AGUA PURIFICADA (esta alarma funcionará cuando el tanque pulmón de agua purificada este vacío)
- SOBREPRESION DE PRIMER EFECTO (esta alarma funcionará cuando la presión en el primer efecto sea mayor a 3.5 bares)
- BAJA TEMPERATURA DE AGUA INYECTABLE (esta alarma funcionará solo cuando haya pasado los 5 minutos de arranque del proceso de destilación)

- **Generación de vapor (Ver Figura 3.2)**

- Al igual que en Destilación, en el proceso de Generación de vapor la bomba G1 también se mantiene encendida.

- La válvula HY1B se abre cuando el sensor LSH1 se desactiva, y se cierra cuando el mismo sensor se activa.

- Las válvulas HVF20, HVF21, PV20 y PV18 se activan y la válvula HV17 se desactiva al momento de seleccionar el estado de Generación de vapor.

- Las válvula HVF27 y HVF7 (válvula de filtro de venteo) se activan al momento de seleccionar el estado de Generación de vapor y se desactivan tres minutos después de apagar dicho estado.

- **Llenado (Ver Figura 3.2)**

- Para llenar los cuatro efectos del destilador se debe encender la bomba G1. Esta bomba se apagará automáticamente cuando todos los efectos se hayan llenado.

- Los cuatro efectos se deben llenar simultáneamente, controlando los niveles de cada efecto.

- Para llenar el primer efecto, el agua purificada ingresa por la válvula HV1 y por el principio de vasos comunicantes a través de las válvulas HV11, HV12, HV13 y HV14 se llena los efectos II, III, y IV. La válvula HV17 se cierra para que el agua no se vaya al desagüe.

- Las válvulas HV1, HV11, HV12, HV13 y HV14 son controladas por los sensores de nivel correspondientes a cada efecto.

I efecto: Válvula HV1 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH1A o LSH1B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

II efecto: Válvula HV12 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH2A o LSH2B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

III efecto: Válvula HV13 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH3A o LSH3B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

IV efecto: Válvula HV14 se cierra cuando uno de los dos sensores LSH2A o LSH2B se desactivan, y se abre cuando los dos sensores se activan al mismo tiempo.

La válvula HV11 se cierra cuando los cuatro efectos se hayan llenado totalmente, cuando los sensores LSH1A o LSH1B, LSH2A o LSH2B, LSH3A o LSH3B, LSH4A o LSH4B se hayan desactivado.

- Durante todo el proceso de llenado las válvulas HVM8 y HVF27 se mantienen abiertas, y la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6” se activa para que el agua potable de enfriamiento ingrese al intercambiador E8. Cuando todos los efectos se hayan llenado, se debe contabilizar 5 minutos para cerrar las válvulas HVM8 y HVF27 y desactivar la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6”. En el caso de que baje el nivel en cualquiera de los efectos y el tiempo de los 5 minutos está corriendo, se deberá atender al efecto encendiendo la bomba G1 y activando las válvulas correspondientes, y reiniciar el tiempo para esperar nuevamente hasta que todos los efectos se llenen.

- El proceso de llenado finalizará cuando el operador coloque el selector de llenado en OFF. Pero los 5 minutos continuarán contando para cerrar las válvulas HVM8 y HVF27 y desactivar la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6”. Si el operador coloca el selector de llenado en OFF y enciende otro proceso, automáticamente las válvulas HVM8 y HVF27 y la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6” quedarán al mando del otro proceso.

- **Descarga (Ver Figura 3.2)**

- Para descargar el agua de los cuatro efectos se activarán las siguientes válvulas:

Válvulas HV11, HV12, HV13, HV14, HV17, HVM8 y HVF27.

- Durante todo el proceso de descarga la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6” se activa.

- El proceso de descarga finaliza cuando el operador coloca el selector de DESCARGA en OFF, y así mismo todas las válvulas mencionadas anteriormente y la salida del PLC “ON BOMBA P5 y P6” se desactivará.

- **Sanitización (Ver Figura 3.2)**

- El ciclo de sanitización puede ser activado/desactivado por medio de los botones (ON/OFF) que se encuentran en el panel central del destilador, o también a través de la pantalla táctil.

El ciclo de sanitización está compuesto por las siguientes etapas:

- El primer efecto es llenado por medio de la bomba de alimentación (G1) hasta que el sensor de nivel LSH se active.

En este punto, por medio de vapor, el calentamiento de la primera etapa da inicio: el calentamiento es llevado a cabo por un tiempo predeterminado.

- Cuando el tiempo de calentamiento del primer efecto ha transcurrido, el agua caliente pasa desde el primer efecto hacia el segundo a través de las válvulas de fondo HV11 y HV12 (esto es realizado de manera simultánea al llenado del primer efecto por medio de la bomba de alimentación).

- Cuando los sensores de nivel LSH del efecto 1 y efecto 2 han sido activados respectivamente, esta etapa del ciclo de sanitización se detendrá.

- Nuevamente se lleva a cabo el calentamiento del primer efecto, el vapor proveniente del primer efecto calentará al segundo efecto: en esta etapa, el calentamiento tiene una duración predeterminada.

- Cuando la etapa de calentamiento se ha detenido, el agua del segundo efecto pasará hacia el tercer efecto a través de la válvula HV13 y el agua del primer efecto pasará hacia el segundo efecto, con la ayuda de la bomba de alimentación, el primer efecto volverá a ser llenado. Una vez activados los sensores de nivel LSH de los tres efectos respectivamente, una nueva etapa de calentamiento controlada por temporizadores comenzará nuevamente.

- El vapor que ingresa al primer efecto se calienta y este a su vez calienta al segundo efecto, el segundo efecto calentará al tercer efecto.

Al final de esta etapa de calentamiento, el agua del tercer efecto pasará al siguiente efecto (cuarto) por medio de la válvula HV14, el agua del segundo efecto pasará al tercero y desde el primer efecto, el agua fluirá hacia el

segundo efecto, mientras la bomba de alimentación llena nuevamente de agua el primer efecto.

- Luego del control de una nueva etapa de calentamiento, se llevara a cabo la descarga del vapor que ha sido formado a través del filtro de esterilización ubicado en el intercambiador E8, de modo que la línea que va desde el cuarto efecto por E7 hasta el filtro, también se esteriliza.

- **Abrir Válvula de Vapor**

- Se puede activar siempre y cuando el estado de Generación de vapor este activado.

3.2. Matriz Causa Efecto

Una vez detallados los seis estados del proceso se realiza la matriz causa efecto (Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6) de cada uno, las cuales permitirán tener claramente definidos las sentencias de control que se deben cumplir dentro del sistema.

CAUSA	EFECTO	
Encendido: Estado Destilación	Bomba G1	ACTIVADA
	Electroválvula PV18	ACTIVADA
	Electroválvula PV19	ACTIVADA
	Electroválvula PV20	ACTIVADA
	Electroválvula HVF7	ACTIVADA
	Electroválvula HVF27	ACTIVADA
	Electroválvula HVM8	ACTIVADA

	Electroválvula HV17	ACTIVADA
	Electroválvula HV1	ACTIVADA
	Electroválvula HV2	ACTIVADA
	Electroválvula HV3	ACTIVADA
	Electroválvula HV4	ACTIVADA
	Electroválvula HV14	ACTIVADA 10 SEG CADA 5 MIN
	Electroválvula HV11	DESACTIVADA
	Electroválvula HV12	DESACTIVADA
	Electroválvula HV13	DESACTIVADA
	Electroválvula HV1B	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF20	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF21	DESACTIVADA
	Bomba P5 y P6	ACTIVADA
Sensor LSH1A O LSH1B desactivados	Electroválvula HV1	ACTIVADA
Sensor LSH2A O LSH2B desactivados	Electroválvula HV2	ACTIVADA
Sensor LSH3A O LSH3B desactivados	Electroválvula HV3	ACTIVADA
Sensor LSH4A O LSH4B desactivados	Electroválvula HV4	ACTIVADA
Valor de presión de sensor PT1: menor a 2.5bares	Electroválvula PV19	ACTIVADA
Valor de presión de sensor PT1: mayor a 3.5bares	Electroválvula PV20 alarma de sobrepresión	ACTIVADA
		ACTIVADA
Conductividad menor a 1.3uS/cm2	Electroválvula HVM9	ACTIVADA
Conductividad mayor a 1.3uS/cm2	Electroválvula HVM8	ACTIVADA
Sensor de nivel de tanque TK1 activado	Estado de destilación en espera	
Valor de temp de sensor TT2: menor a 80°C	Resistencia de filtro	ACTIVADA
Sensor de nivel de tanque Pulmón activado	alarma de falta de agua purificada	ACTIVADA
Valor de temp de sensor TT1: menor a 80°C	alarma de baja temp de agua inyect	ACTIVADA

Tabla 3. 2. Matriz causa efecto del estado de Destilación

CAUSA	EFEECTO	
Encendido: Estado Generación de Vapor	Bomba G1	ACTIVADA
	Electroválvula PV18	ACTIVADA
	Electroválvula PV19	ACTIVADA
	Electroválvula PV20	ACTIVADA
	Electroválvula HVF7	ACTIVADA
	Electroválvula HVF27	ACTIVADA
	Electroválvula HVM8	ACTIVADA
	Electroválvula HV1B	ACTIVADA
Encendido: Estado Generación de Vapor y abrir válvula de vapor	Electroválvula HVF20	ACTIVADA
	Electroválvula HVF21	ACTIVADA
	Electroválvula HV17	DESACTIVADA
	Bomba P5 y P6	ACTIVADA
	Electroválvula HV14	DESACTIVADA
	Electroválvula HV11	DESACTIVADA
	Electroválvula HV12	DESACTIVADA
	Electroválvula HV1	DESACTIVADA
	Electroválvula HV2	DESACTIVADA
	Electroválvula HV3	DESACTIVADA
	Electroválvula HV4	DESACTIVADA
Sensor LSHH11 desactivados	Electroválvula HV1B	ACTIVADA
Valor de presión de sensor PT1: menor a 2.5bares	Electroválvula PV19	ACTIVADA
Valor de presión de sensor PT1: mayor a 3.5bares	Electroválvula PV20	ACTIVADA
	Alarma: sobrepresión	ACTIVADA
Valor de temp de sensor TT2: menor a 80°C	Resistencia de filtro	ACTIVADA

Tabla 3. 3. Matriz causa efecto del estado de Generación de Vapor

CAUSA	EFEECTO	
Encendido: Estado de Llenado	Bomba G1	ACTIVADA
	Electroválvula PV18	DESACTIVADA
	Electroválvula PV19	DESACTIVADA
	Electroválvula PV20	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF7	ACTIVADA
	Electroválvula HVF27	ACTIVADA

Tabla 3. 4. Matriz causa efecto del estado de Llenado

Continuación de la Tabla 3.4

	Electroválvula HVM8	ACTIVADA
	Electroválvula HV1B	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF20	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF21	DESACTIVADA
	Electroválvula HV17	DESACTIVADA
	Bomba P5 y P6	ACTIVADA
	Electroválvula HV14	ACTIVADA
	Electroválvula HV11	ACTIVADA
	Electroválvula HV12	ACTIVADA
	Electroválvula HV13	ACTIVADA
	Electroválvula HV1	ACTIVADA
	Electroválvula HV2	DESACTIVADA
	Electroválvula HV3	DESACTIVADA
	Electroválvula HV4	DESACTIVADA
Sensor LSH1A O LSH1B desactivados	Electroválvula HV1	ACTIVADA
Sensor LSH2A O LSH2B desactivados	Electroválvula HV12	ACTIVADA
Sensor LSH3A O LSH3B desactivados	Electroválvula HV13	ACTIVADA
Sensor LSH4A O LSH4B desactivados	Electroválvula HV14	ACTIVADA
Sensores LSH1,2,3 y 4 activados	Electroválvula HV11	DESACTIVADA
	Bomba G1	DESACTIVADA

CAUSA	EFEECTO	
Encendido: Estado Descarga	Bomba G1	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF7	ACTIVADA
	Electroválvula HVF27	ACTIVADA
	Electroválvula HVM8	ACTIVADA
	Electroválvula HV17	ACTIVADA
	Electroválvula HV2	DESACTIVADA
	Electroválvula HV3	DESACTIVADA
	Electroválvula HV4	DESACTIVADA
	Electroválvula HV14	ACTIVADA

Tabla 3. 5. Matriz causa efecto del estado de Descarga

Continuación de la Tabla 3.5

	Electroválvula HV11	ACTIVADA
	Electroválvula HV12	ACTIVADA
	Electroválvula HV13	ACTIVADA
	Electroválvula HV1B	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF20	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF21	DESACTIVADA
	Bomba P5 y P6	ACTIVADA
Valor de temp de sensor TT2: menor a 80°C	Resistencia de filtro	ACTIVADA

CAUSA	EFEECTO	
Encendido: Estado Sanitización	Bomba G1	ACTIVADA
	Electroválvula PV18	ACTIVADA
	Electroválvula PV19	ACTIVADA
	Electroválvula PV20	ACTIVADA
	Electroválvula HVF7	DESACTIVADA
	Electroválvula HVF27	DESACTIVADA
	Electroválvula HVM8	ACTIVADA
	Electroválvula HV17	ACTIVADA
	Electroválvula HV1	ACTIVADA
	Electroválvula HV2	ACTIVADA
	Electroválvula HV3	ACTIVADA
	Electroválvula HV4	ACTIVADA
	Electroválvula HV14	ACTIVADA 10 SEG CADA 5 MIN
	Electroválvula HV11	DESACTIVADA
	Electroválvula HV12	DESACTIVADA
	Electroválvula HV13	DESACTIVADA
	Electroválvula HV1B	DESACTIVADA
	Electroválvula HV20	DESACTIVADA
	Sensor LSH1A O LSH1B desactivados	Electroválvula HV1
Sensor LSH2A O LSH2B desactivados	Electroválvula HV2	ACTIVADA
Sensor LSH3A O LSH3B desactivados	Electroválvula HV3	ACTIVADA
Sensor LSH4A O LSH4B desactivados	Electroválvula HV4	ACTIVADA

Tabla 3. 6. Matriz causa efecto del estado de Sanitización

Continuación de la Tabla 3.6

Valor de presión de sensor PT1: menor a 2.5bares	Electroválvula PV19	ACTIVADA
Valor de presión de sensor PT1: mayor a 3.5bares	Electroválvula PV20	ACTIVADA
	Alarma: sobrepresión	ACTIVADA
Sensor de nivel de tanque TK1 activado	Estado de Sanitización en espera	
Valor de temp de sensor TT2: menor a 80°C	Resistencia de filtro	ACTIVADA
Sensor de nivel de tanque Pulmón activado	Alarma: falta de agua purificada	ACTIVADA
Valor de temp de sensor TT1: menor a 80°C	Alarma: baja temp de agua inyect	ACTIVADA

Especificación de requisitos del sistema

Una vez comprendidas las funciones de cada uno de los estados del proceso de destilación de agua, ha sido necesario registrar las diferentes señales de los sensores de nivel, temperatura y presión que permitan realizar el monitoreo, supervisión y control del proceso.

El sistema debe ser capaz de controlar todo el proceso de destilación de agua por simple efecto por medio de un PLC el cual gobierna los estados anteriormente descritos además de tomar las señales de los respectivos sensores de nivel, presión y temperatura (Figura 3.1), una vez procesada la información de acuerdo a un modo de control configurado se envían instrucciones a las respectivas electroválvulas que permiten el ingreso de agua y vapor necesarias para los efectos del destilador de agua. Será posible visualizar las variables del proceso y su respectivo control gracias a una pantalla táctil que contendrá una HMI de configuración, sintonización y monitoreo del sistema.

El destilador OLSA QV 2000 dispone de 9 sensores de nivel, 3 en el primer tanque (Efecto 1), 2 en el segundo tanque (Efecto 2), 2 en el tercer tanque (Efecto 3) y 2 en el cuarto tanque (Efecto 4) de estos sensores se registra la señal de 0VDC y 5 VDC (desactivación y activación correspondientemente) para el control de los estados del proceso. Además dispone de 2 sensores de temperatura, cuyas señales de corriente de 4 mA – 20 mA también son registradas, la primera es escalada para la realización del control ON-OFF cuando una válvula de filtro es activada en los estados de Destilación, Llenado, Descarga y Generación de Vapor, la señal del segundo sensor de temperatura en cambio es registrada para indicación en la HMI de la temperatura de agua destilada a la salida del proceso. Por último el destilador cuenta con un sensor de presión cuya señal de 4mA-20 mA es registrada, calibrada y escalada para la realización del control de la válvula de corte de vapor en el estado de Destilación y Generación de vapor. El PLC debe tener la capacidad de controlar dicho sensor de presión en base a un lazo de control PID el cual puede comportarse como otro modo de control tan solo configurando los parámetros característicos del lazo PID.

La pantalla táctil (Touch Screen) permitirá ingresar los parámetros necesarios para poder controlar el proceso del sistema, de tal forma que se pueda darle estabilidad al proceso controlado. La interfaz HMI dará monitoreo del proceso en forma permanente, teniendo en cuenta distintos eventos como: alarmas, registros, y estados, esta interfaz deberá ser intuitiva para que el operador no encuentre dificultad al manipular el sistema y además encuentre un entorno amigable y confiable.

A continuación en la Figura 3.3 se observa la distribución de los principales componentes del sistema, definiendo la relación de parámetros existente entre los mismos para comprender y resolver posibles problemas dentro del proceso.

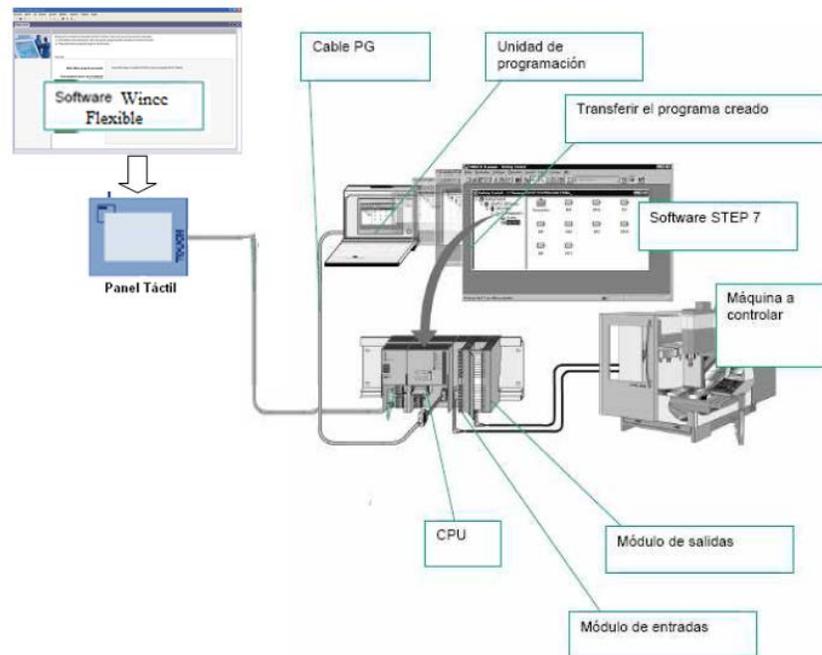


Figura 3. 3. Esquema de los componentes del sistema de Automatización

3.3. Componentes

Una vez analizada la matriz causa y efecto de cada uno de los estados del proceso de destilación de agua así como la especificación de los requisitos del sistema podemos citar las características necesarias de los componentes a utilizar.

Un controlador lógico programable PLC que disponga de:

- 27 entradas y 22 salidas digitales.
- 3 entradas y 1 salida analógica.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.
- Comunicación Industrial Ethernet.

- Bloques de regulación PID.
- Memoria de gran capacidad (128Kbytes).
- Expansibilidad flexible.

Una pantalla táctil para el manejo, supervisión y monitorización del proceso que disponga de:

- Resolución VGA.
- Tamaño de la pantalla de 10" a color.
- Comunicación Industrial Ethernet
- Voltaje de alimentación de 24VDC.
- Memoria de gran capacidad (128Mbytes).

Sensores de temperatura que cumplan con las siguientes características:

- Rango de medición de 0°C a 500°C.
- Conexión a tres hilos.
- Fáciles de acoplar a transmisores de temperatura.

Sensores de nivel que cumplan con las siguientes características:

- Tipo Biestable magnético.
- Máxima temperatura de 160°C.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

Electroválvulas que cumplan con las siguientes características:

- 18 electroválvulas de 3 vías dos posiciones.
- Rango de presión de operación de 0 a 8 bares.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

Fuente de alimentación que cumpla con las siguientes características:

- Voltaje de alimentación de 100 a 200VAC.
- Voltaje de salida de 24VDC.
- Corriente de salida de 5A.

Transductor de presión que cumpla con las siguientes características:

- Rango de medición a la entrada 4 a 20mA.
- Salida de 2 a 18 PSI.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

Relés que cumplan con las siguientes características:

- 18 relés de potencia.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.
- Corriente de conmutación máxima 24A.

3.4. Diagrama de Bloques del Hardware del Sistema

El siguiente diagrama de la Figura 3.4 muestra como está concebido el sistema de control del proceso de destilación de agua para un funcionamiento en lazo cerrado.

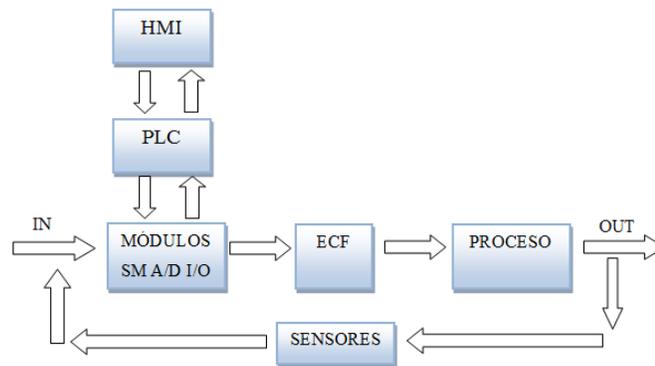


Figura 3. 4. Diagrama de bloques del sistema

HMI: Representa la Interfaz Humano Máquina (Siemens MP277), en donde se puede configurar y visualizar el funcionamiento del sistema.

PLC: Controlador Lógico Programable, permite el control de todo el proceso.

SM: Son los módulos de expansión de entradas y salidas digitales/analógicas que proporcionan el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema.

ECF: Elementos de control final (Electroválvulas) dispositivos que se abren o cierran dependiendo de la variación de voltaje de alimentación suministrado.

SENSOR: Dispositivo que permite medir una variable física que junto a un transductor se convierte en una señal eléctrica para que puedan ser interpretadas por el controlador.

3.5. Diagrama de bloques del PLC

Los siguientes diagramas de bloques representan todas las entradas y salidas tanto digitales como analógicas que van a ir conectadas en el PLC. Ver: Figura 3.5, Figura 3.6, Figura 3.7.

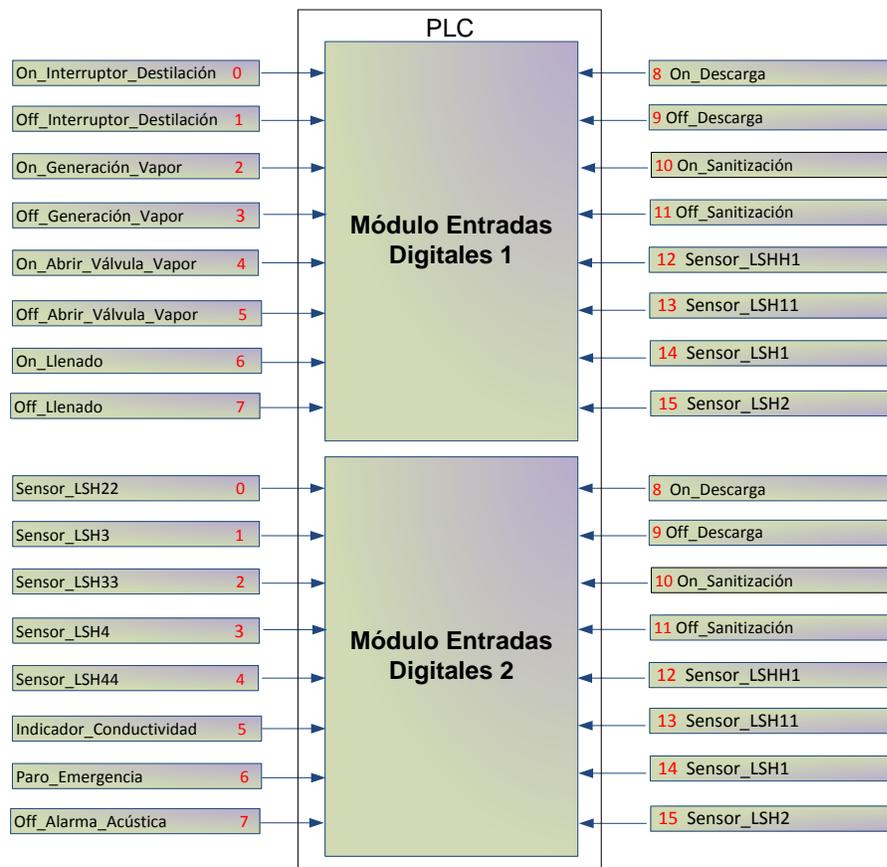


Figura 3. 5. Diagrama de Bloques de Entradas Digitales

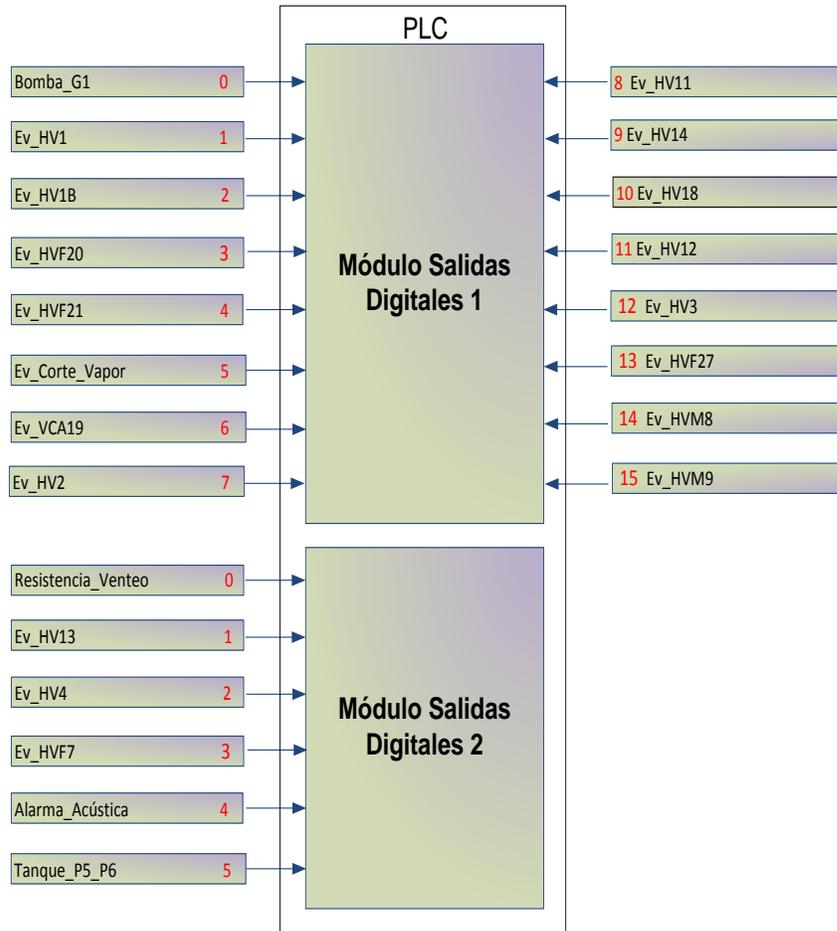


Figura 3. 6. Diagrama de Bloques de salidas Digitales

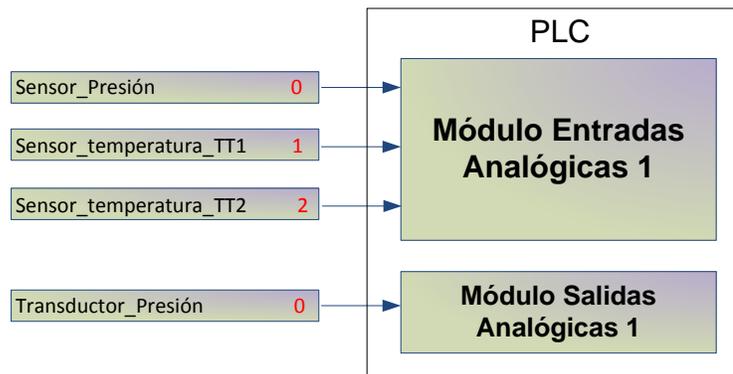


Figura 3. 7. Diagrama de Bloques de Entradas y Salidas Analógicas

3.6. Diagrama de Comunicación

Para realizar la comunicación entre los principales dispositivos del proceso se ha utilizado el protocolo Industrial Ethernet TCP/IP, y su conexión se ha realizado tal como lo muestra el siguiente diagrama (Figura 3.8).

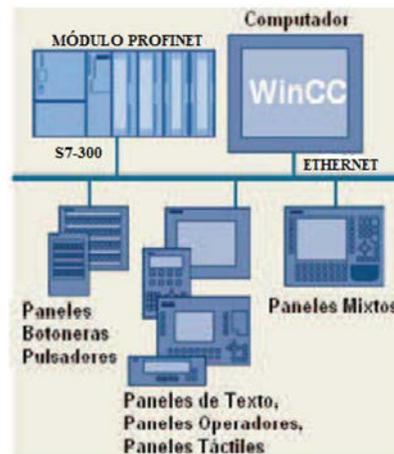


Figura 3. 8. Diagrama de Comunicación

El diagrama de la Figura 3.8 permite identificar las diferentes etapas de conexión utilizadas entre el PLC, la Pantalla Táctil y el computador.

Comunicación Industrial Ethernet

En el sector industrial, las transmisiones de datos se han basado tradicionalmente en la tecnología de bus de campo. Existen muchos tipos y estándares diferentes, por lo que la interoperabilidad resulta complicada y costosa; esta es la razón principal por la que se empezó a considerar la posibilidad de utilizar la tecnología Ethernet en las aplicaciones industriales. Este estándar presenta otras ventajas adicionales:

Fiabilidad: Es un estándar abierto bien definido, lo que significa que la interoperabilidad es más sencilla y los componentes se pueden obtener de múltiples fuentes. Las redes Ethernet son abiertas y transparentes.

Velocidad: A las velocidades de transmisión de 10 Mbits/s y 100 Mbits/s se han sumado en los últimos tiempos soluciones Gigabit. En cambio, los protocolos de bus de campo más rápidos trabajan a 12 Mbits/s, y la mayoría lo hacen a menos de 2 Mbits/s.

Determinismo: Ya existen protocolos que organizan los datos según su prioridad, lo que hace de Ethernet una tecnología casi determinista.

Para manejar la comunicación entre el PLC, el PC y la pantalla táctil, en este proyecto se ha optado por la comunicación Industrial Ethernet tal como lo muestra la Figura 3.9.

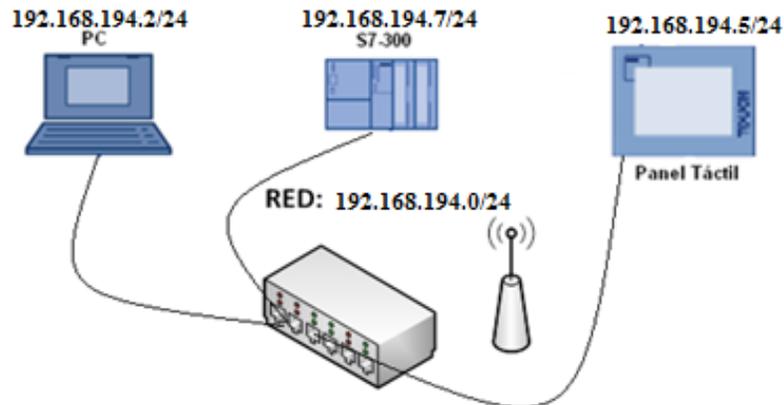


Figura 3. 9. Comunicación Ethernet

Cable de Comunicación

Para la comunicación de los diferentes dispositivos del sistema se requiere de un switch y un Cable de Ethernet (Cable de red Figura 3.10) según el diagrama de la Figura 3.9, que permita la configuración tanto del PLC como de la pantalla táctil y su respectiva interacción.



Figura 3. 10. Cable de Ethernet

3.7. Diagrama de Conexiones de Armario

Las diferentes etapas de las conexiones eléctricas realizadas entre cada uno de los dispositivos del sistema se muestran en el DIAGRAMA GENERAL DE CONEXIONES DE ARMARIO OLSA QV-2000 PLANO 1/1, este diagrama permite identificar dichas etapas de forma clara y precisa.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE

En el presente capítulo se realiza una descripción de los programas de control que serán implementados en el PLC y en el Panel Táctil. Se explican los software usados para la programación, así como las variables, tecnologías y procesos diseñados.

Debido a que la empresa utiliza tecnología de la marca SIEMENS en todos sus procesos, el PLC y pantalla táctil para este proyecto serán de dicha marca, por tanto para la programación se ha utilizado el programa Simatic Manager STEP 7 y WinCC flexible.

4.1. Software de Programación del PLC

Para la realización del proyecto de automatización del proceso de destilación de agua se ha utilizado un PLC SIEMENS S7-300. Para desarrollar el programa de dicho PLC se ha empleado el software SIMATIC STEP 7, el mismo que ha permitido una programación sencilla de cada estado del proceso. En la Figura 4.1 se muestra el flujo de información del proceso.

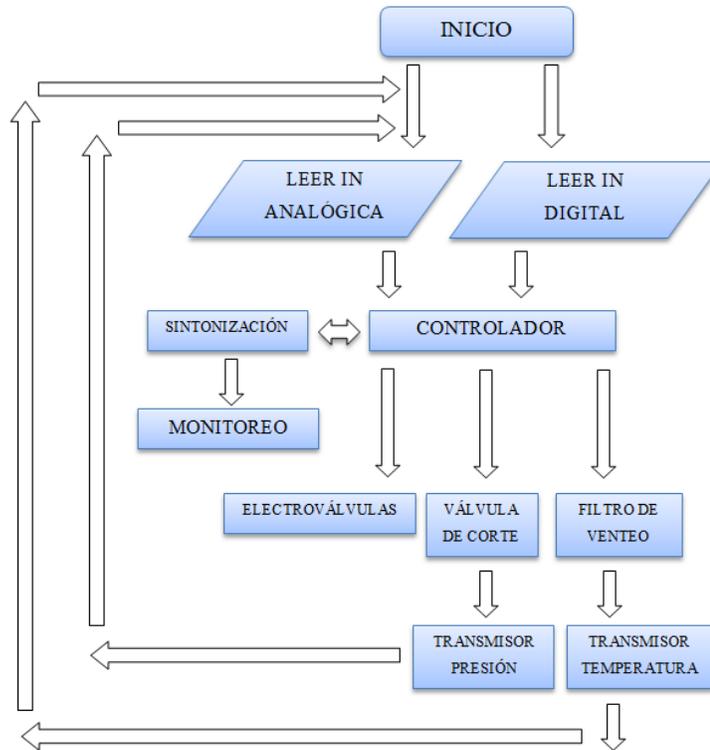


Figura 4. 1. Diagrama de flujo del sistema

4.1.1. Regulación del controlador PID

Para controlar la variable de presión requerida en el proyecto, el control se realiza con las funciones PID que están integradas en el PLC, en este caso la función que se utilizará es la FB 41 CONT_C, que sirve para la regulación de procesos industriales con magnitudes de entrada y salida continuas. La función FB 41 CONT_C puede regular fácilmente procesos como el nivel, la presión o el caudal.

Este bloque de función se basa en un algoritmo matemático PID, por tanto tendrá que ejecutarse cíclicamente, y los resultados obtenidos de dicho algoritmo, así como los valores de sus parámetros, se guardaran en una DB. Por lo tanto, por cada función FB41 se necesita una DB de instancia.

Regulación continua con la función FB 41“CONT_C”¹⁴

Cuando se proceda a programar la DB de instancia de esta función en la aplicación STEP7, mostrará el aspecto de la Figura 4.2. El lenguaje utilizado para realizar el control del proceso es el KOP (LADDER).

En este bloque, los parámetros de la izquierda son las ENTRADAS de la función; alguno de los cuales son solo de lectura, otros de lectura y escritura, otros son los parámetros PID, etc. En cambio, todos los parámetros situados a la derecha del bloque, son las SALIDAS, y todas son de lectura. La función asigna como valores de salida toda la información de la regulación que se está realizando.

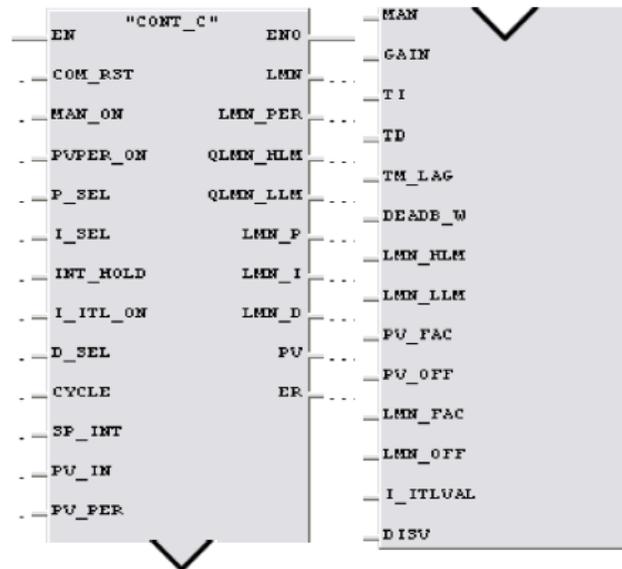


Figura 4. 2. Aspecto de la función FB 41“CONT_C”

¹⁴http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_Funcionament_FB41.pdf

Esquema de bloques de la función PID FB41 “CONT_C”

Para poder entender la función FB 41, hay que observar el esquema de bloques de la Figura 4.3. Este esquema se va a dividir en tres partes; una parte superior, una intermedia y una inferior.

- **Parte superior:**

En esta parte se realiza la comparación entre la consigna y el valor real del proceso normalizado, y así crear el error de regulación.

- **Parte intermedia:**

Se pueden conectar o desconectar las funciones parciales del regulador (P, PI y PID), que se aplicarán al error originado en la parte superior. Se introducen los valores de los parámetros de cada una de las acciones (K_p , K_i y K_d) y se lee la salida que corresponde a cada parámetro y, teniendo en cuenta la perturbación DISV, originar la salida real del regulador.

- **Parte inferior:**

En esta última parte se obtiene la salida que origina el regulador, ya sea manual o automáticamente. Se pueden establecer límites para esta señal de control y se transforma en números reales y en formato de periferia.

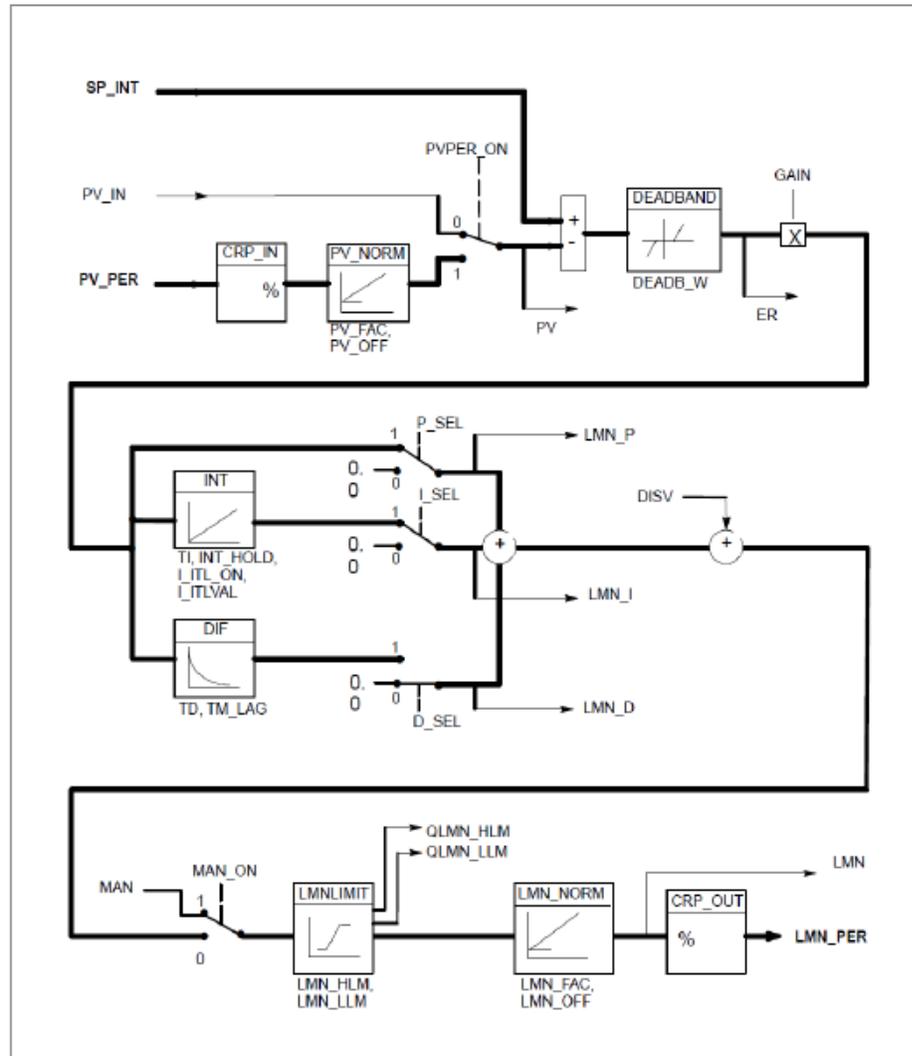


Figura 4. 3. Esquema de bloques

Descripción de los parámetros de la parte superior

En la siguiente Figura 4.4 se puede observar la entrada de esta función, en la que se genera el error de regulación.

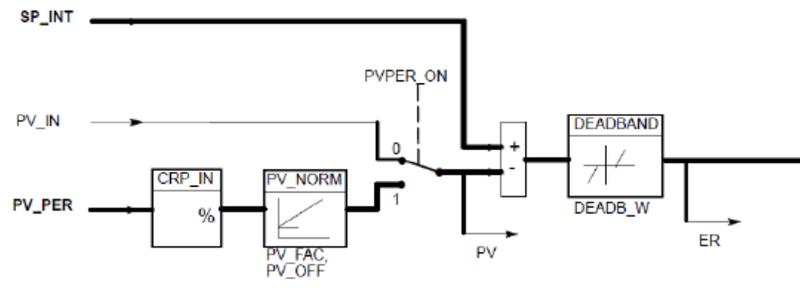


Figura 4. 4. Parte superior de la Función FB41 "CONT_C"

SP_INT: con este parámetro se fija la consigna del lazo de regulación; se tratará de un número real y, normalmente, de un porcentaje, de -100.0 % hasta el 100.0 % (-10v a 10v) si es bipolar y de 0 a 100% (0 a 10v) si es unipolar. Existe la opción de introducir directamente el valor de la magnitud física, pero en este caso habría que adaptar los parámetros PV_FAC y PV_OFF de la función PV_NORM, tal y como se verá más adelante. El valor inicial de este parámetro es cero, y es de lectura-escritura.

PVPER_ON: mediante este parámetro binario definiremos el modo de lectura al valor del proceso (PV). Si es "0", leeremos el valor del PV desde el parámetro PV_IN; si es "1", se leerá desde el parámetro PV_PER, como de costumbre. Es un valor de lectura – escritura, y el inicial es "0".

PV_PER: en este parámetro recibiremos la información que nos proporcione directamente un sensor, es decir, el valor de la lectura de una tarjeta analógica. Así, este parámetro guardará la dirección de la entrada a la que está conectada el sensor (PEW...). Cuando el sensor sea de una única polaridad (0...10 V) y la medición se encuentre en rango nominal, el valor estará comprendido entre 0 y 27648 y, cuando sea bipolar, el valor se encontrará entre -27648 y 27648 (-10v...10v).

CPR_IN: esta función transforma los valores enteros de PV_PER a valores reales, comprendidos entre -100% y 100%, para el caso bipolar y entre 0 y 100%, para el caso unipolar. Para realizar este cambio se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{CPR_IN} = \text{PV_PER} \times (100/27648) \text{ (Ec. 4.1)}$$

PV_NORM: esta función normaliza los porcentajes de los valores proporcionados por el sensor, adecuando los parámetros PV_FAC y PV_OFF, tal y como se puede apreciar en la siguiente fórmula:

$$\text{PV_NORM (Salida)} = \text{CPR_IN (Salida)} \times \text{PV_FAC} + \text{PV_OFF} \text{ (Ec. 4.2)}$$

PV_FAC: factor del valor del proceso. Multiplica la salida de la función CPR_IN, para adaptar los valores proporcionados por el sensor a un nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero inicialmente será 1.

PV_OFF: el offset del valor del proceso. Añade un valor a la salida de la función CPR_IN para adaptarlo al nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero normalmente será 0.

PV_IN: en cuanto a esta entrada, tendríamos que adaptar el valor entero que nos proporciona el sensor con las demás funciones del autómata para convertirlo en valor real, y para que, de este modo, la función realice una correcta comparación con SP_INT. Se utiliza cuando el valor del PV es real (entre el -100.0 % y el 100.0 %) o haya sido adaptado al valor de la magnitud física (en formato real DWORD).

PV: la lectura del valor del proceso se guarda en este parámetro y estará en números reales, porcentajes (-100.0 % - 100.0 %) o en cualquier otra unidad. Es sólo de lectura.

DEADB_W: después de realizar la comparación, podremos aplicar el DEAD_BAND a lo que vaya a ser el error. Por ejemplo, si se quiere eliminar las fluctuaciones o el “ruido” que puede provocar un sensor. Así pues, introduciendo el número real en este parámetro, definiremos la amplitud de esta banda. El valor inicial es 0.0 y eso significa que DEAD_BAND está desconectado.

Cuanto más ancha sea esta banda, menos precisión tendrá la regulación, ya que, mientras el error no salga de esta banda, el regulador no se dará cuenta de que ha existido alguna variación en el error.

En la Figura 4.5 se puede ver como se relacionan los parámetros de creación de error (ER), consigna, PV y DEAD_BAND.

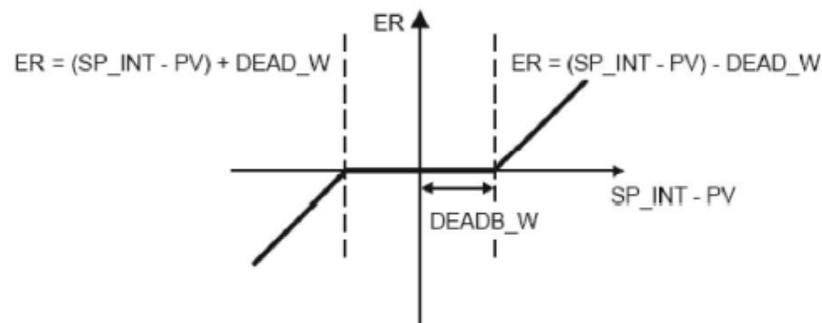


Figura 4. 5. Error con Dead Band

ER: error de regulación. Es sólo de lectura y hace referencia al error de lazo del proceso que estamos controlando en el momento. Su valor estará en números reales.

Descripción de los parámetros de la parte intermedia

Se puede observar en la parte del diagrama de bloques que corresponde a los parámetros de configuración del algoritmo de regulación PID. Los parámetros D e I pueden conectarse y desconectarse individualmente, mientras que la acción P estará activada mientras haya señal de entrada.

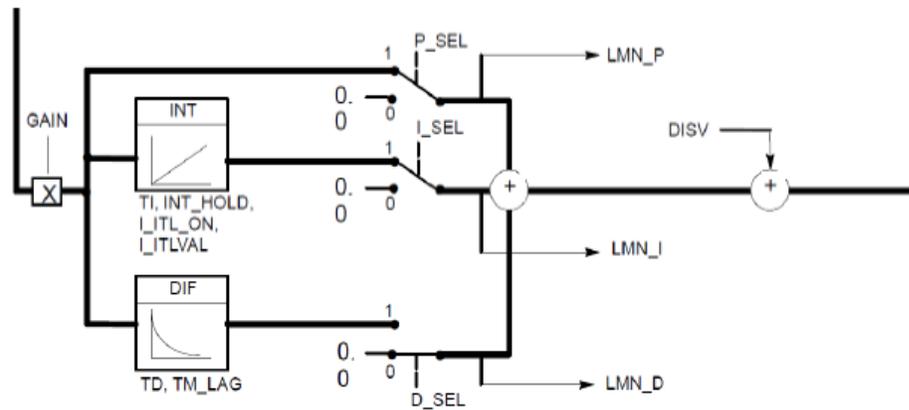


Figura 4. 6. Parte intermedia de la función FB41 "CONT_C"

El funcionamiento se basa en el algoritmo matemático de la expresión 1.7 (Capítulo 2).

GAIN: la ganancia proporcional del regulador será (K_p), y puede adquirir cualquier valor real positivo o negativo.

La acción proporcional puede ser directa o inversa, es por esto que este parámetro tiene la opción de incluir números negativos o positivos. En el caso de este proyecto existe relación directa entre la consigna y la variable a controlar, ya que si aumentamos la consigna aumenta también la presión del depósito y viceversa.

Si el valor de la ganancia es cero el valor de salida será también cero, independientemente de los valores T_i y T_d .

Función INT: este bloque da la salida del regulador correspondiente al efecto integral, según los parámetros T_i , IN_HOLD, I_ITL_ON, I_ITLVAL.

T_i : es el tiempo de la acción integral y su unidad se fijará en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro CYCLE ($T_i \geq \text{CYCLE}$) y tendrá un valor inicial de 20 segundos ($T_i \# 20S$).

IN_HOLD: cuando este parámetro binario se activa, se congela la salida del integrador en ese momento, independientemente de la evolución del error.

I_ITLVAL: La salida del integrador puede forzarse en cualquier momento, mediante este parámetro de número real. El valor inicial es 0.0. Este parámetro está relacionado con el parámetro I_ITL_ON.

I_ITL_ON: Cuando este parámetro binario este activado se forzara la salida del integrador introducida en el parámetro I_ITLVAL. Función DIF: este bloque

corresponde al efecto derivativo y se puede configurar según los parámetros T_d y TM_LAG .

T_d : es el tiempo de la acción derivada y su unidad se fija en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro $CYCLE$ ($T_d \geq CYCLE$) y tendrá un valor inicial de 10 segundos ($T\#10S$).

TM_LAG : el efecto de la acción derivativa se puede retrasar con este parámetro, según el tiempo introducido en el mismo. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro $CYCLE$ ($TM_LAG \geq CYCLE/2$) y tendrá un retardo inicial de 2 segundos ($T\#2S$).

P_SEL , I_SEL y D_SEL : mediante estos parámetros binarios, se pueden configurar los diferentes tipos de reguladores (P, I, PI, PD o PID). El regulador predeterminado en la configuración inicial es del tipo PI, por lo tanto, $P_SEL = "1"$, $I_SEL = "1"$ y $D_SEL = "0"$.

LMN_P , LMN_I y LMN_D : estos parámetros reales son sólo de lectura y son las salidas de las tres acciones del regulador. Habrá señal de salida mientras que este activada la acción que corresponde de cada uno de estos tres parámetros.

$DISV$: se podrá simular una perturbación en el proceso con este parámetro, sumando o restando un valor a la salida que origina el regulador.

Descripción de los parámetros de la parte inferior

En el diagrama de bloques de la Figura 4.7 aparecen los parámetros de configuración de la salida originada por el regulador, se puede utilizar el modo manual o automático, establecer límites y modificar la salida provisional en porcentajes, números reales y en formato de periferia.

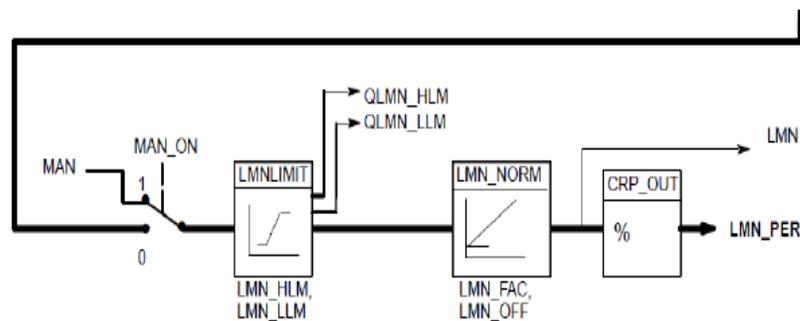


Figura 4. 7. Parte inferior de la función FB41 "CONT_C"

MAN_ON: este regulador, al igual que todos, tiene la opción de funcionar en modo manual o en modo automático. Si este bit fuese un "1", el valor escrito en el parámetro MAN se transferiría a la salida del regulador. Por ejemplo, si escribimos en el parámetro MAN el número 50, como estos números son porcentajes de la salida unipolar (0-10v), la salida dará 5v.

Cuando el bit MAN_ON es "0" es cuando se ejecuta el algoritmo PID de la Figura 4.7.

Función LMNLIMIT: en el caso de que sea necesario establecer límites a la salida del regulador, se podría hacer mediante los parámetros LMN_HLM y LMN_LLM.

LMN_HLM: es el límite superior que generará el regulador. Funcionando tanto manual como automáticamente, este límite no se podrá superar nunca. Cuando el valor de salida alcanza el valor de LMN_HLM, se activa el parámetro binario QLMN_HLM, lo cual indica que se ha llegado al valor máximo de salida.

LMN_LLM: es el límite inferior que generará el regulador. Funcionando tanto manual como automáticamente, el límite de salida nunca será menor que el parámetro LMN_LLM.

Cuando el valor de salida alcanza el valor de LMN_LLM, se activa otro parámetro binario, QLMN_LLM, lo cual indica que hemos llegado al valor mínimo de salida.

Función LMN_NORM: se utiliza para normalizar la salida originada por el regulador y convertirlo en porcentajes, según la función de entrada PV_NORM, conforme a la siguiente fórmula:

$$LMN = LMNLIMIT \times LMN_FAC + LMN_OFF \text{ (Ec. 4.3)}$$

LMN_FAC: con este parámetro se puede modificar la salida del regulador. Es un número real.

LMN_OFF: con este parámetro se puede añadir un offset a la señal de salida. Al igual que el anterior parámetro es un número real.

LMN: es la salida de la función LMN_NORM, y proporciona la salida en porcentajes (sólo de lectura).

Función CPR_OUT: convierte automáticamente el valor real de la salida en un número entero y este resultado lo asigna al parámetro LMN_PER, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{LMN_PER} = \text{LMN} (27648/100) \text{ (Ec. 4.4)}$$

Otros parámetros de la función FB41

Aunque se ha detallado el diagrama de bloque de la Figura 4.3, quedan dos parámetros que merece la pena destacar. Estos parámetros aparecen en la Figura 4.2 y son CYCLE y COMRST.

CYCLE: con este parámetro se puede dar un valor a la frecuencia de muestreo, es decir, la frecuencia con la que se llama al bloque FB41.

El cálculo de los valores en este bloque de regulación sólo será correcto si el bloque se llama en intervalos regulares. Por esta razón se debería llamar a los bloques de regulación desde una OB de alarma cíclica (OB30 a OB35). El intervalo se deberá especificar en el parámetro CYCLE.

COMRST: con este parámetro binario se resetea o reinicia el bloque FB41, cuando se le da el valor de 1. Este reset se puede realizar en cualquier momento y lo más adecuado sería programar este reset en el OB100, que es de arranque. Al arrancar la CPU (p.ej. tras conmutar el selector de modo de operación de STOP a RUN o al conectar la tensión de red) el bloque de organización OB100 se procesa antes de la ejecución cíclica del programa (OB1).

Después de activar este parámetro, los valores asignados a LMN_P, LMN_I y LMN_D se borran y, por tanto, la salida también es cero. Si se mantiene activado este parámetro, el regulador se bloquea, por lo que resulta necesario que durante la regulación sea “0”.

4.2. Programación del PLC

Para la elaboración del programa de control del PLC se ha escogido el lenguaje ladder (KOP), las respectivas instrucciones se elaboran en segmentos y están basados en los seis estados del proceso de destilación de agua y sus respectivas matrices de causa y efecto.

Antes de empezar con la programación, es necesario crear una tabla de símbolos (Tablas 4.1a, 4.2b, 4.3c, 4.4d, 4.5e, 4.6f) que permita identificar y establecer entradas, salidas tanto analógicas como digitales así como marcas auxiliares con sus respectivas direcciones para poder comunicarse con el software de la HMI.

	Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
1		ABRIR_VAL_VAPOR	M 0.2	BOOL	
2		ALARMA_ACUSTICA	A 2.4	BOOL	
3		AUX1	M 0.6	BOOL	
4		AUX10	M 1.7	BOOL	
5		AUX11	M 2.0	BOOL	
6		AUX12	M 2.1	BOOL	
7		AUX13	M 2.2	BOOL	
8		AUX14	M 2.3	BOOL	
9		AUX15	M 2.4	BOOL	
10		AUX16	M 2.5	BOOL	
11		AUX17	M 2.6	BOOL	
12		AUX18	M 2.7	BOOL	
13		AUX19	M 3.0	BOOL	
14		AUX2	M 0.7	BOOL	
15		AUX20	M 3.1	BOOL	
16		AUX21	M 3.2	BOOL	
17		AUX22	M 3.3	BOOL	
18		AUX23	M 3.4	BOOL	
19		AUX24	M 3.5	BOOL	
20		AUX25	M 3.6	BOOL	
21		AUX26	M 3.7	BOOL	
22		AUX27	M 4.0	BOOL	
23		AUX28	M 4.1	BOOL	
24		AUX29	M 4.2	BOOL	
25		AUX3	M 1.0	BOOL	
26		AUX30	M 4.3	BOOL	
27		AUX31	M 4.4	BOOL	
28		AUX32	M 4.5	BOOL	
29		AUX33	M 4.6	BOOL	
30		AUX34	M 4.7	BOOL	

Tabla 4. 1. Tabla de símbolos (a)

31		AUX35	M 5.0	BOOL	
32		AUX36	M 5.1	BOOL	
33		AUX37	M 5.2	BOOL	
34		AUX38	M 5.3	BOOL	
35		AUX39	M 5.4	BOOL	
36		AUX4	M 1.1	BOOL	
37		AUX40	M 5.5	BOOL	
38		AUX41	M 5.6	BOOL	
39		AUX42	M 5.7	BOOL	
40		AUX43	M 6.0	BOOL	
41		AUX44	M 6.1	BOOL	
42		AUX45	M 6.2	BOOL	
43		AUX46	M 6.3	BOOL	
44		AUX47	M 6.4	BOOL	
45		AUX48	M 6.5	BOOL	
46		AUX49	M 6.6	BOOL	
47		AUX5	M 1.2	BOOL	
48		AUX50	M 6.7	BOOL	
49		AUX51	M 7.0	BOOL	
50		AUX52	M 7.1	BOOL	
51		AUX53	M 7.2	BOOL	
52		AUX54	M 7.3	BOOL	
53		AUX55	M 7.4	BOOL	
54		AUX56	M 7.5	BOOL	
55		AUX57	M 7.6	BOOL	

Tabla 4. 2. Tabla de símbolos (b)

56	AUX58	M	7.7	BOOL	
57	AUX59	M	8.0	BOOL	
58	AUX6	M	1.3	BOOL	
59	AUX60	M	8.1	BOOL	
60	AUX61	M	8.2	BOOL	
61	AUX62	M	8.3	BOOL	
62	AUX63	M	8.4	BOOL	
63	AUX64	M	8.5	BOOL	
64	AUX65	M	8.6	BOOL	
65	AUX66	M	8.7	BOOL	
66	AUX67	M	9.0	BOOL	
67	AUX7	M	1.4	BOOL	
68	AUX8	M	1.5	BOOL	
69	AUX9	M	1.6	BOOL	
70	BIT_RESET_PID	E	2.7	BOOL	
71	COMPLETE RESTART	OB	100	OB 100	Complete Restart
72	Conductividad	E	2.5	BOOL	
73	CONT_C	FB	41	FB 41	Continuous Control
74	CONTACTO_ON_OFF	A	2.3	BOOL	
75	CYC_INT5	OB	35	OB 35	Cyclic Interrupt 5
76	Cycle Execution	OB	1	OB 1	
77	Datos_HMI	DB	2	DB 2	
78	Datos_ON_OFF	DB	10	DB 10	
79	Datos_PID	DB	7	DB 7	
80	Datos_T1_ON_OFF	DB	4	DB 4	
81	Datos_T2_Agua_Des...	DB	6	DB 6	

Tabla 4. 3. Tabla de símbolos (c)

82	DB41_PID	DB	41	FB 41	
83	DESCARGA	M	0.4	BOOL	
84	DESTILACION	M	0.0	BOOL	
85	E1_Destilacion	FC	1	FC 1	
86	E2_Generacion_vapor	FC	2	FC 2	
87	E3_Abrir_val_vapor	FC	3	FC 3	
88	E4_Ulenado	FC	4	FC 4	
89	E5_Descarga	FC	5	FC 5	
90	E6_Santizacion	FC	6	FC 6	
91	Escalamiento	FB	1	FB 1	
92	Escalamiento_temp1	FB	2	FB 2	
93	Escalamiento_temp3	FB	3	FB 3	
94	G1_BOMBA	A	0.0	BOOL	
95	GEN_VAPOR	M	0.1	BOOL	
96	HV11	A	1.0	BOOL	
97	HV12	A	1.3	BOOL	
98	HV13	A	2.1	BOOL	
99	HV14	A	1.1	BOOL	
100	HV18	A	1.2	BOOL	
101	HV2	A	0.7	BOOL	
102	HV3	A	1.4	BOOL	
103	HV4	A	2.2	BOOL	
104	HVF20	A	0.3	BOOL	
105	HVF21	A	0.4	BOOL	
106	HVF27	A	1.5	BOOL	
107	HVM8	A	1.6	BOOL	
108	HVM9	A	1.7	BOOL	
109	HY1	A	0.1	BOOL	

Tabla 4. 4. Tabla de símbolos (d)

110		HY1B	A	0.2	BOOL	
111		LLENADO	M	0.3	BOOL	
112		LSH1	E	1.6	BOOL	
113		LSH2	E	1.7	BOOL	
114		LSH22	E	2.0	BOOL	
115		LSH3	E	2.1	BOOL	
116		LSH33	E	2.2	BOOL	
117		LSH4	E	2.3	BOOL	
118		LSH44	E	2.4	BOOL	
119		LSHH1	E	1.4	BOOL	
120		LSHH11	E	1.5	BOOL	
121		Nivel_STK1	PEW	272	INT	
122		OFF_ACUSTICA	E	3.0	BOOL	
123		OFF_DESCARGA	E	1.1	BOOL	
124		OFF_DESTILACIÓN	E	0.1	BOOL	
125		OFF_GEN_VAPOR	E	0.3	BOOL	
126		OFF_LLENADO	E	0.7	BOOL	
127		OFF_SANITIZACION	E	1.3	BOOL	
128		OFF_VAL_VAPOR	E	0.5	BOOL	
129		ON_DESCARGA	E	1.0	BOOL	
130		ON_DESTILACION	E	0.0	BOOL	

Tabla 4. 5. Tabla de símbolos (e)

131		ON_GEN_VAPOR	E	0.2	BOOL	
132		ON_LLENADO	E	0.6	BOOL	
133		ON_SANITIZACION	E	1.2	BOOL	
134		ON_VAL_VAPOR	E	0.4	BOOL	
135		PID_PT1	PAW	272	INT	
136		SANITIZACION	M	0.5	BOOL	
137		STOP_EMERGENCIA	E	2.6	BOOL	
138		T0	T	0	TIMER	
139		T1	T	1	TIMER	
140		t2	T	2	TIMER	
141		t3	T	3	TIMER	
142		t4	T	4	TIMER	
143		TABLA_DATOS_PID	VAT	1		
144		TCONT_CP	FB	58	FB 58	temperature PID controller with pulse generator and self-tuning
145		Temp_STK2	PEW	278	INT	
146		Temp2_STK3	PEW	286	INT	
147		VAL_CORTE_VAPOR	A	0.5	BOOL	
148		VAL_FILTRO	A	2.0	BOOL	
149		VCA19	A	0.6	BOOL	

Tabla 4. 6. Tabla de símbolos (f)

Una vez establecida la tabla de símbolos, según la Figura 4.8 se generan los bloques de organización (OB1 y OB35), los bloques de función (FB1, FB2, FB3, FB4) con sus respectivos bloques de datos (DB1, DB2, DB3 y DB4). El programa principal se encuentra en el bloque de organización OB1 el cual se ejecuta de manera cíclica y continua, por tanto su uso es inexcusable.

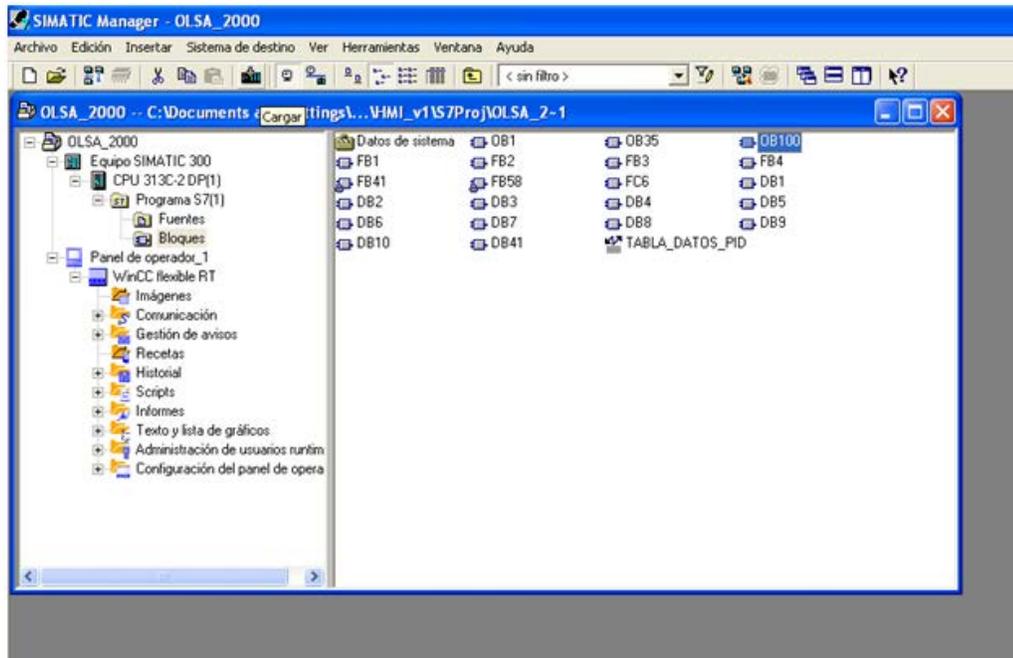


Figura 4. 8. Bloques del programa principal

Para el escalamiento de las señales analógicas de presión y temperatura se ha utilizado el concepto de pendiente de la recta aplicando esta ecuación dentro de los bloques FB1, FB2 y FB3 (Figura 4.9).

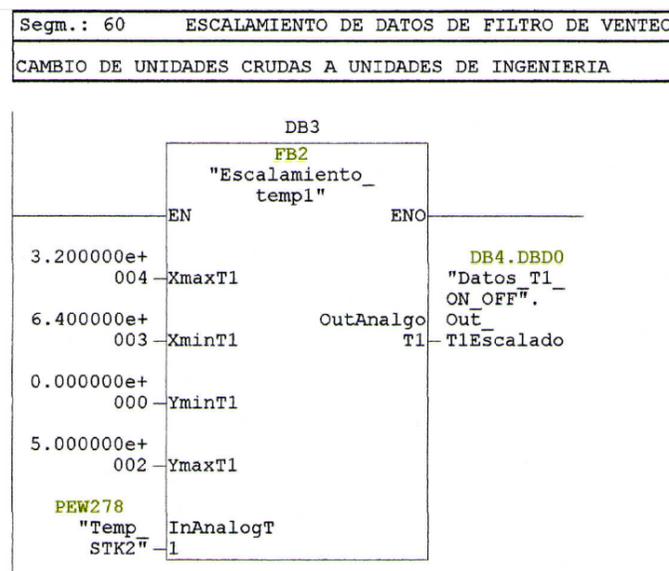


Figura 4. 9. Bloque de Función FB2

Para el control ON-OFF se utilizó el bloque FB4 (Figura 4.10) donde se configuraron el lazo de histéresis, el Set Point y la activación del contacto del filtro de venteo.

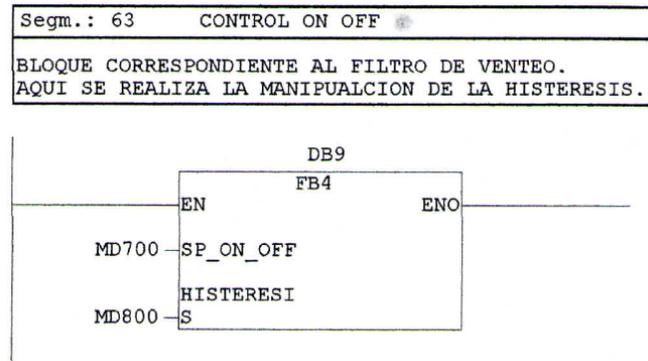


Figura 4. 10. Bloque de función FB4 del control ON-OFF

Para realizar la regulación continua de este proyecto se va a utilizar la función FB41 CONT_C, esta es programada en la OB35 de alarma periódica la cual se utiliza debido a su independencia con respecto al tiempo de ciclo del PLC. Al crear el bloque de organización OB35 se crea automáticamente la tabla PID mostrada en la Tabla 4.7 para configurar el lazo de control PID.

Con el bloque y la tabla listos se podrán asociar las señales a los parámetros adecuados de la función FB41, se trata de PV_IN, LMN_PER y COM_RST (Figura 4.11).

Estos parámetros constituyen la conexión entre el sistema o proceso y la función PID del regulador. La conexión que se ha hecho en el hardware tiene que quedar reflejada a la hora de programar, por tanto el bloque del PID se muestra en la Figura 4.11.

TABLA_DATOS_PID -- OLSA_2000\Equipo SIMATIC 300\CPU 313C-2 DP(1)\Programa S7(1)					
	Operando	Símbolo	Formato de visualización	Valor de estado	Valor de forzado
1	//PARAMETROS BOOLEANOS DE ENTRADA				
2	DB41.DBX 0.0	"DB41_PID".COM_RST	BOOL		
3	DB41.DBX 0.1	"DB41_PID".MAN_ON	BOOL		
4	DB41.DBX 0.2	"DB41_PID".PVPER_ON	BOOL		
5	DB41.DBX 0.3	"DB41_PID".P_SEL	BOOL		
6	DB41.DBX 0.4	"DB41_PID".I_SEL	BOOL		
7	DB41.DBX 0.7	"DB41_PID".D_SEL	BOOL		
8					
9	//CONSIGA, VALOR MANUAL Y TIEMPO DE CICLO				
10	DB41.DBD 6	"DB41_PID".SP_INT	REAL		30.0
11	DB41.DBD 16	"DB41_PID".MAN	REAL		
12	DB41.DBD 2	"DB41_PID".CYCLE	TIEMPO		
13					
14	//SEÑAL DE LSENSOR Y SEÑAL NORMALIZADA				
15	DB41.DBW 14	"DB41_PID".PV_PER	HEX		
16	DB41.DBD 92	"DB41_PID".PV	REAL		
17					
18	//ERROR DE REGULACION				
19	DB41.DBD 96	"DB41_PID".ER	REAL		
20					
21	//PARAMETROS PID				
22	DB41.DBD 20	"DB41_PID".GAIN	REAL		5.0
23	DB41.DBD 24	"DB41_PID".TI	TIEMPO		T#500ms
24	DB41.DBD 28	"DB41_PID".TD	TIEMPO		T#2s
25					
26	//ACCION P, I, D				
27	DB41.DBD 80	"DB41_PID".LMN_P	REAL		
28	DB41.DBD 84	"DB41_PID".LMN_I	REAL		
29	DB41.DBD 88	"DB41_PID".LMN_D	REAL		
30					
31	//SALIDA Y SALIDA NORMALIZADA				
32	DB41.DBW 76	"DB41_PID".LMN_PER	HEX		
33	DB41.DBD 72	"DB41_PID".LMN	REAL		
34	DB41.DBD 48	"DB41_PID".PV_FAC	REAL		0.1
35	DB41.DBD 56	"DB41_PID".LMN_FAC	REAL		10.0

Tabla 4. 7. Tabla de datos PID

PV_IN = PEW272 (Escalada) Esta es la dirección de la entrada analógica (AI0.1), en la cual, estará conectada el sensor de presión, es decir la señal realimentada.

LMN_PER = PAW336 Esta es la dirección de la salida analógica (AO0.1), la cual se conectará al transductor de presión, es decir, la señal de control.

COM_RST = E2.7 Esta entrada digital se utiliza como “RESET” del bloque PID. Este bit se programa en el OB100.

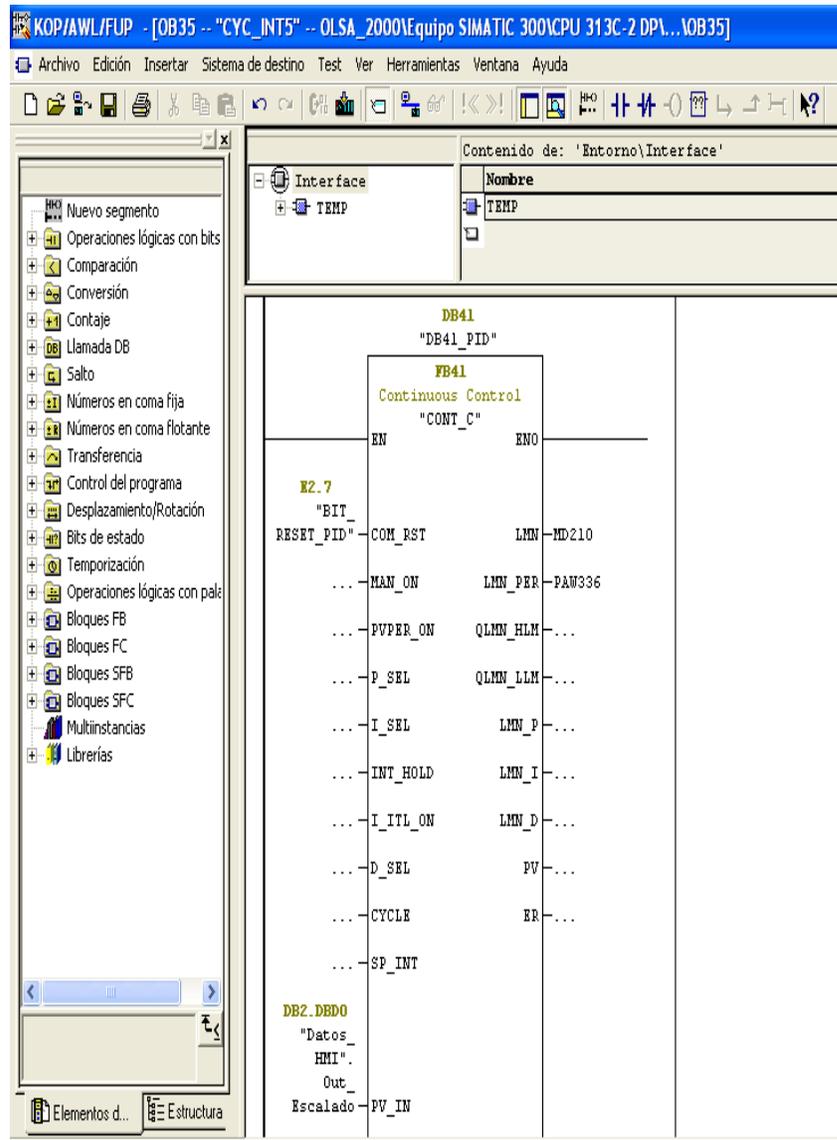


Figura 4. 11. Bloque OB35

Al activar el parámetro COM_RST (Reset del Regualdor) a través de la entrada digital se producirá el re arranque y la inicialización de los valores de salida del PID.

Esta acción se debe hacer en el paso de STOP a RUN del PLC, si no se reinicia el PID a la par que la CPU, este ira acumulando errores de regulación cada vez que se reinicie y hasta que no desaparezca este error acumulado, después de cierto tiempo, la regulación no estará dentro de los márgenes específicos del sistema para el que fue diseñado. Para evitar esto, se debe utilizar la OB100, que reseteará el PLC después de reiniciar el PID.

El programa implementado en el PLC puede apreciarse en su totalidad en el **ANEXO A**.

Parametrización del regulador PID

La parametrización del regulador se podría realizar visualizando la OB35 o la tabla de variables creada; pero el entorno STEP7 ofrece una opción sencilla y gráfica para realizar la parametrización (Figura 4.12), permitiendo modificar los elementos más importantes de la función FB41, además ofrece una visualización grafica de las variables de proceso.

- Periferia: Se lee la entrada PV_PER.
- Interno: Se lee de la entrada PV_IN (**PEW272** Esta es la dirección de la entrada analógica (AI0.1))
- Factor de normalización: PV_FAC.
- Offset de normalización: PV_OFF.
- Ancho de zona muerta: DEADB_W.
- Conectar acción P: P_SEL.
- Ganancia proporcional: GAIN.
- Conectar acción I: I_SEL.

- Tiempo de integración: T_i .
- Congelar acción I: INT_HOLD.
- Inicializar acción I: I_ITL_ON.
- Valor de inicialización: I_ITLVAL.
- Conectar acción D: D_SEL.
- Tiempo de acción derivativa: T_d .
- Retardo: TM_LAG.
- Modo automático: si $MAN_ON = 0$.
- Modo manual: si $MAN_ON = 1$

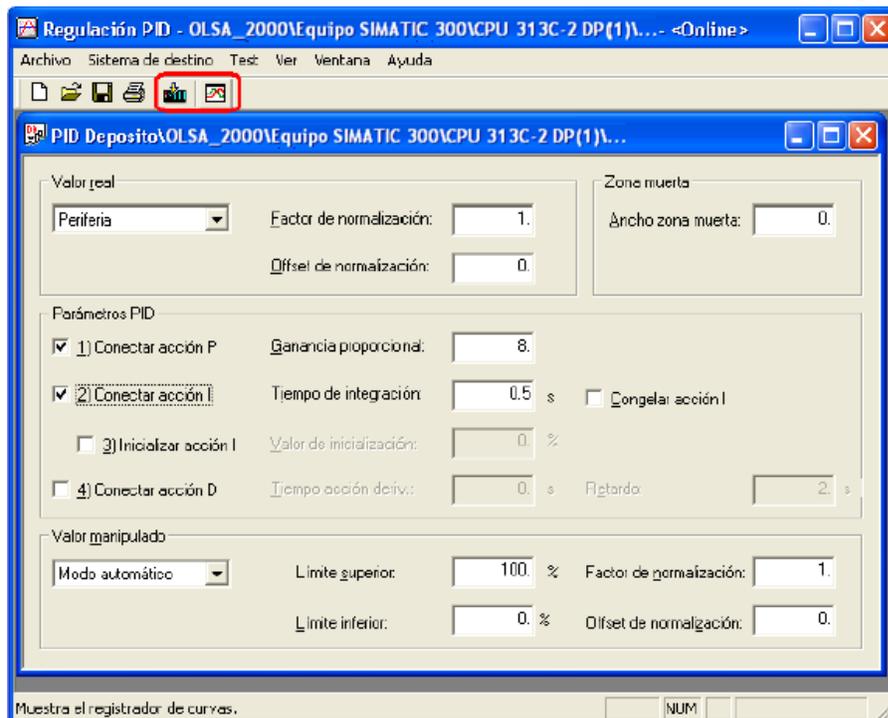


Figura 4. 12. Regulación PID Online

Todos los parámetros para la sintonización del controlador PID se irán colocando en función de las pruebas de funcionamiento la cuales se realizarán en el Capítulo 6 (Ver sección 6.2 Sintonía de los parámetros PID).

4.3. Estación de monitoreo y supervisión

Para la realización de la estación de monitoreo y supervisión se diseñó una Interfaz Hombre-Máquina o HMI (“Human Machine Interface”) desarrollada en WinCC Flexible Advanced 2008 que es la que permite presentar los datos más relevantes a un operador (humano) (Figura 4.13) y a través de la cual este controla el proceso.



Figura 4. 13. Operador utilizando pantalla táctil MP 277 10''

Diagrama de Flujo

A continuación en la Figura 4.14 se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento de la HMI, en donde se observa claramente el flujo de información y procesamiento de la misma.

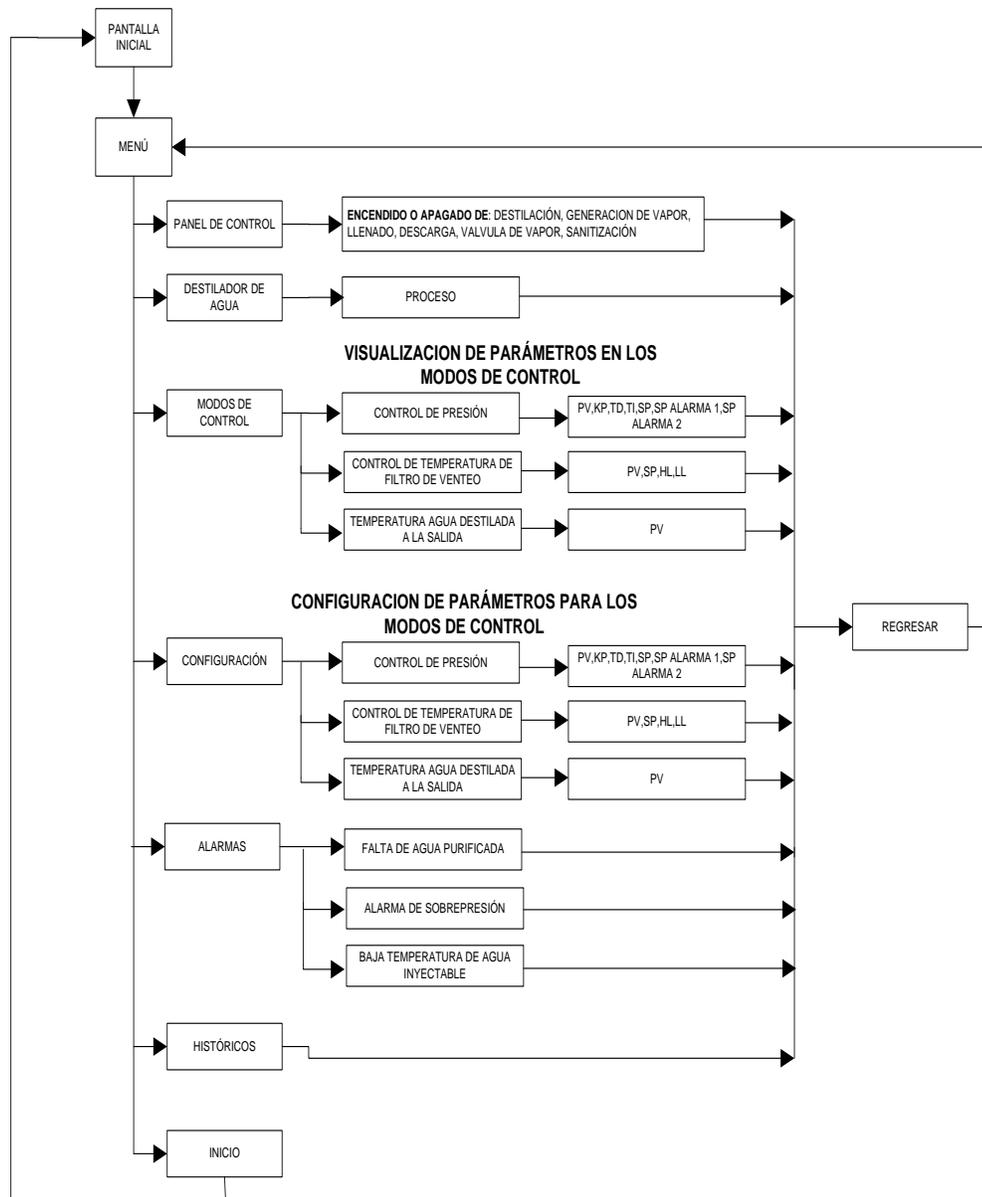


Figura 4. 14. Diagrama de flujo de HMI

Diseño de HMI con WinCC Flexible 2008 Advanced

Para facilitar al operador con las operaciones del HMI se desarrolló un sistema de pantallas con el software WinCC Flexible, para el monitoreo y control del proceso. El sistema de Monitoreo y Visualización está dividido en once pantallas o ventanas,

en las que están involucradas todas las variables del proceso. En todas las pantallas que se listan a continuación, existen botones que permiten navegar entre ellas.

PANTALLA INICIO

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.15 es la que permite el ingreso hacia el sistema de monitoreo, control y supervisión del proceso de destilación de agua.

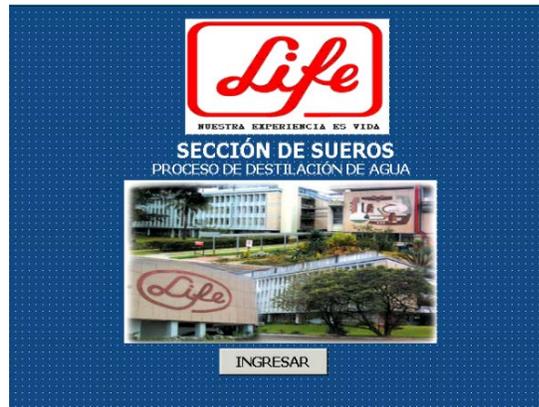


Figura 4. 15. Pantalla de INICIO

En dicha pantalla se encuentra el logo de la Empresa, una imagen de las instalaciones de LIFE y el botón INGRESAR, el cual permite acceder a la pantalla MENU PRINCIPAL para empezar a manejar el sistema.

PANTALLA DEL MENU PRINCIPAL

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.16 es la que da la bienvenida hacia el manejo del sistema.

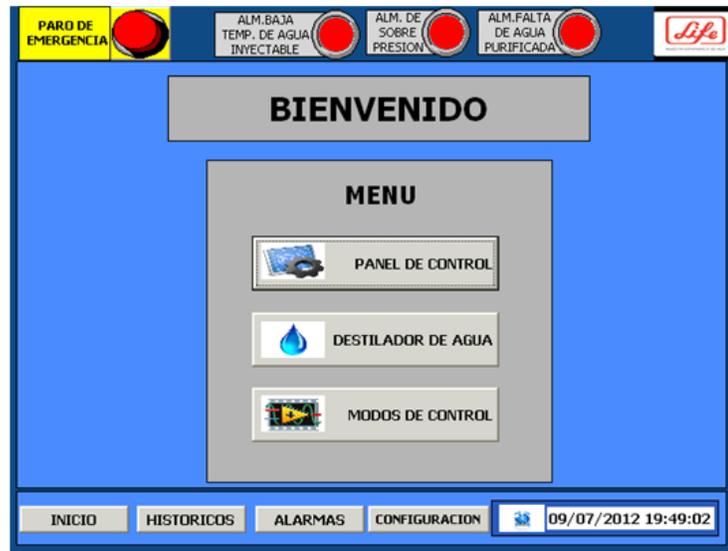


Figura 4. 16. Pantalla MENU PRINCIPAL

Esta pantalla posee en la parte superior un botón rojo que representa el botón de paro de emergencia de todo el sistema, este botón está presente en todas las pantallas del sistema por razones de seguridad. Además dispone de los siguientes botones:

PANEL DE CONTROL: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de los estados del proceso.

DESTILADOR DE AGUA: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de la animación del destilador de AGUA OLSA QV-2000.

MODOS DE CONTROL: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de los modos de control (PID/ON-OFF) de las variables del proceso.

INICIO: Botón que permite regresar hacia la pantalla inicial.

HISTÓRICOS: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de los históricos (desempeño de las variables del proceso) del proceso.

ALARMAS: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de alarmas (situaciones de riesgo o peligro) del proceso.

CONFIGURACIÓN: Botón que permite acceder a la ventana de INICIO DE SESIÓN (Figura 4.17) donde se introducen el usuario y contraseña de operación que permiten el ingreso hacia la pantalla de configuración de los parámetros más importantes de los modos de control del proceso. Esta pantalla de INICIO DE SESIÓN provee de seguridad al manejo del sistema ya que solo permite el acceso al operador (Ing. de Mantenimiento) apto para manipular el proceso.



Figura 4. 17. Ventana de INICIO DE SESIÓN

Al igual que en las demás pantallas (excepto la inicial) esta pantalla dispone en la parte inferior derecha de un reloj digital que muestra la hora del sistema y en la parte superior junto al botón de paro de emergencia tres luces indicadoras de alarmas (BAJA TEMPERATURA DE AGUA INYECTABLE, SOBREPRESIÓN y FALTA DE AGUA PURIFICADA).

PANTALLA PANEL DE CONTROL

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.18 contiene los seis principales estados del proceso de destilación de agua, los cuales pueden ser activados o desactivados a elección del operador.

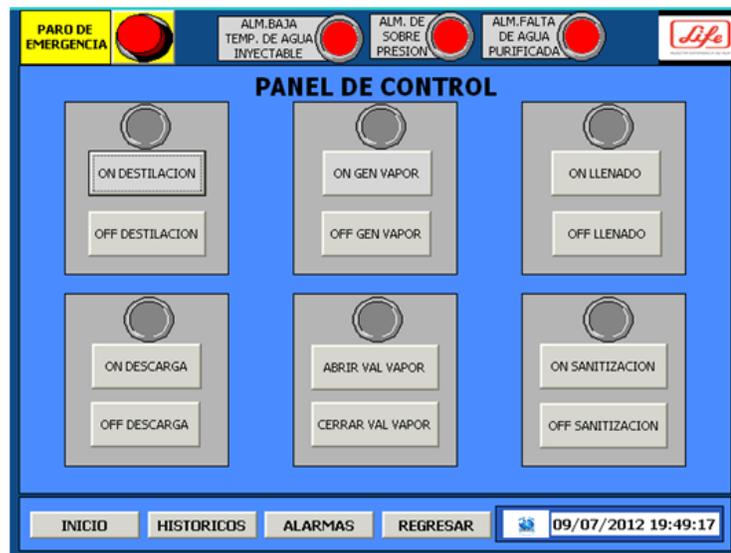


Figura 4. 18. Pantalla PANEL DE CONTROL

Esta pantalla posee en la parte superior el botón rojo de paro de emergencia de todo el sistema y las luces indicadoras de alarmas, además dispone de luces indicadoras de estado sobre los botones de ON y OFF, estos botones permiten la activación y desactivación correspondientemente de DESTILACIÓN, GENERACIÓN DE VAPOR, LLENADO, DESCARGA, ABRIR VÁLVULA DE VAPOR Y SANITIZACIÓN. Además dispone de los botones INICIO, HISTÓRICOS y ALARMAS cuya función es la misma explicada anteriormente. El botón REGRESAR permite al operador volver a la pantalla anterior de MENÚ PRINCIPAL.

PANTALLA PROCESO

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.19 es una de las más importantes ya que muestra en forma animada el estado del proceso de destilación de agua. Muestra la activación y desactivación de todas las válvulas, sensores de nivel, así como los valores de los sensores de presión y temperatura.

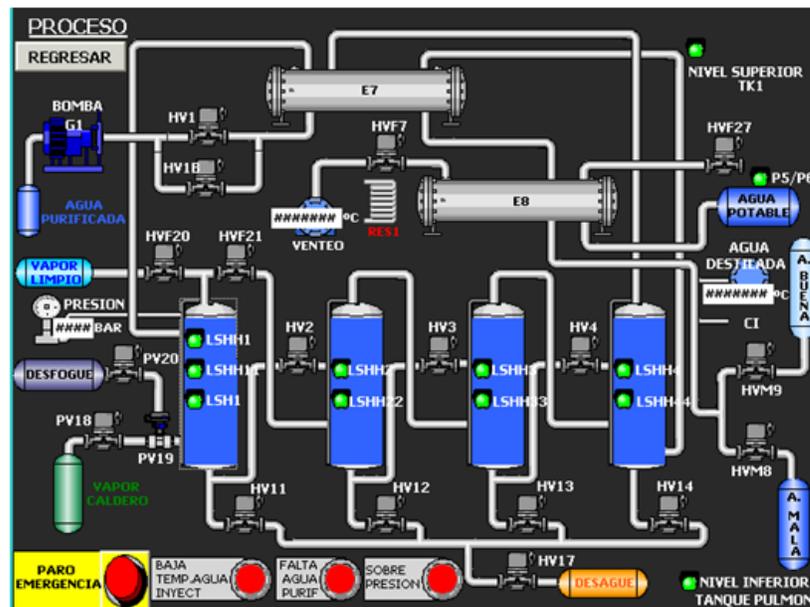


Figura 4. 19. Pantalla de ANIMACIÓN DEL PROCESO

Esta pantalla posee en la parte inferior izquierda el botón rojo de paro de emergencia de todo el sistema y las luces indicadoras de alarmas. Además dispone del botón REGRESAR el cual permite al operador volver a la pantalla anterior de MENÚ PRINCIPAL.

PANTALLA MODOS DE CONTROL

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.20 contiene un Menú sobre los modos de control configurados para el sistema.

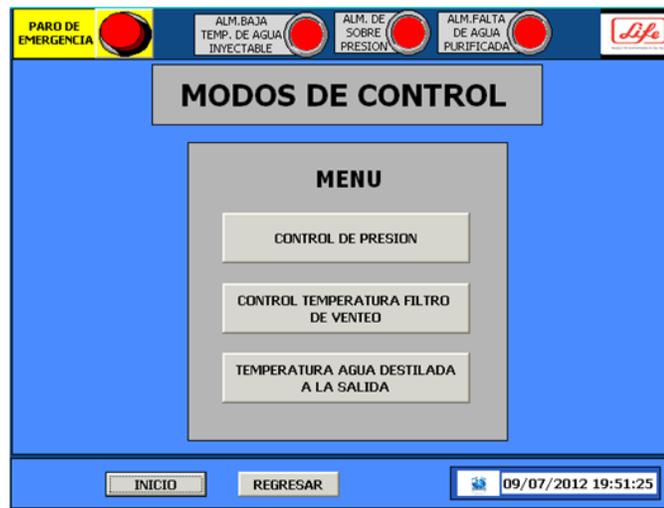


Figura 4. 20. Pantalla MODOS DE CONTROL

Los botones de esta pantalla son los siguientes:

CONTROL DE PRESIÓN: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla del control PID de la presión del efecto I del proceso.

CONTROL DE TEMPERATURA DEL FILTRO DE VENTEO: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla del control ON/OFF de la temperatura del filtro de venteo.

TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA A LA SALIDA: Botón que permite el ingreso hacia la pantalla de visualización de la temperatura del agua destilada a la salida del proceso.

Además se dispone en la parte superior el botón rojo de paro de emergencia de todo el sistema y las luces indicadoras de alarmas, el botón INICIO y REGRESAR que permiten al operador volver a las pantallas INICIAL y MENÚ PRINCIPAL respectivamente.

PANTALLA CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.21 permite al operador ajustar los controladores PID y ON/OFF de acuerdo a los estados del proceso. Además permite setear valores requeridos de cada una de las variables del proceso y visualizarlas en tiempo real.



Figura 4. 21. Pantalla CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

BLOQUE CONTROL DE PRESIÓN

En este bloque se ajusta los parámetros del controlador PID tales como la ganancia proporcional (KP), tiempo de derivación (TD) y tiempo de integración (TI), además se pueden setear el valor de presión requerido para el proceso (SP), la Alarma 1 (CONFIG ALARMA 1) y Alarma 2 del controlador (CONFIG ALARMA 2) según el estado del proceso. En PV se puede visualizar el valor de la variable presión en tiempo real.

BLOQUE CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENTEO

En este bloque se ajusta los parámetros del control ON/OFF tales como el seteo del valor de temperatura de filtro de venteo requerido para el proceso (SP) y la Banda de Histéresis (HIST), además en PV se puede visualizar el valor de la variable temperatura en tiempo real.

BLOQUE DE TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA

En este bloque se puede visualizar el valor de la variable temperatura de agua destilada a la salida del proceso en tiempo real.

Además se dispone en esta pantalla del botón rojo de paro de emergencia de todo el sistema y las luces indicadoras de alarmas, el botón INICIO y REGRESAR que permiten al operador volver a las pantallas INICIAL y MENÚ PRINCIPAL

respectivamente, el botón HISTÓRICOS que permite el ingreso hacia la pantalla de los históricos (desempeño de las variables del proceso) del proceso.

El botón GUARDAR permite la generación de los reportes en Microsoft Excel con el almacenamiento de los valores de las variables del proceso.

PANTALLA CONTROL DE PRESIÓN

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.22 permite al operador monitorear el control de la variable presión (Controlador PID) en la gráfica en tiempo real, además se pueden visualizar que valores han sido configurados para los parámetros del controlador (KP, TD y TI), así como el valor de la variable presión (PV) y los respectivos seteos que se han realizado (SP, CONFIG ALARMAS 1 y 2).



Figura 4. 22. Pantalla CONTROL PRESIÓN

Conjuntamente con la gráfica se dispone de dos botones (Flechas hacia la izquierda y derecha) que se encuentran debajo de la misma los cuales permiten un desplazamiento hacia adelante y hacia atrás para visualizar de mejor manera lo que ha ocurrido con la variable presión a lo largo del tiempo. Cerca de los botones de adelante y atrás se encuentran dos indicadores de las alarmas 1 y 2 del controlador PID.

Además se dispone de los botones de PARO DE EMERGENCIA, INICIO, HISTÓRICOS, GUARDAR y REGRESAR cuya función es la misma explicada anteriormente.

PANTALLA CONTROL TEMP. FILTRO DE VENDEO

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.23 permite al operador monitorear el control de la variable temperatura del filtro de venteo (Control ON/OFF) en la gráfica en tiempo real, además se pueden visualizar que valores han sido configurados para los parámetros de seteo e histéresis (SP, HL, LL), así como el valor de la variable temperatura (PV).

Conjuntamente con la gráfica se dispone de dos botones (Flechas hacia la izquierda y derecha) que se encuentran debajo de la misma los cuales permiten un desplazamiento hacia adelante y hacia atrás para visualizar de mejor manera lo que ha ocurrido con la variable temperatura a lo largo del tiempo. Además se dispone de dos indicadores de las alarmas ALTA y BAJA que se activan cuando la variable del proceso no se encuentra dentro de la banda de histéresis.

Los botones de PARO DE EMERGENCIA, INICIO, HISTÓRICOS, GUARDAR y REGRESAR cumplen con las mismas funciones explicadas anteriormente.

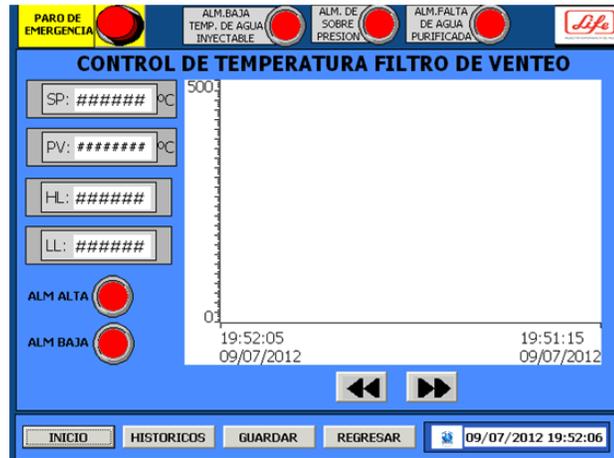


Figura 4. 23. Pantalla CONTROL TEMP. FILTRO DE VENDEO

PANTALLA MONITOREO TEMP. AGUA DESTILADA

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.24 permite al operador monitorear la variable de temperatura del agua destilada a la salida del proceso tanto en la gráfica en tiempo real como en el campo PV (Variable temperatura en tiempo real).

Los botones de ADELANTE (gráfica), ATRÁS (gráfica), PARO DE EMERGENCIA, INICIO, HISTÓRICOS, GUARDAR y REGRESAR cumplen con las mismas funciones explicadas anteriormente.

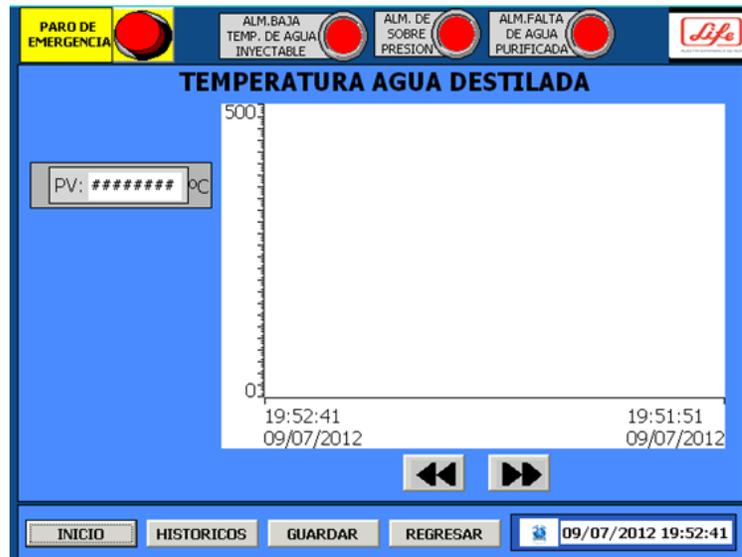


Figura 4. 24. Pantalla MONITOREO TEMP. AGUA DESTILADA

PANTALLA ALARMAS

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.25 permite al operador monitorear las situaciones de riesgo o peligro del proceso (Alarmas) y poder solucionarlas de manera rápida y precisa. Se dispone de indicadores que permiten identificar las alarmas más importantes las cuales son: FALTA DE AGUA PURIFICADA, ALARMA DE SOBREPRESIÓN Y BAJA TEMPERATURA DE AGUA INYECTABLE.

Los botones de PARO DE EMERGENCIA, INICIO, HISTÓRICOS y REGRESAR cumplen con las mismas funciones explicadas anteriormente.



Figura 4. 25. Pantalla ALARMAS

PANTALLA HISTÓRICOS

Esta pantalla tal como lo muestra la Figura 4.26 permite al operador visualizar los sucesos más importantes que se han producido dentro del proceso tales como alarmas, activación de estados, errores de funcionamiento etc. Gracias a esta pantalla el operador puede disponer de información de gran interés para evaluar el proceso y buscar soluciones eficientes a los problemas más comunes del proceso de destilación de agua.

La tabla de históricos visualiza la hora y fecha del evento que se ha producido, así como el estado del mismo y el texto de descripción, parámetros muy importantes para el operador, además se dispone de un botón en la parte inferior derecha que permite actualizar la tabla y observar los eventos más recientes. Los botones de PARO DE EMERGENCIA, INICIO, y REGRESAR cumplen con las mismas funciones explicadas anteriormente.



Figura 4. 26. Pantalla HISTÓRICOS

Al final se consiguió una HMI amigable y especialmente diseñada para la correcta manipulación por parte de los operadores con el fin de mejorar el proceso de destilación de agua de tipo inyectable.

4.4. Reportes en Microsoft Excel

Las variables más importantes del proceso de destilación de agua (Presión y Temperatura) deberán guardarse continuamente en un archivo de Microsoft Excel con el fin de que los operadores dispongan de datos de respaldo del proceso. Así pues para la creación de los reportes Excel se utilizó Scripts de WinCC flexible ("Storage_Tag_V1" (Figura 4.27) y "Script_Storage_Path" (Figura 4.28)), los cuales permiten disponer de las variables temperatura y presión. Los datos recopilados del proceso estarán disponibles en el computador destinado para el proceso de destilación de agua.

A continuación se describen dichos Scripts:

```

Sub Script_Storage_Path( strPath)
1  'Nota:
2
3  'SI EL PATH(DIRECCION) DE ALMACENAMIENTO INCLUYE VARIAS SUBCARPETAS DENTRO DEL "MAIN SCRIPT",
4  'EL PATH(DIRECCION) DE LAS SUBCARPETAS DEBEN ESTAR DISPONIBLES EN LA PC
5  'ESTE SCRIPT SIRVE PARA CONVERTIR TODO ESTO DE MANERA AUTOMATICA
6  Dim fso, strDir, strTemp, arr, i
7
8
9  ' CREAMOS UN OBJETO TIPO FileSystemObject
10
11 Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
12
13 ' TAG DE AYUDA
14
15 strTemp = ""
16
17 ' DIVIDIR EL PATH DE DIRECCION POR MEDIO DEL "\"
18
19 arr = Split (strPath, "\" )
20
21 i = 0
22 For Each strDir In arr ' LAZO DE CONTEO
23
24     If i > 0 Then
25         strTemp = strTemp + "\" + strDir
26
27         If Not fso.FolderExists (strTemp) Then 'SI NO HAY EL SIMBOLO "\", ENTONCES NO EXISTEN SUBCARPETAS
28             fso.CreateFolder (strTemp)
29         End If
30     Else
31         strTemp = strDir
32     End If
33     i = i+1
34 Next
35 Set fso = Nothing

```

Figura 4. 27. Script Storage_Tag_V1

```

Storage_Tag_V1( )
1 Dim fso, i, ts, bCreated, fName, Dataset, Header, Storage_Path, strName, strTemp, arr, strDir
2
3 ' DEFINIMOS EL PATH DE DIRECCION
4 Storage_Path = "C:\Documents and Settings\FLIX LEON\Escritorio\Nueva carpeta"
5
6
7 ' INGRESO DE LOS PARAMETROS DEL ARCHIVO-> Archiv_O1_d_m_yyyy
8 fName = Storage_Path & "\Archiv_" & CStr(DatePart("d",Date)) & "_" & CStr(DatePart("m",Date)) & "_" & CStr(DatePart("yyyy",Date)) & ".csv"
9
10
11 ' CREAMOS LA CABEZERA DE LA TABLA
12
13 'Header = "Hora:Presión(Rors):Kp;Td:Ti:T Filtro Venteo(*C):T Agua destilada(*C)" & Chr(10)
14
15
16 'CREAMOS UN OBJETO FileSystemObject
17
18
19 Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
20
21
22 'REVISAMOS SI ESTA DISPONIBLE EL PATH DE ALMACENAMIENTO, DE NO SER ASI, LO CREAMOS
23 Script_Storage_Path Storage_Path 'LLAMA AL SCRIPT "Script_Storage_Path"
24
25 ' NO SE PUEDE CREAR EL ARCHIVO SI ES QUE EL PATH ES INCORRECTO
26 On Error Resume Next

```

```

27
28 ' ABRIR O CREAR EL ARCHIVO
29 bCreated = False ' TAG DE AYUDA, EL ARCHIVO EXISTE?
30 If Not Iso.FileExists(FName) Then
31     Iso.CreateTextFile FName
32     bCreated=True
33 End If
34
35
36 Set f = Iso.GetFile(FName)
37 Set ts = f.OpenAsTextStream (8,-2)
38
39
40
41 ' NUMERO PREDETERMINADO<> 0 -> MENSAJE
42 If Err.Number <> 0 Then
43     Call ShowSystemAlarm ("Datei konnte nicht angelegt werden oder ist eventuell geöffnet / File could not be create or maybe open")
44     Err.Clear
45 Else
46
47     ' SI ES EL ARCHIVO NO EXISTE, => LA CABECERA DEBE SER INSERTADA
48
49     ' If bCreated = True Then
50         'ts.WriteLine FName
51         'ts.WriteLine Header
52     'End If
53
54
55
56 ' ESCRIBIR EL VALOR DE LAS VARIABLES EN EL ARCHIVO(Tag_x)
57
58 Dataset = CStr(Now) & ";" & CStr(SmartTags("Datos_HMI.Out_Escalado")) & ";" & CStr(SmartTags("DB41_PID.GAIN"))
59
60
61 ' ESCRIBIR LOS PARAMETROS EN EL ARCHIVO
62 ts.WriteLine Dataset'
63
64
65 ' CERRAR ARCHIVO'
66 ts.Close
67
68 End If
69
70
71 ' EL ARCHIVO USADO VA A SER LIBERADO
72 Set ts = Nothing
73 Set f = Nothing
74 Set Iso = Nothing

```

Figura 4. 28. Script_Storage_Path

El archivo generado gracias a los Scripts (Figura 4.29) contiene los valores de las variables presión y temperatura, así como los demás parámetros de configuración de las mismas durante todo el proceso de destilación de agua tal como lo muestra la Figura 4.30.



Figura 4. 29. Reporte .CSV generado

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	12:32:00	3.4		5	4	2	250	703.125			
2	12:32:00	3.4		5	3	2	250	703.125			
3	10:00:00	3.4		5	4	2	250	703.125			
4	10:43:00	2.5		6	10	1	100	70.125			
5	12:00:00	2.5		6	9	1	100	70.125			
6	11:35:00	2.5		6	10	3	100	70.125			
7	10:32:00	3.4		6	5	1	98	70.125			

Figura 4. 30. Reporte .CSV desplegado

4.5. Base de datos¹⁵

Este proyecto requiere la creación de una base de datos que permita almacenar los valores de las variables del proceso provenientes del PLC de una forma permanente y ordenada, estas variables son muy útiles para el operador y para el control periódico del proceso. Así pues la información almacenada del proceso estará disponible en la base de datos en el computador del proceso de destilación de agua.

Para la base de datos se ha utilizado el software SQL Server 2005 (Figura 4.31) el cual permitirá almacenar en una tabla todas las variables de proceso más relevantes tal como lo muestra la Figura 4.32.

¹⁵<http://jotask8punk.wordpress.com/otras-tecnologias/como-hacer-una-base-de-datos-sencilla-en-sql-server-2005%E2%80%A6/>

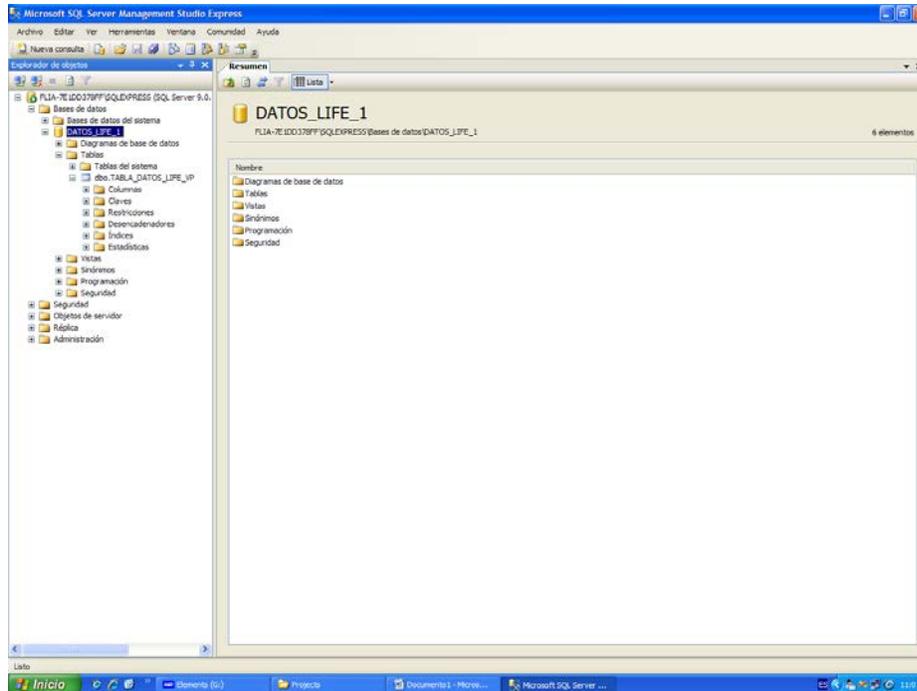


Figura 4. 31. Base de datos del proceso de destilación de agua LIFE

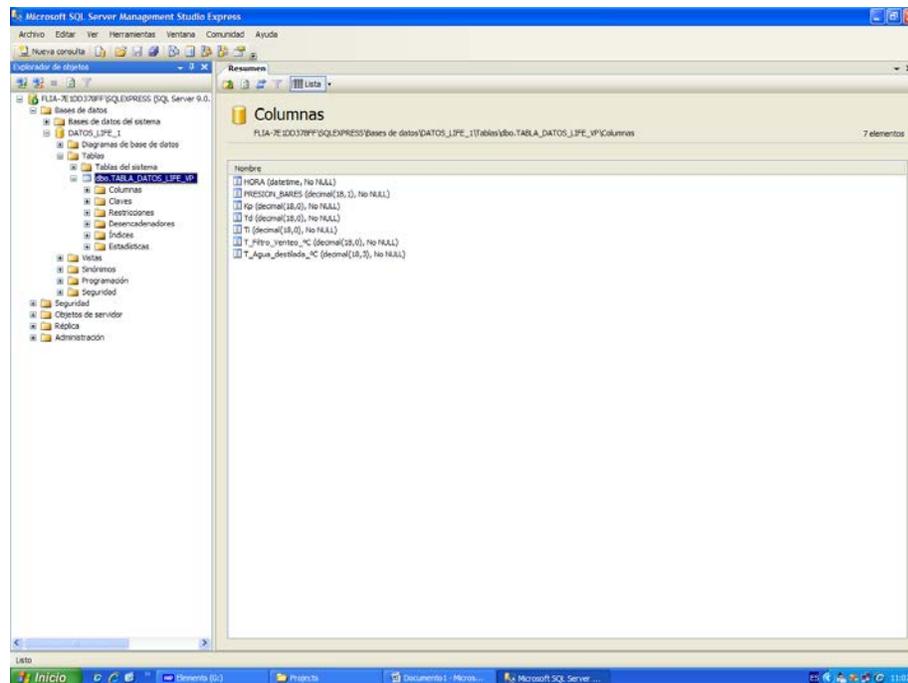


Figura 4. 32. Tabla de las variables de proceso de destilación de agua

Para visualizar y manejar todas la variables de proceso de una forma rápida y clara se dispone de una pantalla gráfica creada en Visual Studio 2008 la cual posee la opción de cargar el archivo .CSV con los datos almacenados (Base de Datos) y mostrarlos al operador en cualquier momento para un mejor control del proceso. En las siguientes Figuras se muestra cómo se maneja dicha pantalla gráfica:

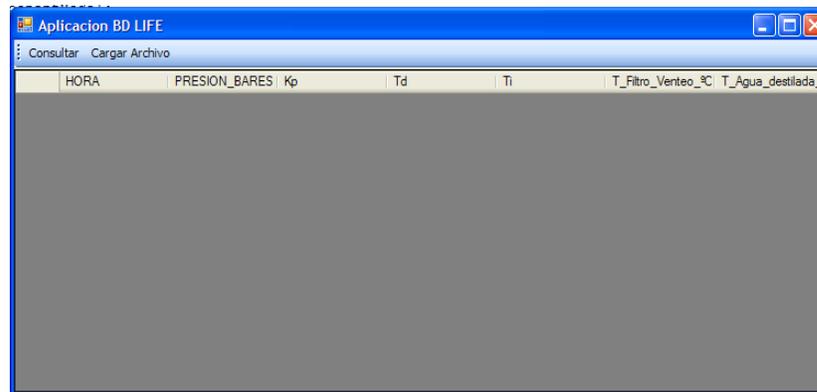


Figura 4. 33. Ventana Gráfica para presentación de variables de proceso

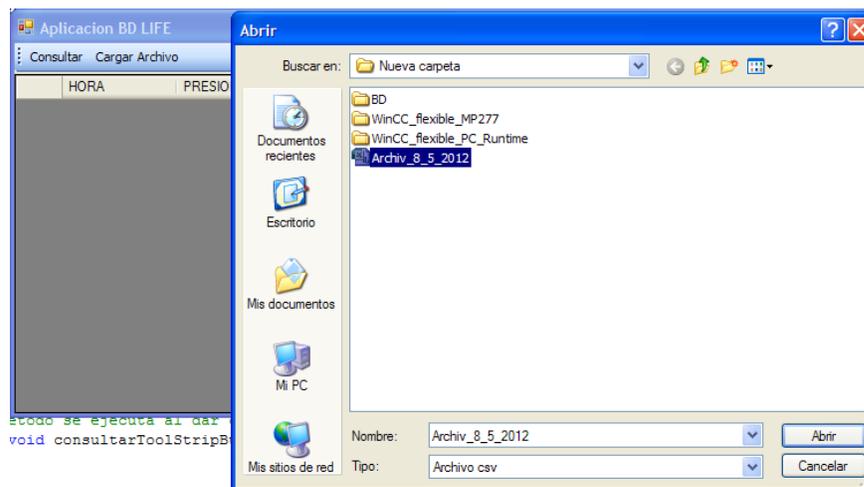


Figura 4. 34. Acción de localizar archivo de almacenamiento de datos

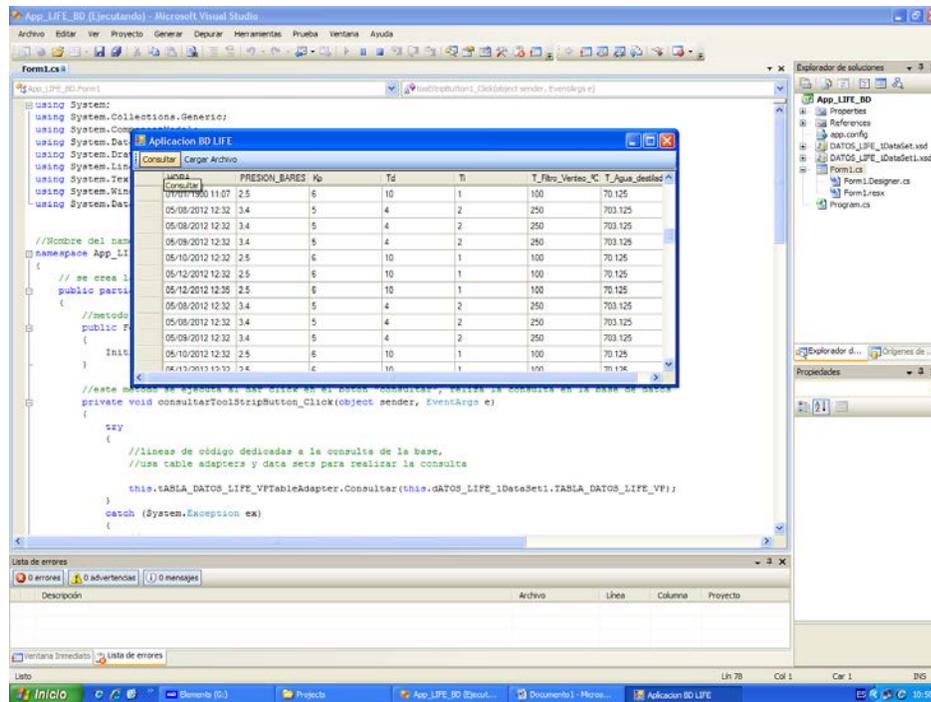


Figura 4. 35. Tabla de base de datos

A continuación se muestra el código del programa en Visual Studio 2008 para la obtención de las variables del proceso de la base de datos y mostrarlos en la pantalla gráfica.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.SqlClient;

//Nombre del namespace que utiliza la aplicacion (entorno)
namespace App_LIFE_BD
{
    // se crea la clase Form1
    public partial class Form1 : Form
    {
        //metodo usado para inicializar la clase, es decir, al
        abrir la app, carga todos los componentes
    }
}

```

```

public Form1()
{
    InitializeComponent();
}

//este metodo se ejecuta al dar click en el boton
"consultar", realiza la consulta en la base de datos
private void consultarToolStripButton_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    try
    {
        //lineas de código dedicadas a la consulta de la
base,
        //usa table adapters y data sets para realizar la
consulta

this.TABLA_DATOS_LIFE_VPTableAdapter.Consultar(this.DATOS_LIFE_1Dat
aSet1.TABLA_DATOS_LIFE_VP);
    }
    catch (System.Exception ex)
    {
        //muestra un mensaje con la excepcion generada si
se da algun tipo
        //de error al consultar la base
        System.Windows.Forms.MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

//este metodo se ejecuta al dar click en el boton "cargar
archivo"
private void toolStripButton1_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    //se comprueba que se haga click o se seleccione abrir,
//y que el archivo escrito en el campo de texto exista
    if (ofdAbrir.ShowDialog() == DialogResult.OK &&
ofdAbrir.CheckFileExists) {

        //se prueba la insercion de los datos
        try{
            string strPath=ofdAbrir.FileName;//contiene el
nombre completo del archivo

            //contiene las sentencias sql que se vana
ejecutar
            string strTrans = "BULK INSERT
dbo.TABLA_DATOS_LIFE_VP FROM '" + @strPath + "' WITH (
FIELDTERMINATOR = ';', ROWTERMINATOR = '\n')";

            //se crea la conexion a la base de datos y se
ejecuta las sentencias sql
            using (SqlConnection sqlConnection1 = new
SqlConnection(@"Data Source=FLIA-7E1DD378FF\SQLEXPRESS;Initial
Catalog=DATOS_LIFE_1;Integrated Security=True"))
            {

```

```
        //se crea un comando sql para ejecutar las
sentencias con: la sentencia sql y la conexion a la base de datos
        SqlCommand command = new SqlCommand(strTrans,
sqlConnection1);

        //se abre la conexion
        command.Connection.Open();

        //sender ejecuta el Query o sentencia en la
base
        command.ExecuteNonQuery();
    }
} catch (Exception ex) {
    //en caso de algun error, muestra el mensaje en un
cuadro de dialogo
    MessageBox.Show(ex.ToString(), "Error");
}
}
}
}
```

4.6. Software PC Access

SIEMENS ofrece el software PC Access para realizar una comunicación entre los PLC de la familia S7 con programas de cómputo tales como: Excel y Visual Basic de esta forma es posible intercambiar datos entre paneles de operador, PLC S7-300 y software que operan tradicionalmente en la PC.

PC Access es parte del sistema OPC (OLE para control de procesos), el cual designa una interfaz de software homogénea e independiente del fabricante. Diferentes equipos y aplicaciones pueden intercambiar datos a través de la interfaz OPC.

En nuestro proyecto, el operador del proceso de destilación de agua desea incorporar su concepto de captura de datos operacionales. La captura de datos

operacionales archiva las variables de proceso presión y temperatura en una hora y las evalúa posteriormente.

Capturar datos operacionales

Tal como muestra la Figura 4.36 para que el programa de captura de datos operacionales y el panel de operador puedan entenderse, se necesitan unos software denominados «PC-Access y PC-Gateway», sirviendo para que los datos se traduzcan al “idioma” del estándar correspondiente.

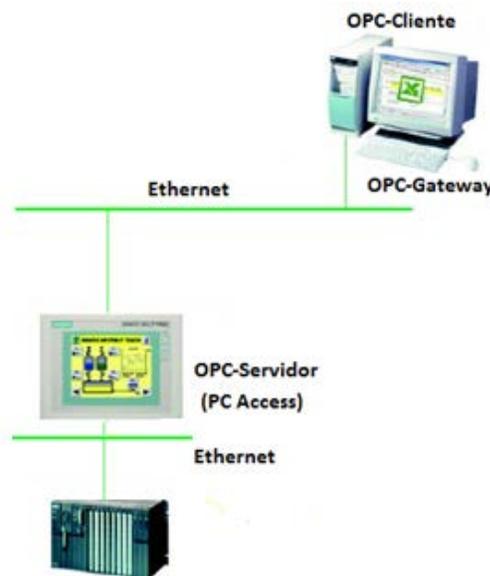


Figura 4. 36. Diagrama de comunicación para OPC

Para más información acerca del sistema diseñado se dispone en la sección **ANEXO B** el Manual de Operación el mismo que muestra la secuencia de funcionamiento y las instrucciones necesarias para que el operador pueda manejarlo correctamente.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se describe los principales pasos de la implementación del proyecto de monitoreo, supervisión y control, conexión de las señales de campo y distribución de elementos en el tablero de control. Además es necesario aplicar todas las normas existentes para el montaje del proyecto de acuerdo a los requerimientos de la empresa ya que esto permite un eficiente rendimiento y funcionamiento del sistema diseñado.

5.1. Selección de Componentes

De acuerdo a los requerimientos de la empresa y a las condiciones de trabajo donde se va a desarrollar el proyecto se ha elegido una serie de componentes de gran calidad que garanticen el óptimo funcionamiento del mismo y la adecuada protección de las personas que laboran en la zona.

A continuación se detallará las características más importantes de cada uno de los componentes sin embargo cabe señalar que para complementar esta información se dispone de hojas técnicas de los mismos en la sección **ANEXO C (DATOS TÉCNICOS)**.

5.1.1. PLC SIEMENS S7-300

El sistema de automatización SIMATIC S7-300¹⁶ es un sistema modular de control para sistemas medianos y pequeños. Permite una adaptación óptima en las tareas a automatizar ya que existe la posibilidad de una ampliación en los módulos (entradas/salidas digitales, entradas/salidas analógicas, entre otras). En la Figura 5.1 se puede observar las principales partes del autómata programable.

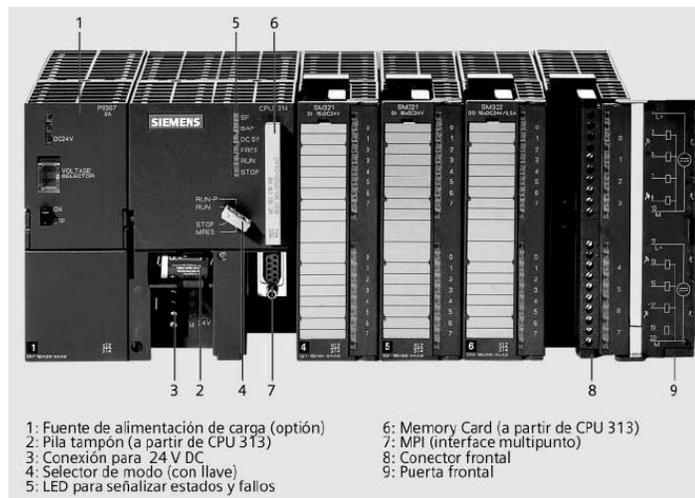


Figura 5. 1. Autómata programable SIMATIC S7-300

CPU-313C-2DP

Es la CPU compacta para instalaciones con estructura descentralizada. Las entradas y salidas digitales integradas permiten una conexión directa al proceso, y la interfaz maestro/esclavo PROFIBUS DP permite la conexión a componentes periféricos

¹⁶<http://www.distribuidor-oficial-siemens-productos-electricos.control-technics.com.ar/distribuidor-siemens/es/Notas%20y%20articulos/Automatizacion/SIMATIC/1682/Sistemas%20de%20automatizacion%20industrial%20SIMATIC.htm>

descentralizados. De tal modo, la CPU 313C-2 DP (Figura 5.2) puede utilizarse como unidad descentralizada para el preprocesamiento rápido y como control superior con sistema de bus de campo subordinado. CPU modelo 6ES7313-6CF03-0AB0.



Figura 5. 2. CPU 313-2DP

5.1.2. Módulo Profinet SIEMENS CP 343-1 Lean

Este módulo permite conectar el SIMATIC S7-300 a la red Industrial Ethernet. Como dispone de procesador propio, descarga a la CPU de tareas de comunicación y permite establecer conexiones adicionales. Módulo 6GK7343-1CX10-0XE0 (Figura 5.3).



Figura 5. 3. Módulo CP 343-1 Lean

5.1.3. Módulo de entradas digitales SIEMENS SM 321

El módulo de entradas digitales (Modelo 6ES7321-1BL00-0AA0) que se muestra en la Figura 5.4 permite conectar el PLC a señales digitales del proceso. Son adecuados para conectar contactos y sensores con estados de activación y desactivación.



Figura 5. 4. Módulo de entradas digitales SIEMENS SM 321

5.1.4. Módulo de salidas digitales SIEMENS SM 322

El módulo de salidas digitales (Modelo 6ES7322-1BL00-0AA0) que se muestra en la Figura 5.5 permite emitir señales digitales del PLC al proceso. Convierten el nivel de señal interno del S7-300 en el nivel de señal externo necesario para el proceso. Son adecuados para conectar electroválvulas, contactores, motores pequeños, lámparas y arrancadores de motor. Además de las salidas digitales económicas y de fácil manejo, también hay disponibles módulos especiales para la ingeniería de procesos.



Figura 5. 5. Módulo de salidas digitales SIEMENS SM 322

5.1.5. Módulo de entradas analógicas SIEMENS SM 331

El módulo de entradas analógicas (Modelo 6ES7331-7KF02-0AB) que se muestra en la Figura 5.6 permite conectar el PLC a señales analógicas del proceso. Son aptos para conectar sensores con señal de tensión y de corriente (intensidad), termopares, resistencias y termorresistencias.



Figura 5. 6. Módulo de entradas analógicas SIEMENS SM 331

5.1.6. Módulo de salidas analógicas SIEMENS SM 332

El módulo de salidas analógicas (Modelo 6ES7332-5HD01-0AB0) que se muestra en la Figura 5.7 permite emitir señales analógicas del PLC al proceso. Son aptos para la conexión de actuadores analógicos. Los módulos de salida analógica convierten las señales digitales del PLC en señales analógicas para el proceso.



Figura 5. 7. Módulo de salidas analógicas SIEMENS SM 332

5.1.7. Multipanel tipo táctil MP277¹⁷

Los Multi Panels (MP) se utilizan como los paneles de operador, para el manejo y la monitorización de máquinas y procesos, además se utilizan en las más diversas ramas y aplicaciones y se pueden ampliar en su aplicación gracias a las opciones Multipanel; por ejemplo, visualización de documentos HTML con el MS Pocket Internet Explorer o integrando funciones de control con WinAC MP 277.

¹⁷SIMATIC HMI Panel de operador MP 277 (WinCC flexible) Instrucciones de servicio.pdf

La pantalla elegida para este proyecto es una Multipanel de 10 pulgadas con pantalla a color TFT y táctil (Modelo 6AV6643-0CB01-1AX1) tal como lo muestra la Figura 5.8.



Figura 5. 8. SIMATIC MP 277 10" TÁCTIL

5.1.8. Sensores y Transmisores de Temperatura¹⁸

Para este proyecto se utilizará dos PT100 que son sensores de temperatura (Figura 5.9) semejantes a un RTD (Dispositivo Termo Resistivo). Estos sensores trabajan midiendo la resistencia eléctrica a través del metal platino (Pt). La resistencia del metal aumenta en función de la temperatura. La resistencia a 0°C es de 100 ohmios – de aquí el nombre de PT 100.

¹⁸http://pdf.directindustry.es/pdf/endress-hauser/medicion-de-temperatura-termometros-y-transmisores-para-la-industria-de-proceso/4726-73448-_9.html



Figura 5. 9. Sensores de temperatura PT100

Existen 3 modos de conexión (2, 3 y 4 hilos) para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. Para estos dos sensores de temperatura se utilizará dos transmisores TMT 121 (Figura 5.10) los cuales conducen las señales de los PT100 al PLC para poder visualizar las variables del proceso.



Figura 5. 10. Transmisor TMT 121

5.1.9. Sensores de nivel¹⁹

El interruptor magnético (Figura 5.11) sirve para asesorar cuando un cierto nivel es alcanzado. El imán permanente dentro del flotador activa, durante el paso, un contacto de lámina biestable. El ON/OFF es un tipo de señal de salida que puede

¹⁹<http://www.comitronic.com/productos-nivel/item/77-interruptor-magnetico-biestable.html>

utilizarse para un mínimo/máximo nivel de control de la activación de la bomba, válvula de apertura/cierre.

Cuando el nivel del líquido alcance el punto de conexión, el imán en el interior del flotador cierra el contacto de lámina. El estado se mantiene cerrado hasta que el nivel del líquido este por debajo del punto de conexión. Si necesita usar el interruptor como normalmente cerrados (NC) de contacto, sólo se debe montar el interruptor boca abajo, con el cable de señal hacia la parte superior, y con un pequeño imán, de forma manual cerrar el contacto de lámina.



Figura 5. 11. Sensor de nivel tipo biestable magnético

5.1.10. Electroválvulas 3/2²⁰

Se utilizará ELECTROVÁLVULAS 3/2 MONOESTABLES AIRTAC (Figura 5.12), las mismas que por su construcción se denominan de asiento y son accionadas unilateralmente con reposición por muelle. Las válvulas están abiertas en reposo.

²⁰<http://www.industriasociadas.com/Airtac/Valvulas.html>



Figura 5. 12. Electroválvulas 3/2 Monoestables AIRTAC

5.1.11. Fuente de alimentación SIEMENS de 24 VDC

Tal como muestra la Figura 5.13 se utilizarán dos Fuentes de 24VDC de 2.5 amperios con alimentación de 100-240 V AC con las siguientes características:

- Protección contra sobrecarga y cortocircuitos
- Frecuencia de entrada 47-63 Hz
- Diseño de ahorro de espacio de perfil bajo
- Protección de corriente constante durante episodios de elevada corriente de arranque



Figura 5. 13. Fuente de alimentación SIEMENS de 24 VDC

5.1.12. Transductor de Presión²¹

Los transductores de presión (Figura 5.14) se utilizan para el control de sistemas de presión, como por ejemplo, una instalación de presión de aire. Por otro lado, los transductores de presión también se pueden usar para controlar presiones en calderas y dirigirlas mediante un sistema de regulación y control. La posibilidad de dar como salida una señal normalizada permite conectar los transductores de presión a cualquier sistema de regulación, lo que ofrece al usuario un sin fin de posibilidades de uso.

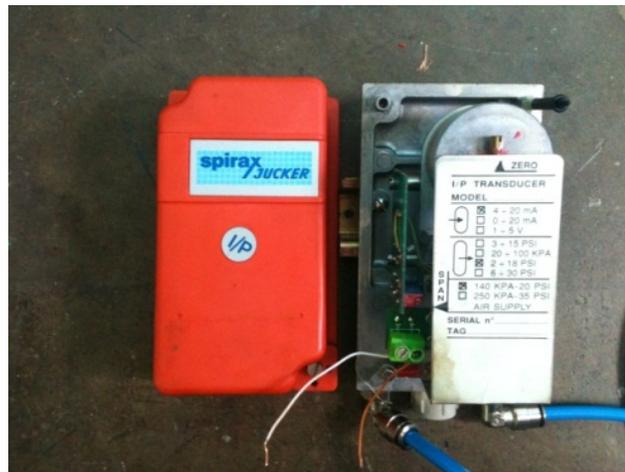


Figura 5. 14. Transductor de Presión

Estos transductores de presión son muy comunes en varios procesos de la empresa es por eso que se cuenta con unidades disponibles en el área de bodega. Para nuestro proyecto se utilizará un solo transductor.

²¹<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores-presion.html>

5.1.13. Relés CAMSCO

Los relés son interruptores eléctricos (Figura 5.15) dotados de uno o más contactos que sirven para abrir o cerrar determinados circuitos. Estos relés están constituidos básicamente por una bobina en cuyo interior se ha colocado un material férreo (núcleo) capaz de imantarse en presencia de un campo eléctrico.



Figura 5. 15. Relés CAMSCO

5.1.14. Computador

Para el almacenamiento de las variables más relevantes del proceso se utilizará un Computador de escritorio (Figura 5.16) el mismo que contendrá la base de datos con las siguientes características Tabla 5.1.



Figura 5. 16. Computador de escritorio

SISTEMA OPERATIVO	Windows XP Versión 2002 Service Pack 3
PROCESADOR	Intel Pentium 4 CPU 3.40GHz
MEMORIA RAM	0.99 GB
ESPACIO LIBRE EN DISCO DURO RECOMENDADO	20 GB
SOFTWARE	- Microsoft Office 2007 - SQL Server 2005 - Visual Studio 2008
RESOLUCIÓN DE VIDEO	800 x 600

Tabla 5. 1. Características Técnicas del Computador

5.2. Implementación del Diagrama Esquemático

La elaboración de un diagrama esquemático es muy importante a la hora de realizar alguna instalación eléctrica ya que dicho diagrama muestra la relación eléctrica de todos los componentes del sistema eléctrico que se va a implementar, de una forma simple y ordenada, lo cual facilita el mantenimiento o reparación de dicho sistema. En el presente proyecto el diagrama esquemático ha permitido la correcta implementación de los diferentes componentes del sistema (Figura 5.17) de manera simple y uniforme de acuerdo a normas establecidas.



Figura 5. 17. Componentes del Sistema listos para la implementación

5.2.1. Conexiones de Armario

Ubicación

Antes de la implementación hay que considerar la mejor ubicación para el tablero de control, teniendo muy en cuenta que esté accesible a los operadores y que se encuentre cerca de los elementos a controlar.

La mejor ubicación es junto al destilador de agua OLSA QV-2000 donde se encuentra el anterior tablero de control, ya que todas las señales digitales y analógicas se encuentran en este armario (Figura 5.18). De acuerdo a los requerimientos de la empresa el armario anterior es remplazado por un nuevo armario con nuevos elementos de protección y control, de esta manera es muy importante tener en cuenta toda la conexión a realizarse dentro del mismo. A continuación se indica en la Figura 5.19 el nuevo armario que se va a implementar.



Figura 5. 18. Destilador OLSA QV-2000 junto al armario del proceso de destilación de agua



Figura 5. 19. Nuevo Armario

La alimentación para el armario es un suministro de 220 V trifásico con neutro, que viene del tablero principal más próximo al armario que se encuentra junto a la sección de empaquetado. Las dimensiones del armario (cm) están descritas en la

Figura 5.20, siendo un tamaño adecuado para la implementación de todos los componentes.

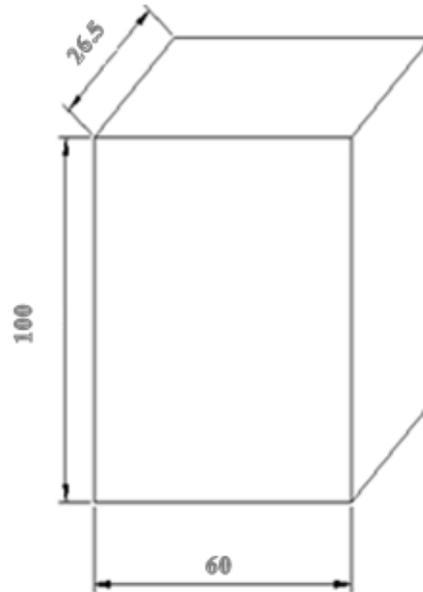


Figura 5. 20. Dimensiones del armario

Como se observa en la Figura 5.21 el armario se compone con 3 rieles de montaje DIN y la Riel SIEMENS para el PLC, permitiendo un fácil montaje de los dispositivos que van a ir dentro del armario como son: Autómata programable SIEMENS S7-300, módulo de comunicación, breakers de protección, contactores, borneras, fuentes de alimentación de 24 VDC, electroválvulas y relés de protección para cada una de las salidas digitales del PLC.

Para conseguir que los cables de conexión se encuentren de forma ordenada se utiliza canaletas ranuradas que se ubican alrededor de los componentes que se encuentran dentro del armario, para evitar problemas como cortos circuitos. En la Figura 5.22 se muestra las canaletas que se implementaron dentro del armario.



Figura 5. 21. Armario con rieles DIN y Riel SIEMENS



Figura 5. 22. Canaletas implementadas en el armario

A continuación se presenta todos los dispositivos y elementos adicionales que componen el armario para la implementación del proyecto, cuyas conexiones se indicó en el Capítulo 3 Diseño de Hardware:

- Perfil de soporte 480 mm Riel para instalación S7-300
- Conector frontal de 40 polos
- 4 Conectores frontales de 20 polos
- Switch general para tablero de 40 amperios
- 18 Racores rectos
- 18 Silenciadores
- 18 Pasamuros
- Pulsador de emergencia tipo hongo
- Breaker trifásico para riel Din de 30 amperios
- Breaker monofásico de 10 amperios
- 5 Canaletas de 2" x 2"
- 2 Rieles DIN
- 10 Prensaestopas de 3/4"
- Contactor trifásico para 30 amperios con bobina 220VAC
- Contactor trifásico para 20 amperios con bobina 220VAC
- Pulsador de paro de alarma acústica
- 6 switches de tres posiciones
- Alarma Acústica
- Ventilador

5.2.2. Instalación de equipos y accesorios

En la instalación se colocaron canaletas para ordenar los cables, rieles DIN (Figura 5.23) para ubicación de equipos y dispositivos de control y protección, y borneras para ordenar las entradas y salidas.



Figura 5. 23. Tablero con rieles DIN y canaletas

En vista que el consumo de corriente de la CPU es de 0.9 A de acuerdo a las especificaciones técnicas, se seleccionó una fuente de alimentación de 24V y 2.5A cuya alimentación es de 100-240VAC y su elemento de protección es un breaker monofásico de 10 A. Además se dispone de una segunda fuente con las mismas características que la anterior para alimentación de los relés y electroválvulas.

Las fuentes de alimentación Siemens de 24VDC 2.5 A se ubican por encima del PLC (Figura 5.24), para garantizar que una fuente de calor no esté debajo del procesador.

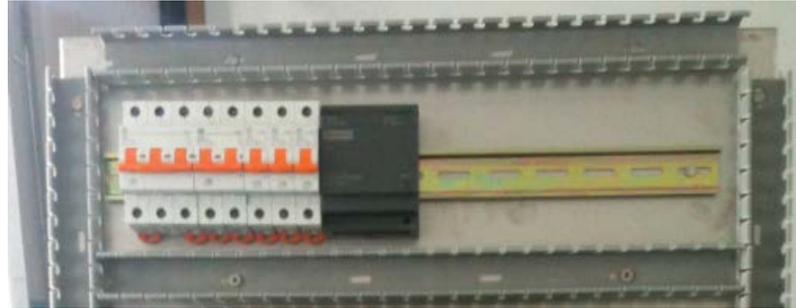


Figura 5.24. Fuente y dispositivos de protección

Se provee de relés de 8A (Figura 5.25) para la protección a cada grupo de salidas, para evitar daños por sobrecorriente, además dos contactores y dos breakers de 30A para protección de la Bomba de agua G1 y para la resistencia del filtro de venteo correspondientemente. Las electroválvulas se colocan en la parte inferior del tablero tal como muestra la Figura 5.26.



Figura 5.25. Relés de protección y contactores

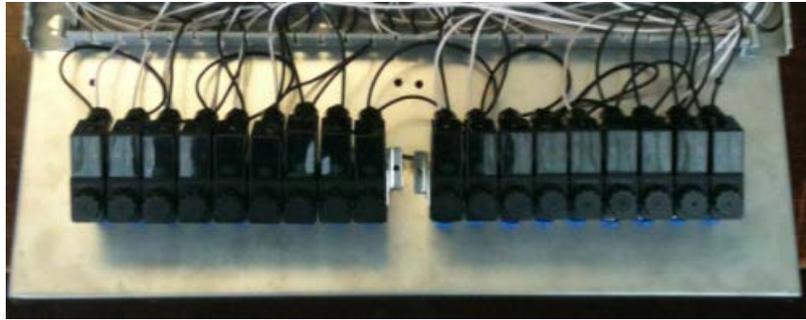


Figura 5. 26. Colocación de las Electroválvulas

5.3. Instalación PLC SIEMENS S7-300

Para la instalación del PLC se ha considerado las guías de instalación del S7-300, el cual se puede instalar en un armario provisto de ventilación natural sobre un perfil de soporte 480 mm riel Siemens (Figura 5.27), dejando un margen de las canaletas de 40 mm por encima y 40 mm debajo de la riel.



Figura 5. 27. Perfil de soporte de 480 mm

En la instalación del PLC y los módulos se debe colocar el conector de bus en el conector izquierdo posterior (Figura 5.28) de la CPU y de cada módulo. Luego se van colocando en orden, la CPU, los módulos de I/O digitales y analógicas (Figura

5.29). En los módulos de entradas analógicas se debe tener muy en cuenta el rango de corriente de los mismos.



Figura 5. 28. Módulos con soporte (conector de bus)



Figura 5. 29. Montaje de los módulos

Uno de los puntos más importantes es la puesta a tierra de este equipo (Figura 5.30) que permite la protección necesaria contra interferencias y ruido eléctrico.

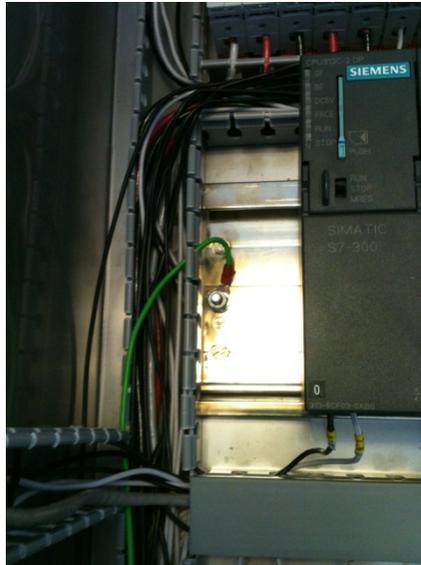


Figura 5. 30. Puesta a tierra

Todas las entradas y salidas del sistema se acoplan con las señales de campo mediante borneras tal como lo muestra la Figura 5.31.

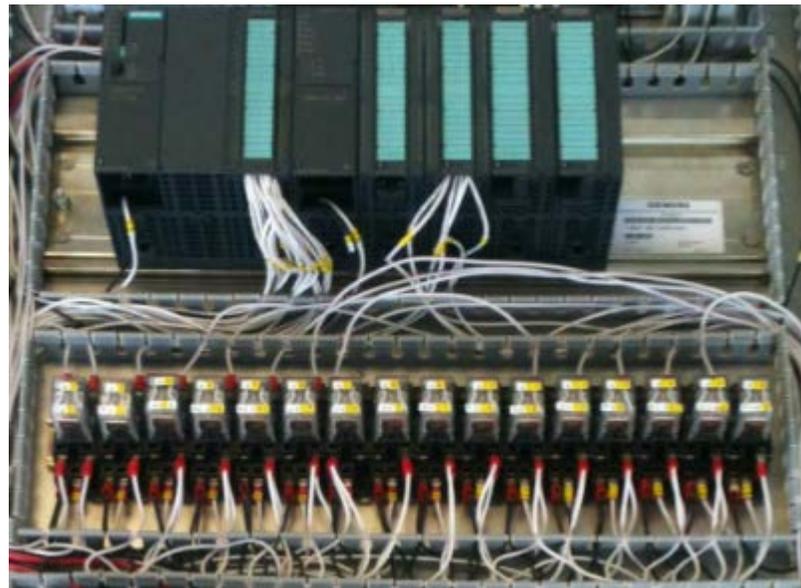


Figura 5. 31. Borneras de entrada y salida

Además todas las entradas y salidas del PLC disponen de una codificación (Tablas 5.2 y 5.3) que facilita su identificación y localización para la realización de su respectivo mantenimiento, esta codificación está colocada en los dos extremos del conductor permitiendo identificar a que dispositivo corresponden los módulos y slots del PLC.

Para la codificación tanto de las entradas y las salidas se tomó muy en cuenta la numeración de los módulos de entradas y salidas del PLC, así pues las etiquetas constan del número del Módulo y su respectiva Entrada/Salida (numeradas del 0 al 7), por ejemplo la etiqueta M0.E0 corresponde al Módulo Digital 0 y su Entrada 0 y la etiqueta EA0.0 corresponde al Módulo Analógico 0 y su Entrada 0.

ENTRADA DEL PLC	SEÑAL	CÓDIGO
EO.0	Posición ON switch DESTILACIÓN	M0.E0
EO.1	Posición OFF switch DESTILACIÓN	M0.E1
EO.2	Posición ON switch GENERACIÓN VAPOR	M0.E2
EO.3	Posición OFF switch GENERACIÓN VAPOR	M0.E3
EO.4	Posición ON switch VÁLVULA DE VAPOR	M0.E4
EO.5	Posición OFF switch VÁLVULA DE VAPOR	M0.E5
EO.6	Posición ON switch LLENADO	M0.E6
EO.7	Posición OFF switch LLENADO	M0.E7
E1.0	Posición ON switch	M1.E0

	DESCARGA	
E1.1	Posición OFF switch DESCARGA	M1.E1
E1.2	Posición ON switch SANITIZACIÓN	M1.E2
E1.3	Posición OFF switch SANITIZACIÓN	M1.E3
E1.4	Sensor de nivel LSHH1	M1.E4
E1.5	Sensor de nivel LSH1 1	M1.E5
E1.6	Sensor de nivel LSH1	M1.E6
E1.7	Sensor de nivel LSH2	M1.E7
E2.0	Sensor de nivel LSH22	M2.E0
E2.1	Sensor de nivel LSH3	M2.E1
E2.2	Sensor de nivel LSH33	M2.E2
E2.3	Sensor de nivel LSH4	M2.E3
E2.4	Sensor de nivel LSH44	M2.E4
E2.5	Contacto del Conductivímetro	M2.E5
E2.6	Botón de paro de Emergencia	M2.E6
E2.7	Botón de paro de Alarma Acústica	M2.E7
E3.0	Sensor de nivel del Tanque Pulmón	M3.E0
E3.1	Sensor de nivel del Tanque TK1	M3.E1
EA0.0	Transmisor de Presión	EA0.0
EA0.1	Transmisor de Temperatura del Filtro de Venteo	EA0.1
EA0.2	Transmisor de Temperatura del Agua Destilada	EA0.2

Tabla 5. 2. Codificación de entradas del PLC

SALIDA DEL PLC	SEÑAL	CÓDIGO
SO.0	Bomba de Agua G1	M0.S0
SO.1	Válvula HV1	M0.S1
SO.2	Válvula HV1B	M0.S2
SO.3	Válvula HVF20	M0.S3
SO.4	Válvula HVF21	M0.S4
SO.5	Válvula PV18	M0.S5
SO.6	Válvula PV20	M0.S6
SO.7	Válvula HV2	M0.S7
S1.0	Válvula HV11	M1.S0
S1.1	Válvula HV14	M1.S1
S1.2	Válvula HV18	M1.S2
S1.3	Válvula HV12	M1.S3
S1.4	Válvula HV3	M1.S4
S1.5	Válvula HVF27	M1.S5
S1.6	Válvula HVM8	M1.S6
S1.7	Válvula HVM9	M1.S7
S2.0	Resistencia de Venteo	M2.S0
S2.1	Válvula HV13	M2.S1
S2.2	Válvula HV4	M2.S2
S2.3	Válvula HVF7	M2.S3
S2.4	Alarma Acústica	M2.S4
S2.5	Bomba P5 y P6	M2.S5
SA0.0	Transductor de Presión	SA0.0

Tabla 5. 3. Codificación de salidas del PLC

5.4. Diagramas de Interconexión del Sistema

A continuación se presentan las conexiones a realizar en los módulos de entradas digitales donde van los interruptores de activación y desactivación de los estados del

proceso, paro de emergencia, pulsadores, además de un sensor de conductividad y los sensores de nivel de cada uno de los tanques del destilador tal como lo muestran los DIAGRAMAS DEL PLC (PLANOS 1/5 y 3/5). En los módulos de salidas digitales tal como se muestran en los PLANOS 1/5 y 2/5 se conectan los actuadores a controlar en este caso la Bomba de agua (G1), las electroválvulas, el contactor del filtro de venteo y la alarma acústica cada uno de los cuales se deben activar y desactivar según los estados del proceso de destilación. En el módulo de entradas analógicas se conectan un sensor de presión y dos sensores de temperatura tal como lo muestra el PLANO 4/5.

Por último en el PLANO 5/5 se muestra las conexiones en el módulo de salidas analógicas, las mismas que permiten el control de presión y temperatura del proceso de destilación de agua.

5.5. Cableado del Sistema

Para determinar el cableado requerido en cualquier instalación eléctrica es necesario considerar los siguientes factores:

- a.- Uso del cable y condiciones de instalación
- b.- Corriente máxima que circulará por el conductor
- c.- Caída de tensión máxima admisible
- d.- Tensión de servicio

Cálculo de conductores

Los conductores eléctricos constituyen un elemento fundamental en toda instalación eléctrica, razón por la cual, de su correcto dimensionamiento depende la efectividad en el funcionamiento de la red eléctrica y la duración de su vida útil. Para el cálculo de conductores eléctricos se emplearan los métodos de caída de tensión y por capacidad de corriente, con el fin de determinar los calibres AWG (American Wire Gage) o MCM (miles de circular mils) que permitan obtener el diseño de un sistema seguro, confiable y económico. El resultado del cálculo que arroje el conductor de mayor sección transversal será el que se seleccione.

Cálculo de conductores por caída de tensión

Se conoce como caída de tensión a la diferencia que existen entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma. La caída de voltaje máxima permitida por la NTIE (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas) es del 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para circuitos derivados, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5%; en los cálculos siguientes se emplearan el 3% y el 2% para los circuitos alimentador y derivado respectivamente

Para determinar el calibre de los conductores, se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$V = I * R \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$P = V * I * \text{Cos} \theta \quad \text{Ec. 5.2}$$

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos} \theta \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$R = \frac{d}{A * K} \quad \text{Ec. 5.4}$$

Donde:

V = tensión nominal en volts

I = corriente nominal en amperios

P = potencia en watts

Cos θ = factor de potencia

R = resistencia del conductor en ohms

d = longitud del conductor en metros

A = sección transversal del conductor en mm^2

K = conductividad del conductor (k = $57 \text{ mm}^2 / \Omega * \text{m}$ para el cobre)

Combinando las ecuaciones anteriores, se obtiene la expresión que permite determinar la sección del conductor:

$$A = \frac{I * L}{e * k} \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. 5.5}$$

Donde:

e = porcentaje de caída de tensión

L = $(\sqrt{3}) * d$ para circuitos trifásicos y $2 * d$ para circuitos monofásicos.

A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para determinar el calibre del conductor necesario para alimentar la carga correspondiente al PLC con todos sus módulos y la Pantalla Táctil, cuyos datos son los siguientes:

Voltaje de alimentación de la FUENTE 1 SIEMENS: 24V

Dispositivo	Consumo de Potencia (W)
PLC-CPU 313C-2DP	10 W
MODULO DE COMUNICACIÓN CP-343-1 LEAN	7.2 W
MODULO DE ENTRADAS DIGITALES	6.5 W
MODULO DE SALIDAS DIGITALES	5 W
MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS	1.3 W
MODULO DE SALIDAS ANALOGICAS	3 W
PANTALLA MP277 TOUCH	15 W

Tabla 5. 4. Potencia Activa consumida por el Circuito 1

Carga Total instalada (Tabla 5.4): 48 W

Distancia de la carga a la fuente de alimentación: 1 m

Se empleará un conductor de cobre ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega\cdot\text{m}$) tipo AWG TW por ser un conductor económico cuyas propiedades (Tabla 5.5) se ajustan a las necesidades de la instalación.

Caída de Tensión: $e = 0.003 * 24V = 0.072 V$

Material aislante	Tipo	Temperatura máxima °C	Cubierta	Utilización
Hule resist. al calor	RH	75	Resistente a la humedad, retardadora de flama	Locales secos
Hule resist. al calor	RHH	90		Locales secos y húmedos
Hule resist. al calor y humedad	RHW	75		Locales secos y húmedos
Termoplástico	T	60	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resist. humedad	TW	60		Locales secos y húmedos
Termoplástico resist. al calor y humedad	THW	75		Locales secos y húmedos

Tabla 5. 5. Propiedades del material aislante en conductores

La corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = P / V$$

$$I = 48W / (24V)$$

$$I = 2.0A$$

Aplicando la ecuación 5.5 se obtiene el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{2.0 * 1}{0.072 * 57} = 0.487 mm^2$$

Se procede a elegir el conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada; de la Tabla 5.6 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG TW calibre No. 19.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045

Tabla 5. 6. Calibre de cables AWG

De esta manera siguiendo los pasos anteriores se calcula el calibre del conductor necesario para alimentar la carga correspondiente a los relés de protección de las salidas del PLC, transmisores de temperatura, transductor de presión y electroválvulas cuyos datos son los siguientes:

Voltaje de alimentación de la FUENTE 2 SIEMENS: 24V

Dispositivo	Consumo de Potencia (W)
TRANSMISOR DE TEMPERATURA TMT 121	$2*0.3 \text{ W} = 0.6 \text{ W}$
TRANSDUCTOR DE PRESIÓN	1.2 W
VALVULAS SOLENOIDES	$18*3 \text{ W} = 54 \text{ W}$
RELÉS	$18*2.5 \text{ W} = 45 \text{ W}$

Tabla 5. 7. Potencia Activa consumida por el Circuito 2

Carga Total instalada (Tabla 5.7): 100.8 W

Distancia de la carga a la fuente de alimentación: 0.8 m

Se empleará un conductor de cobre ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega*\text{m}$) tipo AWG TW (Tabla 5.5).

Caída de tensión: 0.072 V

La corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = P/V$$

$$I = 100.8\text{W} / (24\text{V})$$

$$I = 4,2\text{A}$$

Se calcula el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{4.2 * 0.8}{0.072 * 57} = 0.818\text{mm}^2$$

Se procede a elegir el conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada; de la Tabla 5.6 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG TW calibre No. 18.

Ahora se calcula el conductor para el circuito de alimentación de las Fuentes SIEMENS de 24VDC:

Voltaje de alimentación: 120 V

Dispositivo	Consumo de Potencia (W)
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	2*60 W=120 W
ALARMA ACUSTICA	0.9 W

Tabla 5. 8. Potencia Activa consumida por el Circuito 3

Carga Total instalada (Tabla 5.8): 120.9 W

Distancia de la carga al tablero principal de alimentación: 32 m

$F_p = 0.92$

Se empleará un conductor de cobre ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega\cdot\text{m}$) tipo AWG TW (Tabla 5.5).

Caída de tensión: $e = 3 \cdot 120\text{V}/100 = 3.6 \text{ V}$

Como es un circuito monofásico se tiene que: $L = 2 \cdot 32 \text{ m} = 64 \text{ m}$

La corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = P/V * F_p$$

$$I = 120.9\text{W} / (120\text{V} * 0.92)$$

$$I = 1.09\text{A}$$

Aplicando la ecuación 5.5 se obtiene el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{1.09 * 64}{3.6 * 57} = 0.34 \text{mm}^2$$

Se procede a elegir el conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada; de la Tabla 5.6 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG TW calibre No. 21. Ahora se calcula el conductor para el circuito de alimentación de la Bomba de Agua:

Voltaje entre fase y fase V_f : 220V

Carga Total instalada: 2200 W

Distancia de la carga al tablero principal de alimentación: 35 m

$F_p = 0.92$

Se empleará un conductor de cobre ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega \cdot \text{m}$) tipo AWG TW (Tabla 5.5).

Caída de tensión entre fases: 3.3 V

La corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = P / \sqrt{3} * V_f * F_p$$

$$I = 2200 \text{W} / (1.732 * 220 \text{V} * 0.92)$$

$$I = 6.28 \text{A}$$

Como se trata de un sistema trifásico entonces:

$$d=1.73*35m= 60.62 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación 5.5 se obtiene el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{6.28 * 69.28}{3.3 * 57} = 2.02 \text{ mm}^2$$

Se procede a elegir el conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada; de la Tabla 5.6 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG TW calibre No. 14.

Cálculo de conductores por capacidad de corriente

Cuando se realiza el cálculo de conductores por capacidad de corriente deben tomarse en cuenta la probabilidad de sobrecargas o desbalances por lo que la NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80% de su capacidad nominal para contar con un margen de seguridad en el dimensionamiento de los conductores. El procedimiento de cálculo consiste en determinar el valor real de la capacidad de conducción de corriente (corriente corregida I_c) multiplicando la corriente nominal por un factor de demanda o de utilización (0.8 de acuerdo a NEC). Deberá seleccionarse el calibre de conductor cuya capacidad de conducción real de corriente sea igual o mayor a la corriente nominal que se supone circulará por el

circuito. Se elige un conductor (cobre tipo AWG TW) que se considere tendrá una capacidad de conducción real igual o superior a la corriente nominal que circulará por el circuito y se procede a realizar el cálculo. En el método anterior se determinó las corrientes nominales que circularán por los respectivos circuitos con estos datos se procede a calcula la corriente corregida I_c :

$I_1=2A$	$I_{c1}=2A*0.8= 1.6 A$
$I_2=4.2 A$	$I_{c2}=4.2A*0.8= 3.36 A$
$I_3=1.09 A$	$I_{c3}=1.09A*0.8= 0.872 A$
$I_4=6.28A$	$I_{c4}=6.28A*0.8= 5.02 A$

Para la I_{c1} se elige un conductor calibre 20 que tiene una capacidad de conducción nominal de 1,6 amperios.

Para la I_{c2} se elige un conductor calibre 16 que tiene una capacidad de conducción nominal de 3,7 amperios.

Para la I_{c3} se elige un conductor calibre 22 que tiene una capacidad de conducción nominal de 0,92 amperios.

Para la I_{c4} se elige un conductor calibre 14 que tiene una capacidad de conducción nominal de 6 amperios.

Ahora se procede a comparar los resultados obtenidos por los dos métodos (Tabla 5.9) para escoger el conductor adecuado para nuestro sistema.

Circuitos	Cálculo del conductor por caída de tensión	Cálculo del conductor por corriente
PLC y sus módulos	19	20
Relés, Electroválvulas	18	16
Fuentes y Alarma Acústica	21	22
Potencia (Bomba de Agua)	14	14

Tabla 5. 9. Comparación de calibres obtenidos por los dos métodos

Una vez comparados dichos resultados se procede a escoger los calibres de conductores más adecuados para nuestro sistema (Tabla 5.10), cabe señalar algo muy importante antes de proceder a la selección de los conductores, el sistema diseñado especialmente el PLC, módulos de entradas/salidas, relés y electroválvulas no consumirán al máximo su potencia debido a que estos funcionan de acuerdo a los estados del proceso es decir durante el funcionamiento del sistema se activarán máximo 7 relés es decir 7 electroválvulas serán activadas por las salidas del PLC, como conclusión se tiene que todos los componentes del sistema no funcionaran al mismo tiempo permitiendo reducir el consumo de corriente.

Circuitos	Calibre del conductor seleccionado
PLC y sus módulos	19

Relés, Electroválvulas	18
Fuentes y Alarma Acústica	21
Potencia (Bomba de Agua)	14

Tabla 5. 10. Calibres de los conductores seleccionados

Las características técnicas de los cables escogidos se pueden observar en la Tabla 5.6.

Para fijar firmemente las conexiones de alimentación y entrada se utilizaron los terminales recomendados por el fabricante (Figura 5.32) correctamente etiquetados para una fácil identificación.



Figura 5. 32. Terminales utilizados

Todos los dispositivos del armario, así como el cableado fueron correctamente etiquetados para un fácil reconocimiento de los mismos y según los requerimientos

de la empresa. La respectiva etiquetación se realizó de manera que todos los componentes sean fáciles de identificar dentro del armario, por esta razón las etiquetas están colocadas en letras de tamaño adecuado sobre los dispositivos. Para la designación de las etiquetas según los requerimientos de la empresa se tomó muy en cuenta el DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN P&ID y la Tabla 3.1 (Capítulo 3) de acuerdo a los cuales se nombraron a los componentes (Figura 5.33).

Para el cableado y la comunicación existente entre los equipos (red), se utilizó el protocolo de comunicación INDUSTRIAL ETHERNET que transmite grandes cantidades de información muy adecuada para que ordenadores con controladores intercambien su información a gran velocidad, esta característica es muy importante en el desarrollo del sistema ya que se busca generar reportes del estado del proceso continuamente.



Figura 5. 33. Dispositivos y cableado del armario correctamente etiquetado

Otra de las razones de la utilización de INDUSTRIAL ETHERNET en nuestro proyecto se debe a que es una tecnología muy extendida de bajos costos pero a la vez robusta y de muy fácil uso, utiliza el protocolo TCP/IP el cual facilita comunicarse con dispositivos de cualquier marca haciéndola adecuada para establecer la comunicación entre los equipos de nuestro sistema (PLC, pantalla táctil y computadora). Para una mejor comprensión técnica de la utilización de Industrial Ethernet se dispone de la Tabla 5.11.

Norma	IEEE802.3
Método de acceso	CSMA/ CD (Estocástico).
Índice de transmisión	10 a 100 Mbps.
Medio de transmisión	Eléctrica: par trenzado apantallado o
Máximo número estaciones	1 024, ampliable con enrutadores (Routers).
Amplitud de la red	Eléctrica: máx. 1,5 Km. Óptica: más de 50 Km. LAN: hasta 150 Km con tecnología de conmutación.
Topología	Bus, anillo, anillo redundante, estrella, árbol.

Tabla 5. 11. Características técnicas según la norma IEEE802.3 del protocolo Industrial Ethernet

Los medios de transmisión utilizados dentro del Industrial Ethernet son de dos tipos: el cable de par trenzado y el de fibra óptica. Las características de ambos medios de transmisión son muy similares pero la diferencia radica en los costos, donde el de fibra óptica es el de mayor valor, es por ello que se ha elegido el cable de par trenzado el cual se ubicó de manera precisa dentro del gabinete para evitar contacto

con los cables de alta tensión (ver Figura 5.34). Para justificar la utilización del Cable de par Trenzado se dispone de las siguientes características:

- Cable de 4 hilos trenzado por pares
- Especialmente seguro ante interferencias y ruido de procesos industriales (muy importante para nuestro sistema)
- Costes favorables en el cableado
- Estructura en estrellas y lineales



Figura 5. 34. Cable de red dentro del Armario

Características técnicas:

- Máxima longitud de cable: 100 metros
- Conector RJ45: la RJ-45 es una interfaz física usada para conectar cableado estructurado, posee 8 pines.

5.6. Montaje y Conexión del Panel de Operador MP 277 10”

El panel de operador será fijado en la parte frontal del armario de conexiones (Figura 5.35), para disponer de sus funciones de manera accesible y sin complicaciones.

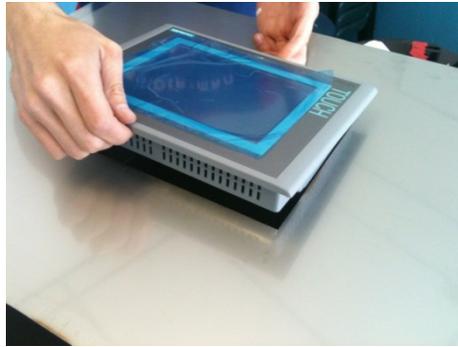


Figura 5. 35. Fijación de la pantalla táctil

El MP 277 Touch se fijó utilizando tensores (Figura 5.36 y Figura 5.37).

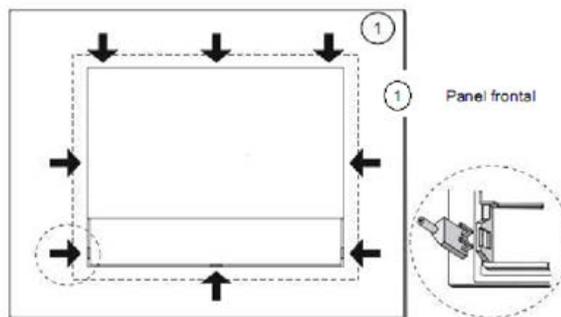


Figura 5. 36. Procedimiento para el montaje del MP 277 10" Touch



Figura 5. 37. Montaje del panel táctil con tensores

Una vez ajustado el panel de operador (Figura 5.38) se debe comprobar por la parte frontal si la junta de goma está bien asentada. Dicha junta no debe sobresalir del panel de operador.



Figura 5. 38. Panel de operador montado en el armario

Ahora se procede a realizar la conexión del MP 277 10”.

Tensión de Alimentación

Se debe conectar la tensión de alimentación del panel de operador a la regleta macho de dos pines situada en el lado inferior del panel. Para ello se utiliza la regleta bipolar que viene adjunta (Figura 5.39).

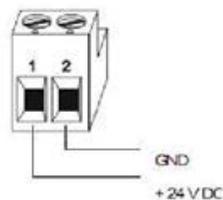


Figura 5. 39. Conexión de Alimentación



Figura 5. 40. Alimentación del panel de operador

El panel de operador está dotado de una protección contra inversión de polaridad. Cabe resaltar que en la parte frontal de armario además del panel de operador se ubican y conectan el Conductivímetro, los switches de tres posiciones de los estados del proceso, la alarma acústica y los botones de paro de emergencia y de paro de alarma. Finalmente se muestra en la Figura 5.41 el panel de operador montado y conectado en el armario listo para ser usado junto a los demás dispositivos.



Figura 5. 41. Parte frontal del armario con todos sus elementos

5.7. Comunicación

La comunicación del PLC con el panel de operador HMI se realizó utilizando el protocolo Industrial Ethernet TCP/IP. Se puede transferir o acceder a cualquier zona del mapa de memoria del PLC con el que se desea comunicar, y tan sólo es necesario indicar el sitio de almacenamiento de los datos leídos o cual es la fuente de datos a enviar. Las características más importantes de esta interfaz son las siguientes:

- Soporte físico: Cable Ethernet (Cable de Red)
- Velocidad: 10 Mbit/s hasta 100 Mbit/s
- Distancia: hasta 100 m.

Para la comunicación Ethernet es necesario disponer de una dirección IP para la PC, el PLC y la Pantalla Táctil que son los dispositivos que intercambiarán información sobre el proceso de destilación de agua.

La asignación de direcciones IP se la realizará por áreas, es decir, cada uno de los componentes (PLC, pantalla táctil y computador) tendrá una dirección IP propia como ya se lo ha indicado. La red creada, es una red de clase C (Máscara de subred 255.255.255.0) privada según lo ha establecido el ICANN (Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números) en donde las direcciones IP privadas de clase C van desde: 192.168.0.1 a 192.168.0.254; con el fin de evitar un conflicto de direcciones IP en la red. Es por ello que todos los equipos: PLC, pantalla táctil y computador se les ha asignado a la red: 192.168.X.X/24

Así pues con el fin de evitar algún tipo de conflicto (pérdida de datos o datos erróneos) con la red general de la empresa, se ha creado una red particular que además de pertenecer a una red privada clase C es una red completamente conformada únicamente por el PLC, pantalla táctil y computador, nuestra red sería: 192.168.194.X/24. De manera general nuestra dirección IP se puede observar en la Figura 5.42.

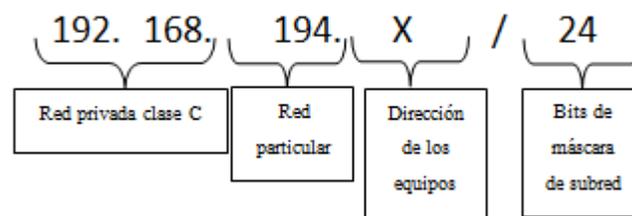


Figura 5. 42. Direcciones IP para el sistema

Tomando en cuenta lo antes mencionado, las direcciones IP quedan asignadas de la siguiente manera: PC (192.168.194.2/24), el PLC (192.168.194.7/24) y la Pantalla Táctil (192.168.194.5/24). A continuación en la Figura 5.43 se muestra la red Ethernet montada para el funcionamiento del sistema.



Figura 5. 43. Red Ethernet del sistema

Finalmente en la Figura 5.44 se observa el armario con todos sus dispositivos de potencia y control totalmente terminado y cableado.



Figura 5. 44. Interior del armario totalmente terminado

5.8. Puesta en Marcha

Una vez finalizada la implementación de todo el sistema en el área de sueros de la empresa, se realizó la energización del mismo, así como también se comprobó su respectivo funcionamiento y cableado según los diagramas correspondientes. En las Figuras 5.45 y 5.46 se puede observar el nuevo totalmente implementado.



Figura 5. 45. Armario totalmente terminado e implementado en la sección de sueros



Figura 5. 46. Nuevo sistema de monitoreo, supervisión y control del proceso de destilación de agua

Cabe resaltar que la utilización de las normas NEC facilitó la implementación de este proyecto, ya que definió la manera segura y los lineamientos básicos a tomar en cuenta para la realización de la instalación eléctrica. La Tabla 5.12 hace alusión a los artículos de la norma NEC considerados para el presente proyecto.

Sección Norma NEC	Descripción	Sistema de Monitoreo, Supervisión y Control
Artículo 110	Requisitos de las Instalaciones eléctricas	Partes específicas donde fue utilizada la Norma NEC
110-3	Instalación y uso de equipos	Instalación y uso de los componentes de protección (breakers, contactores, etc.)
110-4	Tensiones Eléctricas	Selección de los conductores eléctricos AWG
110-5	Conductores	Conductores para alimentación y conexión de los diferentes circuitos (PLC, Pantalla Táctil, electroválvulas, etc.)
110-6	Calibre de los conductores	Selección de conductores para alimentación y conexión de los

		diferentes circuitos (PLC, Pantalla Táctil, electroválvulas, etc.)
110-13 (a)	Montaje	Montaje e implementación del armario
110-14	Conexiones Eléctricas	Implementación del armario
Artículo 300	Métodos y Materiales de Alambrado	
300-3	Conductores	Selección de los conductores eléctricos AWG
300-20	Corrientes inducidas en encerramientos o canalizaciones metálicas	Selección de los conductores eléctricos AWG
Artículo 310	Conductores para Instalaciones en general	
310-2	Conductores	Selección de los conductores eléctricos AWG
310-5	Calibre mínimo de los conductores	Selección de los conductores eléctricos AWG

Tabla 5. 12. Artículos utilizados de la Norma NEC

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestra un análisis de las capacidades del sistema, las reacciones de este ante las posibles situaciones a las que pueda ser sometido por parte del usuario y su respuesta ante ellas. Se muestran unas pruebas finales que demuestran que el sistema es capaz de funcionar correctamente de acuerdo a lo diseñado y a los requerimientos de los estados del proceso.

Se realizará pruebas de funcionamiento del programa implementado en el PLC para los estados del proceso, la comunicación entre el autómatas y la pantalla táctil, el programa de supervisión y monitoreo del proceso en la HMI y la creación de reportes y presentación de los datos.

Además se configurará el regulador como P, PI y PID, pudiéndose así comprobar los efectos de los valores K_p , T_i y T_d que ya se han explicado teóricamente en los capítulos anteriores.

En los sistemas reales, en los cuales no es fácil obtener su modelo matemático, cuando los PID se realizan con software, se puede usar un software especial para sintonizar los parámetros K_p , T_d y T_i (PID self-tuner). En otros casos la regulación

se realiza con tarjetas especiales que llevan definidas unas funciones para realizar la auto-sintonía. Exceptuando los casos antes mencionados, la sintonización se puede realizar utilizando otros métodos sin necesidad de software que los sintonice. Se pueden utilizar, entre otros, “Ziegler Nichols” o “Harriot”. Para este proyecto se ha optado por utilizar el método de Ziegler Nichols, el método de las oscilaciones sostenidas. Se realizará una prueba del controlador diseñado.

Todas estas pruebas son muy importantes para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema para prevenir grandes errores, finalmente una vez revisadas y probadas cada una de las etapas del proyecto se realizó una prueba final de todo el sistema en conjunto que mostró el correcto funcionamiento del mismo.

6.1. Pruebas en la Programación

6.1.1. Prueba con el cable de comunicación

Para poder comprobar el correcto funcionamiento del programa desarrollado en el SIMATIC MANAGER STEP 7 se necesita un switch (Figura 6.1), un cable de red (Ethernet) y un computador para la transferencia del programa al PLC. Una vez montada la red y después de configurar el software de programación del PLC, se pudo realizar la comunicación entre el PLC, la pantalla táctil y el computador.

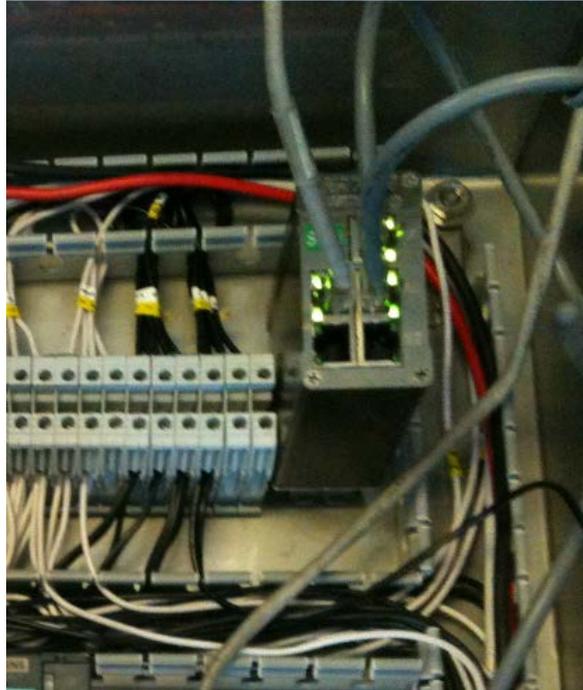


Figura 6. 1. Comunicación Ethernet entre PLC, PC y Pantalla Táctil

Una vez montada la red Ethernet para comprobar la correcta comunicación entre los dispositivos se utilizó el comando Ping.exe el cual es una pequeña aplicación disponible en todos los sistemas Windows, que se ejecuta con el comando PING mediante la consola de CMD (significa command y sirve para abrir la consola de MS-DOS). Es usada para probar la conectividad de redes.

Entonces desde la computadora del proceso se ejecutó este comando obteniendo los siguientes resultados (Figuras 6.2):

ORDEN DE PING:

1RO: A LA TARJETA DE RED DE LA PC ->192.168.194.2

2DO: A LA TARJETA DE RED DEL PLC ->192.168.194.7

3RO: A LA TARJETA DE RED DE LA PANTALLA TOUCH -> 192.168.194.5

```
C:\Documents and Settings\Administrador>ipconfig

Configuración IP de Windows

Adaptador Ethernet Conexión de área local :
    Sufijo de conexión específica DNS :
    Dirección IP. . . . . : 192.168.194.1
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada :

C:\Documents and Settings\Administrador>ping 192.168.194.2

Haciendo ping a 192.168.194.2 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.194.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.194.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Documents and Settings\Administrador>ping 192.168.194.7

Haciendo ping a 192.168.194.7 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.194.7: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.194.7:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Documents and Settings\Administrador>ping 192.168.194.5

Haciendo ping a 192.168.194.5 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.194.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.194.5:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Figura 6. 2. Ping a la dirección del PC, PLC y de la Pantalla Táctil

Los resultados obtenidos cumplen con lo esperado y demuestran que las conexiones físicas entre los dispositivos puestos en red (PLC, Computador y Pantalla Táctil) son correctas.

6.1.2. Prueba del programa en el PLC

El programa para controlar este sistema se realizó en forma jerárquica, desde lo más básico de un bloque hasta el bloque completamente terminado, una vez transferido el programa al PLC SIEMES S7-300 se realizó las respectivas pruebas de funcionamiento, verificando que se cumplan todas las condiciones del respectivo

proceso de destilación de agua de acuerdo a lo esperado, además que las señales en las entradas del autómata sean correctamente leídas. En la siguiente Figura 6.3 se muestra una captura del Simatic Manager Step 7 con el PLC funcionando en línea.

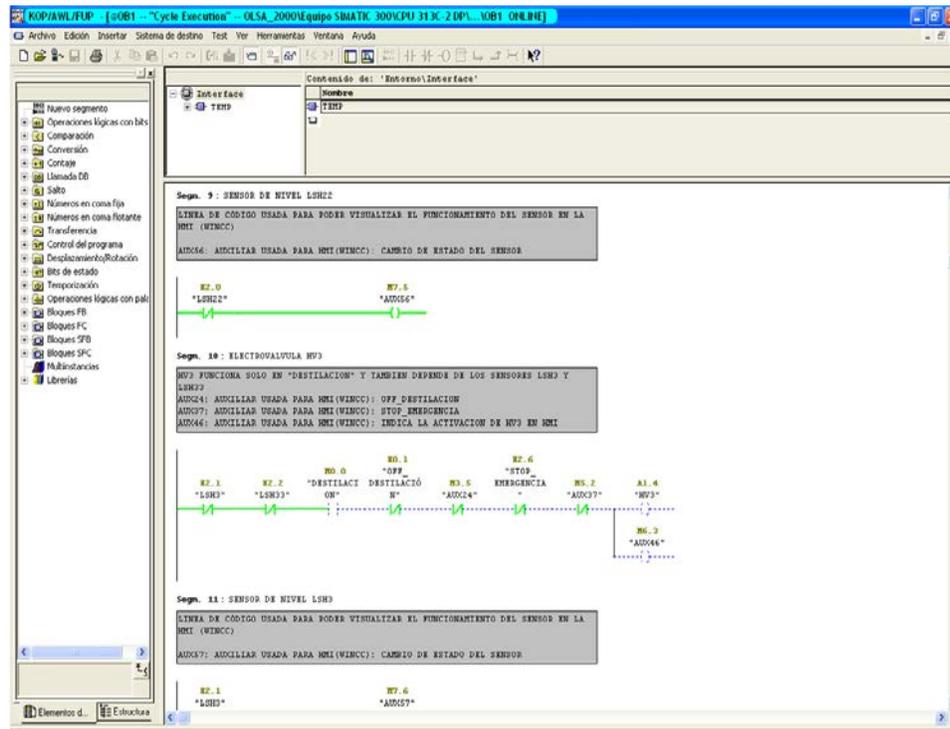


Figura 6. 3. Programa del Simatic Manager Step 7 en línea

Los resultados arrojados por esta prueba cumplen con lo esperado según las sentencias de control de los diferentes estados del proceso (Ver Sección 3.1) la lógica implementada activa y desactiva las electroválvulas correspondientes a cada estado sin ningún inconveniente permitiendo que el proceso se desarrolle de manera normal.

6.1.3. Pruebas en las señales digitales

Para poder probar las entradas y salidas digitales se activó los respectivos sensores y electroválvulas de acuerdo a los estados del proceso (Figura 6.4), además se verificó con los planos de control cada acción ejecutada en las entradas y salidas, finalmente se realizó la correspondiente medición de voltaje para garantizar el óptimo funcionamiento.

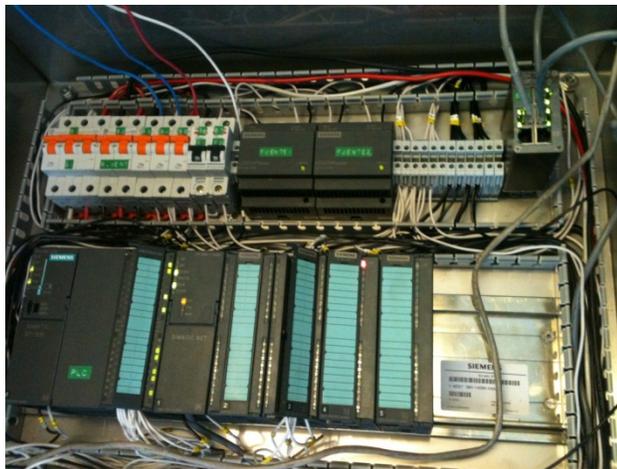


Figura 6. 4. Pruebas de las señales digitales

La Tabla 6.1 muestra los resultados de las pruebas en las señales digitales.

Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
Activación de Selectores ON de los estados	Activación de un solo estado, el resto están bloqueados	Se activa solo el estado que se quiera encender y el resto permanecen bloqueados

Activación de Selectores OFF de los estados	Desactivación del estado encendido, el resto se desbloquean	Se desactiva el estado encendido y el resto se desbloquean
Activación de Sensores de nivel	Control de válvulas HV1, HV2, HV3, HV4 y HV14	Control de válvulas HV1, HV2, HV3, HV4 y HV14
Activación de Conductivímetro	Control de válvulas HVM8 y HVM9	Control de válvulas HVM8 y HVM9
Activación de Paro de Emergencia	Todo el sistema se bloquea	Todo el sistema bloqueado
Activación de Paro de Alarma acústica	Alarma acústica deja de sonar	Alarma acústica dejó de sonar
Activación de Sensor nivel de tanque Pulmón	Funciona solo en destilación, generación de vapor y llenado Bomba G1 desactivada	Solo funciona en destilación, generación de vapor y llenado Bomba G1 desactivada
Activación de Sensor nivel de tanque TK1	Estado de destilación se paraliza esperando que el tanque TK1 se vacié	Destilación se paralizó hasta que el tanque TK1 se vació

Tabla 6. 1. Pruebas en las señales digitales

Los resultados que se han obtenido en estas pruebas concuerdan con los esperados debido a la correcta alimentación del PLC y sus módulos, aplicación de la lógica de contactos y programación de los mismos, además de la correcta conexión en los slots de los módulos de entradas de los respectivos sensores cuyas señales son las que comandan los estados del proceso.

6.1.4. Pruebas en las señales analógicas

Para la realización de estas pruebas, se calibró los respectivos sensores de temperatura ($0^{\circ}\text{C} - 4\text{mA}$ y $250^{\circ}\text{C} - 20\text{mA}$) y de presión ($0\text{ Bares} - 4\text{mA}$ y $10\text{ Bares} - 20\text{mA}$) tal como muestran la Figuras 6.5 y 6.6 de acuerdo las especificaciones del proceso.

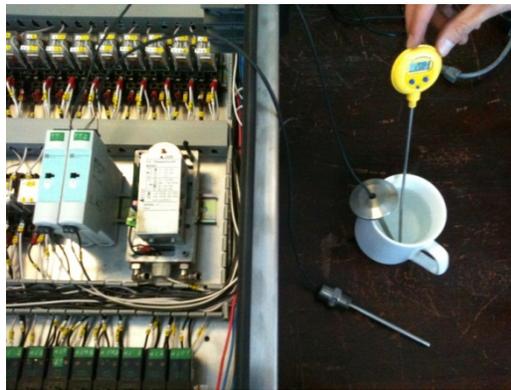


Figura 6. 5. Calibración de los sensores de temperatura

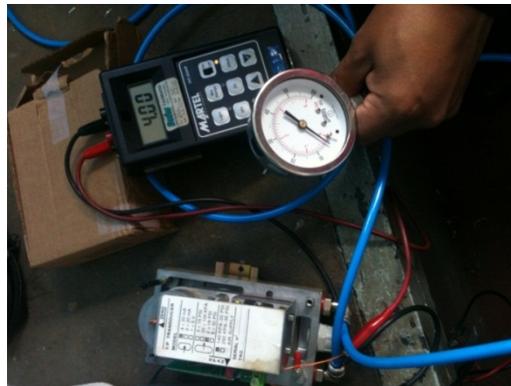


Figura 6. 6. Calibración del transductor de presión

La Tabla 6.2 muestra los resultados de las pruebas en las señales analógicas.

Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
Calibración del Sensor de temperatura PT100 a la temperatura ambiente	Lectura de un termómetro 23 °C	Lectura PT100 25.7 °C
Calibración del Sensor de temperatura PT100 a la temperatura ambiente	Lectura de un termómetro 23 °C	Lectura PT100 después del escalamiento 22.97 °C
Calibración del Sensor de temperatura PT100 a la temperatura del cuerpo humano	Lectura de un termómetro 31 °C	Lectura PT100 40.6 °C
Calibración del Sensor de temperatura PT100 a la temperatura del cuerpo humano	Lectura de un termómetro 31 °C	Lectura PT100 después del escalamiento 30.9 °C
Calibración del Sensor de Presión a la presión de la línea de aire de LIFE	Lectura de un manómetro 1.5 bares	Lectura sensor de presión 0.67 bares
Calibración del Sensor de Presión a la presión de la línea de aire de LIFE	Lectura de un manómetro 1 bar	Lectura sensor de presión después del escalamiento 0.99 bares
Calibración del Sensor de Presión a la presión de la línea de aire de LIFE	Lectura de un manómetro 3 bares	Lectura sensor de presión después del escalamiento 2.97 bares

Tabla 6. 2. Pruebas en las señales analógicas

Para la realización de las pruebas de la Tabla 6.2 se creó dentro del programa de control un bloque (bloque de función FB) de escalamiento de las señales analógicas que permita pasar de valores de corriente (unidades crudas) a valores de proceso (temperatura y presión).

Así pues los datos obtenidos se deben al escalamiento que utiliza el concepto de pendiente de la recta (Figura 6.7), bajo este concepto en el eje de las abscisas (eje x) se coloca los valores del conversor analógico digital del módulo, y en el eje de las ordenadas (eje y) se consideran los valores de salida deseados (°C y Bares).

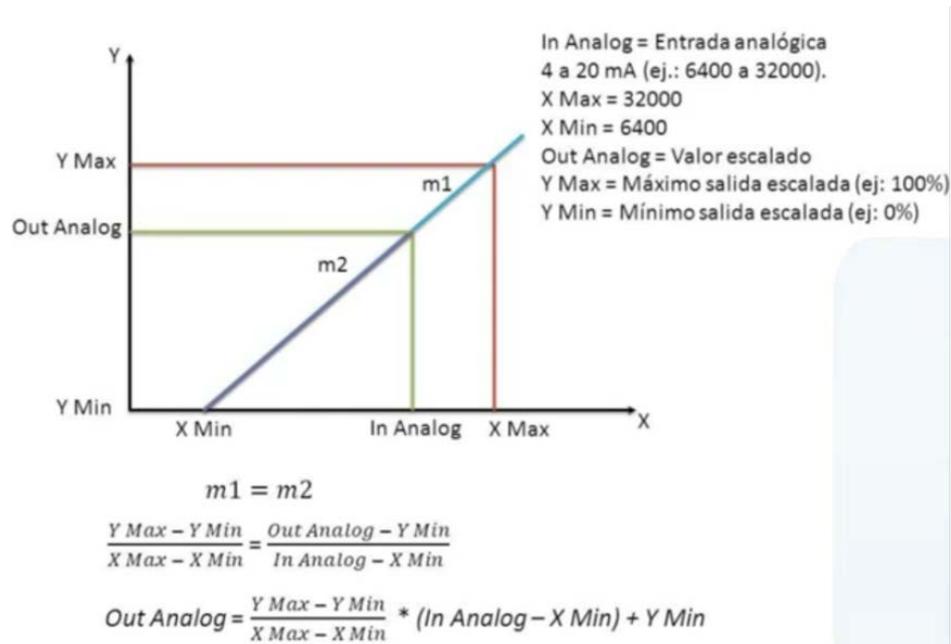


Figura 6. 7. Escalamiento a través del concepto de pendiente de la recta

Así pues se tomó las señales de los sensores de temperatura y de presión, con estos datos (Tabla 6.3) se empezó a realizar los respectivos escalamientos de acuerdo a los valores observados en el termómetro y el manómetro respectivamente, tomando

correctamente las lecturas de las entradas analógicas se pudo obtener los datos deseados de acuerdo al proceso de destilación de agua

Sensor	Lectura en mA	Lectura en unidades crudas
PT100	7.9	3966
PT100	16	7945
Presión PT1	6.5	5460
Presión PT1	13.4	12567

Tabla 6. 3. Lecturas de los sensores PT100 y PT1

Después de analizar los resultados finales del escalamiento se puede establecer que el sistema provee de datos muy confiables cuyos índices de error están por debajo del 3% permitido para este tipo de procesos.

6.2. Prueba del controlador

Reglas de sintonización Ziegler-Nichols

La Figura 6.8 muestra el control PID de una planta. Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio (régimen transitorio) y en estado estable (régimen permanente) del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el

diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional.

Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.)

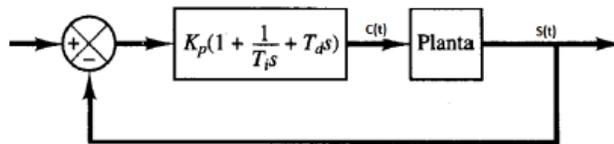


Figura 6. 8. Control PID de una planta

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros mediante experimentos sobre la planta.

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (véase la Figura 6.9). El primer método se basa en la curva de respuesta del sistema en lazo abierto y el segundo se basa en la oscilación del sistema en lazo cerrado.

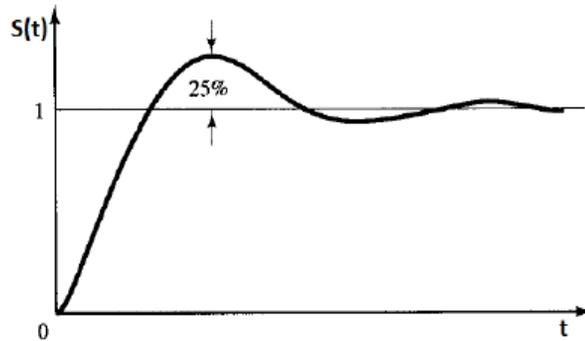


Figura 6. 9. Curva de respuesta escalón unitario con sobrepaso máximo de 25%

Método de oscilación mantenida

En este método, primero se establece $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional (véase la Figura 6.10), se incrementa K_p de 0 a un valor crítico K_c , en donde la salida exhiba oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.) Por tanto, la ganancia crítica K_c , y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente (véase la Figura 6.11). Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la Tabla 6.4.

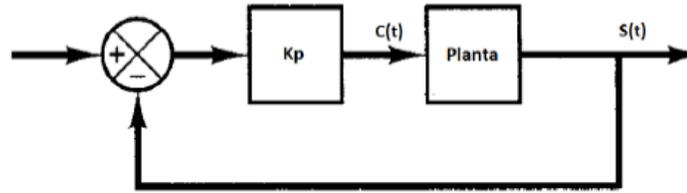


Figura 6. 10. Sistema en lazo cerrado con control proporcional

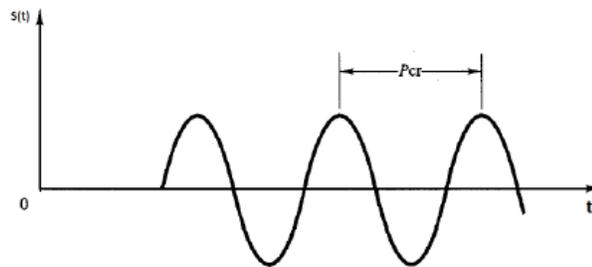


Figura 6. 11. Oscilación sostenida con periodo P_{cr}

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tabla 6. 4. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols

Las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols) se han usado ampliamente para sintonizar controladores PID en los sistemas de control de procesos en los que no se conoce la dinámica de la planta. Tales reglas de sintonización han demostrado ser muy útiles durante muchos años. Por supuesto, las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se aplican también a las plantas cuya dinámica se conoce. (En estos

casos, se cuenta con muchos enfoques analíticos y gráficos para el diseño de controladores PID, además de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols).

Sintonía de los parámetros PID.

Antes de proceder a la sintonización de nuestro controlador PID se debe puntar que nuestra planta (Destilador OLSA QV-2000) es demasiado compleja al momento de obtener su modelo matemático además tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID, por tal motivo se debe recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización del controlador y aplicar el método de Ziegler-Nichols usado ampliamente para sintonizar controladores PID en los sistemas de control de procesos en los que no se conoce con precisión la dinámica de la planta.

Entonces para cumplir con la sintonización utilizando el método de Ziegler-Nichols, se enciende todo el sistema y se registra y se comprueba la señal de entrada analógica al PLC del sensor de presión PT1, una vez que se tiene el sensor funcionando dentro del programa de Step 7 en el Bloque OB35 del PID se desconectarán las acciones integral y derivativa y también se asignará el valor 0 a Kp. Por tanto los parámetros I_SEL y P_SEL se desconectarán y al parámetro GAIN se le asignará el valor 0.

Por otra parte, se recuerda que los valores de las entradas y salidas del PLC son porcentajes (Ver sección 4.2). Existe la opción de cambiar estos rangos con los parámetros PV_FAC, PV_OFF, LMN_FAC y LMN_OFF.

En este proyecto se ha trabajado en bares, no en porcentajes. Es por eso que para las siguientes expresiones se han elegido los valores siguientes:

$$PV_FAC= 0.1$$

$$LMN_FAC=10$$

Hay que tener especial cuidado de elegir el rango ya que para valores distintos las acciones del controlador van a variar. Un ejemplo sería el de la ganancia, ya que en el caso de que se eligiese $LMN_FAC = 1$, la ganancia sería 10 veces mayor. Para observar la salida del controlador se ejecutará el entorno grafico que ofrece STEP7 (Figura 6.12) para una mejor sintonización y visualización de la variable controlada (Presión PT1).

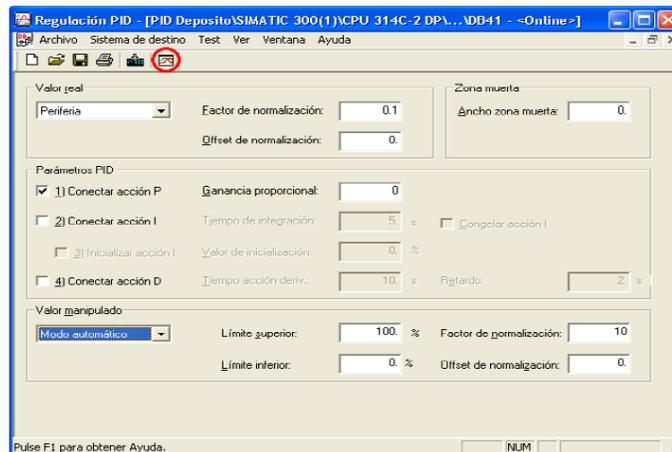


Figura 6. 12. Entorno grafico PID

Se ejecuta el registrador de curvas (Figura 6.12) y activando el botón “ajustes” (Figura 6.13), se puede visualizar cuatro de entre todos los valores que se puede tener en el lazo que se está regulando, y se puede configurar el color, límite, rango, tiempo de visualización y velocidad de recepción de cada uno.

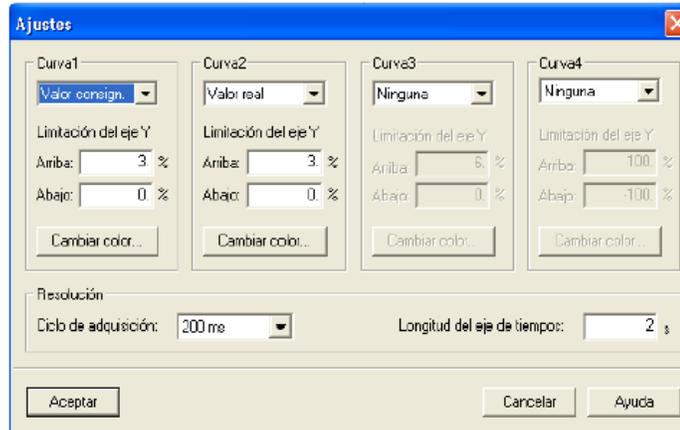


Figura 6. 13. Ajustes

Una vez ajustado el registrador de curvas; se utiliza un Set Point de 2.5 bars y se irá incrementando el valor de K_p (GAIN) en la tabla de valores hasta que se llegue a obtener en la salida oscilaciones sostenidas.

Lo anterior se verá reflejado en tiempo real en las siguientes figuras:

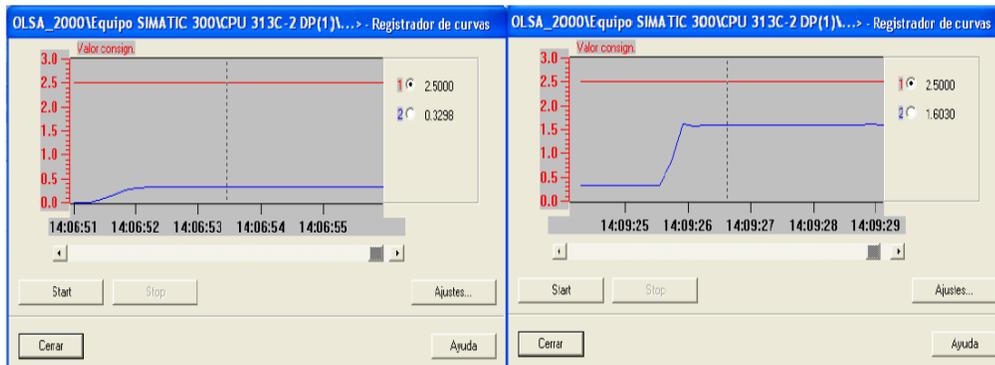


Figura 6. 14. $K_p = 2$ y $K_p = 5$

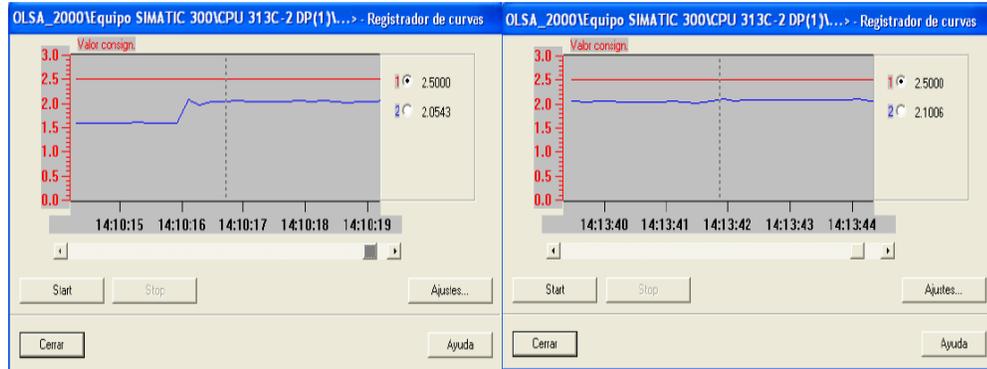


Figura 6. 15. $K_p = 10$ y $K_p = 11$

Se puede observar, que al intentar hacer oscilar el sistema, los efectos de un regulador de tipo P, es decir, que el valor real se va a acercarse en mayor o menor medida (dependiendo del valor de K_p) a la consigna pero nunca la alcanzará (ver Figura 6.14 y Figura 6.15), es decir, que siempre existirá un error.

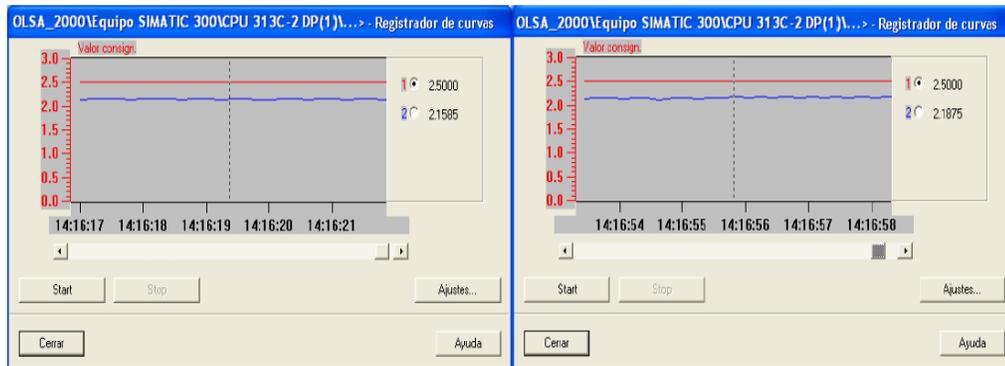


Figura 6. 16. $K_p = 13$ y $K_p = 14$

Se puede observar en la Figura 6.16 que el valor real ya no presenta cambios significativos al variar la ganancia, sin embargo, sí que presenta cierta oscilación.

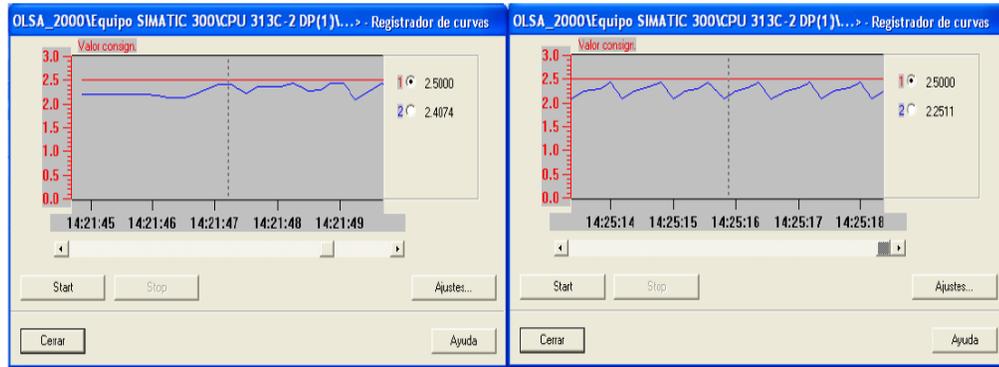


Figura 6. 17. $K_p = 15$

Como era de prever, al aumentar el valor de la ganancia (Figura 6.17) a 15 el sistema empieza a oscilar y mantiene esta inestabilidad.

Por tanto la ganancia crítica (K_{cr}) será de 15 y el periodo crítico (P_{cr}) será de aproximadamente 800ms.

Para los parámetros críticos hallados los valores de sintonización serían los siguientes:

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	7.5	∞	0
PI	6.75	667	0
PID	9	400	100

Tabla 6. 5. Valores de los parámetros PID

Efecto del regulador P

Como se ha visto en la sección anterior, un regulador de tipo P no podrá controlar completamente el sistema ya que siempre existirá un error, por muy grande que sea la K_p .

Aunque como se ha visto para una alta ganancia el sistema puede presentar problemas de inestabilidad. A continuación se verá cómo responde el sistema con diferentes valores de consigna ($SP = 2.5, 2$ y 1.5 bares) para el valor de K_p hallado por el método de sintonización de Ziegler-Nichols. En este caso también se ha incluido en la gráfica el valor del error de regulación y se cambió la amplitud de la gráfica. Este tipo de regulador corresponde con la expresión:

$$C(s) = K_p \varepsilon(s) = 7,5 \varepsilon(s) \quad \text{Ec. 6.1}$$

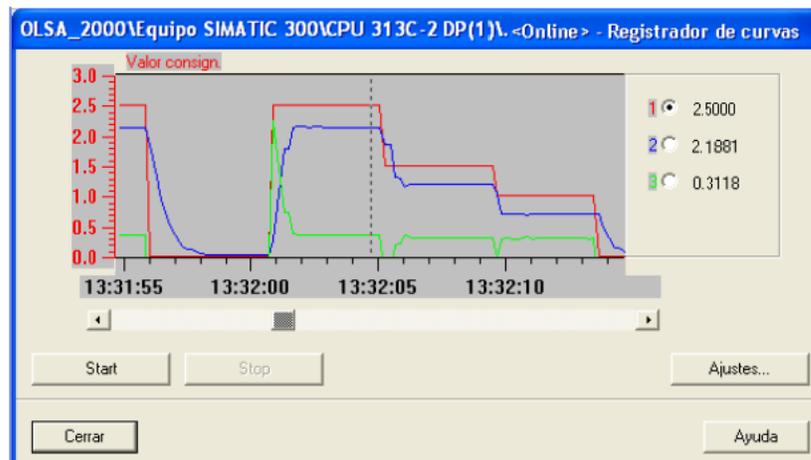


Figura 6. 18. Acción P experimento 1°

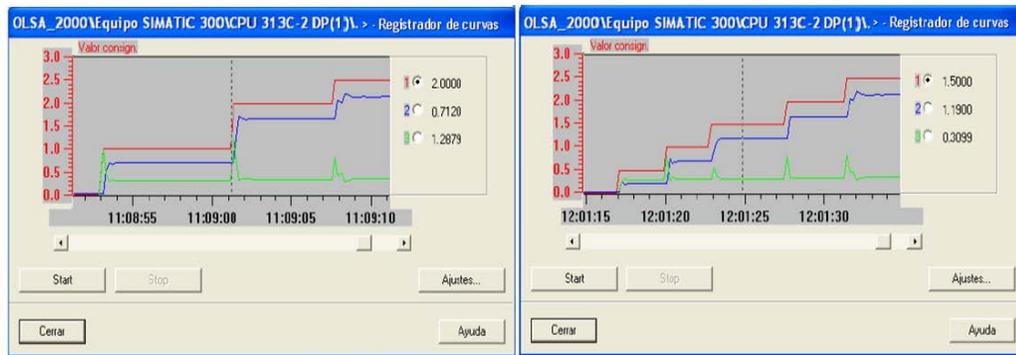


Figura 6. 19. Acción P experimento2°

En la Tabla 6.6 se presentan los datos obtenidos del sistema en tiempo real para su respectivo análisis:

Set Point (Bars)	Valor obtenido (Bars)	Valor esperado (Bars)	Kp	Ti	Td
2.5	2.1881	2.5	7.5	∞	0
2.5	2.151	2.5	7.5	∞	0
2	1.568	2	7.5	∞	0
1	0.667	1	7.5	∞	0

Tabla 6. 6. Datos del sistema debido a la acción del controlador Proporcional

Análisis de datos:

$$\text{Error} = (\text{Set Point} - \text{Valor obtenido}) * 100 / \text{Set Point}$$

Este error debe ser menor al 3% para aceptar la regulación del controlador de tipo P.

Para SP= 2.5:

$$\text{Error} = \frac{2.5 - 2.1881}{2.5} * 100 = 12.47\%$$

Para SP= 2:

$$\text{Error} = \frac{2 - 1.568}{2} * 100 = 21.6\%$$

Para SP= 1:

$$\text{Error} = \frac{1 - 0.667}{1} * 100 = 33.3\%$$

Se puede observar en las Figuras 6.18, 6.19 y en los resultados obtenidos del análisis, como será necesario incluir otra acción que elimine este error en régimen permanente. También cabe destacar que este tipo de sistemas presentan mucho ruido sobretodo presente al cambiar la consigna.

Regulador PI

En esta ocasión se probará el efecto de la acción integral I (Figura 6.20 y Figura 6.21), activando el parámetro I_SEL de la tabla de variables (I_SEL=1). Así pues, a

partir de ahora se trabajará con el regulador del tipo PI. De este modo, cuando haya cambios de consigna, en el régimen transitorio se hace notar la acción proporcional, mientras que en el régimen permanente el error desaparecerá por completo a causa de la acción integral.

En este caso la expresión del regulador, incluyendo los valores de Ziegler-Nichols, sería la siguiente:

$$C(s) = e(s)K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} \right) = e(s)6,75 \left(1 + \frac{1}{667S} \right) \quad \text{Ec. 6.2}$$

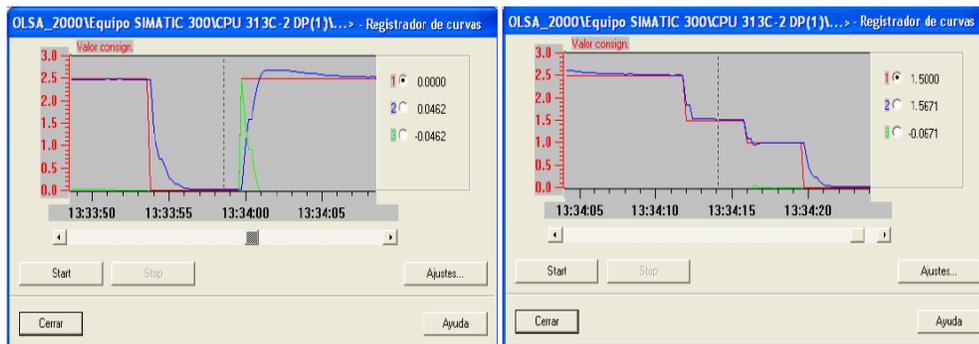


Figura 6. 20. Acción PI experimento 1°

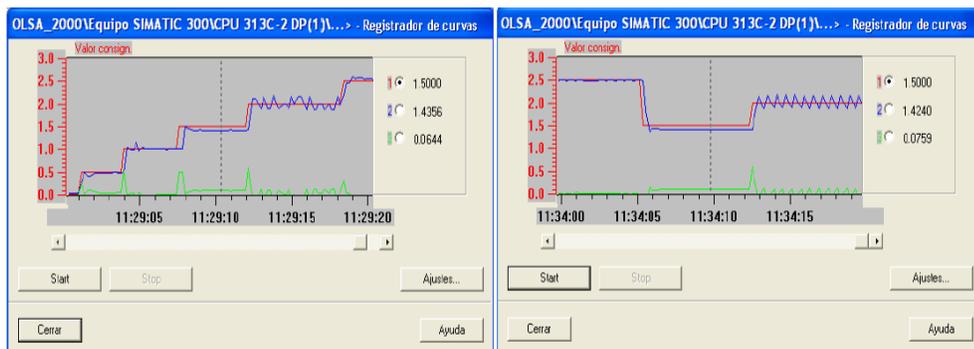


Figura 6. 21. Acción PI experimento 2°

En la Tabla 6.7 se presentan los datos obtenidos del sistema en tiempo real para su respectivo análisis:

Set Point (Bars)	Valor obtenido	Valor esperado	Kp	Ti	Td
2.5	2.4538	2.5	6.75	667	0
2	2.15	2	6.75	667	0
1.5	1.4356	1.5	6.75	667	0
1	0.99	1	6.75	667	0

Tabla 6. 7. Datos del sistema debido a la acción del controlador PI

Análisis de datos:

$$\text{Error} = (\text{Set Point} - \text{Valor obtenido}) * 100 / \text{Set Point}$$

Este error debe ser menor al 3% para aceptar la regulación del controlador de tipo PI.

Para SP= 2.5:

$$\text{Error} = \frac{2.5 - 2.4538}{2.5} * 100 = 1.85\%$$

Para SP= 2:

$$\text{Error} = \frac{2 - 2.15}{2} * 100 = 7.5\%$$

Para SP= 1.5:

$$\text{Error} = \frac{1.5 - 1.4356}{1} * 100 = 4.3\%$$

Para SP= 1:

$$\text{Error} = \frac{1 - 0.995}{1} * 100 = 0.5\%$$

Se puede observar en la Figura 6.21 y en los resultados obtenidos del análisis, como el regulador se vuelve un poco inestable por lo que el error no se mantiene dentro del rango establecido (<3%). Esta inestabilidad es por el ruido existente en el sistema, que se produce por las turbulencias del aire a presión y también por las vibraciones producidas en los diferentes elementos neumáticos.

Regulación PID

Ahora se incluirá la acción Derivativa al regulador con el fin de ver gráficamente la influencia de esta acción.

En este caso la expresión del regulador, con los valores de Ziegler-Nichols calculados, sería la siguiente:

$$C(s) = e(s)K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_D S \right) = e(s)9 \left(1 + \frac{1}{400S} + 100S \right) \quad \text{Ec. 6.3}$$

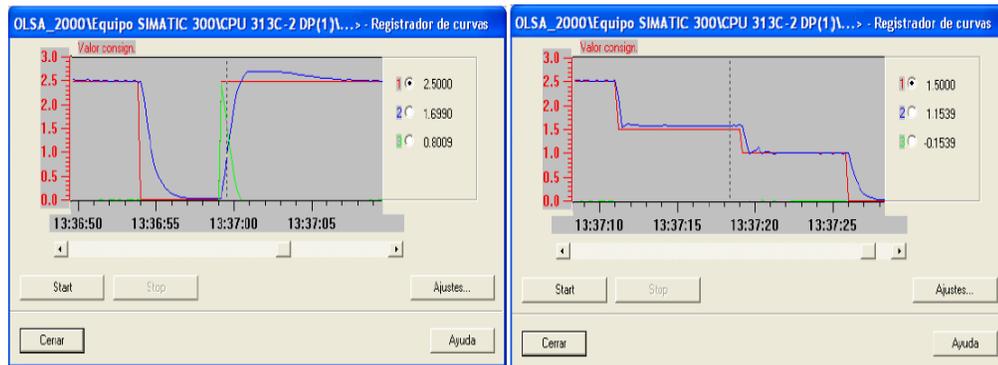


Figura 6. 22. Acción PID experimento 1°

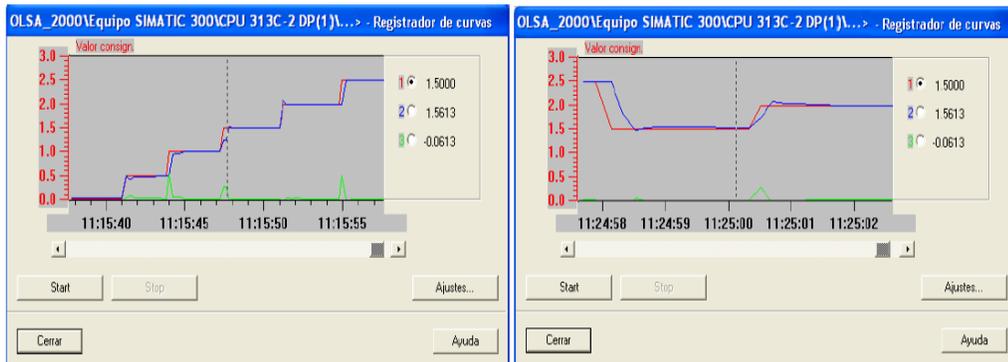


Figura 6. 23. Acción PID experimento 2°

En la Tabla 6.8 se presentan los datos obtenidos del sistema en tiempo real para su respectivo análisis:

Set Point (Bars)	Valor obtenido	Valor esperado	Kp	Ti	Td
2.5	2.497	2.5	9	400	100
2	2.03	2	9	400	100
1.5	1.53	1.5	9	400	100
1	1.001	1	9	400	100

Tabla 6. 8. Datos del sistema debido a la acción del controlador PID

Análisis de datos:

$$\text{Error} = (\text{Set Point} - \text{Valor obtenido}) * 100 / \text{Set Point}$$

Este error debe ser menor al 3% para aceptar la regulación del controlador de tipo PID.

Para SP= 2.5:

$$\text{Error} = \frac{2.5 - 2.497}{2.5} * 100 = 0.12\%$$

Para SP= 2:

$$\text{Error} = \frac{2 - 2.03}{2} * 100 = 1.5\%$$

Para SP= 1.5:

$$\text{Error} = \frac{1.5 - 1.5356}{1} * 100 = 2.37\%$$

Para SP= 1:

$$\text{Error} = \frac{1 - 1.001}{1} * 100 = 0.1\%$$

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis, y a las Figuras 6.22 y 6.23, se observa como el regulador de tipo PID mejora notablemente el proceso a regular, eliminando totalmente el error en régimen permanente, a pesar de las perturbaciones que presentan este tipo de sistemas por lo tanto es el ideal para nuestro proyecto.

6.3. Prueba de funcionamiento del Monitoreo y Supervisión del proceso

Antes de realizar esta prueba se debe comprobar la correcta comunicación del PLC con la pantalla táctil, la misma que se logró gracias al protocolo Industrial Ethernet TCP/IP a través de la conexión a un switch por medio de cable de red tanto del puerto Ethernet (Módulo Profinet CP-343) del PLC como del puerto Ethernet de la pantalla. Una vez montada la red y configurado el software de programación del PLC y del panel de operador, se pudo realizar la comunicación entre el PLC y la Pantalla Táctil (HMI).

El programa para controlar y supervisar el proceso de destilación de agua posee una comunicación online de las variables del PLC S7-300 con las variables de la HMI.

Esta comunicación de variables es necesaria para que el sistema trabaje para lo cual fue diseñado. Una vez que se comprobó el correcto funcionamiento del programa para el PLC se procede a cargar el programa de la HMI en la pantalla táctil MP277 10”.

Una vez cargado el programa de la HMI se puede realizar las respectivas pruebas en cada una de las ventanas de la interfaz (Figura 6.24).

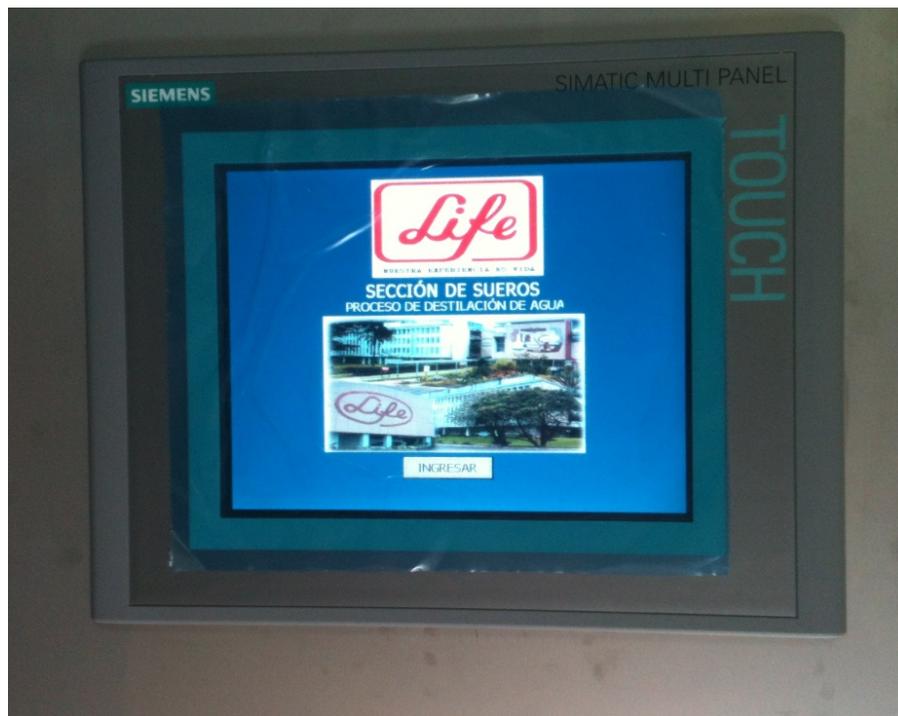
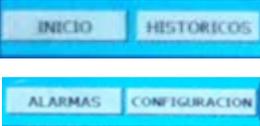


Figura 6. 24. Programa HMI cargado en la pantalla táctil

Todas las pruebas realizadas una vez cargada la HMI en la pantalla táctil se muestran en la Tabla 6.9 con sus respectivos resultados.

Prueba de programación	HMI	Resultado esperado	Resultado obtenido
Navegación entre pantallas	Botones de navegación 	Cada botón de navegación debe permitir acceder a las diferentes pantallas	Cada botón cumple con su función de acceso a las ventanas de la HMI
Alarmas	Luces Indicadoras 	Luces indicadoras deben activarse cuando se produzca una alarma	Al momento de producirse una alarma se activó la respectiva luz de indicadora de alarma
Estados	Botones y luces de Estados 	Los botones deben permitir accionar su respectivo estado con su luz indicadora	Los botones activan cualquier estado del proceso y su respectiva luz indicadora
Paro de Emergencia	Botón de paro de emergencia 	Este botón debe detener totalmente todo el proceso de destilación de agua	Al momento de activar este botón todo el sistema de paraliza
Nivel de	Ventana de inicio de	Permitir acceder a	Permite el

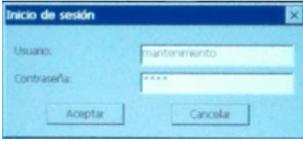
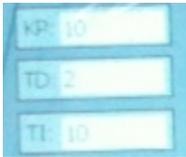
jerarquía	<p>sesión</p> 	la configuración de los parámetros más importantes con la debida autorización	nivel de seguridad adecuado al proceso
Lectura de las variables de proceso en tiempo real	<p>Campo de lectura</p> 	Leer de forma precisa las variables de proceso en tiempo real	Los valores visualizados corresponden a las variables del proceso
Ingreso de parámetros de configuración	<p>Campos de escritura</p> 	Estos campos permiten el ingreso de parámetros de configuración que serán utilizados por la programación del PLC	Los valores ingresados son correctamente leídos por el PLC
Animación del proceso	<p>Símbolos</p> 	La animación debe funcionar de acuerdo a los estados del proceso real	La animación del proceso muestra de forma interactiva el funcionamiento del mismo

Tabla 6. 9. Pruebas de programación en el sistema de Monitoreo y Supervisión

De acuerdo a la tabla anterior se puede realizar la comparación de los resultados esperados y los obtenidos, consiguiendo comprobar una vez más que los diferentes elementos de la HMI están correctamente programados y asociados a las variables físicas (sensores) y sentencias del PLC.

6.4. Prueba del Sistema Reportes y Almacenamiento de Datos

Una de las partes más importantes del proyecto es la presentación de los reportes en hojas de cálculo de Microsoft Excel, ya que mediante estos reportes se puede obtener la información histórica en períodos de horas, días, semanas y meses de las variables del proceso. La correcta ejecución de esta herramienta es de gran interés para la empresa, ya que por medio de esta podrán analizar los diferentes estados del proceso de destilación de agua además de planificar estrategias para incrementar y mejorar su desarrollo. En las Tablas 6.10 y 6.11 se muestra las pruebas del sistema de generación de reportes.

Hora	Valor esperado medido por el sensor de temperatura PT100	Valor obtenido en el reporte de MS Excel
17/07/2012 12:07:46	25.876 °C	25.876 °C
17/07/2012 12:08:33	21.576 °C	21.576 °C
17/07/2012 12:09:46	31.879 °C	31.879 °C

Tabla 6. 10. Datos de temperatura del sistema de generación de reportes

Hora	Valor esperado medido por el sensor de presión PT1	Valor obtenido en el reporte de MS Excel
17/07/2012 13:08:24	1.57 Bares	1.57 Bares
17/07/2012 13:09:17	2.95 Bares	2.95 Bares
17/07/2012 13:11:47	2.71 Bares	2.71 Bares

Tabla 6. 11. Datos de presión del sistema de generación de reportes

Estas pruebas muestran que la programación de los Scripts de reportes cumple sus funciones y que el intercambio de información no se pierde sino que más bien se realiza de forma rápida y precisa, por tanto los valores de las variables del proceso (temperatura y presión) que se espera que se almacenen y los almacenados son correctos no existe ningún tipo de error.

La Figura 6.25 muestra los reportes generados permitiendo al operador acceder de manera fácil y rápida a dichos informes.

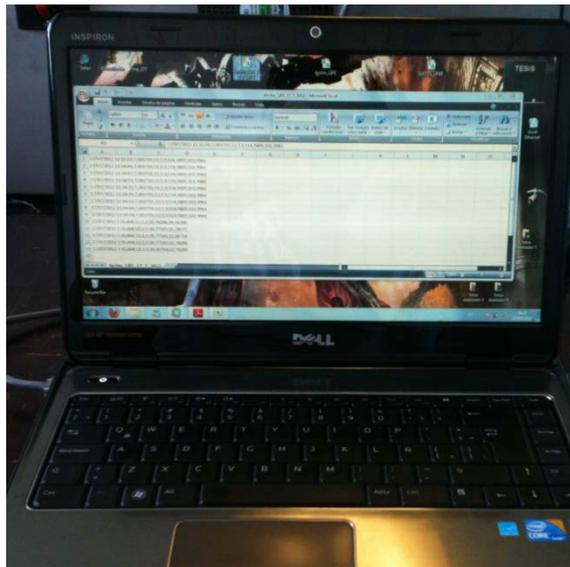


Figura 6. 25. Prueba de generación de reportes en MS Excel

El almacenamiento de las variables del proceso en hojas de cálculo de MS Excel cuenta con una parte complementaria que corresponde a la base de datos del proceso. Para la realización de esta prueba se dispuso de las Tablas 6.10 y 6.11 con los valores de las variables de proceso, así pues se accedió a la pantalla de la base de datos la misma que nos muestra en una tabla los datos almacenados en los reportes de Excel (Figura 6.26).

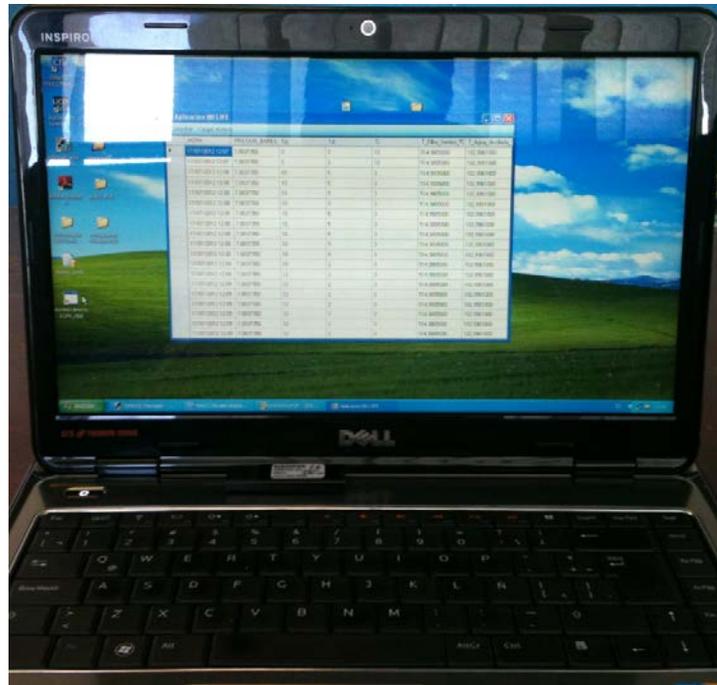


Figura 6. 26. Base de datos en la PC del proceso

Así pues se obtuvo una base de datos sin problemas de almacenamiento de los valores de las variables del proceso (temperatura y presión), por tanto la programación de esta base es altamente compatible con el sistema de generación de reportes trabajando conjunta y complementariamente.

6.5. Prueba del Servidor OPC (PC- Access)

Para esta prueba se configuró el panel de operador como servidor OPC y la PC del proceso como cliente OPC según los pasos expuestos en el Capítulo 4 (sección 4.7), gracias a esto se logra una comunicación entre el PLC, la pantalla táctil y los programas de cómputo: Excel y Visual Basic para el intercambio de datos.

En las Tablas 6.12 y 6.13 se muestra las pruebas del sistema de captura de datos operacionales.

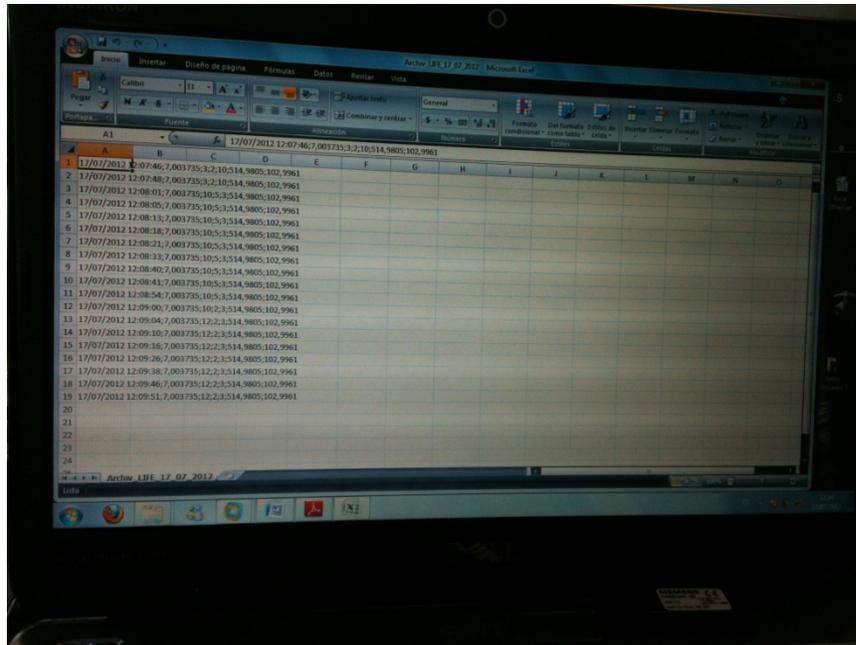
Hora	Valor esperado medido por el sensor de temperatura PT100	Valor obtenido en el reporte de MS Excel vía OPC
03/08/2012 10:25:12	21.17 °C	21.17 °C
03/08/2012 10:27:57	20.61 °C	20.61 °C
03/08/2012 10:29:04	30.01 °C	30.01 °C

Tabla 6. 12. Datos de temperatura del sistema de generación de reportes vía OPC

Hora	Valor esperado medido por el sensor de presión PT1	Valor obtenido en el reporte de MS Excel vía OPC
03/08/2012 11:16:15	1.04 Bares	1.04 Bares
03/08/2012 11:17:25	2.12 Bares	2.12 Bares
03/08/2012 11:18:23	3.58 Bares	3.58 Bares

Tabla 6. 13. Datos de presión del sistema de generación de reportes vía OPC

Los datos obtenidos a través de la configuración OPC muestran que el intercambio de información entre el panel de operador y la PC fluye sin interferencia alguna, los datos obtenidos son aceptables, no existe ninguna clase de error, por lo tanto la configuración OPC está correctamente realizada. La captura de datos operacionales vía OPC se puede observar en la Figura 6.27.



The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet. The spreadsheet is titled 'Archivo Libre 17.07.2012' and contains a list of data points. The data points are organized in columns, with the first column containing dates and times, and the second column containing numerical values. The data points are as follows:

Fecha y Hora	Valor
17/07/2012 12:07:46	7,003735;3,2;10;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:07:48	7,003735;3,2;10;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:01	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:05	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:13	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:18	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:21	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:33	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:40	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:41	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:08:54	7,003735;10;5;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:00	7,003735;10;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:04	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:10	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:16	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:26	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:38	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:46	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961
17/07/2012 12:09:51	7,003735;12;2;3;514,9805;102,9961

Figura 6. 27. Captura de datos operacionales vía OPC

6.6. Resultados

Luego de haber concluido todas las pruebas técnicas correspondientes para cada dispositivo instalado, se realizó la prueba final de funcionamiento de todo el sistema de monitoreo, supervisión y control del proceso de destilación de agua.

Para la prueba final fue necesaria la aprobación de la sección de sueros de la empresa para producir agua de tipo inyectable; siendo este permiso propicio para realizar cualquier tipo de pruebas sin ocasionar ningún problema al resto de procesos.

Además el Ingeniero de mantenimiento verificó el control de acceso a la configuración de los parámetros más relevantes del proceso (Figura 6.29) y manifestó que los valores visualizados en la HMI son correctos y muy aceptables (Figura 6.30 y Tabla 6.15).



Figura 6. 29. Verificación del control de acceso

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
Activación de la ventana de Inicio de sesión	La configuración de los parámetros se realiza con la debida autorización gracias a la pantallas de Inicio de Sesión
Poder ingresar USUARIO y CONTRASEÑA	La pantalla permite el ingreso de los respectivos USUARIO y CONTRASEÑA

Tabla 6. 15. Resultados Finales de programación de HMI B

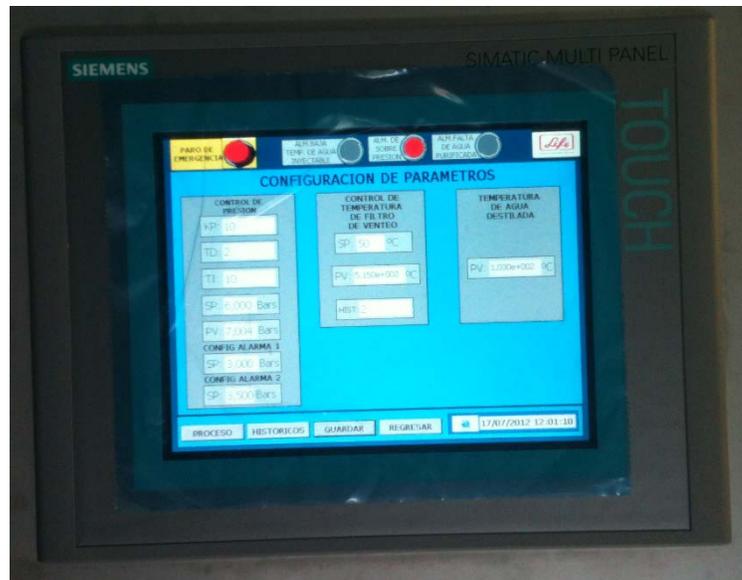


Figura 6. 30. Configuración de parámetros del proceso

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
CONTROL DE PRESIÓN Kp:10 Ti:2 Td:10 SP:6 Bares PV:6 Bares	CONTROL DE PRESIÓN Kp:10 Ti:2 Td:10 SP:6 Bares PV:7.04 Bares
CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENDEO SP:50 °C PV:50 °C HIST:2	CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENDEO SP:50 °C PV:51 °C HIST:2
TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA PV:103 °C	TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA PV:103 °C

Tabla 6. 16. Resultados Finales de programación de HMI C

Se verificó la apertura y cierre de las electroválvulas correspondientes a los estados de Destilación (Tabla 6.17), Generación de Vapor, Control de Válvula de Vapor, Llenado, Descarga y Sanitización tal como muestra la Figura 6.31.



Figura 6. 31. Apertura y cierre de las electroválvulas en la HMI

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
La animación debe funcionar de acuerdo a los estados del proceso real	La animación del proceso muestra de forma interactiva el funcionamiento del mismo
El proceso de destilación está activado	Se muestra que estamos dentro del proceso de Destilación
Bomba G1 y válvulas HVF7, HV1, HVF27, HVM9, PV18, HV2, HV3 y HV4 activadas en la animación	Bomba G1 y válvulas HVF7, HV1, HVF27, HVM9, PV18, HV2, HV3 y HV4 activadas en la animación

Tabla 6. 17. Resultados Finales de programación de HMI D

Además se comprobó los mensajes de alarma en la pantalla de Históricos según las situaciones de emergencia del proceso (Figura 6.32), cuyos resultados se muestran en la Tabla 6.18.



Figura 6. 32. Verificación de las situaciones de emergencia del proceso

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
Mensaje de Activación de alarma de paro de emergencia a las 13:14:37	Se registró el mensaje de Activación de alarma de paro de emergencia a las 13:14:37

Tabla 6. 18. Resultados Finales de programación de HMI E

Los controladores desarrollados para este proyecto respondieron satisfactoriamente manteniendo las variables del proceso dentro de los rangos adecuados, resultado que fue observado en sus respectivas gráficas (Figuras 6.33 y 6.34) y en las Tablas 6.19 y 6.20.

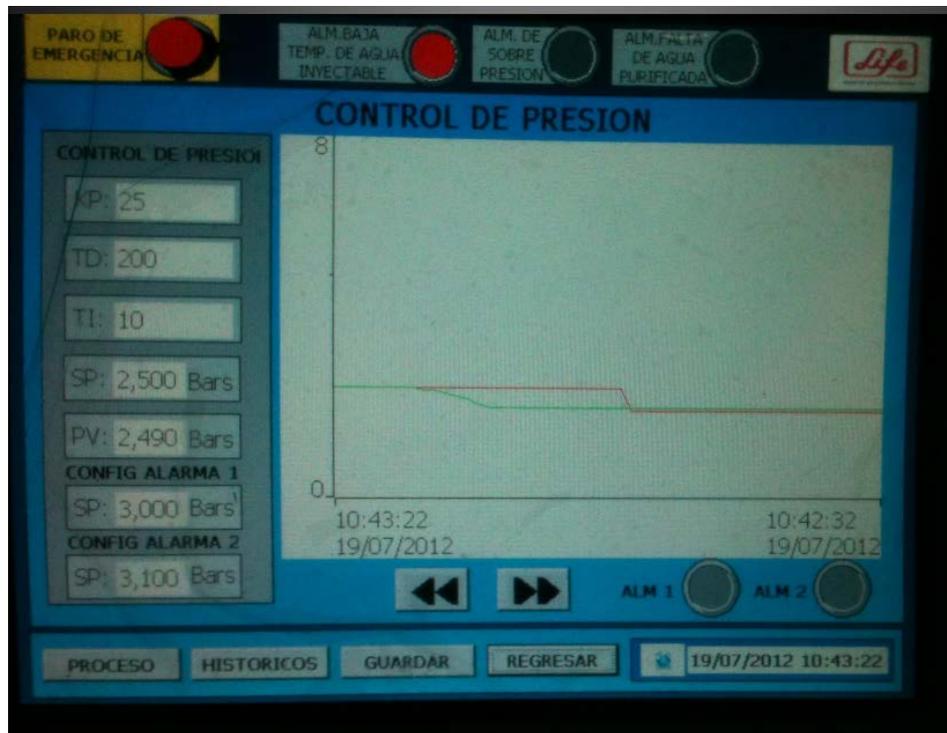


Figura 6. 33. Verificación del funcionamiento del Controlador PID de Presión

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
CONTROL DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN
Kp:25	Kp:25
Ti:10	Ti:10
Td:200	Td:200
SP:2.5 Bares	SP:2.5 Bares
PV:2.5 Bares	PV:2.49 Bares

Tabla 6. 19. Resultados Finales de programación de HMI F



Figura 6. 34. Verificación del funcionamiento del Controlador ON/OFF de Temperatura

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENDEO	CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENDEO
SP:21 °C	SP:21 °C
PV:21 °C	PV:20.7 °C
HL:26	HL:26
LL:16	LL:16

Tabla 6. 20. Resultados Finales de programación de HMI G

De igual manera se chequeó la generación continua de reportes en MS Excel (Figura 6.35) de los valores de temperatura y presión observando sus resultados (Tabla 6.21), así mismo se constató el almacenamiento de dichos valores en la base de datos (Figura 6.36).

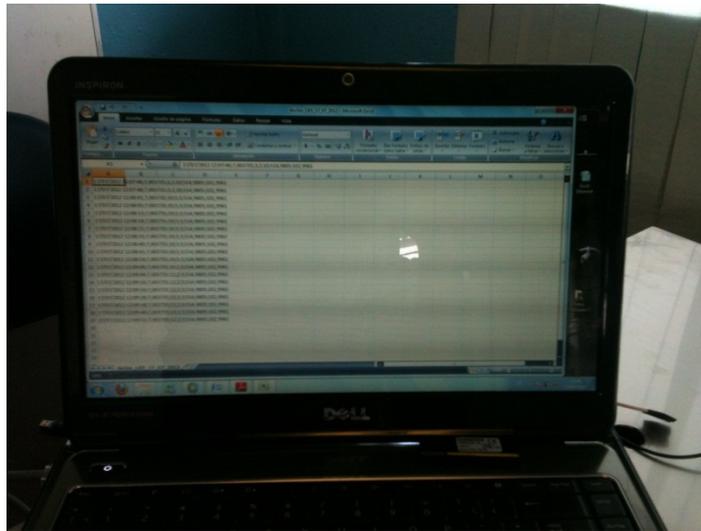


Figura 6. 35. Generación continua de reportes en MS Excel en la PC

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
Temperatura PT100= 23.57 °C	Temperatura PT100= 23.57 °C
Presión PT1: 1.567 Bares	Presión PT1: 1.567 Bares

Tabla 6. 21. Resultados Finales de programación de Scripts en la HMI

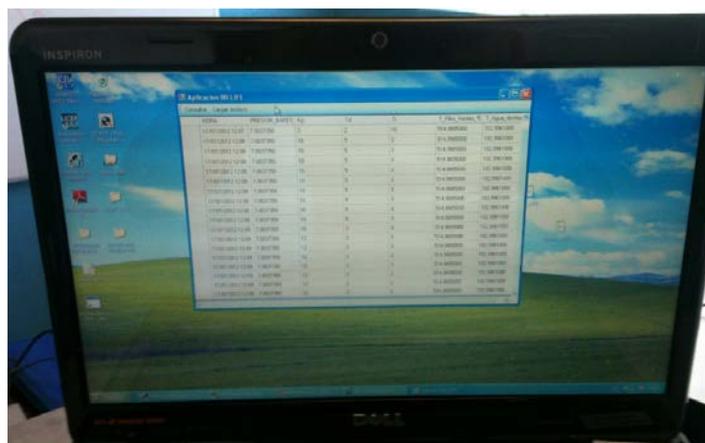


Figura 6. 36. Almacenamiento de parámetros en la Base de Datos del proceso

Por último se verificó tal como muestra la Figura 6.37 y la Tabla 6.22 el funcionamiento y resultados de la aplicación desarrollada con el Servidor OPC (PC-Access) para la captura de datos operacionales.

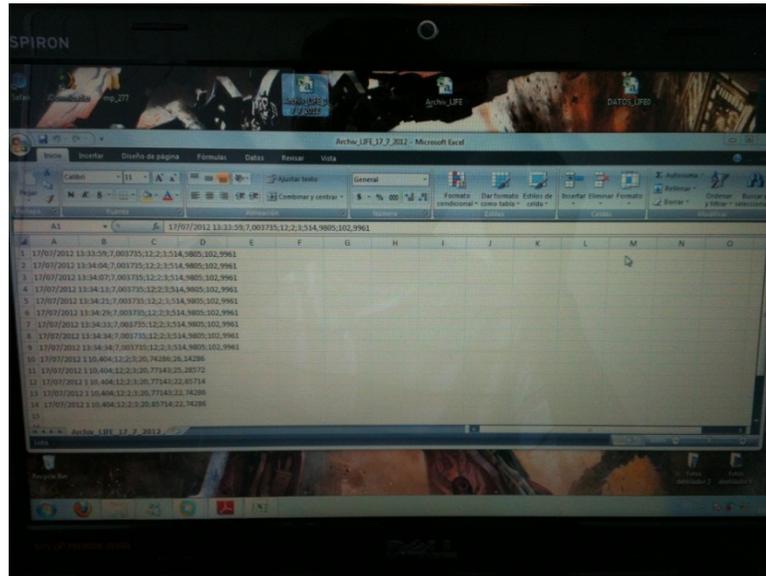


Figura 6. 37. Captura de Datos Operacionales en MS Excel vía OPC

Resultados esperados	Resultados Obtenidos
Temperatura PT100= 30.56 °C	Temperatura PT100= 30.56 °C
Presión PT1: 2.75 Bares	Presión PT1: 2.75 Bares

Tabla 6. 22. Resultados Finales de configuración OPC

Los datos obtenidos en las tablas de resultados muestran que el sistema es capaz de funcionar adecuadamente para el proceso que fue diseñado gracias a la correcta programación de sus dispositivos de control, conexiones eléctricas, cumplimiento de sentencias de control, escalamiento de señales, configuración de parámetros, calibración de sensores, etc.

Prueba final de Producción

En la Tabla 6.23 se muestra los resultados de producción del sistema de monitoreo, supervisión y control del proceso de destilación de agua.

	Resultados Esperados	Resultados Obtenidos
Agua destilada	2000 lt/h	1985.67 lt/h
Temperatura de agua destilada	80°C	78.97°C
Calidad de agua	< 1.3 uS/cm ²	0.945 uS/cm ²

Tabla 6. 23. Resultados finales de producción del sistema implementado

De acuerdo a los datos obtenidos se procede a realizar su respectivo análisis:

Para la cantidad de agua destilada:

$$\text{Error} = \frac{2000 - 1985.67}{2000} * 100 = 0.7165\%$$

Para la temperatura de agua destilada:

$$\text{Error} = \frac{80 - 78.97}{80} * 100 = 1.28\%$$

Para la calidad de agua destilada, el parámetro obtenido cumple con el nivel sugerido $< 1.3 \text{ uS/cm}^2$, por tanto se encuentra dentro del rango permitido.

Después de analizar los resultados finales del proceso se puede establecer que el sistema provee de datos muy confiables cuyos índices de error están por debajo del 3% permitido para este tipo de procesos.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se realizó el análisis necesario sobre todos los requerimientos de funcionamiento del proceso de destilación de agua mediante la toma de datos e información disponible del mismo para el diseño del sistema de control automático.
- Se implementó el programa de control para el Controlador Lógico Programable SIEMENS que permitió la automatización de todos los estados del proceso obteniendo resultados óptimos y precisos en la producción de agua de tipo inyectable.
- Se realizó el cableado de las entradas y salidas del PLC con los respectivos sensores y electroválvulas respectivamente. Luego se procedió a parametrizar estas E/S en el PLC, para que funcionaran según las necesidades del sistema.

- Se desarrolló mecanismos de control ON/OFF y PID para las variables de temperatura y presión respectivamente, dichos controladores funcionan de manera correcta permitiendo que el proceso de destilación se lleve en perfecto estado.
- Para diseñar el controlador PID se utilizó bloques de funciones propias del programa del PLC SIEMENS, por esta razón se procedió a realizar una correcta programación y parametrización de la función FB41 que corresponde al bloque PID del autómatas.
- Se diseñó una interfaz gráfica sencilla y fácil de entender en una pantalla táctil empleando herramientas de software compatibles que facilita la supervisión, visualización, monitoreo en tiempo real y control de operación de los equipos del proceso de destilación de agua.
- Gracias a la adquisición de los datos en tiempo real los mensajes de alarmas permiten realizar una detección óptima y una alerta inmediata de fallas con la posibilidad de registrarlos en un histórico para posterior análisis.
- A través de la creación de reportes en hojas de cálculo en Excel y la base de datos se facilitó el análisis de los valores registrados de las variables del proceso, además resultaron herramientas muy importantes para los operadores ya que permiten incrementar los niveles de producción.
- Se cumplió con gran precisión el objetivo general del proyecto debido a que se realizó de manera secuencial y con responsabilidad cada una de las actividades que permitieron implementar un sistema de monitoreo, supervisión y control del proceso

de destilación de agua en el área de Inyectables de gran volumen de los Laboratorios Industriales Farmacéuticos del Ecuador LIFE C.A.

- El trabajo desarrollado en este proyecto, ha permitido incrementar y perfeccionar nuestros conocimientos sobre las técnicas utilizadas actualmente para llevar a cabo proyectos de control de procesos industriales, bancos de pruebas y plantas industriales.

7.2. Recomendaciones

- Para mejorar el proceso de destilación de agua, sería necesario la instalación de un sensor de presión para los efectos II, III y IV con el fin de tener un control de los niveles de presión de vapor generados en cada uno de los efectos.
- Para ampliar y mejorar el sistema sería necesario implementar una monitorización remota del proceso, es decir una aplicación que permita el manejo o control del destilador de agua mediante el uso de un dispositivo móvil o incluso desde internet.
- Como un aspecto de seguridad a implementar a futuro se podría utilizar luces piloto indicadoras de los estados de alarma del sistema, con el fin de complementar la alarma acústica que se encuentra en el tablero de control.

- Con el fin de evitar situaciones de peligro principalmente para el personal encargado y los equipos es muy necesario desconectar el suministro energético de todo el sistema al momento de realizar cualquier cambio o mantenimiento de los equipos.
- Cualquier tipo de cambio que se realice para el mejoramiento del proyecto deberá ser documentado debidamente o sacar respaldos previamente para así evitar pérdidas de información.
- Las modificaciones en el control de cada estado del proceso de destilación solo las deben realizar personas capacitadas y autorizadas; caso contrario, se puede incurrir en el funcionamiento inadecuado del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Página Oficial Laboratorios Farmacéuticos del Ecuador LIFE C.A. [Online].
Habilitado:
http://laboratorioslife.com/templates/life/_html/productos.html

[2] MORRIS Alan S “Principios de medición e instrumentación” primera edición,
Pearson Educación, México, 2002.

[3] Manual Software para controladores SIMATIC “Herramientas para configurar y
programar controladores SIMATIC”, Folleto · Abril 2012

[4] Manual SIMATIC WinCC flexible “Flexibilidad en todas las aplicaciones HMI
– desde el Micro Panel hasta el PC”, Folleto · Marzo 2010

[5] Manual Westermo 5.0 “Transmisión de datos industriales - Ethernet industrial”,
Edición 5.0 publicada en 2004. © Westermo, Suecia, 2004.

[6] Manual del sistema de automatización S7-300, SIEMENS, 08/2012. Número de
referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0.

[7] Manual del sistema WinCC Flexible 2008, SIEMENS, 2008. Número de
referencia del manual: 6AV6618-7DD01-2AB0.

[8] Panel de Operador SIMATIC HMI MP 277, SIEMENS, 03/2009. Número de referencia del manual: 6AV6691-1DJ01-0AEO.

[9] Pagina Web Productos SIEMENS: <http://support.automation.siemens.com/>
[consulta] Mayo 2012

[10] Software para controladores SIMATIC [Online]. Habilitado:
[http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-
as/brochure/es/brochure_simatic-industrial-software_es.pdf](http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-industrial-software_es.pdf)

[11] SIMATIC HMI WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced.pdf

[12] Cómo hacer una base de datos en SQL SERVER 2005... [Online]. Habilitado:
[http://jotask8punk.wordpress.com/otras-tecnologias/como-hacer-una-base-de-datos-
sencilla-en-sql-server-2005%E2%80%A6/](http://jotask8punk.wordpress.com/otras-tecnologias/como-hacer-una-base-de-datos-sencilla-en-sql-server-2005%E2%80%A6/)

ANEXOS

A.- PROGRAMACIÓN

B.- MANUAL DE OPERACIÓN

C.-DATOS TÉCNICOS

D.- ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

ANEXO A

PROGRAMACIÓN

ANEXO B

MANUAL DE OPERACIÓN

PANEL DE OPERADOR DE SISTEMA

Luego de iniciar todos los sistemas del destilador de agua, se encenderá la pantalla táctil junto con la interfaz HMI.

PANTALLA INICIAL

La Fig. A.1 muestra la pantalla inicial del sistema de monitoreo, supervisión y control del proceso de DESTILACIÓN DE AGUA, para poder ingresar, presionamos el botón [1] INGRESAR.



Figura A. 1 Pantalla Inicial

MENÙ PRINCIPAL

Luego de ingresar al sistema, se despliega una interfaz (ver Fig. A.2) que posee una serie de botones los mismos que conducen a distintas pantallas.

- [2] PANEL DE CONTROL.
- [3] DESTILADOR DE AGUA.
- [4] MODOS DE CONTROL.
- [5] INICIO.
- [6] HISTORICOS.
- [7] ALARMAS.
- [8] CONFIGURACIÓN.

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

Cada una de las pantallas con la excepción de la pantalla principal (ver Fig. A.1) y pantalla de alarmas (ver Fig. A.12) constan de luces indicadoras de activación de algún tipo de alarma:

- [10] ALARMA BAJA TEMPERATURA DE AGUA INYECTABLE.
- [11] ALARMA DE SOBREPRESIÓN.
- [12] ALARMA DE FALTA DE AGUA PURIFICADA.

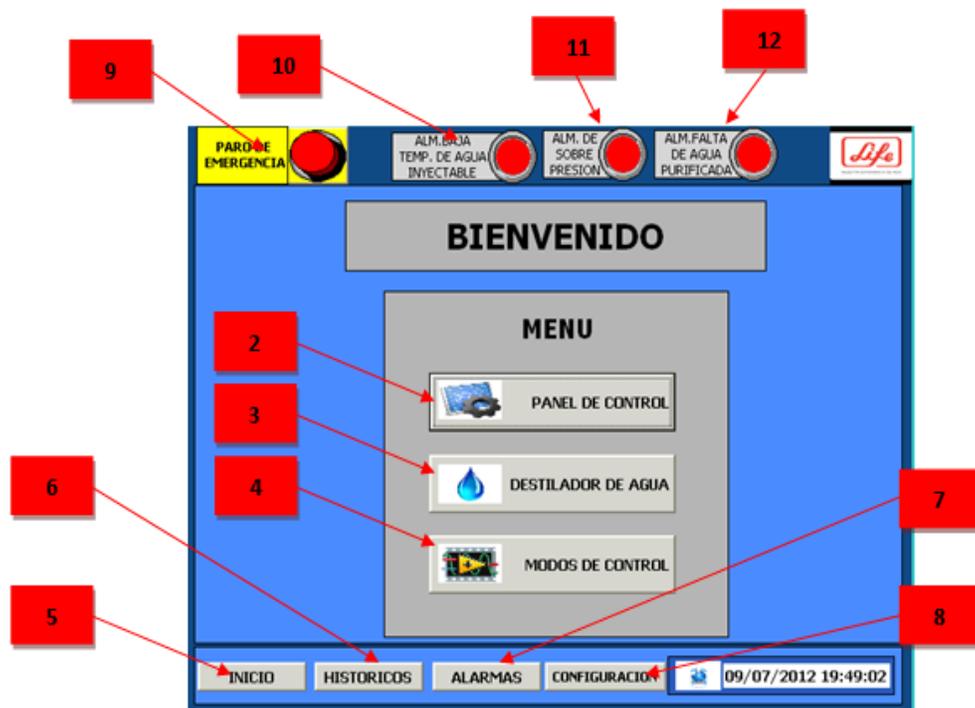


Figura A. 2 Pantalla Menú Principal

PANEL DE CONTROL

Al ingresar a la pantalla “PANEL DE CONTROL”, se tiene la pantalla de la Fig. A.3 donde se puede realizar el control (encendido y apagado) de cada uno de los procesos a los que pertenece el destilador.

- [13] Destilación
- [14] Generación de vapor
- [15] Llenado
- [16] Descarga
- [17] Abrir válvula de vapor
- [18] Sanitización

Desde esta pantalla también es posible dirigirse a otras como son: pantalla inicial, pantalla de históricos y pantalla de alarmas.

El botón [5] **INICIO**: nos lleva hacia la pantalla inicial (ver Fig. A.1).

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

El botón [7] **ALARMAS**: nos lleva hacia la pantalla que muestra el estado de las alarmas del proceso (ver Fig. A.12).

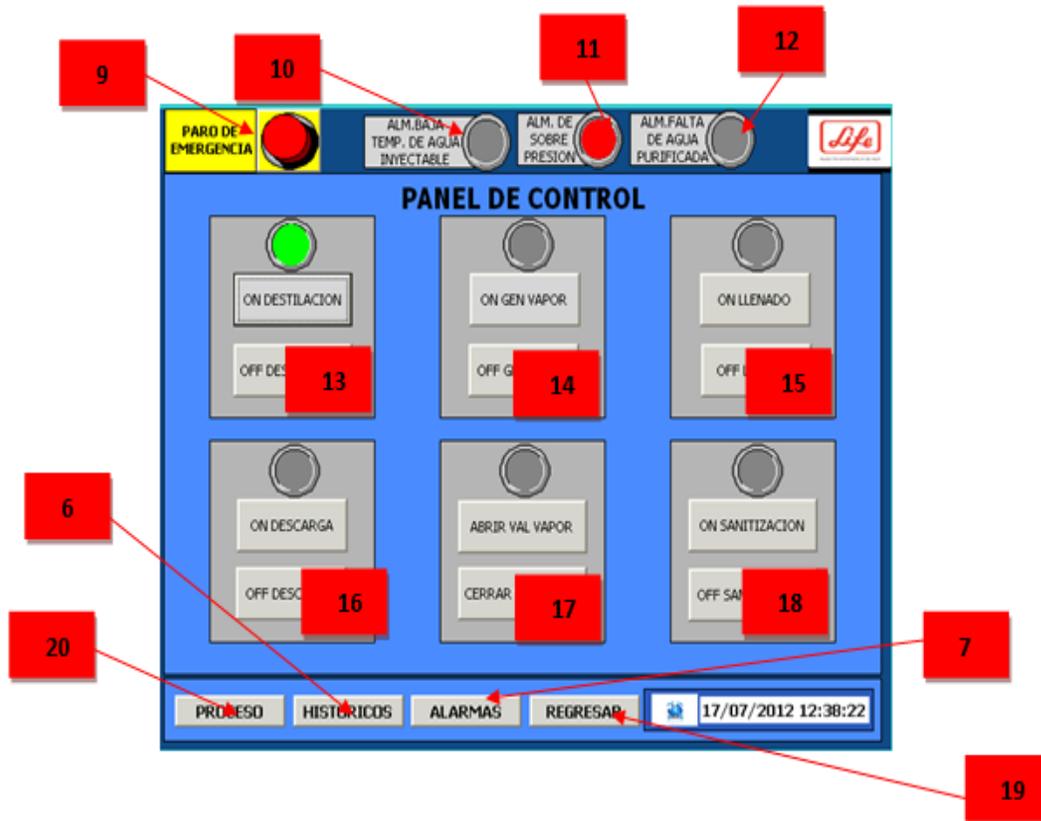


Figura A. 3 Pantalla Panel de Control

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

DESTILADOR DE AGUA

Luego de presionar el botón “DESTILADOR DE AGUA” ubicada en el menú principal (ver Fig. A.2) se presenta la pantalla de la Fig. A.4 que contiene la imagen global de todo el proceso del destilador de agua junto con las respectivas luces indicadoras de alarma, luces

indicadores de la activación de los sensores de nivel, la visualización de los valores de las variables del proceso y el paro de emergencia.

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

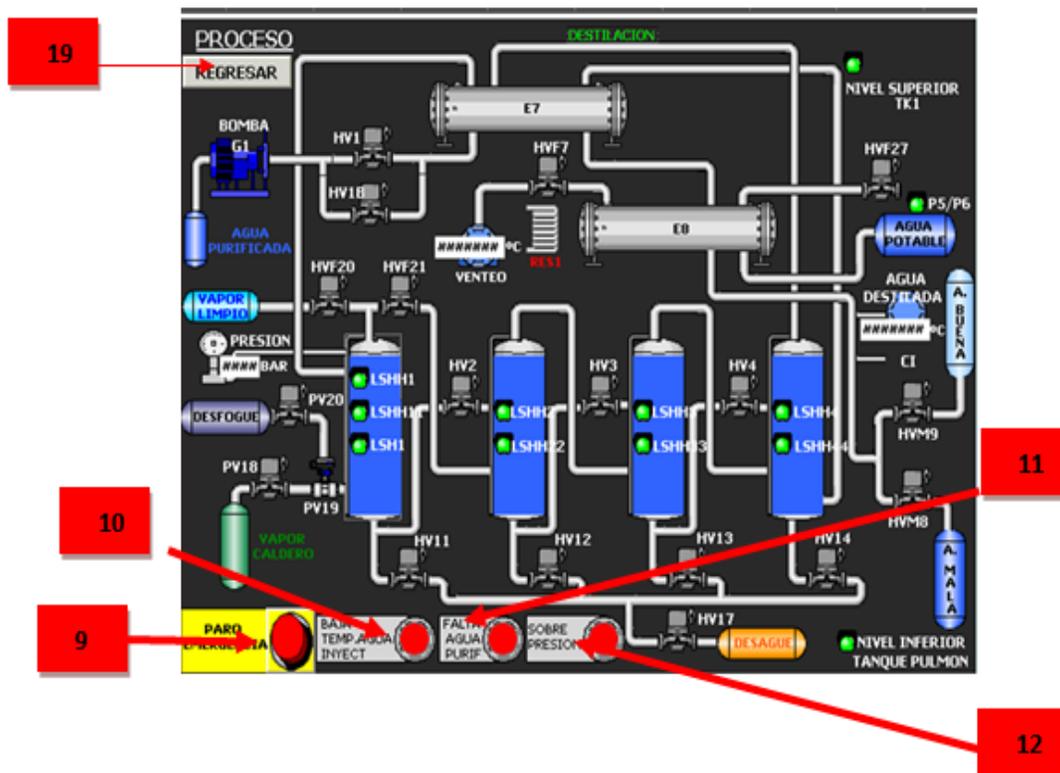


Figura A. 4 Pantalla del Destilador de Agua OLSA QV-2000

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

En esta pantalla también se indica el modo en el cual está trabajando el destilador de agua.

MODOS DE CONTROL

El botón “MODOS DE CONTROL” ubicada en el menú principal (ver Fig. A.2) se presenta la pantalla de la Fig. A.5 donde se puede realizar el control y monitoreo de cada una de las variables del proceso como son la presión, temperatura del filtro de venteo y temperatura del agua destilada. Ella te llevara hacia las pantallas:

- CONTROL DE PRESION
- CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENTEO
- TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA A LA SALIDA

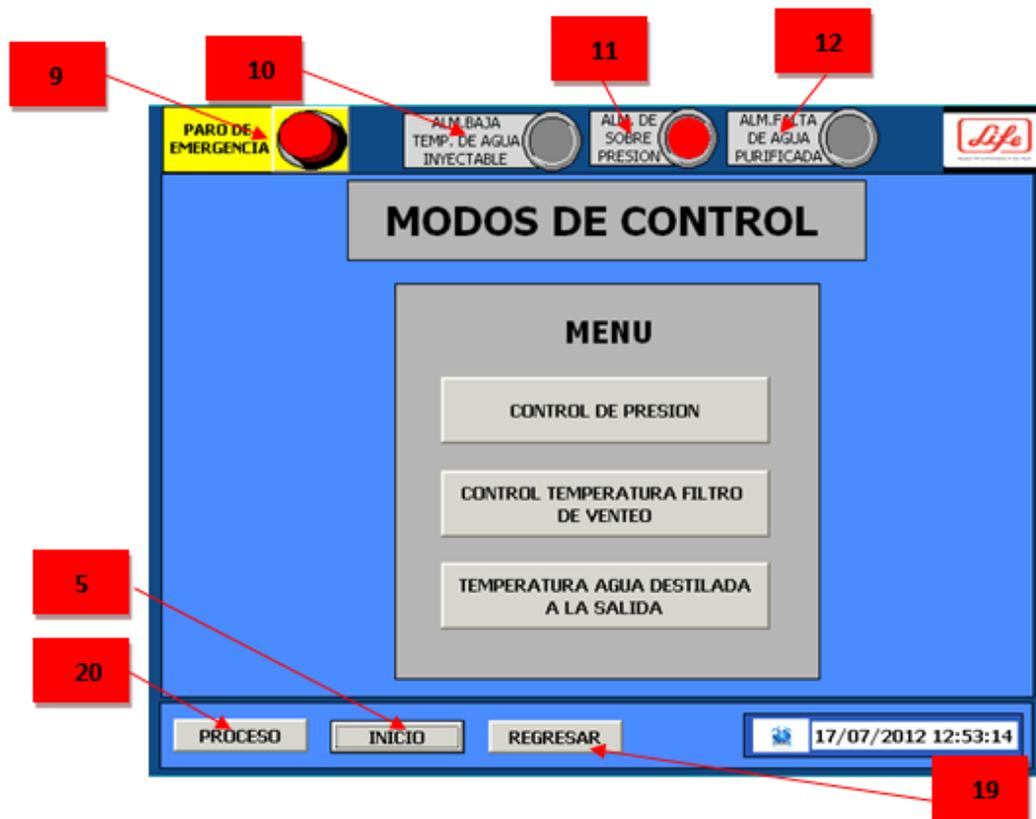


Figura A. 5 Pantalla Modos de Control

El botón [5] **INICIO**: nos lleva hacia la pantalla inicial (ver Fig. A.1).

El botón **[20] PROCESO:** nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón **[19] REGRESAR:** nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón **[9] PARO DE EMERGENCIA:** detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

MODO: CONTROL DE PRESIÓN

Al ingresar a la pantalla presentada en la Fig. A.6, se presenta el control de presión, en ella se puede **visualizar** los distintos parámetros que conforman dicha pantalla.

Parametro:

- KP
- TD
- TI
- SP (SET POINT)
- PV (VARIABLE DEL PROCESO)
- SP (SET POINT DE ALARMA 1)
- SP (SET POINT DE ALARMA 2)

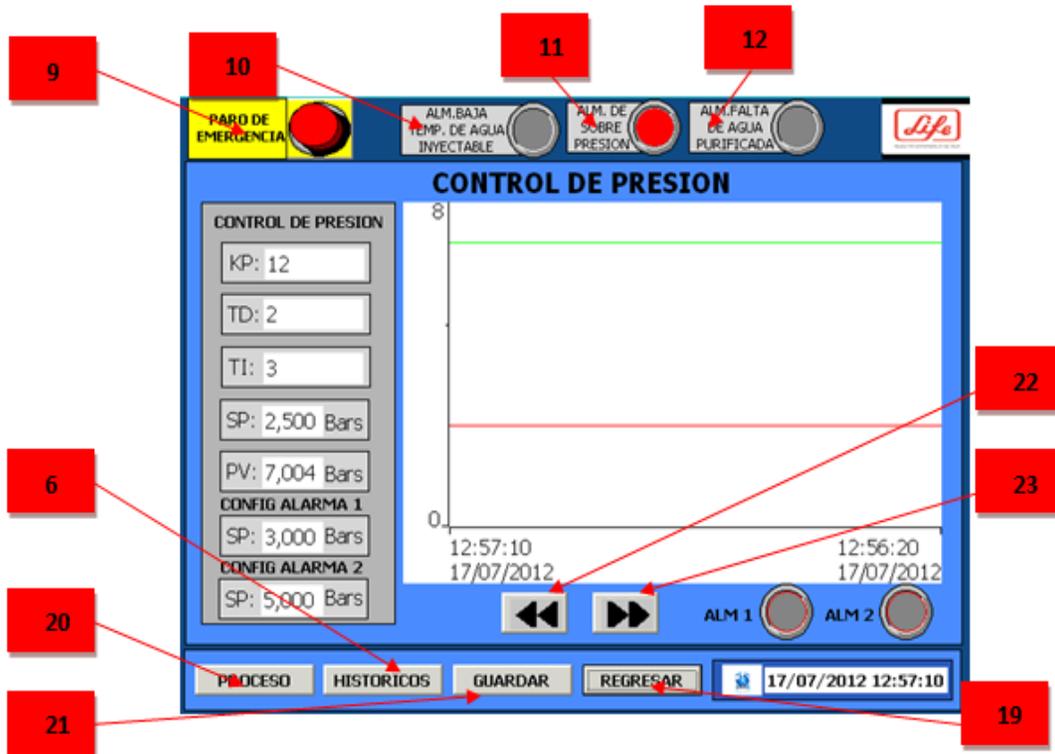


Figura A. 6 Pantalla Control de Presión

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

El botón [21] **GUARDAR**: almacena los datos de las variables del proceso que intervienen en el control (KP, TD, TI y PV de presión).

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

El botón [23] **ADELANTE**: nos permite desplazarnos hacia delante en la línea del tiempo (gráfica).

El botón [22] **RETROCESO**: nos permite desplazarnos hacia atrás en la línea del tiempo (gráfica).

En esta pantalla también existen dos luces indicadoras que hacen referencia a dos tipos de alarmas

- ALM 1: alarma de sobrepresión referente al PID
- ALM 2: alarma de sobrepresión referente al PID

Las gráficas que se presentan en dicha pantalla son presentadas de color verde y rojo donde:

- El color VERDE hacer referencia a la variable del proceso PV.
- El color ROJO hacer referencia al set point del proceso SP.

MODO: CONTROL DE TEMPERATURA DE FILTRO DE VENTEO

Al ingresar a la pantalla presentada en la Fig. A.7, se presenta el control de temperatura del filtro de venteo, en ella se puede **visualizar** los distintos parámetros que conforman dicha pantalla.

Parametro:

- SP (VARIABLE DEL PROCESO)
- PV (VARIABLE DEL PROCESO)
- HL (LIMITE SUPERIOR DE HISTERESIS)
- LL (LIMITE INFERIOR DE HISTERESIS)

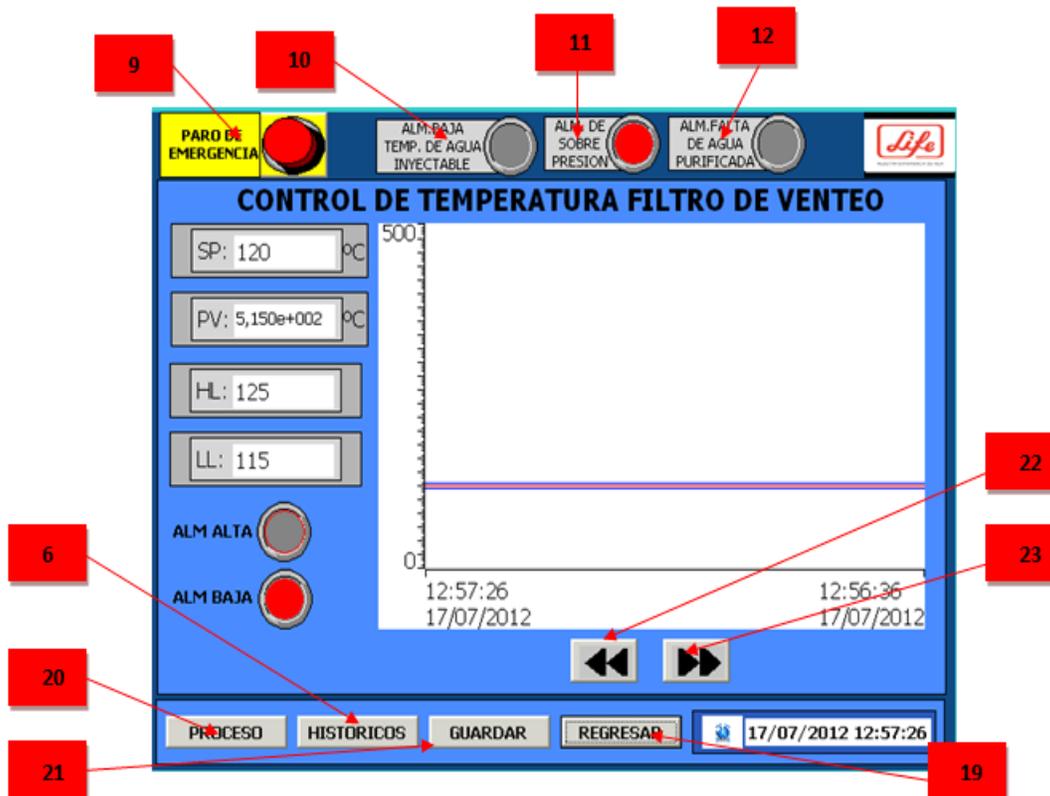


Figura A. 7 Pantalla Control de Temperatura de filtro de venteo

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

El botón [21] **GUARDAR**: almacena los datos de la variable del proceso que intervienen en el control (PV de temperatura de filtro de venteo).

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

El botón [23] **ADELANTE**: nos permite desplazarnos hacia delante en la línea del tiempo (gráfica).

El botón [22] **RETROCESO**: nos permite desplazarnos hacia atrás en la línea del tiempo (gráfica).

En esta pantalla también existen dos luces indicadoras que hacen referencia a dos tipos de alarmas

- **ALM ALTA**: alarma que hace referencia al nivel superior de los parámetros de la histéresis, se activa cuando la PV sobrepasa este límite.
- **ALM BAJA**: alarma que hace referencia al nivel inferior de los parámetros de la histéresis, se activa cuando la PV sobrepasa este límite.

Las gráficas que se presentan en dicha pantalla son presentadas de color verde, rojo y azul donde:

- El color **VERDE** hacer referencia a la variable del proceso PV.
- El color **ROJO** hacer referencia al set point del proceso SP.
- El color **AZUL** hace referencia a los valores de los límites inferior y superior de la banda de Histéresis, HL y LL.

MODO: TEMPERATURA DE AGUA DESTILADA

Al ingresar a la pantalla presentada en la figura 8, se presenta el control de temperatura del agua destilada, aquí se **visualiza** unicamente la variable del proceso (temperatura).

Parametro:

- **PV (VARIABLE DEL PROCESO)**

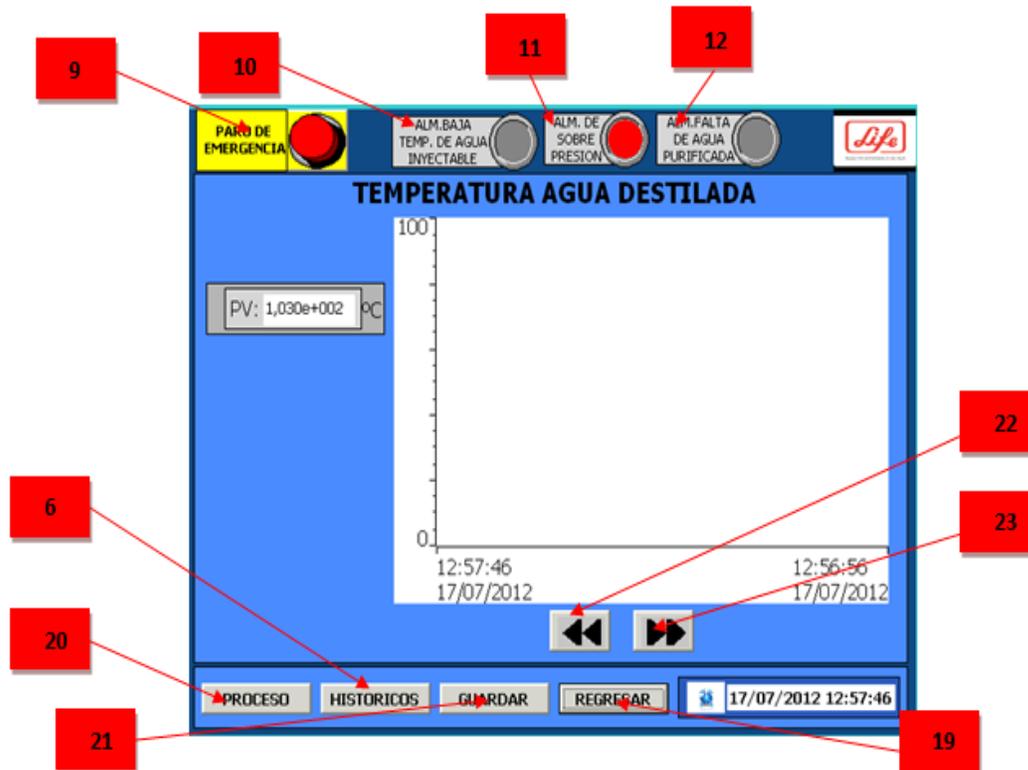


Figura A. 8 Pantalla Temperatura de agua destilada

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

El botón [21] **GUARDAR**: almacena los datos de la variable del proceso (temperatura del agua destilada).

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

El botón [23] **ADELANTE**: nos permite desplazarnos hacia delante en la línea del tiempo (gráfica).

El botón [22] **RETROCESO**: nos permite desplazarnos hacia atrás en la línea del tiempo (gráfica).

Las gráficas que se presentan en dicha pantalla son presentadas de color verde donde:

- El color VERDE hacer referencia a la variable del proceso PV.

CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

Para ingresar en la pantalla CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS presentada en la Fig. A.10, es necesario presionar el botón de CONFIGURACIÓN de la pantalla de MENÚ PRINCIPAL de la Fig. A.2.

Luego de que se ha presionado el botón de CONFIGURACION, se desplegara una pantalla de INICIO DE SESIÓN (ver Fig. A.9) en la que para poder ingresar en la CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS, es necesario ingresar un nombre y una clave de usuario.

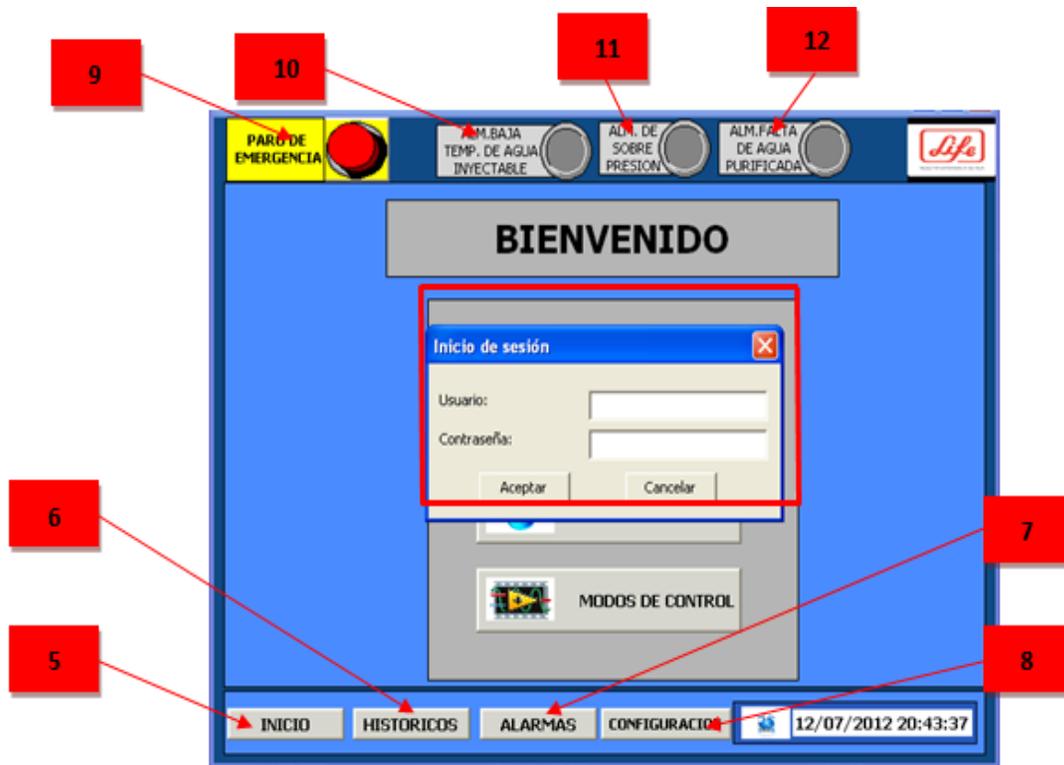


Figura A. 9 Pantalla Inicio de Sesión

Los datos de INICIO DE SESIÓN son:

- Usuario: life
- Contraseña: 2000

Luego de ingresar la respectiva contraseña y usuario, se desplegará la pantalla de la Fig. A.10, en dicha pantalla es posible **modificar** varios de los parámetros que influyen en los controles del destilador (temperatura y presión). El parámetro de la temperatura de agua destilada es únicamente con fines de monitorización.

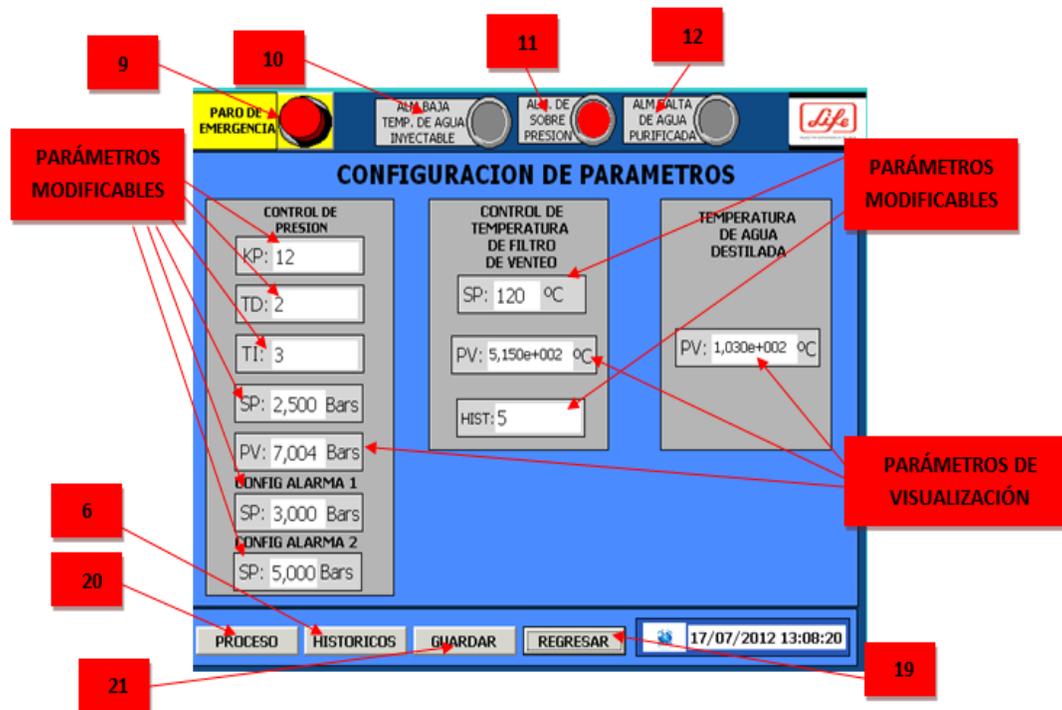


Figura A. 10 Pantalla Configuración de Parámetros

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

El botón [21] **GUARDAR**: almacena los datos de las variables del proceso que intervienen en el control (KP, TD, TI y PV de presión).

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

HISTÓRICOS

La pantalla HISTÓRICOS de la Fig. A.11 es presentada luego de presionar el botón de HISTÓRICOS ubicada en parte inferior de todas las pantallas de la HMI con excepción de las pantallas de MODOS DE CONTROL y DESTILADOR DE AGUA o conocido también como PROCESO.

En esta pantalla son presentadas todas las alarmas (baja temperatura, sobrepresión y falta de agua purificada) que han ocurrido durante el funcionamiento del destilador de agua OLSA junto con su respectiva hora y fecha de generación.

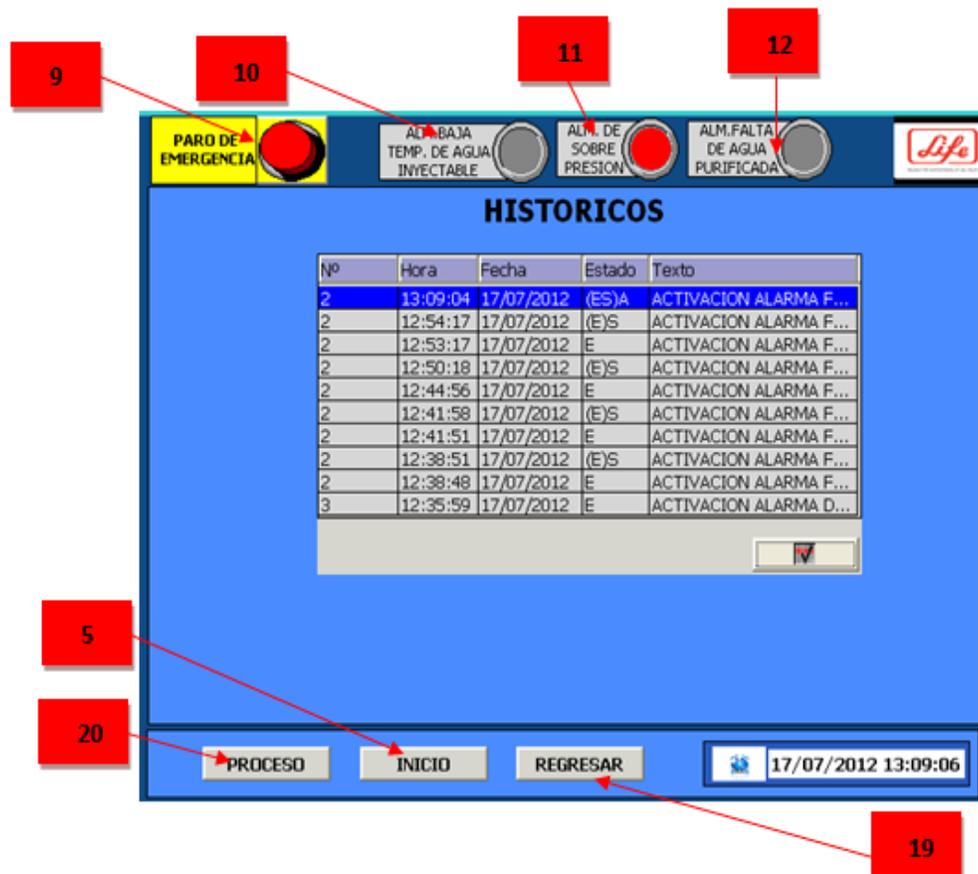


Figura A. 11 Pantalla Históricos

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón **[20] PROCESO:** nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón **[19] REGRESAR:** nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón **ACTUALIZAR:** indica los eventos nuevos que han ocurrido.

El botón **[9] PARO DE EMERGENCIA:** detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

ALARMAS DEL SISTEMA

Para ingresar en la pantalla ALARMAS presentada en la Fig. A.12, es necesario presionar el botón de **[7] ALARMAS** ubicados en las pantallas de PANEL DE CONTROL (Fig. A.2) y MENÚ PRINCIPAL (Fig. A.3).

Las alarmas presentadas en esta pantalla (Fig. A.12) hacen referencia a:

- **[10] ALARMA BAJA TEMPERATURA DE AGUA INYECTABLE.**
- **[11] ALARMA DE SOBREPRESIÓN.**
- **[12] ALARMA DE FALTA DE AGUA PURIFICADA.**

NOTA: las alarmas que forman parte de esta pantalla se encuentran también presentes en todas las pantallas de la HMI.



Figura A. 12 Pantalla Alarmas del Sistema

En cuanto a botones, la pantalla consta de:

El botón [20] **PROCESO**: nos lleva la pantalla donde se encuentra todo el proceso del Destilador de Agua (ver Fig. A.4).

El botón [19] **REGRESAR**: nos lleva hacia el menú principal (ver Fig. A.2).

El botón [9] **PARO DE EMERGENCIA**: detiene el proceso, restableciendo todos los parámetros a sus valores iniciales.

El botón [6] **HISTORICOS**: nos lleva hacia la pantalla que contiene los registros de los eventos ocurridos durante el proceso, es decir las alarmas ocurridas (ver Fig. A.11).

SALIDA DE LA INTERFAZ HMI

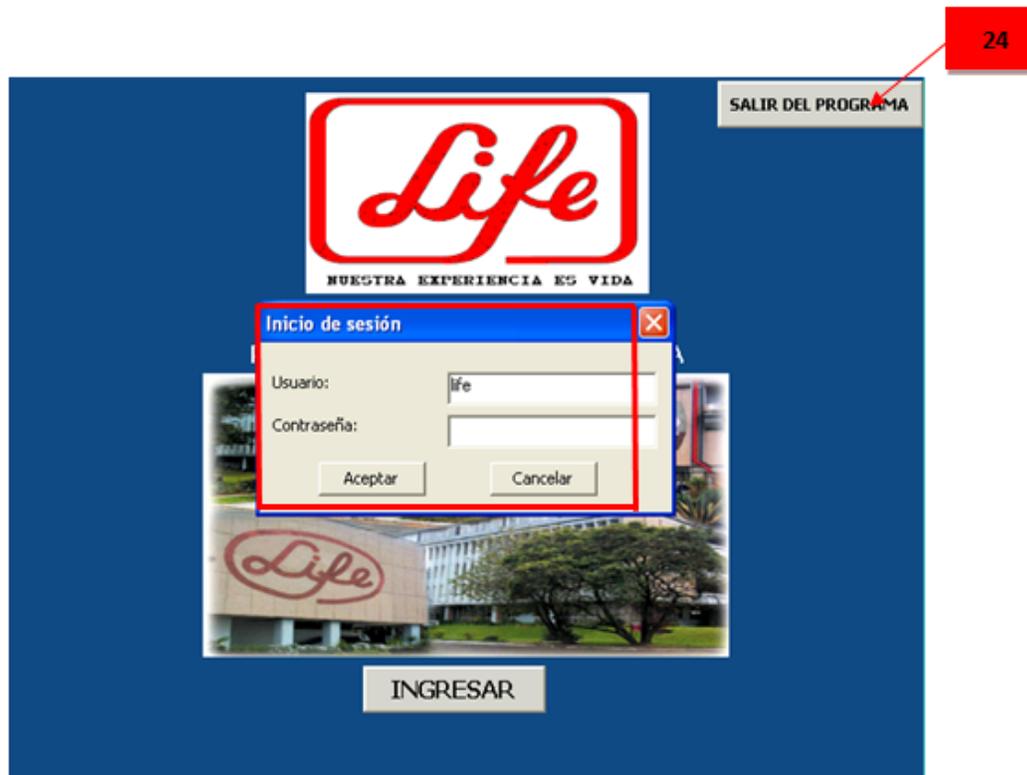


Figura A. 13 Ingreso de Usuario y Contraseña para salir de la HMI

En nuestra interfaz de usuario existe la posibilidad de salir del programa HMI luego de presionar el botón [24] **SALIR DEL PROGRAMA** ubicado en la pantalla inicial del programa (expuesta en la Fig. A.1 y Fig. A.13), previo a la salida del programa de la HMI, es necesario ingresar el usuario y contraseña respectivas (ver Fig. A.13), estas son:

- Usuario: life
- Contraseña: 2000

AVISO: PARADA DE EMERGENCIA

Dentro de todas las pantallas que hacen parte de la interfaz HMI, existe un aviso general el mismo que es visualizado únicamente cuando se ha pulsado el botón de [9] **PARO DE EMERGENCIA** (ubicado en la parte inferior derecha para la pantalla de PROCESO y en la parte superior izquierda del resto de pantallas de la interfaz HMI). El aviso o mensaje **STOP** (con su significado de PARADA traducido al español) desplegado, hace referencia a una parada general de todo el sistema del DESTILADOR OLSA, como es mostrado en la Fig. A.14.



Figura A. 14. Aviso de Parada de Emergencia

ANEXO C

DATOS TÉCNICOS

SIMATIC S7-300

Unidades centrales

Sinopsis

CPU 313C-2 DP



- La CPU compacta con entradas y salidas digitales integradas y un puerto PROFIBUS DP maestro/esclavo
- Con funciones tecnológicas
- Para tareas con funciones especiales
- Para conectar periferia distribuida

Se requiere una micro memory card para la CPU

Datos técnicos CPUs compactas

	CPU 312C	CPU 313C	CPU 313C-2 PiP	CPU 313C-2 DP	CPU 314C-2 PiP	CPU 314C-2 DP
Memoria						
Memoria central						
• Integrada	16 KB para programa y datos	32 KB para programa y datos	32 KB para programa y datos	32 KB para programa y datos	48 KB para programa y datos	48 KB para programa y datos
• Ampliable	no	no	no	no	no	no
Memoria de carga						
• Integrada	-	-	-	-	-	-
• Ampliable en FEPRM	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB	con Micro Memory Card (MMC) hasta 4 MB
Respaldo de datos	garantizado con MMC (exento de mantenimiento)	garantizado con MMC (exento de mantenimiento)				
• Con pila tampón	-	-	-	-	-	-
• Sin pila	Programa y datos	Programa y datos				
Temporizadores/contadores y su remanencia						
Contadores S7	128	256	256	256	256	256
• Remanencia, ajustable	de Z 0 a Z 128	de Z 0 a Z 256	de Z 0 a Z 256			
• Rango de conteo	1 a 999	1 a 999				
Contadores IEC	sí	sí	sí	sí	sí	sí
• Tipo	SFB	SFB	SFB	SFB	SFB	SFB
Temporizadores S7	128	256	256	256	256	256
• Remanencia, ajustable	de T 0 a T 128	de T 0 a T 256	de T 0 a T 256			
• Rango	10 ms a 9990 s	10 ms a 9990 s				
Temporizadores IEC	sí	sí	sí	sí	sí	sí
• Tipo	SFB	SFB	SFB	SFB	SFB	SFB
Áreas de datos y su remanencia						
Marcas	1024	2048	2048	2048	2048	2048
• Remanencia, ajustable	de MB 0 a MB 1024	de MB 0 a MB 2048	de MB 0 a MB 2048			
Programación						
Lenguaje de programación	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, GRAPH, HiGraph	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, GRAPH, HiGraph	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, GRAPH, HiGraph	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, GRAPH, HiGraph	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, CFC, GRAPH, HiGraph	STEP 7 V5.1 SP2 (KOP, FUP, AWL); SCL, CFC, GRAPH, HiGraph
Niveles de paréntesis	8	8	8	8	8	8
Protección del programa de usuario	Protección por contraseña	Protección por contraseña				
Áreas de direccionamiento (entradas/salidas)						
Área total de direccionamiento de periferia	1024 / 1024 bytes (de libre direccionamiento)	1024 / 1024 bytes (de libre direccionamiento)				
Imagen de proceso	128 / 128 bytes	128 / 128 bytes				
Canales digitales	máx. 256 / 256	máx. 992 / 992	máx. 992 / 992			
Canales analógicos	máx. 64 / 32	máx. 248 / 124	máx. 248 / 124			

	CPU 312C	CPU 313C	CPU 313C-2 PtP	CPU 313C-2 DP	CPU 314C-2 PtP	CPU 314C-2 DP
Servicios	-	-	-	-	-	-
• Comunicación de datos globales	-	-	-	no	-	no
• Comunicación base S7	-	-	-	no	-	no
• Comunicación S7	-	-	-	-	-	-
- a modo de servidor	-	-	-	no	-	no
- a modo de cliente	-	-	-	no	-	no
Velocidades de transmisión	-	-	-	hasta 12 Mbits/s	-	hasta 12 Mbits/s
Número de esclavos DP, máx.	-	-	-	32	-	32
Áreas de direccionamiento máx. (E/S)	-	-	-	1024 / 1024 bytes	-	1024 / 1024 bytes
Datos útiles por esclavo DP, máx. (E/S)	-	-	-	244 / 244 bytes	-	244 / 244 bytes
Tensiones, intensidades						
Tensión de alimentación						
• Valor nominal	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC
• Margen admisible	20,4 a 28,8 V	20,4 a 28,8 V	20,4 a 28,8 V	20,4 a 28,8 V	20,4 a 28,8 V	20,4 a 28,8 V
Consumo, tip.	0,5 A	0,7 A	0,9 A	0,9 A	0,8 A	1,0 A
Int. al conectar, tip.	11 A	11 A	11 A	11 A	11 A	11 A
Disipación, tip.	6 W incl. entradas/salidas integradas	14 W	10 W	10 W	14 W	14 W
Dimensiones						
Dimensiones de montaje (A x A x P) en mm	80 x 125 x 130	120 x 125 x 130	120 x 125 x 130	120 x 125 x 130	120 x 125 x 130	120 x 125 x 130
Peso, aprox.	410 g	660 g	570 g	570 g	680 g	680 g
Entradas digitales integradas						
Cantidad	10	24	16	16	24	24
Tensión de entrada						
• Valor nominal	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC
• Con señal "1"	15 a 30 V	15 a 30 V	15 a 30 V	15 a 30 V	15 a 30 V	15 a 30 V
• Con señal "0"	-3 a +5 V	-3 a +5 V	-3 a +5 V	-3 a +5 V	-3 a +5 V	-3 a +5 V
Aislamiento galvánico						
• En grupos de	10	16 y 8	16	16	16	16
Intensidad de entrada						
• Con señal "1", min./tipo.	8 mA	-/8 mA	2 mA / 8 mA	2 mA / 8 mA	-/8 mA	-/8 mA
Retardo de entrada (para tensión de entrada nominal)						
• Para entradas estándar, tip./máx.	0,1/0,3/3/15 ms	0,1 /0,3 /3 / 15 ms	0,1/0,3/3/15 ms	0,1/0,3/3/15 ms	0,1/0,3/3/15 ms	0,1/0,3/3/15 ms
• Para funciones tecnológicas	50 µs	16 µs	8 µs	8 µs	8 µs	8 µs
Conexión de detector BERO a 2 hilos						
• Intensidad de reposo admisible	1,5 mA	1,5 mA	1,5 mA	1,5 mA	1,5 mA	1,5 mA

CPU 313C-2 DP

CPU compacta, memoria central 32 kbytes, tensión de alimentación 24 V DC, 16 ED/16 SD integradas, funciones integr., MPI, puerto maestro/esclavo PROFIBUS DP; requiere MMC

6ES7 313-6CE01-0AB0

SIMATIC S7-300 Comunicaciones

CP 343-1

Sinopsis



- Para la conexión del SIMATIC S7-300 a la red Industrial Ethernet
 - Conexión dúplex/semidúplex de 10/100 Mbits/s con funcionalidad de autorreconocimiento para conmutación automática
 - Posibilidades de conexión universales para ITP, RJ45 y AUI
 - Modo multiprotocolo con protocolos de transporte ISO y TCP
 - Función keep alive ajustable
- Servicios de comunicación:
 - Protocolo de transporte ISO y TCP/IP
 - Comunicación PG/OP
 - Comunicación S7 (cliente, servidor, multiplexado)
 - Comunicación compatible S5
- Multicast con UDP
- Teleprogramación y primera puesta en servicio a través de la red
- Configuración del CP 343-1 con el paquete opcional NCM S7 para Industrial Ethernet (ya integrado en STEP 7)
- Comunicación PG/OP superando los límites de red gracias a la función Routing S7

Datos técnicos

Velocidad de transmisión	10 Mbits/s y 100 Mbits/s
Interfases	
• Conexión a Industrial Ethernet (10/100 Mbits/s)	Conector hembra sub-D 15 polos (conmutación automática entre AUI e ITP)
• 10BaseT, 100BaseTX	RJ45
• Tensión de alimentación	Regletero tetrapolar
Tensión de alimentación	+5 V DC (±5%) y +24 V DC (±5%)
Consumo	
• de bus posterior	70 mA
• de 24 V DC externo	typ. 400 mA máx. 580 mA (según el puerto utilizado)
Disipación	8,3 W
Condiciones ambientales admisibles	
• Temperatura de servicio	0 °C a +60 °C
• Temp. transporte y almacenamto.	-40 °C a +70 °C
• Humedad relativa, máx.	máx. 95% a +25 °C
Datos mecánicos	
• Formato	Módulo compacto S7-300 de anchura doble

Datos mecánicos	
• Dimensiones (A x A x P) en mm	80 x 125 x 120
• Peso	aprox. 600 g
Software de configuración	NCM S7 para Industrial Ethernet (se suministra con STEP V5.x)
Datos de prestaciones	
Comunicación compatible S5 (SEND/ RECEIVE)	
Suma de todos los enlaces ISO/TCP/UDP operables simultáneamente	máx. 16
• Número de datos útiles, máx.	máx. 8 KB
- ISO y TCP	máx. 8 KB
- UDP	máx. 2 KB
Comunicación S7	
• Número de conexiones	máx. 16
Comunicación PG/OP	
• Número de enlaces OP operables (servicios acíclicos)	16
Modo multiprotocolo	
• Suma de todas las conexiones operables simultáneamente, máx.	máx. 32

SIMATIC S7-300

Módulos de entrada/salida digitales

Módulo de entrada digital SM 321

Sinopsis



- Entradas digitales para el SIMATIC S7-300
- Permite conectar contactos y detectores de proximidad a 2 hilos (BERO)

Datos técnicos

	6ES7 321-1BH02-0AA0 1BH82-0AA0 ¹⁾	1BH50-0AA0	1BL00-0AA0 1BL80-0AA0 ¹⁾	1CH00-0AA0	1CH80-0AA0 ¹⁾²⁾
Cantidad de entradas	16	16; tipo m	32	16	16
Alarmas	-	-	-	-	-
Diagnóstico	-	-	-	-	-
Tensión nominal de carga L+/L1					
• valor nominal	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 a 48 V AC/DC	48 a 125 V DC
• rango permitido	20,4 V a 28,8 V			-	-
Tensión de entrada					
• valor nominal	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 a 48 V DC 24 a 48 V AC	48 a 125 V DC
• para señal "1"	13 a 30 V	-13 a -30 V	13 a 30 V	14 a 60 V AC	30 a 146 V DC
• para señal "0"	-30 a +5 V	-5 a +30 V	-30 a +5 V	-5 a 5 V AC	-30 a 15 V DC
• frecuencia	-	-	-	0 a 63 Hz	-
Aislamiento galvánico (al bus posterior)	Optoacoplador			Optoacoplador	Optoacoplador
• en grupos de	16	16	16	1	8
Intensidad de entrada					
• con señal "1", típ.	9,0 mA	7,0 mA	7,0 mA	8 mA	2,6 mA
Retardo de entrada					
• parametrizable	-	-	-	-	-
• con valor nominal de la tensión de entrada	1,2 a 4,8 ms	1,2 a 4,8 ms	1,2 a 4,8 ms	máx. 15 ms	1 a 3 ms
Número de entradas atacables simultáneamente					
• a 40 °C	16	16	32	16 (montaje horizontal y vertical)	16 (a 120 V DC)
• a 60 °C	16	16	16	16 (montaje vertical))	16 (a 60 V DC) ó 10 (a 140 V DC)
• a 70 °C	-	-	-	-	16 (a 60 V DC) ó 6 (a 140 V DC)
Conexión de detectores BERO a 2 hilos	posible	posible	posible	posible	posible
• intensidad de reposo admisible, máx.	1,5 mA	1,5 mA	1,5 mA	1,0 mA	1,0 mA
Longitud de cables					
• sin pantalla	600 m	600 m	600 m	600 m	600 m
• apantallados	1000 m	1000 m	1000 m	1000 m	1000 m

1) SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C

2) Disponible exclusivamente con rango de temperatura ampliado

SIMATIC S7-300

Módulos de entrada/salida digitales

Módulo de salida digital SM 322

Sinopsis



- Salidas digitales para el SIMATIC S7-300
- Permite conectar electroválvulas, contactores, pequeños motores, lámparas y arrancadores de motor

Datos técnicos

	6ES7 322-1BH01-0AA0 1BH81-0AA0 ¹⁾	1BL00-0AA0	8BF00-0AB0 ²⁾ 8BF80-0AB0 ¹⁾	5GH00-0AB0	1CF80-0AA0 ¹⁾³⁾	1BF01-0AA0
Cantidad de salidas	16	32	8	16	8	8
Alarmas	-	-	si	-	-	-
Diagnóstico	-	-	parametrizable: alarma de diagnóstico por canales, cortocircuito, rotura de hilo, falta de tensión de carga	Se pueden asignar parámetros	-	-
Tensión nominal de carga L+/L1 • rango permitido	24 V DC 20,4 a 28,8V	24 V DC 20,4 a 28,8V	24 V DC 20,4 a 28,8 V	24/48 V DC -	48 a 125 V DC 40 a 140 V DC	24 V DC 20,4 a 28,8V
Tensión de alimentación • con señal "1"	L+ -0,8 V	L+ -0,8 V	L+ -0,8 a -1,6 V	L+ (-0,25 V)	L-1,1 V	L+ -0,8 V
Aislamiento galvánico con bus posterior • en grupos de	Optoacoplador 8	Optoacoplador 8	Optoacoplador 8	Optoacoplador 1	Optoacoplador 4	Optoacoplador 4
Intensidad de salida • con señal "1" - valor nominal a 40 °C - valor nominal con 60 °C - intensidad, mín. - zulässiger Bereich, máx.	- 0,5 A 5 mA	- 0,5 A 5 mA	- 0,5 A 10 mA	- 0,5 A 1,5 A (durante 50 ms) 1 A ²⁾ s (único) 10 µA	1,5 A - 10 mA 10 mA	2 A 5 mA
• con señal "0"	0,5 mA	0,5 mA	0,5 mA		10 mA	0,5 mA
Intensidad total de las salidas (por grupo) • hasta 40 °C • hasta 60 °C (montaje horiz.)	4 A 3 A	4 A 3 A	2 A 2 A	0,5 A	4,0 A 4,0 A	4 A
Con carga de lámparas, máx.	5 W	5 W	5 W	5 W	15 W (48 V) y 40 W (120 V)	10 W
Longitud de cables • sin pantalla • apantallados	600 m 1000 m	600 m 1000 m	600 m 1000 m	600 m 1000 m	600 m 1000 m	600 m 1000 m
Consumo • del bus posterior, máx. • de L+/L1, máx. (sin carga)	80 mA 120 mA	110 mA 200 mA	70 mA 90 mA	100 mA 200 mA	100 mA 40 mA	40 mA 60 mA
Tensión de alimentación L+/consumo de los relés	-	-	-	-	-	-
Disipación, tip.	4,9 W	5 W	5 W	2,8 W	6,5 W	6,8 W
Aislamiento, ensayado con	500 V DC	500 V DC	500 V DC		1500 V DC	500 V DC
Dimensiones (A x A x P) en mm	40x125x120	40x125x120	40x125x120	40x125x120	40x125x120	40x125x120
Conector frontal requerido	20 polos	40 polos	20 polos	40 polos	20 polos	20 polos
Peso, aprox.	190 g	210 g	210 g	260 g	250 g	190 g

1) SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C

2) Cuando la CPU pasa a Stop, el módulo puede o bien mantener el último valor o aplicar en las salidas un valor de sustitución. Diagnóstico por evaluación desde CPU y LED rojo por canal.

3) Disponible únicamente como módulo SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado

SIMATIC S7-300

Módulos de entrada/salida analógicas

Módulo de entrada analógica SM 331

Sinopsis



- Entradas analógicas para el SIMATIC S7-300
- Para conectar sensores con señal de tensión y de corriente (intensidad), termopares, resistencias y termorresistencias

Datos técnicos

	6ES7 331-7KF02-0AB0	1KF00-0AB0	7KB02-0AB0 7KB82-0AB0 ¹⁾
Cantidad de entradas	8	8	2
• para medida de resistencia	4	8	1
Alarmas			
• de límite	parametrizable	no	parametrizable
• de diagnóstico	parametrizable, canales 0 y 2	no	parametrizable, canales 0
Diagnóstico	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible	no	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible
Tensión nominal de carga L+	24 V DC	-	24 V DC
• Protección de inversión de polaridad	si	-	si
Márgenes de entrada/resistencia			
• tensión	+/- 80 mV /10 M Ω +/- 250 mV/10 M Ω +/- 500 mV/10 M Ω +/- 1 V/10 M Ω +/- 2,5 V/100 k Ω +/- 5 V/100 k Ω 1 a 5 V/ 100 k Ω +/- 10 V/100 k Ω	+/- 50 mV /10 M Ω +/- 500 mV /10 M Ω +/- 1 V /10 M Ω +/- 5 V /100 k Ω 1 a 5 V /100 k Ω +/- 10 V /100 k Ω 0 a 10 V /100 k Ω	+/- 80 mV /10 M Ω +/- 250 mV/10 M Ω +/- 500 mV/10 M Ω +/- 1 V/10 M Ω +/- 2,5 V/100 k Ω +/- 5 V/100 k Ω 1 a 5 V/ 100 k Ω +/- 10 V/100 k Ω
• intensidad	+/- 10 mA/25 Ω +/- 3,2 mA/25 Ω +/- 20 mA/25 Ω 0 a 20 mA/25 Ω 4 a 20 mA/25 Ω	+/- 20 mA /50 Ω 0 a 20 mA /50 Ω 4 a 20 mA /50 Ω	+/- 10 mA/25 Ω +/- 3,2 mA/25 Ω +/- 20 mA/25 Ω 0 a 20 mA/25 Ω 4 a 20 mA/25 Ω
• resistencia	150 Ω /10 M Ω 300 Ω /10 M Ω 600 Ω /10 M Ω	0 a 6k Ω /10 M Ω 0 a 600 Ω /10 M Ω	150 Ω /10 M Ω 300 Ω /10 M Ω 600 Ω /10 M Ω
• termopares	Tipo E, N, J, K/10 M Ω	-	Tipo E, N, J, K/10 M Ω
• termorresistencias	Pt 100 estándar/10 M Ω Ni 100 estándar	Pt 100 estándar /10 M Ω Pt 100 climat. /10 M Ω	Pt 100 estándar/10 M Ω Ni 100 estándar
Tensión de entrada permitida para entrada de tensión, máx.	20 V	30 V	20 V
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad, máx.	40 mA	40 mA protección contra sobreintensidades incluida	40 mA
Conexión de sensores			
• para medida de intensidad			
- como transmisor a 2 hilos	si	si, con alimentación externa	si
- como transmisor a 4 hilos	si	si	si

1) SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C

Datos técnicos (continuación)

	6ES7 331- 7KF02-0AB0	1KF00-0AB0	7KB02-0AB0 7KB82-0AB0 ¹⁾
Conexión de sensores			
• para medida de resistencia			
- a 2 conductores	sí	sí	sí
- a 3 conductores	sí	sí, sí, con compensación de 3 conductores	sí
- a 4 conductores	sí	sí	sí
Aislamiento galvánico al bus posterior	sí	sí	sí
Linealización de la característica			
• para termopares	Tipo N, E, J, K	-	Tipo N, E, J, K
• para termorresistencias	Pt 100 (aplicaciones estándar) Ni 100 (aplicaciones estándar)	PT 100 estándar PT 100 climat	PT 100 (aplicaciones estándar) Ni 100 (aplicaciones estándar)
Compensación de temperatura	parametrizable	no	parametrizable
• interna	posible	-	posible
• externa con caja de compensación	posible	-	posible
• externa con Pt 100	-	-	-
Tiempo de conversión ²⁾ / resolución (por canal)			
• tiempo de integración	2,5/16 ² / ₃ /20/100 ms	16 ² / ₃ / 20 ms	2,5/16 ² / ₃ /20/100 ms
• resolución (S = signo)			
- unipolar	9/12/12/14 bits	13 / 13 bits	9/12/12/14 bits
- bipolar	9+S/12+S/12+S/ 14+S bits	12+S / 12+S	9+S/12+S/12+S/ 14+S bits
• supresión de tensiones perturbadoras para frecuencia parásita	400/60/50/10 Hz	60 / 50 Hz	400/60/50/10 Hz
Límite de error práctico (en todo el margen de temperatura, referido al margen de entrada), máx.	+/-1%	+/-0,6%, +/-1,2K	+/-1%
Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C, referido al margen de entrada), máx.	+/-0,6%	+/-0,4%, +/-1K	+/-0,6%
Long. de cable (apantallado), máx.	200 m (50 m con 80 mV)	200 m (50 m con 50 mV)	200 m (50 m con 80 mV)
Consumo			
• del bus posterior, máx.	50 mA	90 mA	50 mA
• de la L+, máx.	200 mA	-	80 mA
Disipación, tip.	1,3 W	0,4 W	1,3 W
Aislamiento, ensayado con	600 V DC	600 V DC	500 V DC
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120	40 x 125 x 120	40 x 125 x 120
Conector frontal requerido	20 polos	40 polos	20 polos
Peso	250 g	250 g	250 g

1) SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C

2) Para calcular la duración del ciclo se necesitan otros datos.

Estos se pueden ver en el manual "Instalación y configuración de un S7-300".

SIMATIC S7-300

Módulos de entrada/salida analógicas

Módulo de salida analógica SM 332

Síntesis



- Salidas analógicas para el SIMATIC S7-300
- Para conectar actuadores analógicos

Datos técnicos

	6ES7 332-5HB01-0AB0 5HB81-0AB0 1)	5HD01-0AB0	5HF00-0AB0	7ND00-0AB0
Cantidad de salidas	2	4	8	4
Alarmas				
• de diagnóstico	sí	sí	sí	sí
Diagnóstico	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible	LED rojo para señalar fallo agrupado; información de diagnóstico legible
Tensión de carga nominal	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Márgenes de salida				
• salidas de tensión	0 a 10 V; +/- 10 V; 1 a 5 V	0 a 10 V; +/- 10 V; 1 a 5 V	0 a 10 V; +/- 10 V; 1 a 5 V	0 a 10 V; +/- 10 V; 1 a 5 V
• salidas de intensidad	4 a 20 mA; +/- 20 mA; 0 a 20 mA	4 a 20 mA; +/- 20 mA; 0 a 20 mA	4 a 20 mA; +/- 20 mA; 0 a 20 mA	4 a 20 mA; +/- 20 mA; 0 a 20 mA
Resistencia de carga				
• en salidas de tensión, mín.	1 kΩ	1 kΩ	1 kΩ	1 kΩ
• en las salidas de intensidad, máx.	500 Ω	500 Ω	500 Ω	500 Ω
• con carga capacitiva, máx.	1 μF	1 μF	1 μF	1 μF
• con carga inductiva máx.	10 mH	10 mH	10 mH	1 mH
Salida de tensión				
• Protección de cortocircuito	sí	sí	sí	sí
• Corriente de cortocircuito, máx.	25 mA	25 mA	25 mA	40 mA
Salida de intensidad				
• Tensión en vacío, máx.	18 V	18 V	18 V	18 V
Aislamiento galvánico al bus posterior	sí	sí	sí	sí
Resolución	11 bits + signo (con +/- 10 V; +/- 20mA) 12 bits (con 0 a 10 V; 0 a 20 mA), 4 a 20 mA., 1 a 5 V	11 bits + signo (con +/- 10 V; +/- 20mA) 12 bits (con 0 a 10 V; 0 a 20 mA), 4 a 20 mA., 1 a 5 V	11 bits + signo (con +/- 10 V; +/- 20mA) 12 bits (con 0 a 10 V; 0 a 20 mA), 4 a 20 mA., 1 a 5 V	15 bits + signo
Long. de cable (apantallado), máx.	200 m	200 m	200 m	200 m
Consumo				
• del bus posterior, máx.	60 mA	60 mA	100 mA	60 mA
• de L+, máx.	240 mA	240 mA	340 mA	240 mA
Disipación tip.	3 W	3 W	6 W	3 W
Aislamiento, ensayado con	500 V DC	500 V DC	500 V DC	500 V DC
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120	40 x 125 x 120	40 x 125 x 120	40 x 125 x 120
Conector frontal requerido	20 polos	20 polos	40 polos	20 polos
Peso, aprox.	220 g	220 g	272 g	220 g

1) SIMATIC Outdoor con rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C

PANTALLA TÁCTIL SIEMENS 277 10"

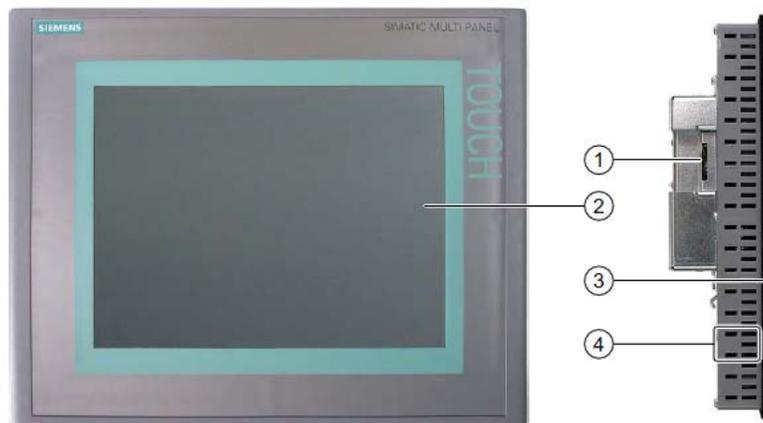
Posibles aplicaciones del MP 277

Los Multi Panel MP 277 completan la serie 270.

Los paneles de operador se basan en el innovador sistema operativo estándar Microsoft Windows CE 5.0. Los Multi Panel MP 277 pertenecen a la nueva categoría de productos denominada "Plataforma multifuncional". Los paneles de operador ofrecen posibilidades de comunicación ampliadas para el mundo de la oficina. Los paneles de operador ya cuentan con Pocket Internet Explorer instalado.

Estructura del panel de mando MP 277 Touch de 10"

Vistas frontal y lateral



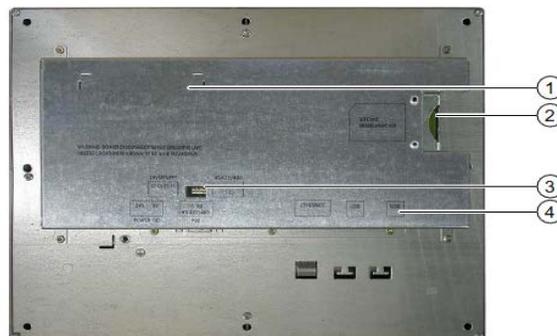
- ① Ranura para una tarjeta de memoria
- ② Display/Pantalla táctil
- ③ Junta de montaje
- ④ Escotadura para un tensor

Vista inferior



- ① Escotaduras para sensores
- ② Puertos

Vista posterior



- ① Placa de características
- ② Ranura para una tarjeta de memoria
- ③ Interruptor DIL
- ④ Nombre del puerto

Display

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
Tipo	LCD-TFT	LCD-TFT
Área activa del display	153,7 mm x 115,8 mm (7,5")	211,2 mm x 158,4 mm (10,4")
Resolución	640 x 480 puntos de imagen	640 x 480 puntos de imagen
Colores representables	64k	64k
Ajuste de brillo	Sí	Sí
Iluminación de fondo	CCFL	CCFL
Half Brightness Life time, típico	50.000 h	50.000 h

Unidad de entrada

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
Tipo	Pantalla táctil, analógica, resistiva,	

Memoria

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
Memoria de aplicación	6 MBytes	

Puertos

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
1 x RS 422/RS 485	Máx. 12 Mbit/s	
2 x USB	<ul style="list-style-type: none"> • USB-Host; equivale a USB Standard 1.1 (compatible con dispositivos USB low-speed y full-speed) • Carga máxima 500 mA 	
1 x Ethernet	RJ45 10/100 Mbit/s	

Tensión de alimentación

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
Tensión nominal	+24 V DC	+24 V DC
Rango admisible	20,4 V a 28,8 V (-15 %, +20 %)	20,4 V a 28,8 V (-15 %, +20 %)
Transitorios, máximo admisible	35 V (500 ms)	35 V (500 ms)
Tiempo entre dos transitorios, mínimo	50 s	50 s
Consumo de corriente <ul style="list-style-type: none"> • Típico • Corriente continua máx. • Impulso de corriente de conexión I^2t 	<ul style="list-style-type: none"> • aprox. 600 mA • aprox. 1.000 mA • aprox. 1 A²s 	<ul style="list-style-type: none"> • aprox. 700 mA • aprox. 1.100 mA • aprox. 1 A²s
Fusible interno	Electrónico	Electrónico

Otros

	MP 277 8" Touch	MP 277 10" Touch
Reloj de tiempo real, con memoria ¹⁾	Sí	Sí

¹⁾ Tiempo de enlace de la memoria aprox. 6 semanas.

SENSORES DE TEMPERATURA PT-100

Pt 100
ohms

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47

0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.88	215.23
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.96	222.31
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83
340	226.18	226.53	226.88	227.24	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84
360	233.19	233.54	233.89	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80
450	264.14	264.48	264.82	265.16	265.49	265.83	266.17	266.51	266.85	267.18
460	267.52	267.86	268.20	268.53	268.87	269.21	269.54	269.88	270.22	270.55
470	270.89	271.23	271.56	271.90	272.24	272.57	272.91	273.24	273.58	273.91
480	274.25	274.58	274.92	275.25	275.59	275.92	276.26	276.59	276.93	277.26
490	277.60	277.93	278.26	278.60	278.93	279.26	279.60	279.93	280.26	280.60
500	280.93	281.26	281.60	281.93	282.26	282.59	282.93	283.26	283.59	283.92
510	284.25	284.58	284.92	285.25	285.58	285.91	286.24	286.57	286.90	287.23
520	287.56	287.90	288.23	288.56	288.89	289.22	289.55	289.88	290.21	290.54
530	290.86	291.19	291.52	291.85	292.18	292.51	292.84	293.17	293.50	293.82
540	294.15	294.48	294.81	295.14	295.47	295.79	296.12	296.45	296.78	297.10
550	297.43	297.76	298.08	298.41	298.74	299.07	299.39	299.72	300.04	300.37
560	300.70	301.02	301.35	301.68	302.00	302.33	302.65	302.98	303.30	303.63
570	303.95	304.28	304.60	304.93	305.25	305.58	305.90	306.22	306.55	306.87
580	307.20	307.52	307.84	308.17	308.49	308.81	309.14	309.46	309.78	310.11
590	310.43	310.75	311.07	311.40	311.72	312.04	312.36	312.68	313.01	313.33
600	313.65	313.97	314.29	314.61	314.93	315.26	315.58	315.90	316.22	316.54
610	316.86	317.18	317.50	317.82	318.14	318.46	318.78	319.10	319.41	319.73
620	320.05	320.37	320.69	321.01	321.33	321.65	321.96	322.28	322.60	322.92
630	323.24	323.55	323.87	324.19	324.51	324.82	325.14	325.46	325.78	326.09
640	326.41	326.73	327.04	327.36	327.67	327.99	328.31	328.62	328.94	329.25
650	329.57	329.89	330.20	330.52	330.83	331.15	331.46	331.78	332.09	332.41
660	332.72	333.04	333.35	333.66	333.98	334.29	334.61	334.92	335.23	335.55
670	335.86	336.17	336.49	336.80	337.11	337.43	337.74	338.05	338.36	338.68
680	338.99	339.30	339.61	339.92	340.24	340.55	340.86	341.17	341.48	341.79
690	342.11	342.42	342.73	343.04	343.35	343.66	343.97	344.28	344.59	344.90
700	345.21	345.52	345.83	346.14	346.45	346.76	347.07	347.38	347.68	347.99
710	348.30	348.61	348.92	349.23	349.53	349.84	350.15	350.46	350.77	351.07
720	351.38	351.69	352.00	352.30	352.61	352.92	353.22	353.53	353.84	354.14
730	354.45	354.75	355.06	355.37	355.67	355.98	356.28	356.59	356.89	357.20
740	357.51	357.81	358.12	358.42	358.72	359.03	359.33	359.64	359.94	360.25
750	360.55	360.85	361.16	361.46	361.77	362.07	362.37	362.68	362.98	363.28
760	363.59	363.89	364.19	364.49	364.80	365.10	365.40	365.70	366.01	366.31
770	366.61	366.91	367.21	367.51	367.81	368.12	368.42	368.72	369.02	369.32
780	369.62	369.92	370.22	370.52	370.82	371.12	371.42	371.72	372.02	372.32
790	372.62	372.92	373.22	373.52	373.82	374.12	374.42	374.71	375.01	375.31
800	375.61	375.91	376.21	376.50	376.80	377.10	377.40	377.70	377.99	378.29
810	378.59	378.88	379.18	379.48	379.77	380.07	380.37	380.66	380.96	381.26
820	381.55	381.85	382.14	382.44	382.74	383.03	383.33	383.62	383.92	384.21
830	384.51	384.80	385.10	385.39	385.69	385.98	386.27	386.57	386.86	387.16
840	387.45	387.74	388.04	388.33	388.62	388.92	389.21	389.50	389.79	390.09
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

TRANSMISOR DE TEMPERATURA TMT 121



Datos del producto

Datos básicos

Lengua:

Lugar del origen:	China (continente)	Marca:	E+H
Número de Modelo:	TMT121	Uso:	Industrial
Teoría:	Termómetro del termopar	color:	blanco/azul
instale:	Dinar-Carril	Entrada:	IDT, TC, R o milivoltio
salida:	4-20mA/20 a 4 mA	Fuerza aislador:	2000VAC (entrada-salida)
Encienda el retardo:	4 s	Estabilidad de largo plazo:	< 0="">
Límite actual:	± del ± 23 mA	Tiempo de reacción:	1s

Especificaciones

1) La IDT, TC, R, milivoltio entró 2) exactitud en línea de dos hilos de la configuración 4 del transmisor 3) alta): 0.08% del fósforo de la curva de la linearización del palmo 5)

Aislador de E+H/transmisor elegantes TMT121 de la temperatura

Descripción de producto

Transmisor universal de la temperatura del carril del estruendo para los termómetros de resistencia, termopares, transmisores de resistencia y transmisores del voltaje, ajustables via la PC

PC universal programable

tecnología de dos hilos, 4 a la salida analógica de 20 mA

Alta exactitud en gama de temperaturas ambiente total

Señal de la avería en rotura del sensor o cortocircuito, NE 43 de NAMUR obediente

EMC a NE 21, CE de NAMUR

La UL reconoció el componente a UL 3111-1

Ex-Certificación:

- Ex ia de ATEX

- FM ES

- CSA ES

Aprobación GL del edificio de nave

Aislamiento galvánico

Simulación de la salida

linearización Cliente-especifica

Campo del uso

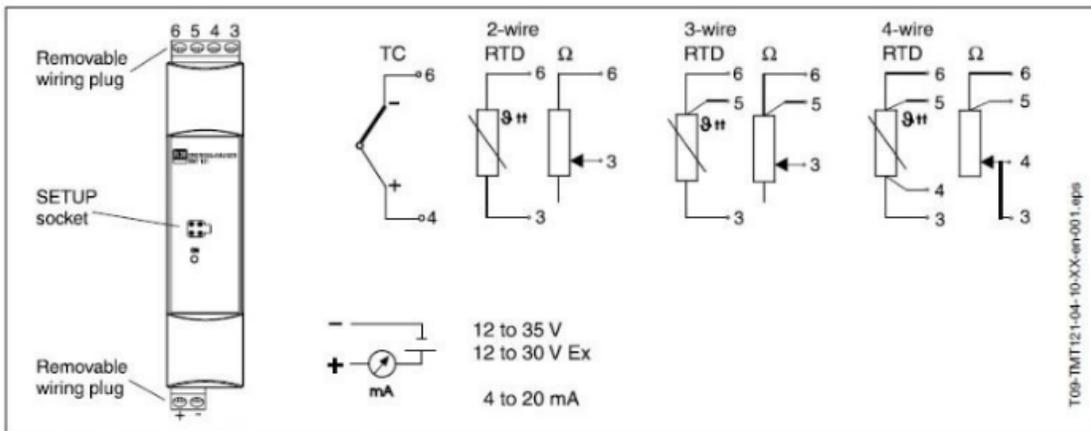
Transmisor programable de la temperatura del carril del estruendo de la PC (PCP) para convertir varias señales de entrada en 4 escalables a la señal de la salida analógica de 20 mA

Entrada:

- Termómetro de resistencia (IDT)
- Termopar (TC)
- Transmisor de resistencia (ohmio)
- Transmisor del voltaje (milivoltio)

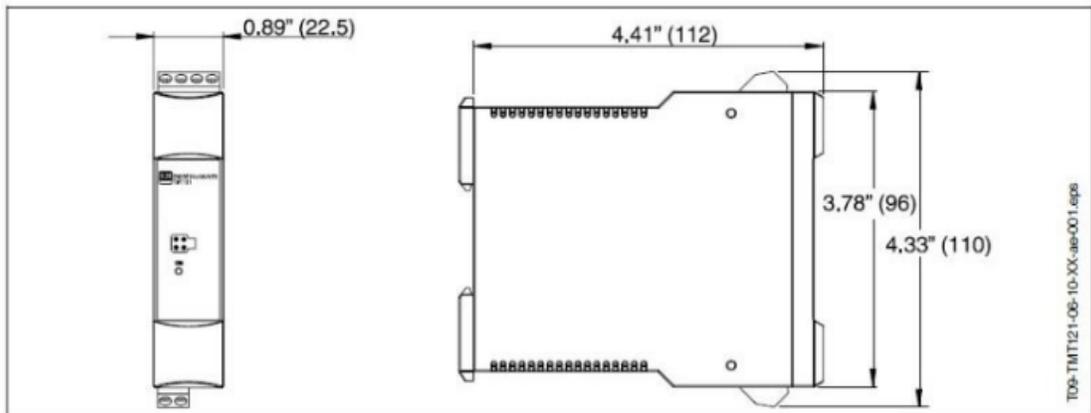
Configuración usando una PC con el kit de la configuración de TMT180A, de TMT181A o de TMT121A (incl. PC-software ReadWin® 2000)

Conexión eléctrica



Temperature transmitter terminal connections

Construcción mecánica



SENSORES DE NIVEL



BMS1

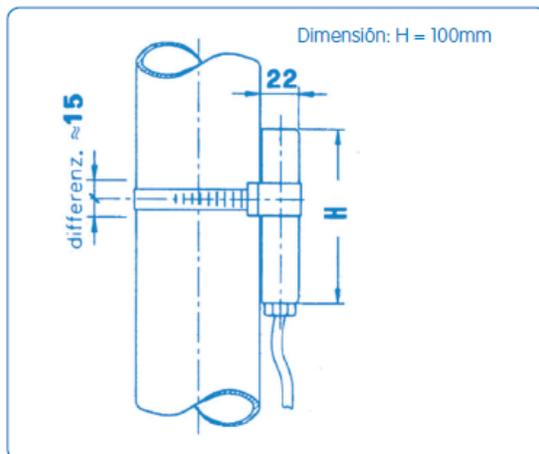
Contacto magnético biestable Tipo.Reed



Los contactos magnéticos se fijan al indicador de nivel, mediante bridas, a la altura requerida para el control de la bomba o válvula o para la alarma de nivel.

Características Técnicas

Contacto	Reed SPST
Función	On/Off BIESTABLE
Grado protección	IP65
Carga	Max 80 VA (Carga resistiva)
Tensión de trabajo	24...110V AC/DC
Voltaje recomendado	24 VDC
Material cuerpo	Makrolon
Temperatura	-40...150 °C
Cable	PVC, gris, 2x0,75 mm ²
Dimensiones	22x22x100 mm



Esquema eléctrico

Generalmente, la longitud diferencial de un solo contacto (15mm), no es suficientemente largo para controlar una bomba, por lo tanto, normalmente se utilizan 2 contactos conectados a un circuito de mantenimiento del contactor del motor.



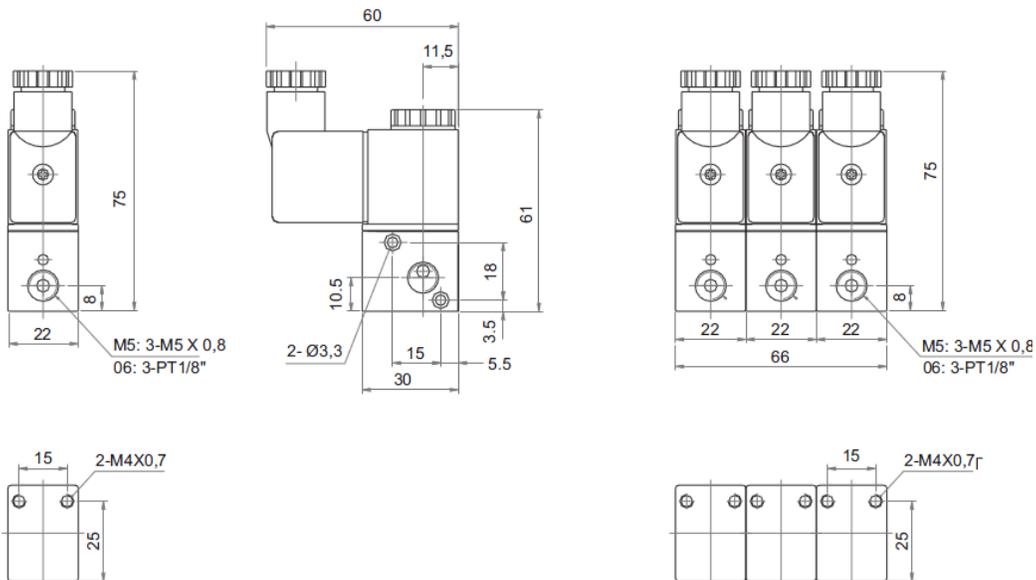
VALVULAS SOLENOIDES - 3/2 VIAS
SERIE 3V1



- Válvulas de acción directa
- Válvulas de fácil montaje en línea



Especificaciones Técnicas	
Operación	Normalmente Cerrada
Diámetro del orificio	1,2 mm
Lubricación	No requiere lubricación
Presión de operación	0 ~ 8 Kg./cm ² (0 ~ 114 PSI)
Máxima presión	12 Kg./cm ² (170 PSI)
Temperatura	5 ~ 60 °C (41 ~ 140 °F)
Corriente Alterna	50/60 Hz
Variación del voltaje	± 10 %
Consumo de potencia	AC: 4,5V A DC: 3W
Aislamiento de la bobina	Clase F
Protección bobina	IP65 (DIN40050)
Conector	Tipo DIN
Máxima frecuencia	10 Ciclos / seg.
Tiempo de respuesta	0,05 Seg.





LOGO!POWER 24 V FUENTE ALIMENT. ESTABILIZADA ENTRADA: AC 100-240 V (DC 110-300 V) SALIDA: DC 24 V/2,5 A

Datos técnicos	
Producto	LOGO!Power
Fuente de alimentación, tipo	24 V/2,5 A
Entrada	
Entrada	AC monofásica o DC
Tensión nominal U_e nom/mín.	100...240 V
Rango de tensión/mín.	85...264 V
Tensión de entrada / con DC	110...300 V
Entrada de rango amplio	Sí
Resistencia a sobretensiones	2,3 x U_e nom, 1,3 ms
Respaldo de red con la nom, mín.	40 ms
Respaldo de red	Con $U_e = 187$ V
Frecuencia nominal de red/1	50/60 Hz
Rango de frecuencia de red/mín.	47...63 Hz
Intensidad de entrada/con valor nominal de la tensión de entrada 120 V/valor nominal	1,22 A
Intensidad de entrada/con valor nominal de la tensión de entrada 230 V/valor nominal	0,66 A
Limitación de la intensidad de conexión (+ 25 °C), máx.	46 A
I_t , máx.	3 A ² ·s
Fusible de entrada incorporado	Interno
Protección del cable de red (IEC 898)	Interruptor magnetotérmico recomendado: a partir de 16 A, característica B o a partir de 10 A, característica C
Salida	
Salida	Tensión continua regulada y aislada galvánicamente
Tensión nominal U_s nom DC	24 V
Tolerancia total, estática ±	3 %
Compens. estática variación de red, aprox.	0,1 %
Compens. estática variación de carga, aprox.	1,5 %
Ondulación residual entre picos, máx.	200 mV
Ondulación residual entre picos, típ.	10 mV
Spikes entre picos, máx. (ancho de banda aprox. 20 MHz)	300 mV
Spikes entre picos, típ. (ancho de banda aprox. 20 MHz)	50 mV
Rango de ajuste/mín.	22,2...26,4 V
Función del producto/tensión de salida ajustable	Sí
Ajuste de la tensión de salida	Mediante potenciómetro
Pantalla normal	LED verde para tensión de salida O. K.
Comportamiento al conectar/desconectar	Sin rebase transitorio de U_a (arranque suave)
Retardo de arranque, máx.	0,5 s
Subida de tensión, típ.	10 ms
Intensidad nominal I_a nom	2,5 A
Rango de intensidad	0...2,5 A
• Observación	2,5 A a +55 °C, 1,7 A a +70 °C
Potencia activa entregada/típica	60 W

RELAYS ENCAPSULADOS CAMSCO

PAG. 139 DEL CATALOGO 2006



TIPO: 8 PINES REDONDOS/SERIE MK 10A/5A					
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON	
MK2P-1-12VDC	12 VDC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-24VDC	24 VDC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-220VDC	220 VDC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-12VAC	12 VAC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-24VAC	24 VAC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-110VAC	110 VAC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
MK2P-1-220VAC	220 VAC	2NA - 2NC	10A/5A	20	
TC-085A	BASE DE 8 HUECOS REDONDOS PARA MK-2P				400/20

TIPO: 11 PINES REDONDOS/SERIE MK 10A/5A					
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON	
MK3P-1-12VDC	12 VDC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
MK3P-1-24VDC	24 VDC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
MK3P-1-12VAC	12 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
MK3P-1-24VAC	24 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
MK3P-1-110VAC	110 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
MK3P-1-220VAC	220 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20	
PF-113AE	BASE DE 11 HUECOS REDONDOS PARA MK-3P				400/10



TIPO: 8 PATILLAS PLANAS/SERIE MY/5A					
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON	
MY-2-12 VDC	12 VDC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
MY-2-24 VDC	24 VDC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
MY-2-12 VAC	12 VAC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
MY-2-24 VAC	24 VAC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
MY-2-110 VAC	110 VAC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
MY-2-220 VAC	220 VAC	2NA - 2NC	5 AMP	50	
PYF-08AE	BASE DE 8 HUECOS PLANOS PARA MY-2				10

TIPO: 14 PATILLAS PLANAS/SERIE MY/3A					
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON	
MY-4-12 VDC	12 VDC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
MY-4-24 VDC	24 VDC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
MY-4-12 VAC	12 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
MY-4-24 VAC	24 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
MY-4-110 VAC	110 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
MY-4-220 VAC	220 VAC	4NA - 4NC	3 AMP	50	
PYF-14AE	BASE DE 14 HUECOS PLANOS PARA MY-4				10

Contactador CL 18A AC3 230V 3kW bobina 220V 1NA

Código de producto:
CL02A310T5Marca:
General ElectricSub línea:
Contactores TripolaresFamilia:
CLSub familia:
Serie CL

Características eléctricas del circuito de potencia:

Corriente nominal: 18 A - AC-3
 Tensión nominal de aislamiento: 1000 V
 Intensidad máxima permanente AC-1: 32 A
 Intensidad de corta duración 10 seg.: 180 A
 Resistencia de aislamiento: > 10MΩ
 Potencia disipada por polo: 2.46 w (AC-1)
 0.78 w (AC-3)

Características eléctricas del circuito de mando:

Tensión de la bobina: 220VAC
 Consumo de bobinas bifrecuencia: 6,8/5,6 VA (circuito magnético cerrado 50/60 Hz.)
 53/44 VA (circuito magnético abierto 50/60 Hz.)
 Límites de tensión de las bobinas: Funcionamiento - 0.85...1.1
 Conexión: 0.65...0.85
 Desconexión: 0.35

Dimensiones:

45mm (Ancho) x 81mm (Alto) x 85 mm (Prof)

TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

DIMENSIONI in mm

MONTAGGIO A QUADRO (su guida DIN)

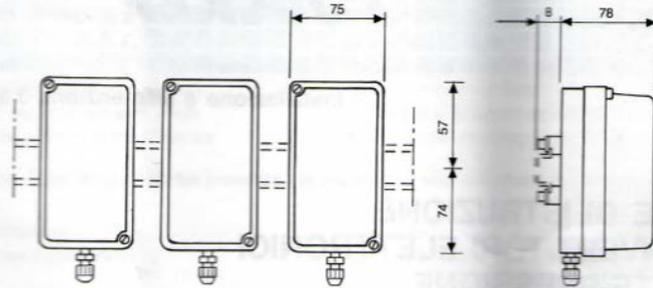


Fig. 1

MONTAGGIO A PARETE O SU SUPPORTO TUBOLARE

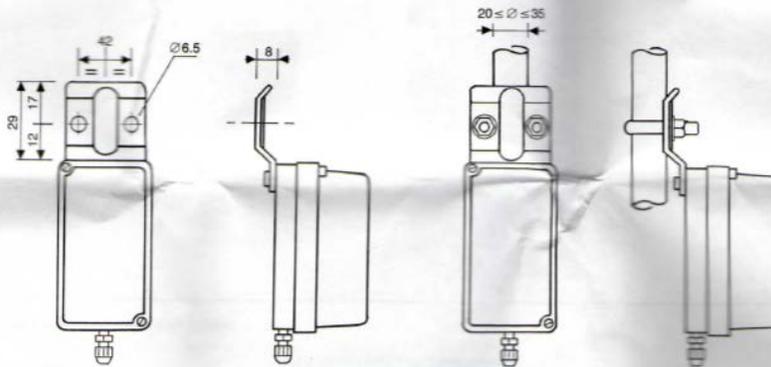


Fig. 2

DIMENSIONI DI INGOMBRO E CONNESSIONI

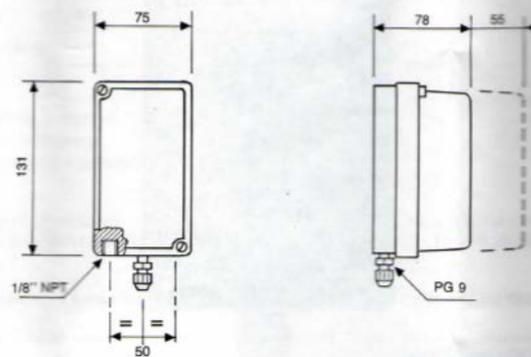


Fig. 3

V	Segnale elettrico in ingresso				Segnale pneumatico in uscita	
		mA			kPa	psi
1	0	4	4	12	20	3
1.4	2	5.6	4.8	12.8	28	4.2
1.8	4	7.2	5.6	13.6	36	5.4
2.2	6	8.8	6.4	14.4	44	6.6
2.6	8	10.4	7.2	15.2	52	7.8
3	10	12	8	16	60	9
3.4	12	13.6	8.8	16.8	68	10.2
3.8	14	15.2	9.6	17.6	76	11.4
4.2	16	16.8	10.4	18.4	84	12.6
4.6	18	18.4	11.2	19.2	92	13.8
5	20	20	12	20	100	15

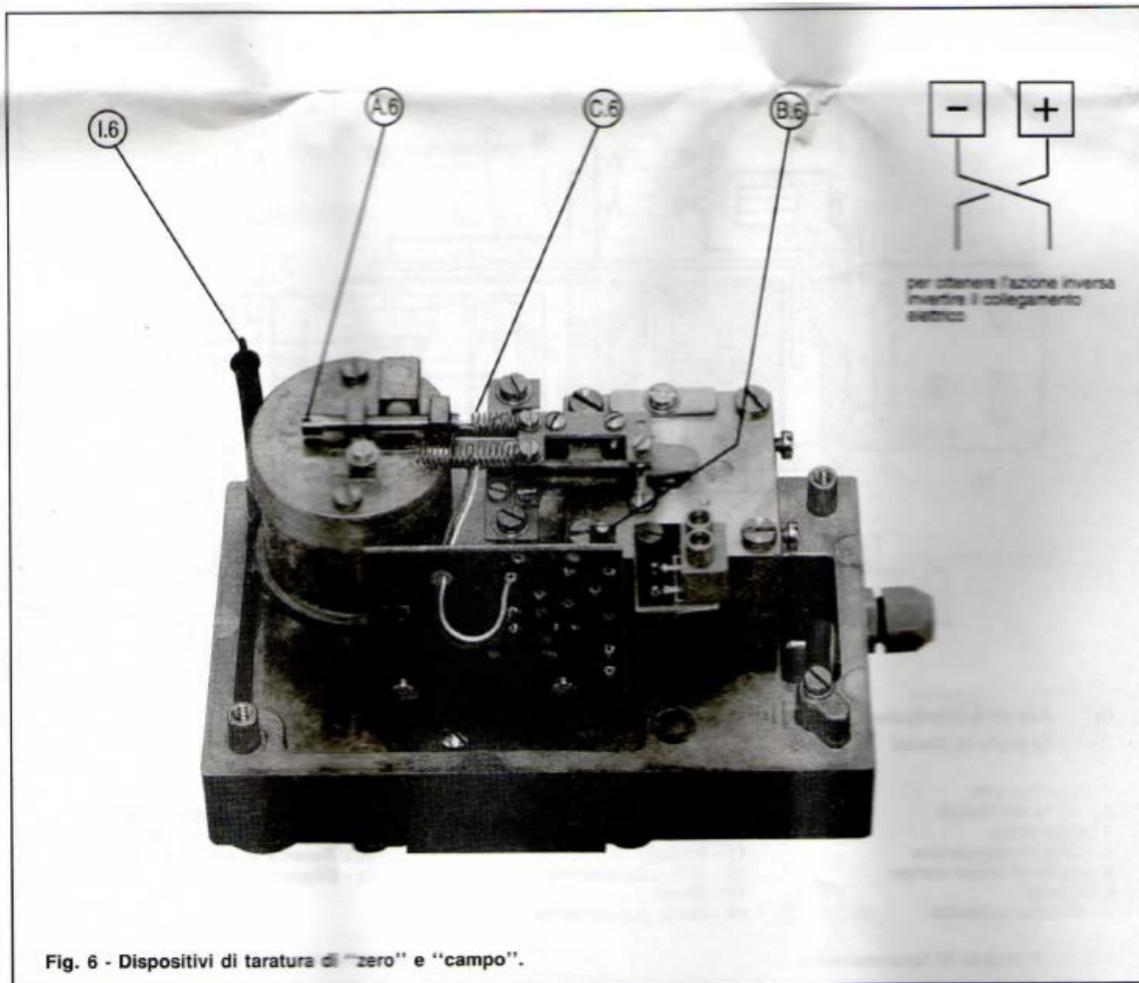
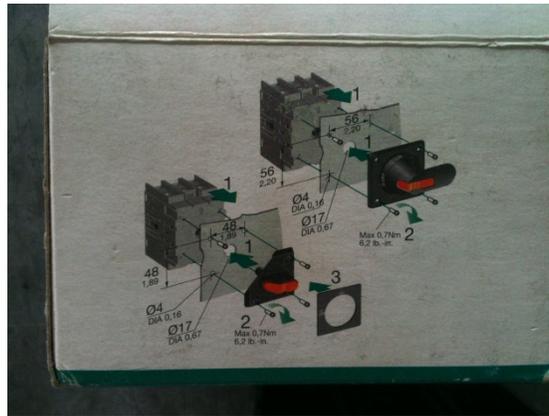


Fig. 6 - Dispositivi di taratura di "zero" e "campo".

SWITCH GENERAL



Additional Information

Cable Cross-Section:	10...70 mm ²
Conventional Free-air Thermal Current (I _{th}):	q=40°C 115 A
Conventional Thermal Current (I _{the}):	Fully Enclosed 115 A
IIT Publishing Status:	Level 0 - Information enabled
Number of Poles:	3
Operating Mechanism:	Mechanism on top of the switch
Pollution Degree:	3
Position of Line Terminals:	Top in - bottom out
Power Loss:	Per Pole 0.36 W
Product Main Type:	OT100E_100F
Product Name:	Switch-disconnector
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp}):	8 kV
Rated Insulation Voltage (U _i):	750 V
Rated Operational Current AC-21A (I _e):	(690V) 100 A (500V) 100 A (380 ... 415V) 100 A
Rated Operational Current AC-22A (I _e):	(380 ... 415 V) 100 A (500 V) 100 A (690 V) 100 A
Rated Operational Current AC-23A (I _e):	(380 ... 415 V) 80 A (690 V) 40 A (500 V) 60 A
Rated Operational Power AC-23A (P _e):	(220 ... 240V) 22 kW (400V) 37 kW (415V) 37 kW (500V) 37 kW (690V) 37 kW
Rated Operational Voltage (U _e):	750 V
Rated Short-time Withstand Current (I _{cw}):	for 1.0s 2.5 kiloampere rms

ANEXO D

ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO

La automatización del proceso de destilación de agua fue muy necesaria y se justifica debido a los siguientes indicadores principales:

- Necesidad de actualización del sistema: debido a que el antiguo sistema tenía un tiempo de operación de 15 años.
- Requerimientos de una mejora en la calidad del agua destilada.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima (AGUA POTABLE).
- Necesidad de brindar seguridad al personal: el nuevo sistema es muy fácil de utilizar, brinda comodidad y confort a los operadores.
- Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.
- Conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos de las variables del proceso.
- Desarrollo de nuevas tecnologías: el sistema desarrollado posee software de la más alta calidad con licencias originales de SIEMENS.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Reducción de costos, racionalización del trabajo, reducir el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.

Como se puede observar el costo total del proyecto es de \$ 13.162,50, pero cabe recalcar que se buscó el mejor mercado con garantía de los productos y de excelentes marcas.

Una de las variables críticas, que fue notablemente estudiada al incorporar este sistema, fueron los servicios de instalación. Se consideró, entre otros:

- El montaje de los elementos físicos
- La capacitación en el uso del sistema
- Las adaptaciones a realizar a elementos físicos y software
- La resolución de problemas que surgen al cabo de algún tiempo (después de un año, por ejemplo)

Este tipo de servicios presenta una marcada diferencia para un aprovisionamiento nacional y uno extranjero. Los proveedores extranjeros suelen entregar el servicio de post-venta a través de enviar a asesores por plazos a fijar por los clientes. Ellos suelen cobrar honorarios por un monto de **US\$ 10.000** al mes por ingeniero.

Adicionalmente, se deben cancelar los pasajes de y al país de origen, los servicios de un buen hotel y traslado hotel-empresa-hotel. Frecuentemente, la instalación de los sistemas requiere traer a uno o dos especialistas por uno o dos meses. Si el sistema falla, se deben contratar nuevamente los servicios citados, lo que es lento y costoso.

La empresa LIFE hizo contacto con técnicos italianos para la realización del proyecto, cuyo precio radicaba en **US\$ 40.000**, sin embargo cabe resaltar que las capacidades y la mano de obra nacionales también son excelentes por lo que la empresa invirtió solamente en la compra de los elementos necesarios ya que gracias a nuestra intervención el desarrollo del proyecto, programación, los servicios de instalación y soporte técnico fueron cubiertos satisfactoriamente.

Así se puede indicar que el ahorro de dinero en el desarrollo del proyecto fue de alrededor de **US\$ 27.000**.

BENEFICIOS:

El principal beneficio de la automatización del proceso de destilación de agua, radica en importantes ahorros en mano de obra directa (MOD), porque este sistema reemplaza el trabajo manual de los operarios.

En forma adicional a los beneficios que pueden ser estimados en dinero, existen otros que son difíciles de cuantificar:

- Se disminuyó la incertidumbre en el trabajo de control de calidad, porque el sistema tiene un comportamiento homogéneo y funciona correctamente.
- Nuestro sistema permite llevar registros históricos del proceso lo que, junto al uso de software estadístico (REPORTES EN EXCEL, BASE DE DATOS), permite mejorar la toma de decisiones en el ámbito de la administración superior.
- Se pueden emitir informes resumen, con los resultados del análisis de los reportes de las variables del proceso lo que produce importantes ahorros de tiempo del personal, al no tener que revisar valores que no aportan información.
- Permite el monitoreo y supervisión del proceso en tiempo real con gráficos y parámetros fáciles de entender y manejar, muy útiles para el mejoramiento del proceso.
- Ahorros estimados en: "Retrabajo" o reparación de piezas, reducción de la frecuencia de los servicios de mantenimiento, reparación y garantías ofrecidos al cliente, aumento de la demanda debido a la mejora esperada de la calidad del producto (agua destilada), disminución de la devolución de artículos por parte del consumidor, aumento de la demanda por parte de

clientes nacionales y/o internacionales debido a la continuidad en el cumplimiento de las especificaciones, ingreso a nuevos mercados y aumento de la demanda al obtener una certificación por parte de un organismo supervisor de calidad, aumento de la demanda debido a la capacidad de ofrecer tiempo de garantía mayores.

- Ahorros estimados en: uso más eficiente de la energía eléctrica.
- Mejoramiento en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, gracias a la eficiencia del sistema implementado.
- Por medio de la implementación de nuestro sistema basado en control mediante un PLC se mejoró la eficiencia y confiabilidad del proceso de destilación de agua.

Por tanto debe considerarse que, en el contexto de una economía competitiva, las empresas están obligadas a ser eficientes. Aquellas corporaciones que no tomen las decisiones adecuadas o no se actualicen frente a los cambios que se generan en el entorno, están condenadas a perder rentabilidad y desaparecer. De este modo, la automatización de los procesos de producción constituye una necesidad ineludible, para las empresas ecuatorianas.

Los proyectos de automatización requieren proveerse de nuevas tecnologías y su adquisición en el extranjero tiene costos muy altos, y puede hacer no rentables, a muchas iniciativas. Alternativamente, su desarrollo en Ecuador exige incursionar en actividades de Investigación y Desarrollo, para las cuales las empresas no están preparadas. Esta última opción, sin embargo, permitiría acceder a ahorros sustanciales en las inversiones para construcción de equipos y software, y en los gastos posteriores a la puesta en marcha. La posibilidad de un desarrollo nacional de las tecnologías que los proyectos de automatización necesitan, resulta totalmente válida, si las empresas modifican algunas prácticas de gestión a las que están acostumbradas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. 1. Logotipo LIFE C. A.	3
Figura 1. 2. Instalaciones de Laboratorios LIFE en la ciudad de Quito	4
Figura 1. 3. Área de llenado de fundas sueros	6
Figura 1. 4. Actividad de envasado y empaçado	8
Figura 1. 5. Área de inyectables: Destilador de Agua QV 2000 OLSA	10
Figura 1. 6. Esquema de un destilador de simple efecto	11

Capítulo 2

Figura 2. 1. Agua Inyectable.....	14
Figura 2. 2. Diagrama esquemático de un equipo de destilación simple.....	16
Figura 2. 3. Destilación por múltiple efecto (MED).....	17
Figura 2. 4. Destilador por Compresión de Vapor.....	19
Figura 2. 5. Destilador de agua OLSA QV 2000.....	19
Figura 2. 6. Diagrama de bloques control PID	24
Figura 2. 7. Formas de onda del control PID con ganancias (K_p , K_d , K_i).....	27
Figura 2. 8. Control ON-OFF	28
Figura 2. 9. Controladores Lógicos Programables (PLC's)	30

Capítulo 3

Figura 3. 1. Diagrama explicativo del diseño del Hardware de supervisión	43
Figura 3. 2. Diagrama explicativo del proceso de destilación de agua.....	45

Figura 3. 3. Esquema de los componentes del sistema de Automatización 62

Figura 3. 4. Diagrama de bloques del sistema 65

Figura 3. 5. Diagrama de Bloques de Entradas Digitales 66

Figura 3. 6. Diagrama de Bloques de salidas Digitales 67

Figura 3. 7. Diagrama de Bloques de Entradas y Salidas Analógicas 67

Figura 3. 8. Diagrama de Comunicación 68

Figura 3. 9. Comunicación Ethernet 69

Figura 3. 10. Cable de Ethernet 70

Capítulo 4

Figura 4. 1. Diagrama de flujo del sistema 72

Figura 4. 2. Aspecto de la función FB 41“CONT_C” 73

Figura 4. 3. Esquema de bloques 75

Figura 4. 4. Parte superior de la Función FB41 "CONT_C" 76

Figura 4. 5. Error con Dead Band 78

Figura 4. 6. Parte intermedia de la función FB41 "CONT_C" 79

Figura 4. 7. Parte inferior de la función FB41 "CONT_C" 82

Figura 4. 8. Bloques del programa principal 89

Figura 4. 9. Bloque de Función FB2 89

Figura 4. 10. Bloque de función FB4 del control ON-OFF 90

Figura 4. 11. Bloque OB35 92

Figura 4. 12. Regulación PID Online 94

Figura 4. 13. Operador utilizando pantalla táctil MP 277 10" 95

Figura 4. 14. Diagrama de flujo de HMI 96

Figura 4. 15. Pantalla de INICIO 97

Figura 4. 16. Pantalla MENU PRINCIPAL 98

Figura 4. 17. Ventana de INICIO DE SESIÓN 99

Figura 4. 18. Pantalla PANEL DE CONTROL 100

Figura 4. 19. Pantalla de ANIMACIÓN DEL PROCESO 101

Figura 4. 20. Pantalla MODOS DE CONTROL 102

Figura 4. 21. Pantalla CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS..... 103

Figura 4. 22. Pantalla CONTROL PRESIÓN 105

Figura 4. 23. Pantalla CONTROL TEMP. FILTRO DE VENTEO 107

Figura 4. 24. Pantalla MONITOREO TEMP. AGUA DESTILADA 108

Figura 4. 25. Pantalla ALARMAS 109

Figura 4. 26. Pantalla HISTÓRICOS 110

Figura 4. 27. Script Storage_Tag_V1 111

Figura 4. 28. Script_Storage_Path 112

Figura 4. 29. Reporte .CSV generado..... 112

Figura 4. 30. Reporte .CSV desplegado 113

Figura 4. 31. Base de datos del proceso de destilación de agua LIFE..... 114

Figura 4. 32. Tabla de las variables de proceso de destilación de agua 114

Figura 4. 33. Ventana Gráfica para presentación de variables de proceso 115

Figura 4. 34. Acción de localizar archivo de almacenamiento de datos..... 115

Figura 4. 35. Tabla de base de datos..... 116

Figura 4. 36. Diagrama de comunicación para OPC 119

Capítulo 5

Figura 5. 1. Autómata programable SIMATIC S7-300..... 121

Figura 5. 2. CPU 313-2DP..... 122

Figura 5. 3. Módulo CP 343-1 Lean..... 122

Figura 5. 4. Módulo de entradas digitales SIEMENS SM 321..... 123

Figura 5. 5. Módulo de salidas digitales SIEMENS SM 322 124

Figura 5. 6. Módulo de entradas analógicas SIEMENS SM 331 124

Figura 5. 7. Módulo de salidas analógicas SIEMENS SM 332..... 125

Figura 5. 8. SIMATIC MP 277 10" TÁCTIL..... 126

Figura 5. 9. Sensores de temperatura PT100 127

Figura 5. 10. Transmisor TMT 121 127

Figura 5. 11. Sensor de nivel tipo biestable magnético 128

Figura 5. 12. Electroválvulas 3/2 Monoestables AIRTAC.....	129
Figura 5. 13. Fuente de alimentación SIEMENS de 24 VDC	129
Figura 5. 14. Transductor de Presión.....	130
Figura 5. 15. Relés CAMSCO	131
Figura 5. 16. Computador de escritorio	131
Figura 5. 17. Componentes del Sistema listos para la implementación	133
Figura 5. 18. Armario del proceso de destilación de agua.....	134
Figura 5. 19. Nuevo Armario.....	134
Figura 5. 20. Dimensiones del armario.....	135
Figura 5. 21. Armario con rieles DIN y Riel SIEMENS	136
Figura 5. 22. Canaletas implementadas en el armario	136
Figura 5. 23. Tablero con rieles DIN y canaletas	138
Figura 5. 24. Fuente y dispositivos de protección	139
Figura 5. 25. Relés de protección y contactores	139
Figura 5. 26. Colocación de las Electroválvulas.....	140
Figura 5. 27. Perfil de soporte de 480 mm	140
Figura 5. 28. Módulos con soporte (conector de bus)	141
Figura 5. 29. Montaje de los módulos	141
Figura 5. 30. Puesta a tierra	142
Figura 5. 31. Borneras de entrada y salida.....	142
Figura 5. 32. Terminales utilizados	158
Figura 5. 33. Dispositivos y cableado del armario etiquetados	159
Figura 5. 34. Cable de red dentro del Armario	161
Figura 5. 35. Fijación de la pantalla táctil	162
Figura 5. 36. Procedimiento para el montaje del MP 277 10" Touch	162
Figura 5. 37. Montaje del panel táctil con tensores	162
Figura 5. 38. Panel de operador montado en el armario	163
Figura 5. 39. Conexión de Alimentación.....	163
Figura 5. 40. Alimentación del panel de operador.....	164
Figura 5. 41. Parte frontal del armario con todos sus elementos	164
Figura 5. 42. Direcciones IP para el sistema	166

Figura 5. 43. Red Ethernet del sistema 166

Figura 5. 44. Interior del armario totalmente terminado 167

Figura 5. 45. Armario totalmente terminado e implementado..... 168

Figura 5. 46. Nuevo sistema del proceso de destilación de agua 168

Capítulo 6

Figura 6. 1. Comunicación Ethernet entre PLC, PC y Pantalla Táctil..... 173

Figura 6. 2. Ping a la dirección del PC, PLC y de la Pantalla Táctil 174

Figura 6. 3. Programa del Simatic Manager Step 7 en línea 175

Figura 6. 4. Pruebas de las señales digitales 176

Figura 6. 5. Calibración de los sensores de temperatura 178

Figura 6. 6. Calibración del transductor de presión..... 178

Figura 6. 7. Escalamiento a través del concepto de pendiente de la recta 180

Figura 6. 8. Control PID de una planta..... 182

Figura 6. 9. Curva de respuesta escalón unitario 183

Figura 6. 10. Sistema en lazo cerrado con control proporcional 184

Figura 6. 11. Oscilación sostenida con periodo P_{cr} 184

Figura 6. 12. Entorno grafico PID 186

Figura 6. 13. Ajustes 187

Figura 6. 14. $K_p = 2$ y $K_p = 5$ 187

Figura 6. 15. $K_p = 10$ y $K_p = 11$ 188

Figura 6. 16. $K_p = 13$ y $K_p = 14$ 188

Figura 6. 17. $K_p = 15$ 189

Figura 6. 18. Acción P experimento 1° 190

Figura 6. 19. Acción P experimento 2° 191

Figura 6. 20. Acción PI experimento 1° 193

Figura 6. 21. Acción PI experimento 2° 193

Figura 6. 22. Acción PID experimento 1° 196

Figura 6. 23. Acción PID experimento 2° 196

Figura 6. 24. Programa HMI cargado en la pantalla táctil..... 199

Figura 6. 25. Prueba de generación de reportes en MS Excel	203
Figura 6. 26. Base de datos en la PC del proceso	204
Figura 6. 27. Captura de datos operacionales vía OPC	206
Figura 6. 28. Control del panel de estados desde la pantalla táctil.....	207
Figura 6. 29. Verificación del control de acceso	208
Figura 6. 30. Configuración de parámetros del proceso.....	209
Figura 6. 31. Apertura y cierre de las electroválvulas en la HMI.....	210
Figura 6. 32. Verificación de las situaciones de emergencia del proceso	211
Figura 6. 33. Verificación del funcionamiento del Controlador PID	212
Figura 6. 34. Verificación del funcionamiento del Controlador ON/OFF	213
Figura 6. 35. Generación continua de reportes en MS Excel en la PC.....	214
Figura 6. 36. Almacenamiento de parámetros en la Base de Datos	214
Figura 6. 37. Captura de Datos Operacionales en MS Excel vía OPC.....	215

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2. 1. Especificaciones técnicas del destilador de agua QV 2000.....	20
Tabla 2. 2. Estructura de las NORMAS NEC	38

Capítulo 3

Tabla 3. 1. Descripción Nomenclatura P&ID.....	40
Tabla 3. 2. Matriz causa efecto del estado de Destilación.....	56
Tabla 3. 3. Matriz causa efecto del estado de Generación de Vapor.....	57
Tabla 3. 4. Matriz causa efecto del estado de Llenado.....	57
Tabla 3. 5. Matriz causa efecto del estado de Descarga.....	58
Tabla 3. 6. Matriz causa efecto del estado de Sanitización.....	59

Capítulo 4

Tabla 4. 1. Tabla de símbolos (a)	86
Tabla 4. 2. Tabla de símbolos (b)	86
Tabla 4. 3. Tabla de símbolos (c)	87
Tabla 4. 4. Tabla de símbolos (d)	87
Tabla 4. 5. Tabla de símbolos (e)	88
Tabla 4. 6. Tabla de símbolos (f).....	88
Tabla 4. 7. Tabla de datos PID	91

Capítulo 5

Tabla 5. 1. Características Técnicas del Computador.....	132
Tabla 5. 2. Codificación de entradas del PLC	144
Tabla 5. 3. Codificación de salidas del PLC.....	145
Tabla 5. 4. Potencia Activa consumida por el Circuito 1	149
Tabla 5. 5. Propiedades del material aislante en conductores	150
Tabla 5. 6. Calibre de cables AWG	151
Tabla 5. 7. Potencia Activa consumida por el Circuito 2	152
Tabla 5. 8. Potencia Activa consumida por el Circuito 3	153
Tabla 5. 9. Comparación de calibres obtenidos por los dos métodos.....	157
Tabla 5. 10. Calibres de los conductores seleccionados	158
Tabla 5. 11. Características técnicas del protocolo Industrial Ethernet.....	160
Tabla 5. 12. Artículos utilizados de la Norma NEC	170

Capítulo 6

Tabla 6. 1. Pruebas en las señales digitales	177
Tabla 6. 2. Pruebas en las señales analógicas	179
Tabla 6. 3. Lecturas de los sensores PT100 y PT1	181
Tabla 6. 4. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols.....	184
Tabla 6. 5. Valores de los parámetros PID	189
Tabla 6. 6. Datos del sistema debido a la acción del controlador P	191
Tabla 6. 7. Datos del sistema debido a la acción del controlador PI	194
Tabla 6. 8. Datos del sistema debido a la acción del controlador PID	197
Tabla 6. 9. Pruebas de programación en el sistema de Supervisión	201
Tabla 6. 10. Datos de temperatura del sistema de generación de reportes	202
Tabla 6. 11. Datos de presión del sistema de generación de reportes	202
Tabla 6. 12. Datos del sistema de generación de reportes vía OPC	205
Tabla 6. 13. Datos de presión del sistema vía OPC.....	205
Tabla 6. 14. Resultados Finales de programación de HMI A.....	207
Tabla 6. 15. Resultados Finales de programación de HMI B	208

Tabla 6. 16. Resultados Finales de programación de HMI C	209
Tabla 6. 17. Resultados Finales de programación de HMI D.....	210
Tabla 6. 18. Resultados Finales de programación de HMI E	211
Tabla 6. 19. Resultados Finales de programación de HMI F	212
Tabla 6. 20. Resultados Finales de programación de HMI G.....	213
Tabla 6. 21. Resultados Finales de Scripts en la HMI.....	214
Tabla 6. 22. Resultados Finales de configuración OPC	215
Tabla 6. 23. Resultados finales de producción del sistema implementado	216

GLOSARIO

A

Actuador.- Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Analógico.- Se refiere a las magnitudes o valores que "varían con el tiempo en forma continua" como la distancia y la temperatura, la velocidad, la presión, que podrían variar muy lento o muy rápido como un sistema de audio.

Automatización.- Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Autómata Programable.- Equipo electrónico programable en lenguaje no informático y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales.

AWG.- American Wire Gauge. Unidad de medida para los hilos conductores.

B

Base de Datos.- Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente en formato digital que ofrece un amplio rango de soluciones al problema de almacenar datos para su posterior uso.

C

Configurar.- Adaptar una aplicación software o un elemento hardware al resto de los elementos del entorno y a las necesidades específicas del usuario. Es una tarea esencial antes de trabajar con cualquier nuevo elemento.

CPU.- Unit Central Process (Unidad Central de Proceso).

CSMA/ CD.- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - (Acceso múltiple con escucha de portadora y Detección de Colisiones) es un protocolo de acceso al medio compartido. Su uso está especialmente extendido en redes Ethernet donde es empleado para mejorar sus prestaciones. En CSMA/CD, los dispositivos de red escuchan el medio antes de transmitir, es decir, es necesario determinar si el canal y sus recursos se encuentran disponibles para realizar una transmisión.

E

Elementos Finales de Control.- Es el instrumento que recibe las señales del sistema tomadas por el controlador y las ejecuta directamente sobre la variable controlada.

Error.- Es la diferencia entre el valor leído del instrumento y el valor real de la variable.

Ethernet.- Tecnología de redes de computadoras de área local (LAN's).

H

Histéresis.- Diferencia máxima entre los valores de salida del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos ascendente y descendente, viene expresada en tanto por ciento de alcance.

HMI.- Human Machine Interface (Interface Hombre Máquina).

I

I/O.- Input/Output (E/S, Entrada/Salida).

Interfaz de Usuario.- es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo, normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar.

K

KOP.- Lenguaje de programación a contactos de Siemens.

L

LAN.- (Local Area Network) o red de área local, red local es la interconexión de una o varias computadoras y periféricos.

LIFE.- Laboratorios Industriales Farmacéuticos del Ecuador.

O

ON/OFF.- Control todo o nada, de forma que se conecta cuando la variable regulada ha descendido hasta un valor por debajo de la variable de consigna y solo se desconecta cuando dicha variable supera el límite superior de la variable de consigna.

P

Perturbaciones.- Señal que afecta la respuesta real del sistema produciendo un error en la medida, ejemplo los campos magnéticos, la inductancia etc. según la sensibilidad individual.

PC.- Personal Computer (Computador personal).

PID.- Acción de control Proporcional-Integral-Derivativo.

PLC.- Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).

Procesos.- Es un desarrollo que es realizado por un conjunto de elementos cada uno con ciertas funciones que gradual y progresivamente producen un resultado final.

R

Retroalimentado.- Es un proceso por el que una cierta proporción de la señal de salida de un sistema se redirige de nuevo a la entrada. Esto es frecuente en el control del comportamiento dinámico del sistema.

RTD's.- Resistance Temperature Detector (Sondas de resistencia).

S

Scripts.- Lenguaje propio de programación de Wincc Flexible, que por lo regular se almacena en un archivo de texto plano.

Señal.- Salida que emana del instrumento. Información representativa de un valor cuantificado.

Set Point.- Punto en que una señal se establece bajo ciertos parámetros deseados. Es un punto de consigna para valor de la señal de la variable.

Sensor.- Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Simatic Manager Step 7.- Software de programación de los PLC Siemens S7-300.

Slot.- Ranura de un bastidor para colocar un módulo del PLC.

Software.- Conjunto de programas que ejecuta un computador o PLC.

SQLServer.- Programa informático de gestión y administración de bases de datos.

S7-300.- PLC de Siemens de la línea SIMATIC.

T

Transductor.- Dispositivo que recibe una o varias señales provenientes de la variable medida y pueden modificarla o no en otra señal.

TCP/IP.- Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

V

Variable.- Es cualquier elemento que posee características dinámicas, estáticas, química y físicas bajo ciertas condiciones, que constantemente se pueden medir.

Variable del Proceso o Controlada.- Es la variable directa a regular, sobre la que constantemente estamos pendientes ya que afecta directamente al sistema del proceso, es decir, es la que dentro del bucle de control es captada por el transmisor para originar una señal de retroalimentación.

W

Wincc Flexible.- HMI para visualización de procesos de SIEMENS.

ELABORADO POR:

Cuenca Sánchez Alan Daniel

León Encalada Milton Stalin

APROBADO POR:

Ing. Juan José Rivadeneira
DIRECTOR DEL PROYECTO LIFE C.A

Quito, 10 de Agosto del 2012

ELABORADO POR:

Cuenca Sánchez Alan Daniel

León Encalada Milton Stalin

APROBADO POR:

Ing. Fausto Ludeña

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR DEL PROYECTO

FECHA DE ENTREGA: _____

Sr. Alan Daniel Cuenca Sánchez

AUTOR

Sr. Milton Stalin León Encalada

AUTOR

Ing. Víctor Proaño

**COORDINADOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**