



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS GASES (SO_2 Y SO_3), Y PROCESAMIENTO DE SUSTANCIAS DESCARGADAS DE TANQUE DE RECIRCULACIÓN EN PROCESO DE SULFONACIÓN

**AUTOR:
PACHECO, CARLOS C.I.: 16.734.490**

BÁRBULA, JULIO DE 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS GASES (SO_2 Y SO_3), Y PROCESAMIENTO DE SUSTANCIAS DESCARGADAS DE TANQUE DE RECIRCULACIÓN EN PROCESO DE SULFONACIÓN

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

AUTOR:

Pacheco Carlos C.I.: 16.734.490

TUTORES

Académico: Ing. Norma Vargas

Industrial: Ing. Victor García

BÁRBULA, JULIO DE 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado **“DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LOS GASES (SO_2 Y SO_3), Y PROCESAMIENTO DE SUSTANCIAS DESCARGADAS DE TANQUE DE RECIRCULACIÓN EN PROCESO DE SULFONACIÓN”** realizado por el Bachiller: Pacheco Ascanio, Carlos Vicente, C.I.:16.734.490, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof.: Norma Vargas.

TUTOR

Prof.: Oriana Barrios

JURADO

Prof.: Ander Miranda

JURADO

BÁRBULA, JULIO DE 2012



ANEXOS

ANEXOS

- Anexo A** Estructura de la planta de sulfonación (Electrónico)
- Anexo B** Manuales del PLC S7-1200 (Hardware y Software) (Electrónico)
- Anexo C** Catálogo de instrumentos (Electrónico)
- Anexo D** Sistema y nivel de seguridad (Electrónico)
- Anexo E** Normas ISO9001, ISO14000 y LOPCYMAT (Electrónico)

Se encuentran en formato digital y son suministrados en el CD's.



APÉNDICES

| | |
|-------------------|--|
| Apéndice D | Planos de instrumentación (Electrónico) |
| Apéndice E | Planos de control (Electrónico) |
| Apéndice F | Planos de fuerza (Electrónico) |
| Apéndice G | Ventanas de Intouch versión 10.0 (Electrónico) |
| Apéndice I | Programación del PLC S7-1200 (Electrónico) |

Se encuentran en formato digital y son suministrados en el CD's.



DEDICATORIA

No habrá nada más hermoso y perfecto que el conocer de Dios, A ti padre amado, incondicional, bendecido para bendecir, doy mi más gran honor por el desarrollo de mi proyecto de grado y por todo este camino andado que ha sido de conocimiento fundamental para avanzar en mis metas.

A mis padres, mis héroes a seguir, son mis más grandes orgullos, los amo y todo mi honor por confiar en mí día a día, les dedico una meta que ambos anhelaban.

A ustedes hermanos, Alberto y Almary, los amo y dedico esta meta, motivación a lucha y fortaleza para alcanzar nuestros logros.

A ti viejo y a ti primo les dedico esta meta como si fueran de ustedes, de ti viejo aprendí mucho, fue esencial tu espíritu de lucha y a ti primo las circunstancias no fueron las mejores pero tus sueños eran grandiosos.

Que la gloria sea para Dios.



AGRADECIMIENTOS

A ti Dios padre celestial, majestuoso en tu creación y cada una de tus acciones, gracias por toda la fortaleza proveída para llevar a cabo mi proyecto de grado y por la realización del mismo.

A ti madre, pilar de cada una de mis metas, por tus consejos y regaños, y toda tu dedicación en cada una de tus obras y actos.

Papá hombre testarudo pero muy sabio, inspiración para alcanzar esta meta.

Hermanos, motivación a seguir luchando y avanzando en cada situación y adversidades presente.

A familiares, gracias por su apoyo y motivación para continuar luchando, por sus aportes y granito de arena en cada una de las circunstancias.

En el desarrollo de esta meta, a Clariant Venezuela por toda su colaboración y ayuda prestada para la realización de este trabajo, principalmente a Salome Trovat y a la división de Mantenimiento e Ingeniería que en ella fue una escuela y un pilar para mis conocimientos de la mano del señor Luis Pérez, Víctor García, Carlos Sousa, Rolando Montilla, Dayana, Luis Alejo, Oriana y los tantos que no he de nombrar no porque sean menos insignificante si no que se haría muy largo este agradecimiento.

Con mucho cariño a la Prof. Norma Vargas, Prof.: Oriana Barrios, Prof. Aida Pérez, y a el Prof. Gerardo Lanzas, Prof. Wilmer Sanz por su ayuda incondicional y esencialmente por su humildad y grandeza como personas, bendiciones para ustedes y son ejemplos a seguir.

A todos mis amigos y compañeros, de cada experiencia tengo un aprendizaje para bien o para mal, agradezco de cada una de ellas porque son esenciales para nuestro crecimiento.



ÍNDICE DE ECUACIONES

| | | Pág. |
|----------|--|------|
| Ec. 2.1 | Potencial de hidrógeno..... | 13 |
| Ec. 2.2 | pH..... | 13 |
| Ec. 2.3 | Caudal de fluido medido por presión diferencial..... | 22 |
| Ec. 2.4 | Nivel de un tanque por presión diferencial..... | 45 |
| Ec. 4.1 | Consumo de los lazos de control..... | 95 |
| Ec. 4.2 | Consumo de las entradas digitales..... | 95 |
| Ec. 4.3 | Consumo total de los periféricos conectados..... | 95 |
| Ec. 4.4 | Medición de presión en función a la altura de un líquido..... | 111 |
| Ec. 4.5 | Presión ejercida por una columna líquida..... | 112 |
| Ec. 4.6 | Presión máxima ejercida por la columna líquida..... | 112 |
| Ec. 4.7 | Presión mínima ejercida por la columna líquida..... | 112 |
| Ec. 4.8 | Corriente nominal en función a la potencia..... | 121 |
| Ec. 4.9 | Corriente de disparo en corto circuito..... | 121 |
| Ec. 4.10 | Volumen de un tanque cilíndrico..... | 127 |
| Ec. 4.11 | Volumen del tanque de recirculación en función a la altura..... | 127 |
| Ec. 4.12 | Caudal de un fluido en relación a la velocidad uniforme..... | 128 |
| Ec. 4.13 | Sumatoria de caudales en función al tiempo..... | 129 |
| Ec. 4.14 | Volumen de piletas acumuladoras en función a la altura..... | 133 |
| Ec. 4.15 | Volumen del tanque de peróxido de sodio en función a la presión ejercida por la columna líquida..... | 134 |



INTRODUCCIÓN

Los avances en tecnologías, principalmente en materia de ingeniería, han hecho de la interacción hombre-máquina una necesidad a nivel industrial para el control de los sistemas y operatividad de maquinaria en procesos continuos; esto hace que los sistemas sean diseñados con mucha precisión para garantizar un funcionamiento eficaz en todo momento, de tal manera que puedan proporcionar ambientes de alta calidad, para el óptimo control y monitoreo de los procesos industriales.

La empresa CLARIANT VENEZUELA S.A., ubicada en Maracay Estado Aragua, lugar donde se realizó el presente trabajo de grado, es una empresa vanguardista en cuanto a tecnología se refiere, utilizando como recursos, herramientas claves para la automatización de sus procesos, siendo un líder global en especialidades químicas. Dispone de cuatro plantas de producción, una de ellas es la planta de sulfonación o planta de SO_3 , la misma está integrada por varias etapas que desempeñan labores fundamentales en la obtención de los productos finales. Sin embargo, la etapa de neutralización de gases presenta deficiencias en cuanto a sistema implementado y la estrategia de control aplicada.

Según exigencias dadas por la empresa para incorporar un nuevo proceso de tratamiento de aguas altas en sulfitos y sulfatos segregados del proceso de lavado de gases, es necesario optimizar dicho proceso de lavado, donde se resalta que es esencial mantener la concentración y el valor de pH en la solución que se aplica en contracorriente a los gases, con valores específicos fijados por estudios previos de la empresa.

Actualmente, el sistema para controlar la concentración y el valor de pH en la solución, consta de un contador de flujo, el cual está dañado e impide fijar y establecer una concentración adecuada, en consecuencia, el valor de pH no es el



idóneo para garantizar el lavado de gases. En la torre de absorción, al no garantizarse el valor deseado en las variables del proceso, no se precisa un funcionamiento correcto y las emisiones de gas contaminante a la atmosfera exceden el límite establecido por la legislación vigente.

Ante la situación descrita se plantea la posibilidad de implementar una estrategia de control más eficiente que permita mantener las variables de concentración y pH en la solución aplicada en contracorriente para neutralizar los gases dentro de los rangos de operación establecidos, independientemente de las condiciones de proceso existentes en planta. Esta implementación es importante ya que disminuirá notablemente las emisiones de gas contaminante a la atmosfera y a su vez se incorporará a la producción continua de la empresa, acoplándolo al nuevo proceso de tratamiento de efluentes descargados. Es por ello que el presente trabajo de grado, tiene como objetivo principal, realizar el diseño para el control del lavado de gases y el procesamiento de sustancias descargadas. Para lograr dicho objetivo, se realiza un estudio del sistema de control existente en el proceso de neutralización de gases de planta II, de la planta de sulfonación, examinando las características de instrumentación aplicadas, se indaga sobre el proceso desde la obtención de la materia prima hasta los productos finales, y de acuerdo con esto se diseña y propone un sistema de control que optimice el proceso de lavado de gases y tratamiento de efluentes.

Este trabajo de grado se divide en cinco (5) capítulos, los cuales se encuentran estructurados de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se describe a la empresa Clariant Venezuela S.A., se detalla la problemática existente y la necesidad a satisfacer. También se indican los objetivos que se deben llevar a cabo para alcanzar las necesidades presentes, la justificación de la investigación y el alcance o límite de este trabajo.



En el Capítulo II, se puntualizan los antecedentes y bases teóricas, considerados para el diseño del control propuesto. A su vez se destacan conceptos necesarios enlazados con el proyecto, se describen las aplicaciones de control y los dispositivos o instrumentación a usarse, tales como válvulas, sensores-transmisores de flujo, de nivel y de pH.

Seguidamente, en el Capítulo III, se denota el tipo de investigación desarrollada en el proyecto, considerando también de manera detallada las fases metodológicas a seguir en el diseño del sistema de control.

En el Capítulo IV, se describe el proceso de la planta de sulfonación, identificando todas las características presentes en la etapa de neutralización, y conociendo todas las variables existentes en el proceso, para posteriormente diseñar el esquema de control y seleccionar la instrumentación necesaria que optimice las labores diarias, considerando los instrumentos en uso y las sustancias presentes. También se expone la conexión eléctrica del sistema diseñado con los dispositivos seleccionados, por medio de esquemas de fuerza, control e instrumentación. Por otra parte se puede observar a través de diagramas, la programación realizada para el PLC, el funcionamiento del sistema SCADA y los protocolos utilizados para la intercomunicación de los mismos. Finalmente, se muestra la metodología utilizada para comprobar el funcionamiento del diseño realizado, tomando en cuenta los elementos disponibles en el Laboratorio de Automatización Industrial II.

Y por último en el Capítulo V se muestran las conclusiones de las fases establecidas para alcanzar el objetivo general planteado en este trabajo especial de grado, y se puntualizan las recomendaciones necesarias, tanto para la implementación del diseño propuesto como para un óptimo desempeño del mismo.



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1.1 Tanque de recirculación, Etapa de lavado de gases..... | 2 |
| Figura 2.1 Esquema de un lazo de control cerrado..... | 16 |
| Figura 2.2 Comportamiento de un controlador según la acción correctiva..... | 17 |
| Figura 2.3 Esquema control de <i>pH</i> por relación..... | 19 |
| Figura 2.4 Esquema control de <i>pH</i> por rango partido..... | 20 |
| Figura 2.5 Dimensiones de una placa orificio..... | 24 |
| Figura 2.6 Diagramas excéntricos, concéntrico y segmentado..... | 26 |
| Figura 2.7 Tomas en las bridas..... | 27 |
| Figura 2.8 Tomas en la vena contracta..... | 27 |
| Figura 2.9 Tomas en la tubería..... | 28 |
| Figura 2.10 Medidor de flujo por ultrasonido tipo “Doppler”..... | 30 |
| Figura 2.11 Medidor de flujo por ultrasonido tipo tiempo de tránsito “trayectoria simple”..... | 31 |
| Figura 2.12 Medidor de flujo por ultrasonido tipo tiempo de tránsito “reflexión simple”..... | 32 |
| Figura 2.13 Arreglos en paralelo y cruzado para el medidor “Doble trayectoria”..... | 33 |
| Figura 2.14 Medidor de Flujo por Ultrasonido “Multitrayectoria”..... | 33 |
| Figura 2.15 Medidor-Transmisor de Flujo Magnético..... | 35 |
| Figura 2.16 Medidores de nivel por ondas ultrasónicas..... | 36 |
| Figura 2.17 Válvula de control típica..... | 38 |
| Figura 2.18 Tipos de válvulas de control..... | 42 |
| Figura 2.19 Tipos de acciones de válvulas de control..... | 44 |
| Figura 2.20 Transmisor de Presión Diferencial YOKOGAWA..... | 44 |
| Figura 2.21 Simatic S7-1200 Siemens..... | 47 |



| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 4.1 Tanque de recirculación..... | 70 |
| Figura 4.2 Indicador de nivel de cristal..... | 71 |
| Figura 4.3 Bomba centrífuga..... | 72 |
| Figura 4.4 Medidor o analizador de <i>pH</i> | 73 |
| Figura 4.5 Medidor o transmisor de presión diferencial..... | 73 |
| Figura 4.6 Adición de reactantes..... | 74 |
| Figura 4.7 Torre de absorción..... | 75 |
| Figura 4.8 Contador o medidor de flujo schlumberger/actaris modelo neptune. | 76 |
| Figura 4.9 Esquema de control de <i>pH</i> | 80 |
| Figura 4.10 Curva de titulación o valoración de una base..... | 81 |
| Figura 4.11 Esquema de control de presión..... | 82 |
| Figura 4.12 Esquema de control de <i>pH</i> , presión e interlock..... | 83 |
| Figura 4.13 Esquema de control de nivel en piletas de solución agotada..... | 84 |
| Figura 4.14 Esquema de control de nivel en tanque de peróxido de sodio..... | 84 |
| Figura 4.15 PLC Siemens Simatic S7 1214C..... | 91 |
| Figura 4.16 Módulo de entradas y salidas digitales SM 1223..... | 92 |
| Figura 4.17 Módulo de entradas analógicas SM 1231..... | 93 |
| Figura 4.18 Módulo de salidas analógicas SM 1232..... | 94 |
| Figura 4.19 Fuente de alimentación PM 1207..... | 94 |
| Figura 4.20 Sensor-Transmisor capacitivo de nivel SITRANS LC300..... | 109 |
| Figura 4.21 Sensor-Transmisor capacitivo de nivel SITRANS LC500..... | 110 |
| Figura 4.22 Sensor-Transmisor de presión SITRANS P Compact..... | 111 |
| Figura 4.23 Sensor-Transmisor electromagnético de caudal Promag 50..... | 113 |
| Figura 4.24 Analizador-Transmisor de <i>pH</i> FlowFit P CPA 240 SS..... | 114 |
| Figura 4.25 Sensor-Transmisor de presión SITRANS P de la serie DSIII..... | 115 |



| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 4.26 Válvula de bola serie F15-WCB, modelo 150100-11000CSJR-NN.. | 117 |
| Figura 4.27 Actuador neumático, modelo 93-0833-11300-532..... | 118 |
| Figura 4.28 Válvula solenoide serie 63, modelo 0250-21520-536..... | 119 |
| Figura 4.29 Relé de sobrecarga electrónica TeSys LR97D07M7..... | 121 |
| Figura 4.30 Contactor LC1D093M7 TeSys LC1D..... | 122 |
| Figura 4.31 Interruptor de flujo. Delta Control, modelo 621..... | 123 |
| Figura 4.32 Primera ventana, pantalla principal..... | 126 |
| Figura 4.33 Dimensiones de tanque de recirculación, Etapa de lavado de gases.. | 127 |
| Figura 4.34 Segunda ventana, etapa de lavado de gases..... | 130 |
| Figura 4.35 Control automático, inicio de operación de la planta de sulfonación. | 130 |
| Figura 4.36 Control manual para la adición de reactantes a tanque de recirculación..... | 131 |
| Figura 4.37 Tercera ventana, etapa de procesamiento de sustancias descargadas. | 132 |
| Figura 4.38 Dimensiones de las piletas acumuladoras..... | 132 |
| Figura 4.39 Dimensiones de tanque de peróxido de sodio..... | 134 |
| Figura 4.40 Pantalla de transferencia automática, y nivel contenido en la piletta. | 135 |
| Figura 4.41 Pantalla de registro de eventos y alarmas..... | 136 |



ÍNDICE DE TABLA

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 4.1 Rango de temperaturas por etapas en el convertidor catalítico..... | 63 |
| Tabla 4.2 Valores en formato decimal que procesaría la CPU..... | 96 |
| Tabla 4.3 Direccionamiento de las entradas digitales..... | 97 |
| Tabla 4.4 Direccionamiento de las salidas digitales..... | 99 |
| Tabla 4.5 Direccionamiento de las salidas analógicas..... | 100 |
| Tabla 4.6 Características de cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización..... | 107 |
| Tabla 4.7 Altura útil para cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización..... | 108 |
| Tabla 4.8 Sustancias que interfieren con cada válvula..... | 116 |
| Tabla 4.9 Características de cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización..... | 117 |
| Tabla 4.10 Datos técnicos de los relés..... | 120 |
| Tabla 4.11 Relación lineal entre la presión y la corriente..... | 129 |



ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| Capítulo I | |
| PROBLEMA | |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 4 |
| 1.3 Objetivos..... | 6 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 6 |
| 1.3.2 Objetivos específico..... | 6 |
| 1.4 Alcance..... | 7 |
| | |
| Capítulo II | |
| MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 Antecedentes..... | 9 |
| 2.2 Bases teóricas..... | 11 |
| 2.2.1 Acidez y alcalinidad..... | 11 |
| 2.2.2 Propiedades experimentales de los ácidos..... | 11 |
| 2.2.3 Propiedades experimentales de las bases..... | 11 |
| 2.2.4 Neutralización..... | 12 |
| 2.2.5 El <i>pH</i> | 12 |
| 2.2.6 Titulación o valoración..... | 15 |
| 2.2.7 Nociones básicas de control..... | 15 |
| 2.2.8 Control de <i>pH</i> para una mezcla de un ácido y una base..... | 18 |
| 2.2.8.1 Control de <i>pH</i> por relación..... | 19 |
| 2.2.8.2 Control de <i>pH</i> por rango partido..... | 20 |



| | Pág. |
|--|-------------|
| 2.2.9 Controlador lógico programable (PLC)..... | 21 |
| 2.2.10 Medición de <i>Ph</i> | 21 |
| 2.2.11 Medición de flujo por diferencial de presión..... | 22 |
| 2.2.11.1 Placas de orificio..... | 23 |
| Diafragmas Excéntricos..... | 25 |
| Diafragmas Segmentados..... | 25 |
| Tomas de Presión..... | 26 |
| Tomas en las bridas..... | 26 |
| Tomas en la vena contracta..... | 27 |
| Tomas en la Tubería..... | 28 |
| 2.2.12 Tecnologías de medición de flujo..... | 29 |
| 2.2.12.1 Métodos para medir flujo por ultrasonido..... | 29 |
| Método de cambio de frecuencia de “Doppler”..... | 29 |
| Método tiempo de tránsito..... | 30 |
| 2.2.12.2 Configuraciones practicas..... | 31 |
| 2.2.12.3 Métodos para medir flujo por electromagnetismo..... | 34 |
| 2.2.13 Medidores de nivel actuados por ultrasonido..... | 36 |
| 2.2.14 Válvula..... | 37 |
| 2.2.14.1 Partes de una válvula de control..... | 37 |
| Actuador..... | 37 |
| Cuerpo de válvula..... | 38 |
| 2.2.14.2 Tipos de válvulas..... | 39 |
| Con movimiento en la dirección de eje..... | 39 |
| Válvulas con obturador de movimiento circular..... | 41 |



| | Pág. |
|--|-------------|
| 2.2.14.3 Tipo de acción de una válvula..... | 43 |
| 2.2.15 Medidores de presión diferencial..... | 44 |
| 2.2.16 Simatic S7-1200 de Siemens..... | 47 |
| 2.2.17 Sistemas SCADA..... | 48 |
| 2.2.17.1 SCADA InTouch..... | 49 |
| 2.2.18 Software STEP 7 Basic..... | 49 |
| 2.2.19 OPC..... | 51 |
| | |
| Capítulo III | |
| MARCO METODOLÓGICO | |
| 3.1 Tipo de investigación..... | 53 |
| 3.2 Diseño de la investigación..... | 53 |
| 3.3 Métodos de investigación..... | 54 |
| 3.3.1 Fase 1: Análisis del proceso e identificación del problema..... | 54 |
| 3.3.2 Fase 2: Diseño de los lazos de control y selección del controlador | 55 |
| 3.3.3 Fase 3: Diseño del nuevo sistema propuesto para la reingeniería del proceso..... | 55 |
| 3.3.4 Fase 4: Estudio de tecnologías existentes para la selección de equipos..... | 56 |
| 3.3.5 Fase 5: Diseño de sistema eléctrico (control y fuerza) necesario para el proceso..... | 56 |
| 3.3.6 Fase 6: Desarrollo de interfaz gráfica..... | 57 |



| Capítulo IV | Pág. |
|--|------|
| MARCO OPERACIONAL | |
| 4.1 Identificación de variables..... | 58 |
| 4.1.1 Descripción de la planta de sulfonación o SO_3 | 58 |
| 4.1.2 Descripción general del proceso..... | 60 |
| 4.1.2.1 Producción de gas SO_3 | 60 |
| a-. Sistema de dosificación de azufre..... | 60 |
| b-. Obtención de aire de proceso..... | 60 |
| c-. Combustión de azufre..... | 62 |
| d-. Enfriamiento del gas SO_2 | 62 |
| e-. Conversión de SO_2 a gas SO_3 | 63 |
| f-. Enfriamiento de gas SO_3 | 64 |
| g-. Eliminador de gotas..... | 64 |
| 4.1.2.2 Absorción SO_3 | 65 |
| 4.1.2.3 Sulfonación/Sulfatación..... | 65 |
| a-. Reactor de película..... | 65 |
| b-. Ciclón..... | 66 |
| c-. Tanques de post-reacción e hidrólisis de los anhídridos..... | 67 |
| 4.1.2.4 Neutralización..... | 67 |
| 4.1.2.5 Tratamiento de efluentes..... | 68 |
| a-. Electrofiltro o Precipitador Electrostático ESP..... | 68 |
| b-. Absorción de SO_2 | 69 |
| 4.1.3 Estructura de la etapa de absorción de SO_2 y SO_3 | 70 |
| 4.1.3.1 Tanque de recirculación..... | 70 |



| | Pág. |
|---|-------------|
| 4.1.3.2 Indicador de nivel de cristal..... | 70 |
| 4.1.3.3 Bomba centrífuga..... | 71 |
| 4.1.3.4 Medidor o analizador de pH..... | 72 |
| 4.1.3.5 Medidor o transmisor de presión diferencial..... | 73 |
| 4.1.3.6 Adición de reactantes..... | 74 |
| 4.1.3.7 Torre de absorción..... | 75 |
| 4.1.3.8 Contador o medidor de flujo..... | 75 |
| 4.1.4 Identificación de variables..... | 77 |
| 4.2 Diseño del esquema de control..... | 78 |
| 4.2.1 Modos de operación..... | 85 |
| 4.2.1.1 Automático..... | 85 |
| 4.2.1.2 Manual..... | 86 |
| 4.2.2 Sistema de control según su comportamiento..... | 87 |
| 4.3 Programación del controlador y recomendación de la instrumentación necesaria..... | 88 |
| 4.3.1 Variables presentes en el proceso..... | 88 |
| 4.3.1.1 Entradas digitales..... | 88 |
| 4.3.1.2 Salidas digitales..... | 89 |
| 4.3.1.3 Entradas analógicas..... | 90 |
| 4.3.2 Selección del dispositivo controlador..... | 90 |
| a-. Características básicas de la CPU 1214C..... | 91 |
| 4.3.2.1 Selección de módulos de entradas y salidas..... | 92 |
| a-. Módulo de entradas y salidas digitales..... | 92 |
| b-. Módulo de entradas analógicas..... | 93 |



| | Pág. |
|--|-------------|
| c-. Módulo salidas analógicas..... | 93 |
| 4.3.2.2 Fuente de alimentación..... | 94 |
| a-. Consumo de los lazos de control..... | 95 |
| 4.3.2.3 Configuración del PLC..... | 96 |
| 4.3.2.4 Tipo de entradas y valores que tomaría la CPU..... | 96 |
| 4.3.2.5 Direccionamiento de las variables..... | 97 |
| a-. Direccionamiento de las entradas digitales..... | 97 |
| b-. Direccionamiento de las salidas digitales..... | 99 |
| c-. Direccionamiento de las salidas analógicas..... | 100 |
| 4.3.3 Programación de PLC..... | 101 |
| a-. Arranque de planta..... | 101 |
| b-. Etapa de lavado..... | 103 |
| Acción preventiva..... | 103 |
| Acción correctiva..... | 104 |
| c-. Etapa de descarga de solución..... | 104 |
| d-. Etapa de transferencia de solución..... | 105 |
| e-. Alarmas y eventos..... | 105 |
| Falla de sobre corriente..... | 105 |
| Falla de presión diferencial alta..... | 106 |
| Falla de sobre nivel..... | 106 |
| Falla de ausencia de flujo..... | 106 |
| 4.3.4 Selección y recomendación de medidores de nivel..... | 107 |
| 4.3.5 Selección y recomendación de medidores de caudal..... | 112 |
| 4.3.6 Selección y recomendación de medidores de <i>ph</i> | 113 |
| 4.3.7 Selección y recomendación de medidores de presión diferencial... | 114 |



| | Pág. |
|--|-------------|
| 4.3.8 Selección y recomendación de válvulas..... | 115 |
| 4.3.9 Selección de relés..... | 119 |
| a-. Selección de relé térmico..... | 120 |
| 4.3.10 Selección de contactores..... | 122 |
| 4.3.11 Selección y recomendación del interruptor de flujo..... | 123 |
| 4.4 Diseño del conexionado eléctrico..... | 124 |
| 4.4.1 Planos de Instrumentación..... | 124 |
| 4.4.2 Planos de Control..... | 124 |
| 4.4.3 Planos de fuerza..... | 124 |
| 4.5 Diseño de interfaz gráfica..... | 126 |
| 4.5.1 Primera ventana: Pantalla de bienvenida..... | 126 |
| 4.5.2 Segunda ventana: Etapa de lavado de gases..... | 127 |
| 4.5.3 Tercera ventana: Sustancias descargadas..... | 131 |
| 4.5.3.1 Transferencia automática..... | 134 |
| 4.5.4 Cuarta Ventana: Registro de eventos y alarmas..... | 135 |
| 4.6 Simulación del proceso..... | 137 |
| 4.6.1 Simulación del esquema de control diseñado..... | 137 |
| Capítulo V | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| Conclusión..... | 139 |
| Recomendación..... | 143 |



| | Pág. |
|---|-------------|
| BIBLIOGRAFÍA | 144 |
| APÉNDICES | |
| Apéndice A Configuración del PLC Siemens S7-1200..... | 147 |
| Apéndice B Solución agotada o consumida..... | 154 |
| Apéndice C Diagrama de flujo de la programación..... | 160 |
| Apéndice D Planos de instrumentación (Electrónico)..... | 171 |
| Apéndice E Planos de control (Electrónico)..... | 172 |
| Apéndice F Planos de fuerza (Electrónico)..... | 173 |
| Apéndice G Ventanas de Intouch versión 10.0 (Electrónico)..... | 174 |
| Apéndice H Configuración del protocolo de comunicación OPC..... | 175 |
| Apéndice I Programación del PLC S7-1200 (Electrónico)..... | 181 |
| ANEXOS | |
| Anexo A Estructura de la planta de sulfonación (Electrónico)..... | 182 |
| Anexo B Manuales del PLC S7-1200 (Hardware y Software) (Electrónico)..... | 183 |
| Anexo C Catálogo de instrumentos (Electrónico)..... | 184 |
| Anexo D Sistema y nivel de seguridad (Electrónico)..... | 185 |
| Anexo E Normas ISO9001, ISO14000 y LOPCYMAT (Electrónico). | 186 |



ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--------------------------------|-------------|
| Portada..... | I |
| Página de título..... | II |
| Certificado de aprobación..... | III |
| Dedicatoria..... | IV |
| Agradecimientos..... | V |
| Índice general..... | VI |
| Índice de contenido..... | VII |
| Índice de figuras..... | XV |
| Índice de tablas..... | XVIII |
| Índice de ecuaciones..... | XIX |
| Resumen..... | XX |
| Introducción..... | XXI |



CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Clariant Venezuela S.A. es una organización mundial líder en especialidades químicas, las cuales abarcan las siguientes áreas: pigmentos y aditivos, master-batch, química fina, resinas y emulsiones, tensoactivos, textil, papel y cuero; presenta un sistema de producción continuo, para abastecer las necesidades del mercado nacional e internacional. La empresa cuenta con una gran diversidad de máquinas en sus distintos procesos ubicadas en cuatro plantas de producción, una de ellas es la planta de sulfonación o planta de SO_3 , donde se obtiene una gran diversidad de productos, tales como: productos en la línea de laurilsulfatos, lauriletersulfatos de alta y baja concentración, ácidos fenilsulfónicos y sus derivados.

La planta de sulfonación posee un sistema de control independiente en cada una de sus estructuras, el cual, al trabajar en conjunto de manera dinámica y secuencial, lleva a cabo el proceso de elaboración de los distintos productos según la demanda en el mercado o necesidad; sin embargo, el sistema de control que comprende el tratamiento de efluentes o lavado de gases (SO_2 y SO_3) en torre de absorción presenta deficiencias en función de los equipos instalados y del sistema implementado, lo cual no garantiza un óptimo control sobre el proceso. Por otra parte se considera que este proceso será acoplado a nuevas instalaciones, lo cual dará continuidad a la implementación y puesta en marcha de equipos modernos y confiables en sus aplicaciones.

El sistema implementado en el lavado de gases se basa en controlar los valores de pH en la solución, la cual se aplica en contracorriente al flujo de gases dentro de la torre de absorción, siendo deficiente el control, debido a que requiere un constante monitoreo de los operarios de turno sobre el indicador de pH y el tanque de

recirculación para prever la presencia de espumas y aditivos, ya que ellos inhiben a la solución a que haga un contacto directo sobre los gases y, de esta manera, influyen sobre la emisión de gases contaminantes a la atmosfera, a consecuencia de la deficiencia en la neutralización de los mismos; dando un valor bajo de pH , se asume una solución agotada o con excesos de aditivos y ácidos, lo cual da indicio a que se requiera una nueva solución a un valor de pH específico, la misma será dosificada por el personal a cargo. Este cambio de solución se hace al ojo por ciento y no de manera específica con valores fijados por el proceso en curso. En la figura 1.1, se muestra el tanque de recirculación junto al sistema de control que posee actualmente.



Figura 1.1: Tanque de recirculación, Etapa de lavado de gases

Fuente: Elaboración Propia

Luego de estudios realizados por especialistas en el área de proceso y recomendaciones brindadas por la legislación vigente, la empresa ha puesto en marcha la construcción de una nueva planta para el tratamiento de los efluentes producidos en los procesos de sulfonación, que permite extraer sulfato de sodio en polvo de la soluciones agotadas o segregadas de la etapa de lavado, que sirve como



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

materia prima para la elaboración de detergentes y espumantes; de esta manera se estaría contribuyendo notablemente con el medio ambiente, ya que las soluciones agotadas de la etapa de lavado de gases son enviadas a los efluentes cuando su valor en *pH* es menor a 7 para ser tratadas y luego descargadas a los ríos. Cabe destacar que actualmente el proceso se lleva a cabo manualmente y no dispone de tuberías para el transporte adecuado, donde la solución agotada se descarga directamente hacia los canales que incorporan todos los químicos al proceso de tratamiento de efluentes no aprovechados en las operaciones de producción de la empresa.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, el transporte de estos fluidos altos en sulfitos y/o sulfatos es deficiente por el tipo de control y manipulación que presenta, ya que el operador en turno debe realizar estas tareas con el riesgo de inhalar los vapores emanados por estos líquidos. Esto puede causar afecciones pulmonares y perjudicar la salud de los operadores.

No obstante con esto, la apertura y cierre de la válvula de descarga se debe hacer de forma manual, esta válvula también se encuentra en planta y su descarga a efluentes esta tan directa a la válvula que da como consecuencia una inhalación pronta de estos gases y vapores lo cual es desfavorable para la salud de los operadores. El proceso de neutralización y lavado de los gases (SO_2 y SO_3) es de suma importancia para la optimización del proceso; ya que purifica los gases emanados a la atmosfera, previendo cualquier agente contaminante contenido en ellos.

De acuerdo al gran avance tecnológico que existe hoy en día, y aunado a la problemática planteada en este trabajo de investigación, surge la necesidad de ir modernizando toda la planta de sulfonación, ya que hay que satisfacer la demanda existente en el mercado nacional e internacional y cumplir con lo establecido en la norma ISO9001.



Cabe destacar que en búsqueda de optimizar el funcionamiento de la planta y cumplir con lo establecido en las normas ISO9001, ISO14000 y la Ley de Prevención, Control y Medio Ambiente del Trabajo (LOPCYMAT), la cual enfatiza que se deben mejorar las condiciones para el buen desenvolvimiento de las actividades obreras en dicha planta de manera ergonómica, es necesario diseñar un sistema de control para el proceso de neutralización de los gases (SO_2 y SO_3) y el procesamiento de sustancias descargadas del tanque de recirculación en proceso de sulfonación.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, la tecnología se ha convertido en sinónimo de desarrollo y de bienestar económico, beneficiando principalmente a las organizaciones que la producen. Es por esto que en el mundo se ha desarrollado una vertiginosa carrera en la cual, la meta fundamental es el diseño, creación y desarrollo de tecnologías innovadoras que satisfagan cualquier necesidad presente en la sociedad.

En relación a la problemática expuesta en la empresa Clariant Venezuela S.A. se propone el diseño de un control automatizado para la etapa de neutralización de gases (SO_2 y SO_3) y el procesamiento de las soluciones altas en aditivos y ácidos generadas en la recirculación del lavado de gases en planta II del proceso de sulfonación; esta etapa será acoplada a un nuevo sistema, el cual contara con medios tecnológicos de última generación.

Es importante destacar que el objeto primordial de este sistema de control e instrumentación, es darle continuación a la aplicación de instrumentos modernos de trabajo para controlar, planificar y evaluar la calidad, y así cubrir las necesidades expuesta por la empresa. Por otra parte, se persigue emigrar del sistema actual a un sistema donde el electro-instrumentista y los operarios podrán registrar, supervisar y



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

manipular las diferentes variables que intervienen en el proceso para la neutralización de los gases (SO_2 y SO_3).

Así mismo, este control tiene la capacidad de aumentar la confiabilidad del personal de mantenimiento en la toma de decisiones, consistentes y efectivas, para solventar los problemas que se presenten en la etapa de neutralización; con este sistema el electro-instrumentista tendrá la posibilidad de localizar la falla de manera más sencilla; ya que realizará un registro de eventos ocurridos en el proceso, teniendo en cuenta que existe la necesidad de observar o comprobar la funcionalidad del sistema para la neutralización de los gases (SO_2 y SO_3). También garantiza una operación segura de la planta de sulfonación, ya que este control dispone de un interlock con la etapa principal del proceso, la cual genera el 90% de las corrientes de gases.

Por último, este diseño optimizará el transporte de los fluidos presentes en el proceso de lavado, garantizando su eficiente manipulación; ya que comprende de un sistema de control capaz de disponer a que pileta sea transferida la solución agotada y a su vez se podrán observar, registrar y controlar los niveles de solución existentes en las piletas.



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control para el lavado de gases (SO_2 y SO_3) y procesamiento de las sustancias descargadas del tanque de recirculación en planta II, del proceso de sulfonación de la empresa Clariant Venezuela S.A.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso de producción de la planta de sulfonación a través de la investigación bibliográfica, interacción práctica con el proceso, e identificación técnica de las variables presentes en la etapa de neutralización de gases.
- Diseñar el lazo de control para manipular las variables identificadas en el proceso, cumpliendo los requerimientos de la planta de sulfonación y del proceso continuo ya existente.
- Desarrollar la programación y selección de la instrumentación necesaria que se utilizará en el desempeño del lazo de control diseñado, tomando en consideración el ambiente que rodea el proceso, la materia prima utilizada y las exigencias de la empresa.
- Elaborar planos eléctricos en función al diseño del sistema de control y potencia a ser propuestos para el proceso de neutralización de los gases y la descarga de las sustancias.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita mostrar y controlar cada uno de los eventos ocurridos en campo en tiempo real.



1.4 ALCANCE

El trabajo está orientado al diseño de un sistema de instrumentación y control en una planta de sulfonación de la empresa Clariant Venezuela S.A., con el objetivo de maximizar la neutralización de los gases (SO_2 y SO_3) y el tratamiento de las sustancias descargadas, contribuyendo con el medio ambiente, garantizando la emisión segura de estos gases a la atmósfera y evitando la descarga de soluciones altas en químicos a efluentes, canales y ríos. Por otra parte, se considera mejorar la calidad del sistema continuo presente en la etapa de lavado y a su vez, en los métodos de producción de la empresa.

El diseño abarca el estudio del sistema de control existente, es decir, un estudio detallado del proceso químico, para identificar cada una de las reacciones y cambios continuos existentes en el proceso de neutralización y de esta manera, conocer todas las variables y elementos que comprenden el proceso. Se incluirá la selección de la instrumentación necesaria para establecer un control óptimo y el diseño del tablero para unificar todas las señales en campo, considerando todos los esquemas eléctricos necesarios para su implementación y una posible intervención.

De acuerdo al diseño del sistema de control, se considerará el uso del Controlador Lógico Programable (PLC) Simatic S7 1200, necesidad expuesta por la empresa para su pronta implementación. Se utilizará un software adicional para el diseño gráfico del proceso, donde se podrá manipular, supervisar y registrar desde un computador en tiempo real todas las acciones ocurridas en el sistema. El desarrollo del programa que se le cargara al PLC se realizará por medio del software Siemens STEP 7 Basic (Totally Integrated Automation Portal V10.5).

En este sentido, el sistema de control que se diseñe será recomendado para su implementación y podrá fácilmente aplicarse en planta I, proceso que posee la planta



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

de sulfonación, así como también todas aquellas empresa que poseen un sistema similar.



CAPÍTULO II

2.1 ANTECEDENTES

Como investigación previa en cuanto a aportes y bases teóricas, se incorporan a este trabajo especial de grado los estudios realizados por el personal de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa Clariant Venezuela S.A., siendo su meta evaluar e identificar el control de las variables del proceso de neutralización de los gases. Posterior a esto y en conjunto a los conocimientos y datos arrojados por medio del ensayo y error, se diseña un sistema el cual luego es implementado, donde su objetivo es controlar la variables de flujo agregado a la pileta de neutralización y el pH de la solución compuesta por agua e hidróxido de sodio, basado en dos lazos de realimentación independientes entre sí, pero el mismo resulta ineficaz debido a que no fue capaz de controlar debidamente las variables ante ciertas perturbaciones de espuma y aditivos que se presentan en la solución por el contacto con los gases dentro de la torre de absorción.

Por otra parte, para el desarrollo de cualquier trabajo de investigación es necesario contar con estudios o trabajos especiales ya realizados, que aborden o tengan afinidad con el objeto de estudio. A continuación se presentan una serie de investigaciones realizadas en la Universidad de Carabobo, de las cuales se obtiene información útil para la elaboración de este trabajo especial de grado:

Alfredo Páez, Graciela Camperos. (2011). “Diseño de la automatización de un proceso de nivel de sustancias químicas controlado por un autómata programable siemens s7300”. En este proyecto desarrollaron un sistema automatizado para controlar el envío y recepción de ácido nítrico, ácido sulfúrico y amoniaco pertenecientes a un proceso de la empresa CAVIM. De este proyecto se estudió la



transferencia o transporte de soluciones químicas, los dispositivos para alcanzar un óptimo control de nivel. [1]

Pérez, Guzmán (2009). “Desarrollo de estrategias didácticas dirigidas a la formación teórico-práctica con el sistema SCADA InTouch para el laboratorio de automatización industrial II”. En este trabajo de grado se elaboró un manual del SCADA InTouch y la formación de un conjunto de estrategias didácticas destinadas a la capacitación teórico-práctica con dicho sistema, en el Laboratorio de Automatización Industrial II. Este manual del SCADA Intouch, representa una documentación de apoyo fundamental para el diseño del sistema supervisorio planteado en este proyecto. [2]

Víctor Luis García Mata (2006). “Ingeniería de detalles para la instalación y automatización de los procesos de pH , control de intercambiador de calor y mezclas de fluidos fríos y calientes en el laboratorio de instrumentación de proceso” Este proyecto fue partícipe de la incorporación de nuevas estrategias didácticas en el laboratorio de instrumentación, para poder garantizar la formación profesional en el área de control. De este trabajo especial de grado se destacó el control a ser usado para alcanzar la relación o razón deseada en mezcla de dos o más reactantes y la instrumentación necesaria para el control de pH . [3]

Allen Machado, Edward Martínez (2005). “Diseño de la automatización de una planta de producción de ácido sulfónico lineal”. En este trabajo a partir del proceso presente, se obtuvo información importante para el diagnóstico de la instrumentación necesaria con el fin de garantizar un control en la planta de producción de ácido sulfónico. De este trabajo de grado se consideró el cálculo del parámetro C_v para la selección de la válvula adecuada, tomando en consideración las soluciones químicas a las cuales se expone este elemento. [4]



2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 ACIDEZ Y ALCALINIDAD

En una gran cantidad de procesos industriales el control de ciertas variables es indispensable; por ejemplo en el caso de la industria química se debe cuidar en todo momento el grado de acidez o alcalinidad del producto, en todas sus fases de elaboración, para garantizar la calidad del mismo. [3]

Al principio, los ácidos y las bases se definieron conforme a sus propiedades experimentales características, y solo más tarde se buscaron definiciones cada vez más amplias que ofrecieran una explicación del porqué de estas propiedades; con ello nacieron las teorías acido-base. [3]

2.2.2 PROPIEDADES EXPERIMENTALES DE LOS ÁCIDOS

Los ácidos tienen sabor acre, picante tal como el vinagre y el zumo de limón. Sus disoluciones son electrolitos. Al introducir metales activos dentro de sus disoluciones acuosas, se produce desprendimiento de hidrogeno. [3]

El contacto con la piel y otros materiales es altamente corrosivo. [3]

2.2.3 PROPIEDADES EXPERIMENTALES DE LAS BASES

Tienen sabor típico como la lejía. Las soluciones acuosas de las bases conducen electricidad. [3]

Tienen reacciones de saponificación, es decir; reaccionan con las grasas dando jabones o espumantes. Al tacto son suaves y resbaladizas. [3]



2.2.4 NEUTRALIZACIÓN

La reacción de neutralización entre un ácido y una base procedentes de distintas sustancias, se combinan con facilidad para dar moléculas de agua. Así pues, se puede decir que la neutralización es la combinación de cationes hidrógeno y de aniones hidróxido para formar moléculas de agua; Además da lugar a una tercera clase de sustancias, las sales, lo que significa que una reacción de un ácido con una base forman una sal y agua, perdiendo sus características individuales de ácido y base respectivamente. Generalmente la siguiente reacción ocurre:



Este tipo de reacciones son especialmente útiles como técnicas de análisis cuantitativo. En este caso se puede usar una solución indicadora para conocer el punto en el que se ha alcanzado la neutralización completa. Algunos indicadores son la fenolftaleína (si los elementos a neutralizar son ácido clorhídrico e hidróxido de sodio), azul de safranina, el azul de metileno, etc. [5]

La variable que se encarga de proporcionar información de la acidez de una mezcla es el analizador de alcalinidad o la conductimetría. [5]

2.2.5 EL pH

El *pH* o potencial de hidrógeno nos permite medir la acidez o alcalinidad de una disolución. El *pH* indica la concentración de iones hidronio $[\text{H}_3\text{O}^+]$ presentes en determinadas sustancias. La sigla significa "potencial de hidrógeno" (pondusHydrogenii o potentiaHydrogenii; del latín pondus, n. = peso; potentia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico



danés Sorensen, quien lo definió como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$pH = -\log_{10}[aH_3O^+] \quad \text{Ec. 2.1}$$

Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno. [6]

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua). [6]

Puesto que el agua está disociada en una pequeña extensión en iones OH^- y H_3O^+ , tenemos que:

$K(\text{constante})_{w(\text{agua})} = [\text{H}_3\text{O}^+]\cdot[\text{OH}^-]=10^{-14}$ en donde $[\text{H}_3\text{O}^+]$ es la concentración de iones hidronio, $[\text{OH}^-]$ la de iones hidroxilo, y K_w es una constante conocida como producto iónico del agua, que vale 10^{-14} . [6]

Por lo tanto,

$$\begin{aligned} \log K_w &= \log [\text{H}_3\text{O}^+] + \log [\text{OH}^-] \\ -14 &= \log [\text{H}_3\text{O}^+] + \log [\text{OH}^-] \\ 14 &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] - \log [\text{OH}^-] \\ pH + pOH &= 14 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Por lo que se puede relacionar directamente el valor del pH con el del pOH. [6]



En disoluciones no acuosas, o fuera de condiciones normales de presión y temperatura, un pH de 7 puede no ser el neutro. El pH al cual la disolución es neutra estará relacionado con la constante de disociación del disolvente en el que se trabaje.

[6]

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH -metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno.

[6]

También se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando indicadores, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH . Generalmente se emplea papel indicador, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH . El papel de litmus o papel tornasol es el indicador mejor conocido. Otros indicadores usuales son la fenolftaleína y el naranja de metilo. [6]

A pesar de que muchos potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH también pueden ser aún menores que 1 o aún mayores que 14. Por ejemplo el ácido de batería de automóviles tiene valores cercanos de pH menores que uno, mientras que el hidróxido de sodio 1 M varía de 13,5 a 14. [6]

Un pH igual a 7 es neutro, menor que 7 es ácido y mayor que 7 es básico a 25 °C. A distintas temperaturas, el valor de pH neutro puede variar debido a la constante de equilibrio del agua (K_w). [6]



2.2.6 TITULACIÓN O VALORACIÓN

Una valoración ácido-base (también llamada volumetría ácido-base, titulación ácido-base o valoración de neutralización) es una técnica o método de análisis cuantitativo muy usada, que permite conocer la concentración desconocida de una disolución de una sustancia que pueda actuar como ácido o base, neutralizándolo con una base o ácido de concentración conocida. Es un tipo de valoración basada en una reacción ácido-base o reacción de neutralización entre el analito (la sustancia cuya concentración queremos conocer) y la sustancia valorante. El nombre *volumetría* hace referencia a la medida del volumen de las disoluciones empleadas, que nos permite calcular la concentración buscada. [3]

2.2.7 NOCIONES BÁSICAS DE CONTROL

El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos. [1]

Para lograr este objetivo se debe diseñar e implementar un *sistema de control* como el mostrado en la figura 2.1. El primer paso es medir la variable a controlar, esto se hace mediante un sensor, el cual se conecta físicamente al *transmisor*, este capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla *al controlador*, donde se realiza la comparación con el valor que se desea y, según el resultado se decide qué hacer para mantener la variable en el valor deseado. Con base en la decisión, el controlador envía otra señal al *elemento final de control*, el cual, regula la variable deseada, modificando el proceso y a su vez la variable controlada, que se retroalimenta al controlador para repetir el ciclo. [1]

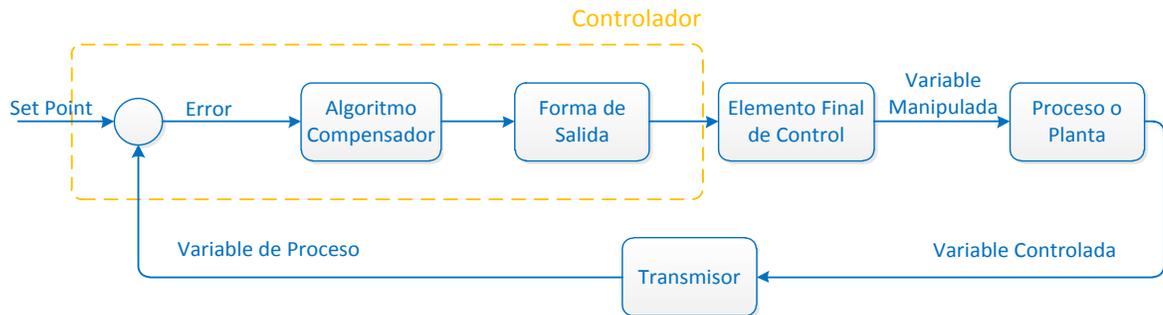


Figura 2.1: Esquema de un lazo de control cerrado.

Fuente: Guía de la cátedra “Control de Procesos”.

Los componentes de un lazo de control se definen a continuación [1] :

a.- Variable manipulada: Es aquella variable sobre la cual actúa el elemento final de control.

b.- Variable controlada: Es la variable para la cual se implementa un lazo de control, es decir, es aquella variable que se mantiene dentro de un cierto rango debido a la actuación del lazo de control sobre la variable manipulada.

c.- Set Point (punto de ajuste, punto de control o punto de consigna): Es el valor en el que se desea mantener una variable de salida determinada del proceso o la variable controlada.

d.- Error: Se define como la diferencia entre el punto de control (Set Point) y el estado actual de la variable controlada.

e.- Controlador: es un calculador de propósitos especiales que usa la señal de error de un comparador como entrada o función forzante. El calcula los cambios necesarios en las variables manipuladas.



Usualmente están clasificados de acuerdo a la fuente principal de energía o señal utilizada [1]:

- Electrónicos (analógicos o digitales)
- Neumáticos
- Mecánicos
- Hidráulicos

Acción del controlador: Se define como el sentido de la acción correctiva [1]. En la figura 2.2, se puede observar la relación entre la salida del controlador, la variable controlada y la acción del controlador.

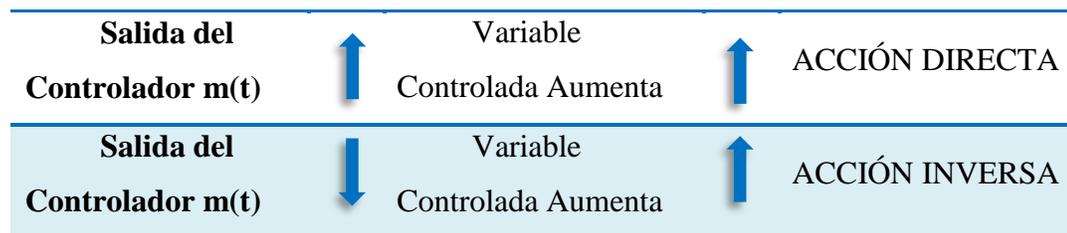


Figura 2.2: Comportamiento de un controlador según la acción correctiva.

Fuente: Guía de la cátedra “Control de Procesos”.

f-. Sensores y transmisores

Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir y, por lo tanto, ésta tiene relación con la variable del proceso. [1]



g-. Elemento final de control

Es el dispositivo que directamente cambia el valor de la variable manipulada de un cuadro de control. Las válvulas de control son los elementos finales de control más usuales y se les encuentra en las plantas de proceso, donde manejan los flujos para mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar. [1]

2.2.8 CONTROL DE pH PARA UNA MEZCLA DE UN ÁCIDO Y UNA BASE

Para controlar el pH se disponen de diversas formas, pero, en general, la dificultad principal que se presenta a la hora de realizar algún tipo de control de esta variable recae sobre el hecho de que los cambios de pH son excesivamente bruscos ante pequeños cambios de las fracciones entre el ácido y la base, es decir, que si el punto de control buscado es un punto que se encuentra en la vecindad del punto de equivalencia la verdadera dificultad se presenta sobre el sistema de control que se va a implementar, lo cual radica en disponer de elementos finales de control que sean capaces de ser precisos para así poder manejar esas pequeñas cantidades. [7]

Por otra parte, si el punto de control está lo suficientemente alejado del punto de equivalencia, un controlador lineal convencional puede ser suficiente, ya que el comportamiento de las curvas de titulación en esos sectores además de ser lineales, presentan una pequeña pendiente, es decir, las variaciones de pH son pequeñas aún con cambios grandes de la fracción entre el ácido y la base. [7]

A continuación se presentan los siguientes esquemas de control que permiten mantener el pH en un valor deseado [7]:

2.2.8.1 CONTROL DE pH POR RELACIÓN

Al realizar el estudio de las curvas de titulación, se puede observar que para que la mezcla entre un ácido y una base tenga un pH determinado, se necesita que entre ellos exista una razón, por lo tanto controlar el pH de una mezcla por control de relación es una opción lógica de forma inmediata. Un esquema propuesto sería el de la figura 2.3. [7]

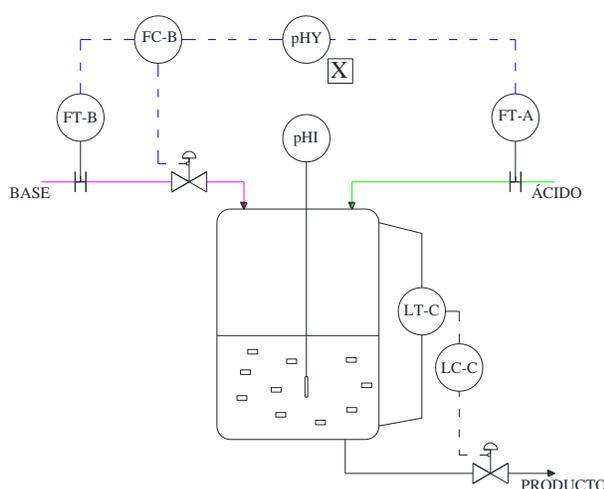


Figura 2.3: Esquema control de pH por relación

Fuente: Ciappina, Franco. “Control de procesos industriales continuos”

Donde lo que se hace, es tomar la medida de la cantidad del ácido que está entrando al tanque, y la medida respectiva de pH en el tanque, con este par de valores, y teniendo la curva de titulación respectiva; entonces se sabe qué cantidad de base es necesaria para llevar el pH de la mezcla al valor requerido, y por consiguiente se manipula la proporción de abertura de la válvula ya que la misma regula la entrada de la base y así se mantiene una relación dada entre ambos reactantes. [7]

2.2.8.2 CONTROL DE pH POR RANGO PARTIDO

Al realizar el control de pH , como ya se mencionó con anterioridad la demanda de uno de los reactantes puede ser extremadamente variable, lo cual constituye un problema para algunos elementos de control, es decir, el uso de algunos elementos finales de control aislados puede no ser suficientes, por lo que un sistema para controlar el pH que trate de minimizarlo sería el propuesto en la figura 2.4, donde la configuración de las válvulas se conoce como “rango partido” o disposición “gama partida”.

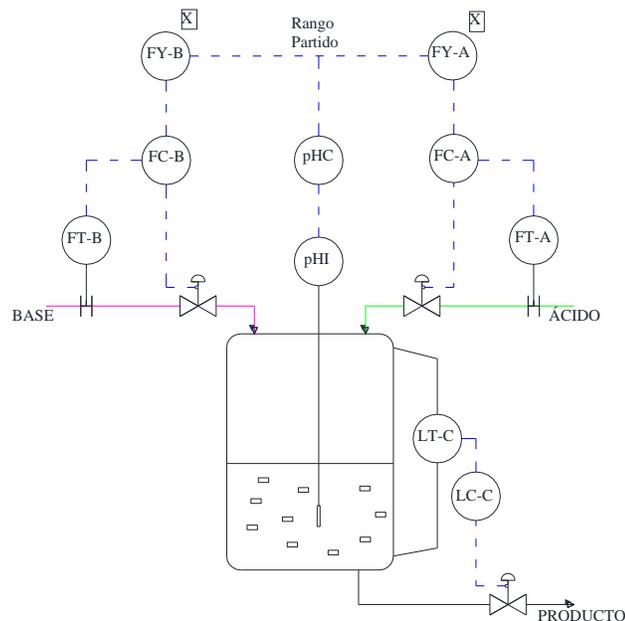


Figura 2.4: Esquema control de pH por rango partido

Fuente: Ciappina, Franco. “Control de procesos industriales continuos”

El principio de funcionamiento de este esquema de control radica en el hecho de que una de las válvulas opera en el proceso, de manera aislada, hasta cierto punto, y luego es la otra válvula la que regula, después que la primera queda abierta o cerrada completamente, obteniendo así un mayor rango de valores para controlar el



proceso. La acción de ambas válvulas puede llegar a ser mucho más exacta que con un sistema de control más sencillo. [7]

2.2.9 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico de estado sólido, basado en microprocesadores, que permite el control secuencial en tiempo real de una máquina o proceso. Un PLC incluye módulos de entrada/salida de tipo digital y analógico, y memoria para el almacenamiento de instrucciones, destinadas a realizar funciones específicas tales como lógica secuencial, procesamiento aritmético y control analógico. [8]

2.2.10 MEDICIÓN DE pH

Un medidor de pH es básicamente un voltímetro muy sensible, los electrodos conectados al mismo generan una corriente eléctrica cuando se sumergen en soluciones. El potencial que se desarrolla a través de estos electrodos será dependiente de la concentración de iones de hidrogeno en la solución. La principal herramienta para hacer las mediciones de pH es el electrodo de bombilla de vidrio, tal vidrio tiene una composición especial que lo hace sensible a los iones de hidrogeno. El segundo electrodo brinda una referencia estable, para eso debe estar calibrado con una solución de pH conocido, llamada “buffer”, este electrodo resiste las variaciones bruscas de pH y tiene valores de pH específico a temperaturas determinadas. [6]

Cada electrodo tiene un propósito específico. El electrodo “de cristal” dispone de un bulbo con una composición de cristal muy especial que es muy sensible y selectivo a los iones de hidrogeno. Al sumergir este bulbo de cristal en una solución, el potencial generado se relaciona con el pH de la solución. La determinación del pH con un instrumento o medidor es mucho más precisa que con los papeles tornasol. Sin



embargo, se debe considerar un adecuado mantenimiento y uso correcto a estos instrumentos, así como realizar las mediciones conforme al procedimiento indicado por el equipo. [6]

El otro electrodo se llama “electrodo de referencia”, el cual es capaz de fijar un voltaje constante, debido a que mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo. Esta diferencia de voltaje es traducida y procesada para ser visualizada en un indicador analógico o digital que es capaz de mostrar el valor de pH existente en la solución. [6]

Para obtener una exactitud y buena consistencia, debe considerarse un adecuado mantenimiento ya que la medida o lectura de pH en la solución es afectada cuando la superficie de la membrana de vidrio está sucia con grasa o material orgánico insoluble e agua, que le impide hacer contacto con la muestra. [3]

Otro punto importante es la calibración, la cual debe ser periódica para asegurar precisión, para eso se utilizan buffers de calibraje que están compuesto por soluciones de pH conocidos. [6]

2.2.11 MEDICIÓN DE FLUJO POR DIFERENCIAL DE PRESIÓN

Esta tecnología generalmente se basa en el principio que puede demostrarse mediante la ecuación de Bernoulli, para una restricción en el paso de fluido en una tubería, que cumplirá con la siguiente ecuación general [8]:

$$Q = K * (P1 - P2)^{1/2} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

Q: Caudal de fluido.

K: Constante de proporcionalidad.



P1: Presión aguas arriba de la restricción.

P2: Presión aguas abajo de la restricción

2.2.11.1 PLACAS DE ORIFICIO

Los diafragmas de orificio concéntrico o placas de orificio pueden utilizarse para todo caudal permanente de fluido limpio y homogéneo (líquido, gas o vapor) en el campo de caudales turbulentos normales para los cuáles el número de Reynolds alcanza un valor superior a 5.000. [8]

Se han establecido coeficientes para tuberías desde 1½" (40 mm) a 14" (350 mm) y números de Reynolds desde 5.000 a 10.000.000. Con el fin de obtener una buena medida del caudal, la construcción y el empleo de placas de orificio deben responder a las siguientes condiciones esenciales [8]:

✚ La arista exterior del orificio debe ser viva y neta. No son tolerables defectos mecánicos tales como rebabas, ranuras o salientes. [8]

✚ El espesor de la placa de orificio debe estar de acuerdo con las prescripciones de la norma ISO 5167, no debiendo sobrepasar las siguientes especificaciones [8]:

- $1/30$ del diámetro interior de la tubería (D)
- $1/8$ del diámetro del orificio (d)
- $1/4$ del valor $(D - d) / 2$

En la figura 2.5, se puede observar las dimensiones de una placa orificio.

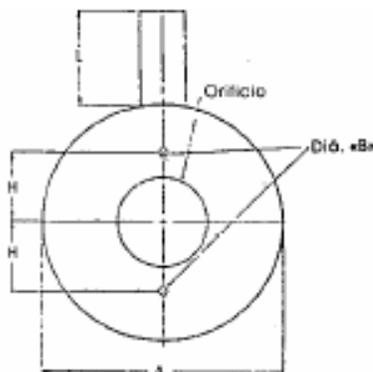


Figura 2.5: Dimensiones de una placa orificio

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Estas son las condiciones mínimas. Cuando el espesor real del diafragma deba sobrepasar este mínimo, la arista posterior puede ser achaflanada con un ángulo de 45 grados por lo menos, a partir de la cara de la placa o bien fresada al espesor adecuado. Debe instalarse el diafragma siempre de forma que la arista viva quede aguas arriba, no pudiendo ser utilizado para la medida de caudales que fluyan en sentido inverso. [8]

La placa del diafragma (o placa de orificio), se fija entre bridas y debe ser completamente plana, con una tolerancia de 0,01 mm. [8]

La relación de diámetros del orificio y la tubería d/D , habitualmente denominada relación de apertura β , debe estar comprendida, para una medida correcta, entre 0,2 y 0,7. En tuberías grandes (de 4" en adelante), la β podría estar comprendida entre 0,1 y 0,75 aunque no es recomendable llegar a estos extremos. Además, con este tipo de diafragma no se debe medir en tuberías de diámetro inferior a 1½" (40 mm), ya que la rugosidad de las paredes interiores puede modificar significativamente los coeficientes característicos. [8]



Diafragmas Excéntricos

Los Diafragmas Excéntricos son aquellos cuyo orificio está practicado de tal forma que al colocar la placa entre las bridas, quedan en la parte superior o inferior de la tubería. Si se miden fluidos que contengan partículas sólidas en suspensión, el orificio se sitúa en la parte inferior (figura 2.6 C), de esta forma, las partículas sólidas que se depositan en la tubería son arrastradas por el fluido en lugar de ir formando depósitos a ambos lados del diafragma. Por otra parte, si se trata de medir líquidos que contengan gases o vapores, el orificio se colocará en la parte superior para que pasen los gases que tenderán a circular por arriba (figura 2.6 B). [8]

Al medir caudales de aire o vapor donde se pueden producir pequeñas condensaciones, se realiza un pequeño orificio de drenaje en la parte inferior de los diafragmas concéntricos, por donde se evacua el condensado sin que la precisión de la medida sea afectada. Generalmente no es necesario utilizar diafragmas excéntricos para la medida de la mayor parte de los gases. Se puede realizar así mismo un orificio similar en la parte superior de los diafragmas concéntricos, utilizados en la medida de líquidos, con el fin de facilitar el paso de las pequeñas burbujas de gas habitualmente creadas por el movimiento de los líquidos. [8]

Diafragmas Segmentados

Se denominan diafragmas segmentados aquéllos cuyo orificio es un segmento circular concéntrico con la tubería. Se emplean habitualmente para la medida de líquidos o gases con impurezas no abrasivas (tales como barros ligeros) normalmente más pesados que el líquido, o de gases excepcionalmente cargados (ver figura 2.6 D). [8]

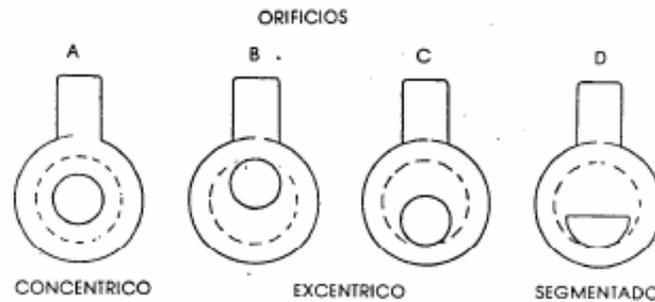


Figura 2.6: Diagramas excéntricos, concéntrico y segmentado

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Tomas de Presión

La presión diferencial generada por la inserción del diafragma en la tubería, se recoge mediante tomas de diversos tipos. El método más corrientemente utilizado es el de tomas realizadas en las bridas, pero son frecuentes también otros tipos de tomas, como en la vena contracta o en la tubería. [8]

Tomas en las bridas

El orificio de la toma de presión está practicado en las misma bridas de sujeción de la placa de orificio, y se realizan para que su eje esté a 1" (25,4 mm) aguas arriba y aguas abajo de la placa, según se indica en la norma ANSI-B 16.36. El diámetro de la toma oscila entre $\frac{1}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " (6,35 a 12,7 mm), según la citada norma. En la figura 2.7, puede observarse gráficamente un ejemplo de tomas en las bridas [8]

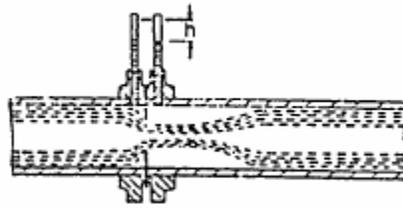


Figura 2.7: Tomas en las bridas

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Tomas en la vena contracta

Cuando se emplean diafragma estándar siguiendo el método de la vena contracta, se realizan las tomas a distancias máximas de D aguas arriba del diafragma (toma de alta presión) y del punto donde existe la más baja presión y donde se sitúa el más pequeño diámetro de la vena contracta del fluido (toma de baja presión), que se aproxima bastante a $\frac{1}{2}D$. [8]

No pueden utilizarse tomas en «vena contracta» en tuberías inferiores a 4", como consecuencia de la interferencia que se produce entre la brida y la toma aguas abajo. En la figura 2.8, se muestra gráficamente un ejemplo de tomas en la vena contracta. [8]

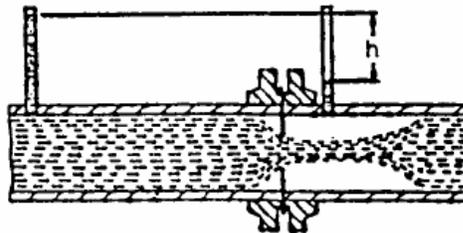


Figura 2.8: Tomas en la vena contracta

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Cuando se utilizan tomas en vena contracta con diafragmas excéntricos, es preciso disponerlas a 180 ó 90 grados en relación al orificio. En el caso de diafragmas segmentados se deben disponer a 180 grados del orificio. [8]

Tomas en la Tubería

Cuando se hace la toma en la tubería, éstas se sitúan a $2\frac{1}{2}D$ antes del orificio (toma de alta presión) y a $8D$ aguas abajo la toma de baja presión. Este tipo de tomas se utilizara raramente en la actualidad. Tiene la ventaja de que permiten la instalación de una placa de orificio para medida de caudal donde existan una brida, y reúne además otras características necesarias, como tramos rectos anterior y posterior, etc. El error probable de la medida con este tipo de tomas es aproximadamente un 50% mayor que con tomas en las bridas y en la vena contracta. Se puede observar en la figura 2.9, un ejemplo gráfico de tomas en la tubería. [8]

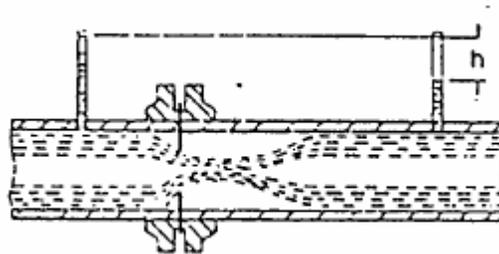


Figura 2.9: Tomas en la tubería.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.



2.2.12 TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE FLUJO

2.2.12.1 Métodos para medir flujo por ultrasonido

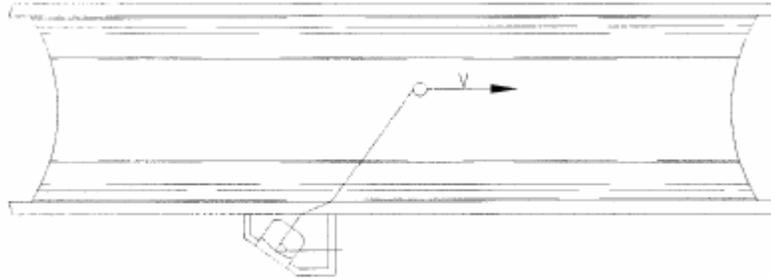
A continuación se presenta varios métodos para medir flujo por medio de ultrasonido.

Método de cambio de frecuencia de “Doppler”

El primer intento para utilizar la tecnología ultrasonido en medición de flujo se remonta al año 1.928, cuando se publica la primera patente. Desde entonces, han surgido diferentes métodos, entre los cuales se destaca el de “Cambio de frecuencia de Doppler” (1.995), el cual sólo se puede aplicar a líquidos con burbujas o sólidos en suspensión. [8]

El principio de “Cambio de frecuencia de Doppler” establece que una onda sónica que viaja a una frecuencia dada, al chocar con un objeto en movimiento, experimenta un cambio de frecuencia en la onda reflejada que es proporcional a la velocidad del objeto en movimiento. En el caso de un líquido con burbujas o sólidos en suspensión, el medidor envía dentro del líquido una onda sónica a una frecuencia conocida y a través de un receptor, mide la frecuencia de la onda reflejada por las burbujas o las partículas que viajan junto con el líquido (figura 2.10). La diferencia entre las dos frecuencias es proporcional a la velocidad del líquido. [8]

La implantación de esta tecnología a nivel de campo no ha sido del todo exitosa, ya que la precisión que se alcanza oscila entre + 5% y + 10%. Esto debido a que no necesariamente las burbujas o los sólidos que viajan en una corriente líquida lo hacen a la misma velocidad y en la misma dirección del líquido, por ejemplo: las partículas caen y las burbujas flotan. [8]



TRANSMISOR/RECEPTOR

Figura 2.10: Medidor de flujo por ultrasonido tipo “Doppler”

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Método tiempo de tránsito

Los últimos avances en electrónica digital, procesamiento de señales y “software”, y un cambio en el principio de medición han promovido el renacimiento de la tecnología de ultrasonido en las aplicaciones de medición de flujo. Entre los desarrollos más recientes en esta materia se encuentra el medidor de flujo por ultrasonido tipo “tiempo de tránsito”. [8]

Este medidor aplicable tanto a líquido como a gas, determina la velocidad de fluido dentro de la tubería a partir de la diferencia de tiempo empleada por dos señales ultrasónicas en atravesar una misma sección de la tubería, con la diferencia de que una señal viaja en el sentido del flujo y la otra en contra. En la figura 2.11, se muestra un esquema de este instrumento. [8]

El medidor consiste en dos transmisores/receptores colocados uno corriente arriba y el otro corriente abajo en la tubería. Se envía una señal de ultrasonido en el sentido del flujo, desde el transmisor/receptor ubicado corriente arriba (transmisor A),

la cual es recibida por el transmisor/receptor corriente abajo (transmisor B), después de haber transitado la distancia entre ellos. [8]

Simultáneamente, se emite una señal de ultrasonido desde el transmisor B que recibe el A (en sentido contrario al flujo). La diferencia entre estos dos tiempos de tránsito es directamente proporcional al flujo. [8]

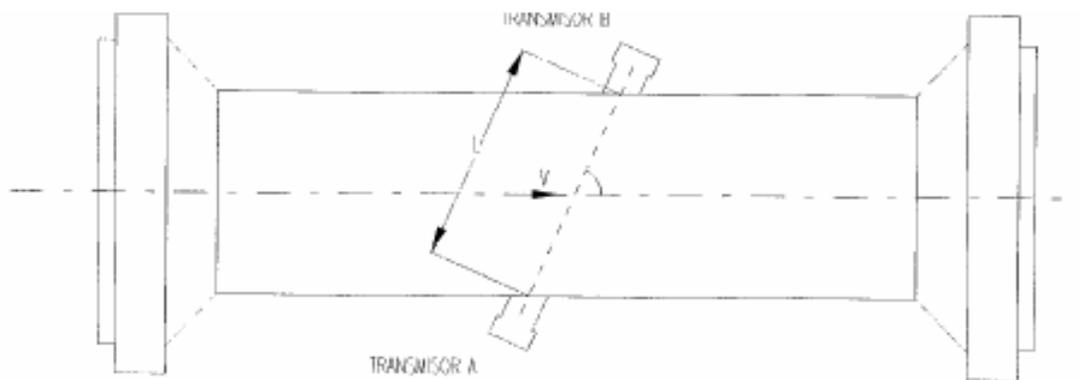


Figura 2.11: Medidor de flujo por ultrasonido tipo tiempo de tránsito “trayectoria simple”

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luis “Instrumentación Industrial”.

2.2.12.2 Configuraciones prácticas

El sistema descrito en la figura 2.11, se denomina “trayectoria simple”. También es frecuente ver este sistema en una configuración tipo “reflexión simple” (Figura 2.12). Ambas configuraciones involucran dos (2) transmisores, los cuales envían señales sónicas en forma simultánea. La diferencia radica en que el primero la trayectoria de la señal sigue una línea recta, mientras que en el segundo la señal sufre un cambio de dirección al ser reflejada por la pared de la tubería. Tanto en la configuración “trayectoria simple” como en la “reflexión simple”, la precisión que se alcanza está entre + 1% y + 3%. [8]

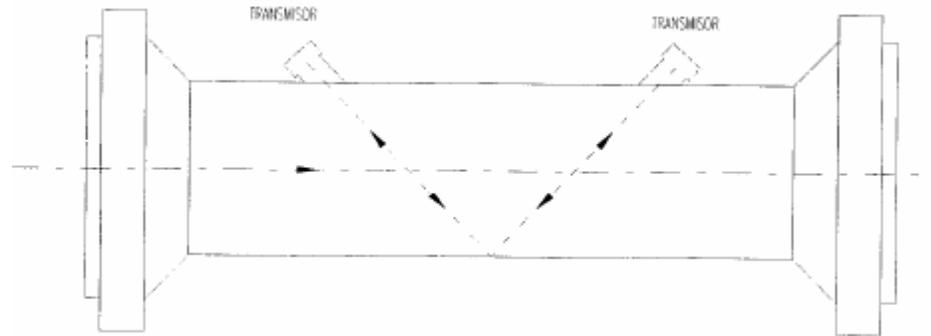


Figura 2.12: Medidor de flujo por ultrasonido tipo tiempo de tránsito “reflexión simple”

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

Es posible incrementar la precisión utilizando dos (2) trayectorias de medición, bien sea en arreglos en paralelo o cruzado. En la figura 2.13, se muestran ambos arreglos para este medidor llamado “doble trayectoria”. Sistemas más complejos incorporan más de dos (2) trayectorias de medición, éstos son los llamados “sistemas multi-trayectoria” (Figura 2.14). [8]

La utilización de una u otra configuración depende exclusivamente de la aplicación. [8]

En operaciones en las que no se requiere mucha precisión (entre + 1% y + 3%), como por ejemplo: balance de masa, transferencias internas en planta, reconciliación de datos o algunas aplicaciones de control de procesos, la configuración de “trayectoria simple” es una excelente opción. En cambio para la aplicaciones de alta precisión ($< + 0,5\%$) como fiscalización y entrega de productos, el instrumento apropiado es el multitrayectoria. [8]

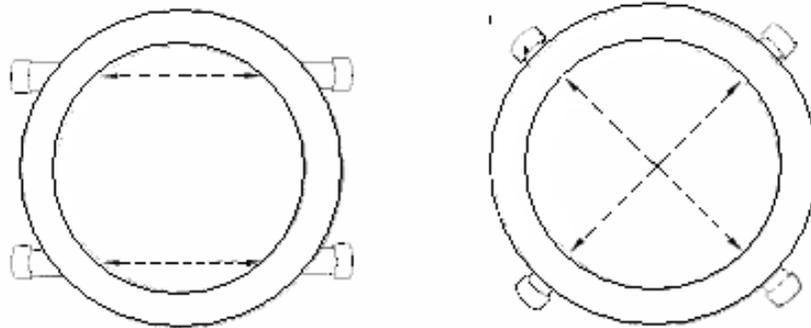


Figura 2.13: Arreglos en paralelo y cruzado para el medidor “Doble trayectoria”.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

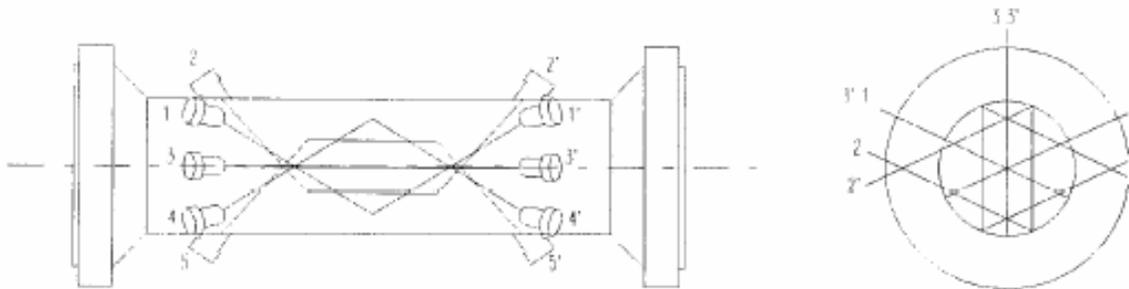


Figura 2.14: Medidor de Flujo por Ultrasonido “Multitrayectoria”.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

El medidor de flujo por ultrasonido en arreglo multitrayectoria presenta ventajas comparativas que superan a todos los demás arreglos, como son:

- Mayor precisión - Sistemas de cuatro o cinco trayectorias de medición puede lograr alta precisión ($<+ 0,5\%$).
- Capaz de determinar el perfil de velocidad.



• Medición independiente de la orientación del medidor con respecto a la tubería.

Las características del medidor multitrayectoria son:

- Precisión $<+0,5\%$, aun con flujo pulsante y de baja velocidad.
- Repetibilidad: 0,1%.
- Intervalo de operación: 300:1.
- Pérdida de presión prácticamente nula, ya que no tiene obstrucciones al flujo.
- Capaz de medir en operación bidireccional.
- Bajo costo de operación y mantenimiento, no tiene partes móviles.
- Capaz de medir cero (0) flujo.
- No necesita calibración.
- No es sensible a grandes variaciones en la presión.
- En operaciones con gas, es capaz de medir con un 15% en volumen de presencia de líquido. [8]

2.2.12.3 Métodos para medir flujo por electromagnetismo

Su principio de medida está basado en la Ley de Faraday, la cual expresa que al pasar un fluido conductor a través de un campo magnético, se produce una fuerza electromagnética (F.E.M.), directamente proporcional a la velocidad del mismo, de donde se puede deducir también el caudal. [9]

Está formado por un tubo, revestido interiormente con material aislante. Sobre dos puntos diametralmente opuestos de la superficie interna se colocan dos electrodos metálicos, entre los cuales se genera la señal eléctrica de medida. En la parte externa se colocan los dispositivos para generar el campo magnético, y todo se recubre de una protección externa, con diversos grados de seguridad. [9]

El flujo completamente sin obstrucciones es una de las ventajas de este medidor. El fluido debe ser ligeramente conductor debido a que el medidor opera bajo el principio de que cuando un conductor en movimiento corta un campo magnético, se induce un voltaje. [9]

Los componentes principales incluyen un tubo con un material no conductor, dos bobinas electromagnéticas y dos electrodos, alejados uno del otro, montados a 180° en la pared del tubo. Los electrodos detectan el voltaje generado en el fluido. Puesto que el voltaje generado es directamente proporcional a la velocidad del fluido, una mayor velocidad de flujo genera un voltaje mayor. Su salida es completamente independiente de la temperatura, viscosidad, gravedad específica o turbulencia. Los tamaños existentes en el mercado van desde 5 mm hasta varios metros de diámetro. En la figura 2.15, muestra un medidor de flujo tipo magnético con conexión a brida. [9]



Figura 2.15: Medidor-Transmisor de Flujo Magnético

Fuente: Elaboración Propia

2.2.13 MEDIDORES DE NIVEL ACTUADOS POR ULTRASONIDO

Se utilizan en los mismos servicios donde los medidores actuados por radiación encuentran aplicación. Constan básicamente de una fuente emisora- receptora, instalada en el fondo del recipiente. [8]

Este emisor o transmisor envía ondas sonoras de alta frecuencia, que chocan con las superficies del líquido y regresan al receptor. El tiempo que tardan las ondas en salir del emisor y regresar, depende de la altura del líquido, la cual es señalada en un indicador de nivel. La figura 2.16, muestra esquemáticamente la disposición de estos tipos de medidores. [8]

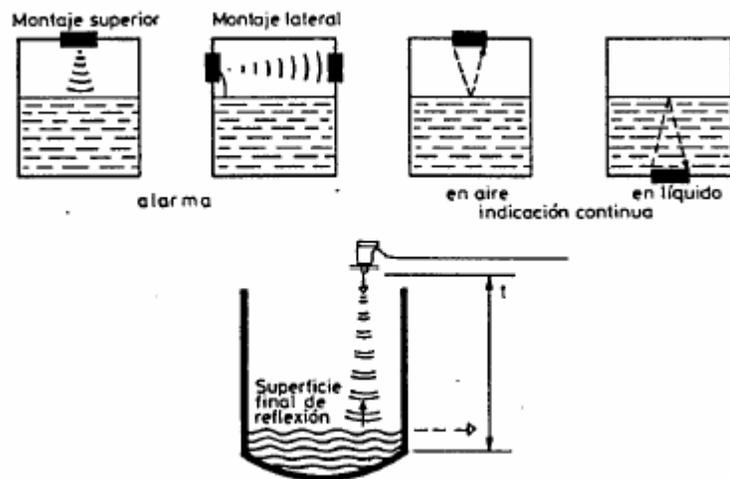


Figura 2.16: Medidores de nivel por ondas ultrasónicas.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís "Instrumentación Industrial".



2.2.14 VÁLVULA

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. [1]

La válvula de control es uno de los elementos más importantes dentro del lazo de control y por supuesto, es el elemento que realiza en definitiva, la acción de control para lograr la automatización de los procesos industriales. [1]

2.2.14.1 PARTES DE UNA VÁLVULA DE CONTROL

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo, ambas se definen a continuación. [1]

Actuador: el actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la figura 2.17. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 bs/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera. [1]

Cuerpo de la válvula: este está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador. [1]

A continuación se presenta en la figura 2.17, una válvula de control constituida fundamentalmente de dos partes: el cuerpo de la válvula y el servo-motor, llamado comúnmente, actuador. [8]

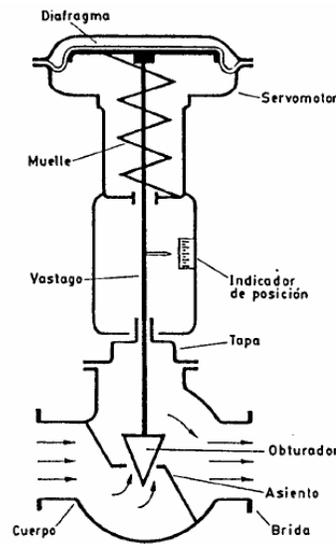


Figura 2.17: Válvula de control típica.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

El cuerpo de la válvula tiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o bridas, según sea la conexión en línea a usar. El obturador es quién realiza la función de control de paso del fluido y podrá actuar en la dirección de su propio eje o tener un movimiento rotativo. El obturador estará unido al actuador



mediante el eje que tendrá el mecanismo adecuado al tipo de movimiento que deba tener el obturador. [8]

2.2.14.2 TIPOS DE VÁLVULAS

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede deducir que, tal y como sea el cuerpo de la válvula y su obturador respecto a su movimiento tendremos los siguientes tipos de válvulas [8]:

A continuación se hará una breve descripción de cada una de ellas:

a-. CON MOVIMIENTO EN LA DIRECCIÓN DE EJE

Válvulas de Globo: podrán ser de simple o doble asiento, en el segundo caso, con obturador equilibrado. Las de simple asiento son para presiones diferenciales bajas y las de doble asiento podrán trabajar a presiones diferenciales altas o bajas. Este tipo de válvulas proporcionan buen control y regulaciones bastante precisas, donde no se requiere su uso para fluido con sólidos en suspensión o fluido muy viscoso, donde éstas podrían quedar trancadas. Corresponden a las figuras "2.18.a" y "2.18.b". [8]

Válvula de Ángulo: similares a las de agujas, solo que serán más útiles que las anteriores para regular sin excesivas turbulencias y para disminuir la erosión del asiento en caso de que el fluido tenga partículas en suspensión y el diferencial de presión sea alto. Serán ideales también para fluido con tendencia al flashing (vaporización). Las válvulas de ángulo corresponden a la figura "2.18.d". [8]



Válvula de Tres Vías: usadas específicamente para derivar un caudal en dos o para el control de mezcla de dos fluidos. Corresponde a las figuras "2.18.e" y "2.18.f". [8]

Válvula de Jaula: el obturador cilíndrico tendrá una jaula protectora con orificios, que minimiza el defecto de desequilibrio de fuerzas, minimiza el ruido generado, y facilita el mantenimiento de la válvula. Se utiliza en válvulas de gran tamaño o cuando deba trabajar con altas presiones diferenciales. Estas válvulas pueden lograr el cierre hermético. Corresponde a la figura "2.18.g". [8]

Válvula en Y: utilizada especialmente en instalaciones criogénicas como válvula de cierre y control. Es capaz de auto drenarse cuando es instalada en ciertos ángulos. Figura "2.18.i". [8]

Válvula de Cuerpo Partido: es una válvula de globo con una adaptación mecánica especial, que consiste en que el cuerpo, está dividido en dos partes, entre las cuales se encuentra presionado el asiento del obturador. [8]

Esto permite un rápido reemplazo del mismo, para válvulas que están sometidas a mucho desgaste. Figura "2.18.j". [8]

Válvula Saunders: el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago, unido a un servo-motor, es llevada hacia un saliente del cuerpo del cuerpo interno de la válvula, limitándose así el paso del fluido. Se caracteriza porque usualmente estas válvulas se recubren interiormente de una superficie de goma o plástico para trabajar con fluidos muy ácidos o químicamente incompatibles con cualquier metal. También se utilizan para casos de fluidos con sólidos en suspensión. Figura "2.18.k". [8]



b-. VÁLVULAS CON OBTURADOR DE MOVIMIENTO CIRCULAR

Válvulas de Obturador Excéntrico Rotativo: con un obturador de superficie esférica, que tendrá un movimiento rotativo excéntrico y está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles. Masoneilan, fabricante de válvulas, las clasifica con un nombre de patente llamado CAMFLEX, cuyas características son la de permitir un gran paso de caudal, con una excelente precisión de regulación y es capaz de manejar con facilidad grandes diferenciales de presión debido a su construcción. Figura "2.18.m". [8]

Válvulas de Obturador Cilindro Excéntrico: tienen un obturador del tipo antes especificado, que se asienta contra otra superficie cilíndrica. Se puede garantizar el cierre hermético, siempre y cuando, se revista de teflón o goma la superficie del asiento. Tiene gran capacidad de manejo de caudales y es adecuada para fluidos muy viscosos, con sólidos en suspensión o corrosivo. Figura "2.18.n". [8]

Válvula de Mariposa: su cuerpo es un anillo cilíndrico, dentro del cual gira transversalmente un disco circular, que en este caso es el obturador. Estas se utilizan para el manejo grandes caudales a bajas presiones, y adicionalmente, ocupa muy poco espacio en la línea. Figura "2.18.o". [8]

Válvulas de Bola: la válvula tiene en su cuerpo una cavidad esférica, que alberga a un obturador de forma geométrica similar, que tiene una perforación perpendicular a la dirección del eje de giro. Puede tener cierre hermético con la adición de revestimientos en el interior del cuerpo de la válvula y es usada para el manejo de caudales con sólidos en suspensión. Este tipo de válvula debe ser usada cuando se requiera que la línea no tenga interferencias que impidan el paso de elementos internos de mantenimiento como los raspa tubos (cochinos). Figura "2.18.p". [8]

Válvula de Orificio Ajustable, el obturador es una camisa de forma cilíndrica, que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida, que giran mediante la acción manual o motorizada exterior. Figura "2.18.r". [8]

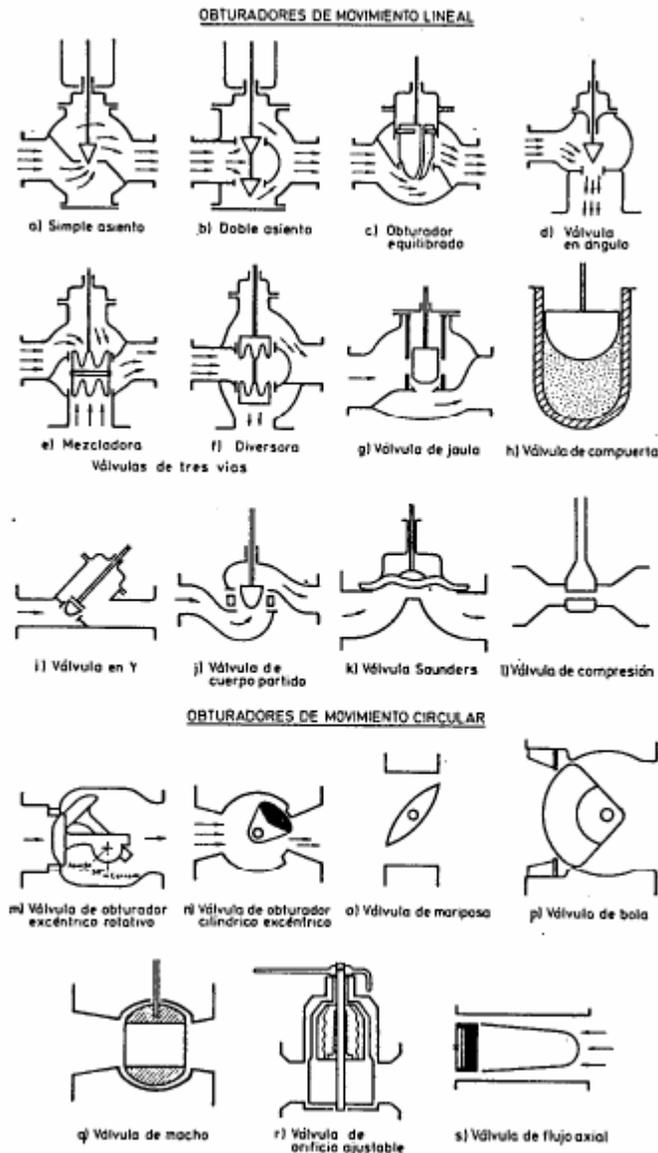


Figura 2.18: Tipos de válvulas de control

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís "Instrumentación Industrial".



En la figura 2.18, se puede observar todas las válvulas antes mencionadas

Válvula solenoide: es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula. [10]

Una válvula de solenoide consiste de dos partes accionantes distintas, pero integrales: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula. Este tipo de válvulas es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar. [10]

2.2.14.3 TIPO DE ACCIÓN DE UNA VÁLVULA

Según la acción de los cuerpos de las válvulas se dividen en: válvulas de acción directa, cuando tienen que bajar para cerrar, e inversa, cuando tiene que bajar para abrir. La misma división es aplicada a los actuadores de las válvulas, que son de acción directa cuando al aplicar aire éstos mueven el vástago hacia abajo y de acción inversa cuando al suministrar el aire el actuador se mueve hacia arriba [8]. En la figura 2.19, se muestra los diferentes tipos de acciones de una válvula de control.

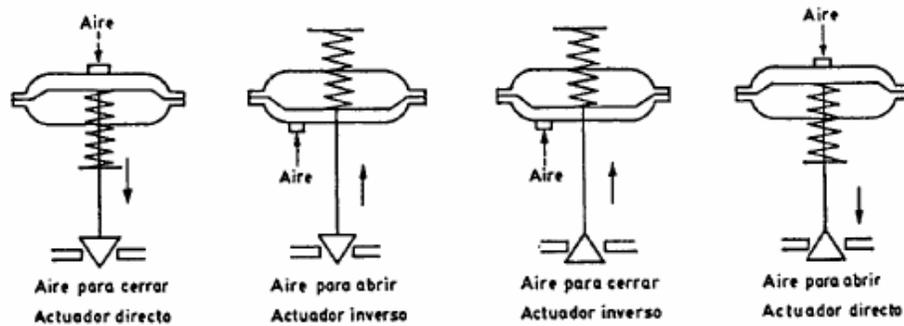


Figura 2.19: Tipos de acciones de válvulas de control.

Fuente: Trabajo de ascenso de Amendola Luís “Instrumentación Industrial”.

2.2.15 MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

La medición de nivel con un transmisor de presión diferencial consiste en la presión que ejerce una columna de líquido, directamente proporcional a la altura de éste, arriba del punto de referencia. Un elemento de presión apropiado, conectado adecuadamente al proceso, mide el nivel del líquido en unidades apropiada para las cuales se debe calibrar cada elemento. Figura 2.20. [11]



Figura 2.20: Transmisor de Presión Diferencial YOKOGAWA

Fuente: Elaboración Propia



El transmisor de presión diferencial es uno de los instrumentos que con más frecuencia se usa para medir nivel por presión hidrostática en la figura se muestra una foto de un transmisor diferencial de presión. [11]

El extremo del medidor conectado al fondo del tanque, se conoce como cámara de alta presión, y el que se utiliza para detectar la presión a la cual está sometida la superficie del líquido del tanque, se conoce como cámara de baja presión. Una vez que se conoce el diferencial de presión y la densidad del líquido, se puede obtener el nivel independientemente del volumen o forma del tanque, esto se observa en la ecuación siguiente. [11]

$$\Delta P = H * \rho * g = H * \gamma \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde:

ΔP =Diferencial de presión.

H=Altura del líquido con respecto al punto de referencia.

ρ = densidad del líquido.

g = Gravedad

γ = Peso específico del líquido.

Un factor muy importante que se debe tener en cuenta a la hora de instalar un transmisor de presión diferencial es conocer si el tanque es abierto o cerrado. Si el tanque es abierto, se debe conectar la parte baja del tanque (valor mínimo de la variable de proceso) a la cámara de alta presión del transmisor, mientras que la cámara de baja se deja a la presión atmosférica (desconectada). En el caso de un tanque cerrado la cámara de baja presión se debe conectar a la parte superior del tanque. [11]



En aquellas situaciones en las que un transmisor de presión diferencial no puede ser instalado a la misma altura del nivel mínimo del tanque, es necesario ajustar el cero del mismo dependiendo de la posición en que se coloque. En el caso de que el transmisor se instale por debajo del punto de referencia, se debe realizar una supresión de cero y de la misma forma en caso de que el transmisor se instale por debajo del punto de referencia contrario se realiza una elevación de cero. [11]

Ventajas del uso del transmisor de presión diferencial para la medición de nivel

- ✓ Puede ser utilizado tanto en tanques abiertos como cerrados.
- ✓ Fácil acceso para su montaje externo.
- ✓ Amplio rango de medición.

Desventajas del uso del transmisor de presión diferencial para la medición de nivel

- ✓ Dependencia del peso específico del líquido bajo medición, el cual puede variar según la temperatura.

2.2.16 SIMATIC S7-1200 DE SIEMENS

El micro-PLC Simatic S7-1200 es un controlador modular para aplicaciones compactas en la gama baja inferior. Es versátil en su aplicación y es idóneo para la automatización racional de pequeñas máquinas, transportadores y otros equipos de mantenimiento al igual que la calidad de componentes distribuido de regulación dentro de sistemas de mayor jerarquía. [12]

Perfecta interacción entre microcontroladores, paneles HMI e ingeniería. Se destaca por su versátil y flexible configuración aunada a alto rendimiento y tamaño muy compacto. Puede configurarse de forma escalable y practico, lo que permite resolver exactamente las tareas de automatización planteadas. La CPU puede ampliarse flexiblemente con módulos de E/S y módulos de comunicaciones. En este contexto son novedad las denominadas Signal Boards, tarjetas que pueden enchufarse simplemente en el frente de la CPU; están disponibles con interfaces para dos entradas o salidas digitales, o para una salida analógica. Esto permite ocupar el mínimo espacio en el caso de que sólo se procesen pocas señales. El micro-PLC puede ampliarse con dos módulos de comunicaciones, con un puerto RS232 o con un puerto RS485, para conexiones serie. En la figura 2.21 se muestra el dispositivo mencionado. [12]



Figura 2.21: Simatic S7-1200 Siemens

Fuente: Elaboración Propia



El Simatic S7-1200 dispone de una interfaz Profinet integrada para simple conectividad en red y comunicación entre sistema de ingeniería, controladores y HMI, por ejemplo para actividades de programación y de comunicación entre CPU y CPU. A través de dicha interfaz se conectan también los paneles de la gama Simatic HMI Basic Panels para fines de visualización. Para la conexión en red de varios controladores o paneles de HMI está disponible el módulo de ampliación CSM 1277, que es un switch Ethernet/Profinet no gestionado con 4 puertos. [12]

La oferta coordinada de controlador y sistema de ingeniería se complementa con una gama de paneles HMI (Basic Panels) que ofrecen alto grado de protección, IP65, e interfaz Profinet integrada. Los paneles disponen de displays gráficos de entre cuatro y quince pulgadas de diagonal con pantalla táctil y teclas de función táctiles. Todos los paneles de la línea tienen la misma funcionalidad en términos de sistemas de avisos, gestión de recetas y funciones de representación de curvas. [12]

2.2.17 SISTEMAS SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition): Un sistema industrial de mediciones y control que consiste en una computadora principal o Máster (generalmente llamada Estación Principal, Máster Terminal Unit o MTU); una o más unidades de control, obteniendo datos de campo (generalmente llamadas estaciones remotas, Remote Terminal Units, o RTU's); y una colección de software estándar usado para monitorear y controla remotamente dispositivos de campo. Los sistemas SCADA contemporáneos exhiben predominantemente características de control a lazo abierto y utilizan comunicación es generalmente interurbanas, aunque algunos elementos de control a lazo cerrado y/o de comunicaciones de corta distancia pueden también estar presentes. [13]



2.2.17.1 SCADA InTouch

InTouch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interfaces hombre máquina bajo entorno PC. InTouch utiliza como sistema operativo el entorno Windows 2000/XP/Vista. El paquete consta básicamente de dos elementos: WindowMaker y WindowViewer. WindowMaker es el entorno de desarrollo; permite todas las funciones necesarias para crear ventanas animadas interactivas conectadas a sistemas de E/S externos a otras aplicaciones de Windows. WindowViewer es el sistema de ejecución utilizado para acorrer las aplicaciones creadas con WindowMaker. Mediante Intouch, se pueden crear potentes aplicaciones de gran alcance que aprovechan las características claves de Microsoft Windows y la tecnología ArchestrA, incluye también ActiveX® Controls, OLE, gráficas, DDE (Intercambio dinámico de datos) etc. Entre las ventajas de Intouch de Wonderware está la rapidez y facilidad para crear aplicaciones HMI en la plataforma de Windows. Las aplicaciones del Intouch abarcan en el mundo una gran variedad de mercados incluyendo industrias de procesamiento de alimento, semiconductores, petróleo y gas, automotriz, química, farmacéutica, pulpa y papel, transporte, servicio público y más.

[14]

2.2.18 SOFTWARE STEP 7 BASIC

El software STEP 7 Basic es el sistema de ingeniería para programar los SIMATIC S7-1200. El sistema de ingeniería WinCC Basic contenido en el paquete permite además configurar los paneles SIMATIC HMI Basic Panels conectados a S7-1200. De esta forma, STEP 7 Basic cubre todas las fases de un proyecto de automatización [15]:



Beneficios

Óptima interacción de la ingeniería del controlador y la del HMI

Eficiente solución de la completa tarea de automatización gracias a:

- Programación del controlador y configuración de HMI unificada desde un mismo sistema de ingeniería
- Gestión de datos compartida
- Entorno de configuración WinCC Basic ya integrado: la aplicación puede contemplarse con SIMATIC HMI Basic Panels sin ningún tipo de discontinuidad.

Acceso más rápido a través de la vista de portal

La vista de portal simplifica la navegación:

- Lo que facilita incluso a los no expertos resolver rápida y dirigidamente cualquier tarea planteada.
- Para tareas de mantenimiento, acceso directo más rápido a la vistas online desde la vista de portal; para ello no es preciso cargar previamente un proyecto.

Interfaz de usuario intuitiva

El uso de STEP 7 Basic es extraordinariamente intuitivo por:

- Tener editores adecuados a las tareas y procesos
- Aplicación de las más actuales técnicas de Windows



Gama de aplicación

STEP 7 Basic es el sistema de ingeniería para programar soluciones de automatización realizadas con SIMATIC S7-1200. Al tener integrado WinCC Basic, además de la programación del controlador es posible configurar los paneles de gama SIMATIC HMI Basic Panels a él asociados. Esto permite aplicar cómoda y simplemente la completa funcionalidad y potencia de éstos sistemas usando una única herramienta.

STEP 7 es aplicable para:

- Programar la familia de controladores SIMATIC S7-1200: CPU 1211C, CPU 1212C, CPU 1214C
- Configurar los paneles de la gama SIMATIC HMI Panels basados en PROFINET:
KTP400 Basic, KTP600 Basic (mono y color), KTP1000Basic, TP1500 Basic;
KTP400 Basic y KTP600 Basic pueden configurarse también para modo retrato.

2.2.19 OPC

OPC son las siglas de Ole for Process Control (OLE para control de procesos) y es una tecnología diseñada para comunicar aplicaciones. Es un estándar para la interconexión de sistema basados en el sistema operativo Windows y hardware de control de procesos. Las especificaciones OPC se mantienen a través de la OPC Foundation. Actualmente, OPC Foundation agrupa a compañías de software, hardware y usuarios finales de todo el mundo. El intercambio de datos se basa en la tecnología COM y DCOM, de Microsoft, que permite el intercambio de datos entre aplicaciones ubicadas en uno o varios ordenadores mediante estructura Cliente-Servidor. Es un estándar abierto que permite un método fiable para acceder a los



datos desde aparatos de campo. El método de acceso es el mismo sin depender del tipo y origen de los datos. De esta manera los usuarios finales son libres de escoger el software y hardware que satisfaga sus requerimientos de producción sin preocuparse por la disponibilidad de software de control específico. OPC permite definir una interfaz estandarizada que, mediante el desarrollo de aplicación del tipo Cliente-Servidor, hace posible la comunicación entre elementos que cumplan el estándar. Permite arquitecturas de varios clientes y servidores, accediendo a los datos de forma local o remota y gestionando la información en tiempo real. [14]



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El objetivo primordial en este capítulo es definir el tipo de investigación y detallar en forma sencilla las técnicas a seguir en la realización de las etapas o fases de estudio desarrolladas para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos a través de una metodología definida.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es fundamental definir el tipo de estudio que se desarrollará, ya que en función a ello se define el diseño y/o los métodos que se acoplen de la mejor forma para lograr los objetivos planteados.

Este proyecto se basa en una investigación aplicada (práctica o teórica) debido a que busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La adopción de un modelo permite designar las características y necesidades en la investigación, contribuyendo a la definición idónea de las técnicas que se consideran más adecuadas en la recopilación de información para el estudio.

Por las características que presenta el contenido del trabajo especial de grado, se encuentra enmarcado de un **proyecto factible**; ya que el mismo consiste en la elaboración de una propuesta de modelo viable, o una solución posible a una problemática de tipo práctico, para satisfacer las necesidades de la empresa.



Por lo tanto, según el diseño de la investigación, la propuesta se apoya en una **investigación de campo**; ya que el objeto de estudio se desenvuelve en un entorno real; los datos de interés son recogidos de forma directa de la realidad del proceso, donde a partir de datos originales y primarios, se encuentran enmarcados en un **enfoque experimental**, el cual se presenta mediante la manipulación de una variable experimental vigilada, en condiciones rigurosamente controladas.

3.3 METODOS DE INVESTIGACIÓN

De manera simplificada y ordenada se describen a continuación las actividades, métodos, técnicas, procedimientos y tareas que se realizaron en el desarrollo de cada fase para obtener la información y por consiguiente el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos de la investigación.

3.3.1 FASE 1: ANÁLISIS DEL PROCESO E IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En esta fase se realizó un recorrido por la planta de sulfonación, en la cual se recibió información acerca del proceso de producción y que sigue cada una de sus etapas, donde se pudo identificar la etapa de neutralización o lavado de gases, permitiendo así de esta manera observar los equipos utilizados, la estructura y el estado físico presente en el proceso. Luego se investigó sobre el proceso de sulfonación y el proceso de lavado de gases donde se pudo conocer cada una de las variables, la materia prima utilizada, las limitaciones presentes y las necesidades existentes. En función a lo anterior se identificó la problemática y las necesidades a satisfacer. Posteriormente se realizaron estudios e investigaciones teóricas en materia de control e instrumentación para sustentar la propuesta a la solución del problema o necesidad existente, siendo para este caso la automatización del proceso de neutralización.



3.3.2 FASE 2: DISEÑO DE LOS LAZOS DE CONTROL

Una vez que fue identificado y analizado el problema, se definieron las variables de la etapa de lavado, siendo en este caso el flujo en la adición de agua e hidróxido de sodio, el nivel del tanque de recirculación, el pH de la solución que retiene los gases contaminantes y el nivel de la solución agotada. Por otra parte se precisaron el tipo de control en las piletas acumuladoras lo que arrojó una supervisión de sus niveles y el del tanque de peróxido de sodio. Para el diseño de los lazos de control se investigó sobre los diferentes criterios de control existentes que se adaptan a las necesidades presentes en el proceso, lo cual permitió definir el tipo de control, acción del controlador, y los esquemas de control necesarios para hacer de este sistema, un sistema óptimo en todas sus operaciones.

3.3.3 FASE 3: DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA PROPUESTO PARA LA REINGIENERÍA DEL PROCESO

Con el objetivo de brindar seguridad a través del diseño apropiado para el control de este proceso, se tomó en cuenta el nivel de los controles básicos, alarmas y eventos presentes, y la supervisión de los operarios para hacer de este proceso un sistema fiable dentro de todas las especificaciones de calidad. De acuerdo al análisis de funcionamiento de la planta de sulfonación y del sistema de control diseñado, fue necesario determinar todas las variables existentes y requeridas para proporcionar un proceso continuo que sea aceptable en función a su respuesta, y que garantice la integridad de la planta.



3.3.4 FASE 4: PROGRAMACIÓN Y ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS

Fue necesario correlacionar las variables con el instrumento asociado para su estudio y selección, se identificaron los parámetros de cada equipo los cuales fueron resultantes de cálculos y pruebas, estos cálculos y pruebas determinaron el tipo de material y el conexionado del instrumento, ya que se tomó en cuenta el ambiente a que interactúa la planta y la materia prima utilizada. Luego se incorporó el dispositivo que actúa como controlador que para este caso es un PLC Siemens S7 1200, por ser un requerimiento de la empresa. De esta manera se diseñó el programa que se le cargó al PLC; según los lazos de control diseñados anteriormente. Se programó en el lenguaje Ladder tomando en cuenta el nivel de desempeño que posee y se ajusta a las necesidades de diseños fijadas. Se usó el software Siemens STEP 7 Basic (Totally Integrated Automation Portal V10.5) para la configuración y programación del microcontrolador.

3.3.5 FASE 5: DISEÑO DE SISTEMA ELÉCTRICO (CONTROL Y FUERZA) NECESARIO PARA EL PROCESO

En función a la instrumentación requerida, la cual desempeña un rol vital para los sistemas industriales, fue necesario el estudio del espacio físico para el diseño y ubicación del tablero, la alimentación eléctrica y el conexionado desde el tablero hasta cada uno de los dispositivos o instrumentos en campo. Se realizó un grupo de planos donde se deja por asentado el sistema eléctrico del proceso de lavado de gases, lo cual le garantiza al personal técnico especializado que podrá intervenir el proceso para su mantenimiento o solventar algún desperfecto que ocurra en los equipos, pudiendo identificar las señales que lo componen y su ubicación.



3.3.6 FASE 6: DESARROLLO DE INTERFAZ GRÁFICA

Se diseñó una interfaz gráfica que permite visualizar, monitorear, supervisar y registrar todas las acciones del proceso de lavado de gases y procesamiento de sustancias descargadas, este software llevará a cabo en tiempo real el monitoreo de cada una de las variables existentes, también le proporcionara a los operadores en turno las condiciones de trabajo en las cuales estará operando el proceso. Se realizaron cálculos para establecer una relación eficaz entre las variables y los dispositivos que las supervisan, también para conocer las condiciones físicas de las mediciones a las que estarían sujetas y de esta manera obtener y aportar información importante que anuncie a los operadores acerca de una condición que indique si una variable ha excedido sus límites fijados y pueda requerir intervención. De tal modo se garantizó que el desarrollo grafico comprendiera todo el proceso, sus características y también sus alarmas. Para poder visualizar la capacidad del tanque y de las piletas, se investigó sobre los cálculos matemáticos necesarios que determinen el volumen de cada contenedor, tomando en cuenta su forma geométrica y así de esta manera se reflejará en la interfaz gráfica el nivel de cada tanque. En disposición al desarrollo del software se podrá simular de manera gráfica el proceso de lavado de gases (SO_2 Y SO_3) y la transferencia de soluciones agotadas. Se podrán cuantificar las variables por medio de la lectura del instrumento asociado a la misma.



CAPÍTULO IV

MARCO OPERACIONAL

El presente trabajo especial de grado, tiene como objetivo principal el diseño del sistema de control para la neutralización de los gases (SO_2 y SO_3) y procesamiento de los ácidos y aditivos descargados en planta de sulfonación, el cual se logró mediante el desarrollo de las fases descritas en el marco metodológico (capítulo III), que se explica detalladamente a continuación.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Para determinar las variables presentes en el proceso de sulfonación y específicamente en la etapa de neutralización, es necesario conocer la estructura de la planta de sulfonación y todos los procesos que se llevan a cabo de manera detallada.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE SULFONACIÓN O SO_3

Consiste en un sistema continuo para obtener productos derivados de la reacción de trióxido de azufre (SO_3) con diferentes compuestos orgánicos. La diversidad de productos depende directamente de la materia prima utilizada, la cual es una materia de tipo orgánico, que puede ser un alcohol láurico, alcohol láurico etoxilado, alquilbenceno lineal o ramificado, que según su reacción y las características de las variables de proceso y factores críticos tales como presión, temperatura, concentración y solución neutralizante se determina el tipo de producto a obtener.

La producción de SO_3 consiste en un principio, en quemar el azufre líquido en exceso de aire seco, para producir SO_2 , luego éste es llevado a un convertidor catalítico, también en presencia de aire seco (en exceso), donde reacciona con el oxígeno del aire para formar gas SO_3 . En este punto cada planta se divide en dos tramos donde alternan etapas diferentes. Una sección es la de **absorción de SO_3**



donde se forman ácidos sulfúricos de alta concentración y la otra es la de **sulfonación neutralización** donde se obtienen los productos finales. Los gases producidos en cada una de estas etapas convergen en un sistema de **tratamiento de efluentes** para ser evacuados luego a la atmosfera. Durante y entre cada una de estas etapas se controlan las variables del proceso para evitar resultados indeseados y posibles desviaciones.

El sistema consta de dos unidades independientes de producción continua, Planta 1 y Planta 2, ésta última más nueva pero con los mismos fundamentos teóricos y prácticos de la primera.

La planta # 1 fue instalada en el año 1978 con tecnología alemana y capacidad de 5000 Ton/año de materia activa. Esta planta viene funcionando con gran eficiencia y actualmente está destinada a la producción de ácidos sulfónicos.

A esta planta se le han venido haciendo varias modificaciones para su optimización, una de ellas fue la instalación de un absorbedor de SO_2 , lo que mejora enormemente la limpieza de los gases que van al ambiente, cumpliendo así todas las normativas exigidas por la legislación vigente en materia ambiental. Otro cambio importante fue la eliminación del proceso de fusión de azufre sólido. En un tanque provisto de serpentines de calefacción, se fundía el azufre sólido, luego pasaba a un tanque de pesada y era dosificado al horno; todo esto fue suplido por un tanque de almacenaje de azufre líquido, y el sistema de dosificación, cubierto de una camisa donde circula vapor a una temperatura y presión necesaria para mantenerlo en este estado.

La planta # 2 fue inaugurada el 1° de abril de 1991 y creada para satisfacer la creciente demanda del mercado, llegando a ser, en algún momento, la planta de proceso de sulfonación más grande de la empresa fuera de Alemania.



4.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO ⁽¹⁶⁾

En el Anexo A se detalla el proceso de sulfonación, mediante los planos de instrumentación del proceso. Es aquí donde se identifican todos sus lazos y elementos que conforman la planta.

4.1.2.1 PRODUCCIÓN DE GAS SO₃.

a.- Sistema de dosificación de azufre.

El azufre es traído a la planta por medio de cisternas, en fase líquida, y es almacenado en un tanque cilíndrico de capacidad aproximada de 60 Ton. Este azufre que viene generalmente de Plantas de Desulfuración de Cardón y Amuay, es mantenido en estado líquido por medio de intercambio de calor con un sistema de vapor y condensado que circula por una camisa que recubre todo el recorrido del azufre, a una temperatura alrededor de los 300°C y a una presión de vapor necesaria de 4 a 4.5 bar, manteniendo el azufre líquido a una temperatura entre 130 y 140°C. Luego es bombeado desde el tanque (que también está cubierto de una camisa de vapor), por medio de un sistema de dosificación, pasa a través de un filtro, luego pasa por un sistema de dos bombas dosificadoras (en paralelo) que trabajan de forma alterna, donde es conducido hasta el horno, para ser quemado con aire seco de proceso en exceso.

En esta sección del complejo salen repartidos los flujos de azufre líquido para cada planta. El azufre que va directamente a cada horno es controlado por un medidor de flujo.

b.- Obtención de aire de proceso.

El aire de proceso es obtenido de la atmósfera por un filtro y es comprimido por medio de un compresor de tipo tornillo hasta una presión de 0.9 y 1.6 bar (presión manométrica) de acuerdo a la caída de presión a través de la planta.



El aire comprimido, antes de entrar al secador, pasa por un enfriador de dos etapas: la primera, le disminuye la temperatura con una corriente de agua que viene de la torre de enfriamiento; en la segunda etapa ese mismo aire es enfriado con una corriente de agua que proviene del *chiller*, que lo lleva de 120°C a 15°C para eliminarle la humedad por el condensado. El aire pasa hasta uno de los adsorbedores que está relleno de sílica gel (un compuesto en forma de perlas azules que adsorbe la humedad y la retiene). En este punto la humedad es removida y se seca el aire hasta una temperatura de rocío de (-80°C).

Mientras esto ocurre en uno de los adsorbedores, el otro adsorbedor es regenerado con aire caliente que proviene del sistema de enfriamiento de gas SO₃ y SO₂ que debe venir con una temperatura mínima de 200°C, si no se alcanza esta condición se enciende automáticamente un calentador de aire eléctrico. También durante la puesta en marcha, esta etapa sirve para calentar el aire de regeneración. Esta etapa de calentamiento dura aproximadamente dos horas y media

Posterior al calentamiento sigue una etapa de enfriamiento que dura aproximadamente una hora y media, que consiste en el paso de aire, recirculando el que queda encerrado en la unidad o sistema de enfriamiento, haciéndolo pasar por un intercambiador de calor que opera con el agua de la torre de enfriamiento, luego es impulsado por un soplador hacia otro intercambiador de calor similar, recirculándolo de nuevo por la unidad, para darle conformidad antes de su uso.

Es muy importante que todos los accesorios y equipos funcionen adecuadamente para evitar que entre humedad al sistema, ya que ésta provoca daños severos en la producción y en los mismos equipos, produciendo ácido sulfúrico (que es muy corrosivo) que obstruye las válvulas además de dañar la producción, teniendo que parar la planta. Para evitar esto, las válvulas que permiten la entrada y salida de aire a las unidades de secado son controladas automáticamente.



c.- Combustión de azufre.

Como todas las reacciones de azufre son exotérmicas, durante el arranque de la planta, el horno es precalentado hasta una temperatura aproximada de 450 a 470°C, mediante un quemador (resistencia) externo que se le conecta al sistema (planta 1) y uno interno en caso de planta 2, para así lograr cuando empiece a desprenderse calor de la reacción, una temperatura entre 600 y 700°C, óptima para la conversión de todo el azufre líquido a gas SO₂.

Este azufre líquido que proviene del sistema de almacenamiento, es introducido al horno. En el caso de la planta 1, es un horno con ladrillos refractarios dispuestos en forma de pirámide que al ponerse en contacto con el azufre líquido lo evaporan luego es quemado con parte del aire (seco) de proceso. La planta 2 posee un sistema de atomización, que dispersa el azufre que se pone en contacto con el aire y los ladrillos refractarios para ser quemado de forma similar.

Un 40-50% del aire del proceso se dirige, calentado previamente, al horno, otra porción se dirige al convertidor catalítico para ser introducido en cada etapa para que reaccione y además enfríe, y el restante se introduce a la salida del convertidor para diluir al gas SO₃.

d.- Enfriamiento del gas SO₂.

El horno trabaja con exceso de aire, que junto a las condiciones de proceso se logra una conversión de casi un 100%.

A la salida del horno, el SO₂ pasa por un sistema de intercambio de calor de tamaños diferentes. La planta 1 posee un intercambiador de doble paso de tubo y carcasa, igual que planta 2 pero de menor tamaño.

El SO₂ es enfriado de 680°C a aproximadamente 400 y 450°C, en ambas plantas con aire de regeneración o del soplador.



e.- Conversión de SO_2 a gas SO_3 .

Antes de entrar al convertidor, el SO_2 es previamente filtrado para retener cualquier partícula de ladrillo del horno que contamine el gas.

El convertidor está relleno de un catalizador: pentóxido de vanadio (V_2O_5), el cual está dispuesto en tres etapas de relleno, y cubiertas con una perla de cuarzo para una mejor distribución del aire caliente. Los rangos de temperaturas por etapas en el convertidor catalítico se pueden observar en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Rango de temperaturas por etapas en el convertidor catalítico.

| | Etapa N°1 | Etapa N°2 | Etapa N°3 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatura de entrada (°C) | 400-450 | 450-480 | 420-430 |
| Temperatura de salida (°C) | 580-600 | 490-520 | 420-430 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

El catalizador presenta un color amarillo ocre y forma de pequeños cilindros distribuidos de forma aleatoria sobre tres platos reticulados. Entre cada plato se inyecta aire de proceso fresco para la oxidación del SO_3 , además de controlar la temperatura de la reacción que es bastante exotérmica.

En este proceso de absorción, la mayor conversión se debe llevar a cabo en la primera etapa, donde se produce el mayor incremento de temperatura, luego que es enfriado con aire, pasa al segundo plato donde casi termina la conversión y aumenta más la temperatura por la reacción de oxidación, para luego ser enfriado; por ultimo pasa al tercer plato, donde el incremento de temperatura es mínimo, incluso puede hasta descender, y la conversión logra un 98%.



El pentóxido de vanadio es un catalizador bastante efectivo, y si se opera cumpliendo los requisitos mínimos, se evita un envenenamiento y puede durar hasta cinco años sin ser cambiado.

f.- Enfriamiento de gas SO₃

Al salir del convertidor, el gas sale a una temperatura aproximada de 430°C y se dirige a un sistema de enfriamiento de dos intercambiadores de calor, pero antes es diluido con aire de proceso hasta un 2 o 3% en volumen para controlar su actividad.

El primer intercambiador de calor es uno de tubos que enfría con aire de regeneración hasta una temperatura de 300°C. El aire utilizado aumenta su temperatura por la absorción de calor, hasta unos 240°C, que será empleado luego en la regeneración de las unidades de secado (en el caso de que no alcance las temperaturas necesarias, se activará el calentador eléctrico automáticamente).

El segundo es un intercambiador vertical en (U) que trabaja con agua de la torre de enfriamiento y desciende la temperatura del gas hasta unos 40°C aproximadamente. Este enfriador está dispuesto en esta posición para que el posible ácido sulfúrico que se condense, pueda fluir al eliminador de gotas directamente.

g.- Eliminador de gotas

A su entrada, se separa por medio de una malla (tamiz), el gas de las gotas de óleum que se condensan en el intercambiador vertical, para evitar la posible formación de ácido sulfúrico durante el proceso que pueda ocasionar deterioros en el equipo y productos indeseados.

El óleum es un ácido muy concentrado, que logra valores hasta 126% de ácido sulfúrico fumante, que puede dañar u obstruir las tuberías.



4.1.2.4 ABSORCIÓN SO_3

Este proceso solo se lleva a cabo en caso de arranque o parada de la planta, o eventualmente en periodos de ajustes.

Al salir del eliminador de gotas, el flujo de gas puede tomar dos direcciones a diferentes procesos: absorción y sulfonación/sulfatación.

El proceso consiste en el paso de gas SO_3 por una columna empacada donde es absorbido por una corriente de ácido sulfúrico de recirculación y se deposita en un tanque donde se le mide la conductividad. La concentración es reportada por el cálculo del conductímetro, y se controla con una válvula que permite el paso de agua a la misma columna. Esta concentración debe oscilar entre 97 y 99%.

El ácido sulfúrico es recirculado, pasando por un intercambiador de calor para absorber el calor desprendido de la reacción con el agua, proveniente de la torre de enfriamiento y es movido por una bomba. El gas que no es absorbido, pasa a la unidad de tratado de efluentes, para ser limpiado y luego enviado a la atmósfera, después de pasar por un filtro para retener las posibles gotas de ácidos que puedan estar suspendidas en él.

La caída de presión a las entradas de los procesos de absorción y de sulfonación son similares, por ello no se alteran las condiciones de los procesos ni los productos.

4.1.2.3 SULFONACIÓN/SULFATACIÓN

a.- Reactor de película

Una vez que no esté operando la etapa de absorción, el gas SO_3 pasa a la etapa de sulfonación/sulfatación donde comienza el proceso productivo.

El gas es filtrado para retener el posible ácido líquido, luego entra directamente a un reactor, que varía sus características según la planta, ahí el SO_3 es mezclado con



la materia prima, que puede ser; según el tipo de producto final que se desee obtener: alquilbenceno, dodecibenceno, alcoholes lauricos etoxilados.

La materia prima está almacenada en un parque de tanques, para ser dosificada al reactor mediante dos sistemas de tuberías, donde son filtradas por filtros alternos que cambian automáticamente cuando se satura uno de ellos, mientras se regenera el otro.

Sus caudales son controlados según la viscosidad mediante el paso por un intercambiador de calor y la aplicación de agua abundante (caliente o fría según el caso) y es bombeada al reactor de película.

En el reactor la materia prima y el SO_3 son mezclados intensamente y reaccionan desprendiendo calor, el cual es controlado mediante el enfriamiento de estos dos componentes. Además se recircula producto fresco de la reacción, proveniente del ciclón, en una cantidad de ocho o nueve veces mayor a la que se va produciendo, que es previamente enfriado en otro intercambiador de calor. También se le adiciona agua de enfriamiento proveniente del chiller, para que intercambie calor dentro del reactor (esta agua no reacciona ya que no se mezcla con los otros componentes).

El producto de esta reacción es pasado por la parte inferior al ciclón para que se separen las fases de gas y el líquido. La cantidad de materia prima, y la de producto sulfonado son medidas y controladas por sistemas automatizados.

Estos reactores, aunque son de diferentes tecnologías, son muy eficientes y de alta conversión.

b.- Ciclón

El producto del reactor, entra al ciclón, donde es separada la fase líquida de la gaseosa por acción de una presión de vacío creada por la chimenea de tiro inducido, a



través de la cual fluyen los gases hacia el tratamiento de efluentes, mientras que el ácido sulfónico líquido acumulado en la parte inferior del ciclón se bombea de regreso y entra al reactor pasando a través de un intercambiador de calor mediante una bomba. El intercambiador de calor es de paso de tubos en (U), que opera con agua de la torre de enfriamiento y absorbe un poco de calor desprendido de la reacción para enfriar dentro del reactor. Esta corriente representa el 80% del flujo de salida del ciclón, del 20% restante, una parte pequeña se dirige de regreso al ciclón para humedecer las paredes y evitar la formación de sulfatos en las mismas. El resto, impulsado por la bomba de engranajes, se dirige bien sea a los tanques de post-reacción, si el producto terminado es ácido sulfónico, o a la etapa de neutralización, si el producto son sulfatos.

El nivel del ciclón permanece constante, aproximadamente a $\frac{1}{3}$ de su capacidad máxima de volumen. Para ello se emplea un controlador de nivel, que envía información a un controlador de flujo, ajustando las revoluciones de la bomba de descarga.

c.- Tanques de post-reacción e hidrólisis de los anhídridos

El ácido sulfónico que sale del ciclón, tiene solo una conversión de 95 a 97% y necesita aún una post-reacción de unos veinte minutos para completarse. Para este fin, el producto se pasa por los tanques de digestión. En el mezclador siguiente, una bomba dosificadora agrega agua al producto con el fin de eliminar los anhídridos formados.

En el caso de estar produciendo laurilsulfatos o lauriletersulfatos los tanques de digestión no se colocan en línea.

4.1.2.4 NEUTRALIZACIÓN

Los ácidos sulfónicos o sulfoácidos se neutralizan para formar los laurilsulfatos o lauriletersulfatos. El agente neutralizante, que puede ser soda cáustica (NaOH) o



una solución de amonio según sea el producto deseado, es impulsado por bombas, se diluye con agua antes de entrar a la bomba de mezclado, donde el ácido sulfónico es neutralizado. El pH de la mezcla resultante es amortiguado con una solución buffer de ácido cítrico del 10 al 20% para pasar, impulsado por una bomba, a un mezclador estático, donde se homogeneiza la mezcla.

Durante este proceso, se controlan las variables de proceso, los flujos de los productos y los aditivos para la neutralización. En el caso de producir laurilsulfatos o lauriletersulfatos líquidos, se recircula y se pasa por un intercambiador de calor de placas, que opera con agua de torre de enfriamiento y se controla su pH .

En el caso de laurilsulfatos o lauriletersulfatos en pasta, adicionalmente se hace necesario la utilización de bombas que ayuden a trasladar las pastas.

La solución buffer que amortigua el pH , se prepara en un tanque y es dosificada al sistema por medio de una bomba.

4.1.2.5 TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Los gases residuales de los diferentes procesos de la planta van a parar a una fase de limpieza y depurado para poder ser liberado a la atmósfera. Tanto el gas que no es absorbido en la etapa de absorción con ácido sulfúrico, como el gas que es separado en el ciclón de la etapa de producción, pasan por medio de un sistema de tuberías controladas por válvulas, al filtro electrostático de cada planta y luego al absorbedor de SO_2 para ser liberado al ambiente.

a.- Electrofiltro o Precipitador Electrostático ESP

El gas proveniente de las diferentes etapas entra por la parte inferior del electrofiltro que opera con una carga de 40000 volts y 10 miliampers. Allí pasa a través de un plato perforado, luego asciende por diferencia de presión y se encuentra con un campo electrostático, producido por unos electrodos verticales, que atrae hasta



adherir las partículas sólidas y líquidas, que estén suspendidas en el gas, para luego ser recolectadas en el fondo, que presenta una forma de embudo para facilitar el drenaje.

Para controlar la caída del ácido recolectado, se pasa aire caliente filtrado proveniente de la atmósfera, alrededor de los tubos colectores de ácido, debido a que éste suele ser muy viscoso y se dificulta su drenaje a baja temperatura.

b.- Absorción de SO₂

A pesar de la eficiencia de los procesos y la alta conversión de la planta, es inevitable la presencia de unas partículas remanentes de SO₂ y SO₃ en ésta última etapa del proceso.

El gas proveniente del electrofiltro, entra al absorbedor de SO₂ por su parte inferior. Sube a través de la torre empacada con un relleno y se pone en contacto con una solución alcalina que lo neutraliza. Ésta es una solución de soda cáustica, que es preparada en un tanque aparte controlando su pH con la adición de compuesto base en función a la concentración requerida por el proceso en curso; luego se pone a circular por medio de una bomba de recirculación, introduciéndolo por la parte superior de la torre donde es rociada sobre el empaque para que se mezcle en contracorriente con el gas. Allí se forma por reacción sulfito de sodio que luego se oxida para formarse sulfato de sodio (Na₂SO₄).

La solución alcalina de soda cáustica se va consumiendo a lo largo de la reacción y va bajando su concentración, por lo tanto su pH; entonces se activa una alarma y la solución es removida inmediatamente. El gas ya procesado sale a la atmósfera con un mínimo de concentración de sustancias tóxicas (en su mayoría sales sulfatadas) cumpliendo con todas las normas nacionales.

4.1.3 ESTRUCTURA DE LA ETAPA DE ABSORCIÓN DE SO₂ y SO₃

La unificación de SO₂ y SO₃ conlleva a evitar la contaminación ambiental. En esta etapa, los gases residuales del proceso son absorbidos por una solución de hidróxido de sodio (NaOH).

4.1.3.1 Tanque de recirculación: es un tanque cilíndrico vertical con capacidad volumétrica nominal de 1358 litros, los cuales no serán ocupados en su totalidad por la solución, consecuente a desahogo por factores de rebose. Los reactantes necesarios para alcanzar la concentración deseada (valor de pH entre 9 y 11) son Hidróxido de Sodio al 50% y Agua cruda, ambos provienen del patio de tanques, donde se encuentran todas las sustancias químicas para los distintos procesos. En la figura 4.1, se observar el tanque de recirculación.



Figura 4.1: Tanque de recirculación.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2 Indicador de nivel de cristal: en la etapa de lavado, solo el tanque de recirculación posee indicador de nivel, el cual consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque de recirculación mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo, para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal, y una de purga. Por otro lado, el cristal se encuentra dentro de una protección

de acrílico el cual impide ruptura por contacto, también es necesario precisar que este indicador es de tipo local y le facilita a los operadores en turno definir la cantidad de reactante a ser suministrada al tanque para generar la solución que retiene los gases dentro de la torre de absorción. En la figura 4.2, se muestra el indicador de nivel de cristal.



Figura 4.2: Indicador de nivel de cristal.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3 Bomba centrífuga: en el proceso de lavado de gases se dispone de una bomba centrífuga para la recirculación de la solución, donde el recorrido del fluido va desde el tanque hasta toda la cavidad de la torre de absorción. Su instalación viene prevista de forma horizontal, en la succión posee un conexionado a brida con una dimensión de 3” y para el impulsor también dispone de conexión a brida, más sin embargo con una dimensión menor, lo cual permite lograr una altura considerada para la alimentación de la torre de absorción. En la figura 4.3, se muestra la bomba centrífuga junto a la conexión que posee.



Figura 4.3: Bomba centrífuga.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.4 Medidor o analizador de pH: en la etapa de lavado de gases existe un lazo de control a cadena abierta, donde se dispone de un sensor-transmisor de pH , el cual mide la alcalinidad de la solución, posee salida de 4 a 20 mA y se encuentra actualmente en estado operativo. A su vez, el transmisor es capaz de mostrar en su pantalla el valor medido de la variable. Este dispositivo se muestra en la figura 4.4. El sensor que posee este analizador es de tipo electrodo, para su mantenimiento es necesario aislar las tuberías de la circulación de flujo.

Es primordial considerar el valor que tomaría la variable pH en el proceso, para ello fue necesario realizar estudios empíricos para definirlo, donde se obtuvo que para un lavado y una retención óptima de los gases es necesario que el pH esté entre 9 y 11. También se definió el valor que tomaría esta variable para considerar una solución agotada o con poca concentración base, lo que arrojó que será un valor inferior a 7.

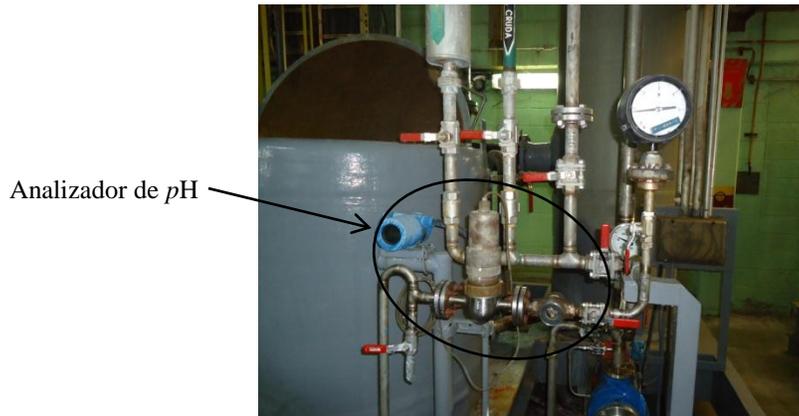


Figura 4.4: Medidor o analizador de pH.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.5 Medidor o transmisor de presión diferencial: en la etapa de lavado, este dispositivo es capaz de medir la presión interna de la torre de absorción, posee una salida de 4 a 20 mA, teniendo una relación proporcional con las unidades de presión en valores que van desde 0 a 25 mbar. Estos valores se obtuvieron por condiciones del proceso y por estudios empíricos. En la figura 4.5, se muestra el transmisor de presión, junto a su ubicación.

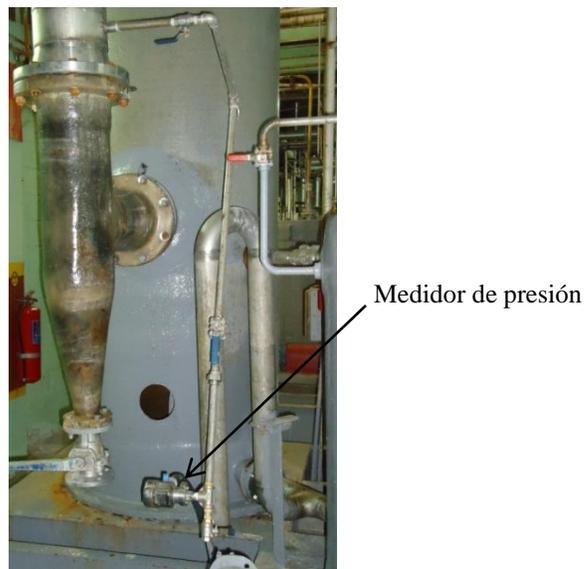


Figura 4.5: Medidor o transmisor de presión diferencial.

Fuente: Elaboración propia.



Luego de la interacción practica con el proceso, se obtuvo que para una presión superior a 16 mbar no ocurriría una retención óptima de los gases, producto de la acumulación de espumantes y abrasivos que se adhieren al relleno y paredes de la torre de absorción, fue por ello que esta variable se consideró un punto de seguridad y a la vez de redundancia para el lazo de control a ser diseñado.

4.1.3.6 Adición de reactantes: en la etapa de lavado de gases, es fundamental la elaboración de una solución alcalina la cual absorbe los gases por frotamiento o contacto en contracorriente. Actualmente la empresa crea dentro de ellas una a base de Hidróxido de Sodio al 50% de concentración, para ello se le suministra manualmente al tanque de recirculación por medio de tuberías de acero inoxidable de 1” de diámetro, la cantidad requerida para alcanzar la concentración necesaria o fijada por estudios realizados por los especialistas en el área química que laboran en la empresa. Por ser una concentración inferior a la que se dispone como materia prima, esta se alcanza mezclándola con agua cruda para disminuir su molaridad. En la figura 4.6, se observan las tuberías que incorporan los reactantes al tanque para elaborar la concentración, cabe mencionar que este proceso es manual, mediante válvulas de paso.

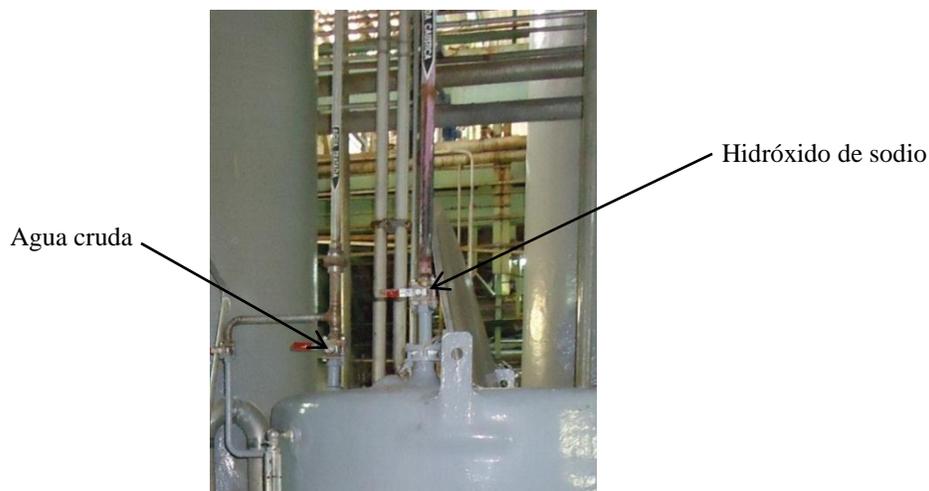


Figura 4.6: Adición de reactantes.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.7 Torre de absorción: la absorción de los gases SO_2 y SO_3 por medio de la solución alcalina aplicada en contracorriente es el proceso fundamental de esta etapa y ocurre dentro de la torre que se observa en la figura 4.7. En esta operación se separan uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de cilindros huecos que se encuentran internamente dentro de la torre, cuyo diámetro van de 6 a 100 mm o más, conocidos como anillos de Rasching, estos son de porcelana industrial altamente comprobados para su contacto con la mayoría de líquidos y sustancias químicas.



Figura 4.7: Torre de absorción.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.8 Contador o medidor de flujo: medidor de flujo marca schlumberger/actaris modelo neptune, este dispositivo fue puesto en marcha después de estudios realizados por el personal de mantenimiento e ingeniería de la empresa

más no cumplió lo requerido lo cual era garantizar la concentración en la mezcla de solución o en la incorporación de nuevo compuesto base, no se encuentra operativo actualmente. Para alcanzar la concentración deseada se requiere la adición necesaria de reactantes, es por ello que se contabilizaba la cantidad de hidróxido de sodio al 50% por medio de este equipo, pero una vez el proceso tomase su curso generaba conflicto con la cantidad nueva a ser agregada ya que no tenía otro punto de control o comparación para dar la proporción exacta de base. La figura 4.8, muestra el contador o medidor de flujo schlumberger/actaris modelo neptune.



Figura 4.8: Contador o medidor de flujo schlumberger/actaris modelo neptune.

Fuente: Elaboración propia.



4.1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

De acuerdo con el análisis realizado en el proceso de sulfonación y exponiendo la problemática existente en la etapa de tratamiento de efluentes, específicamente en la neutralización de gases (SO_2 y SO_3), se pudo conocer que existen distintas variables en el proceso de lavado de gases que deben tener consideración particular para el diseño del sistema de control. Principalmente la variable a controlar es el pH de la solución neutralizante, pero el mismo depende de la concentración o razón de mezcla entre el H_2O (agua) y NaOH (hidróxido de sodio), es por ello que se desea controlar la relación a la cual se establece la mezcla para garantizar una concentración idónea en la solución.

Por otra parte se determinó que es necesario controlar el nivel del tanque de recirculación, de esta manera se podrá establecer una inspección en la adición de reactivos a razón y la descarga de solución agotada (valor de pH menor a 7). Esto evitaría que la solución presente en el tanque se rebose y por consiguiente produzca vapores, los cuales puedan causar irritaciones severas en las vías respiratorias o quemaduras profundas en la piel de los operadores en turno e incluso del personal de mantenimiento que este en el área realizando labores preventivas o correctivas. Por último, se identificó la presión interna de la torre de absorción como presión diferencial, esta variable se consideró como punto de seguridad y a su vez de redundancia sobre las otras variables ya consideradas, ya que la misma puede definir si la solución se encuentra en condiciones óptima para ser usada en el lavado de gases. Es decir, al aumentar la presión interna en la torre de absorción, no ocurre una retención de los gases y ellos producen espuma al hacer contacto con el hidróxido de sodio.

Para la incorporación de la nueva etapa de tratamiento de sustancias descargadas del proceso de lavado de gases, fue necesario definir las variables presentes o que ameritan supervisión para optimizar la iteración entre ambas etapas.



Aquí fue necesario cuantificar la solución descargada para definir las variables a controlar y posteriormente la acción de control a aplicar, para ello se obtuvo que era necesario monitorear el nivel de las piletas acumuladoras de sustancias descargadas, esto permitió concluir que la variable a supervisar es el nivel de las piletas.

Luego de haber alcanzado el nivel máximo fijado en la pileta en uso, se le adicionara peróxido de sodio en proceso de una post-reacción, fue por ello que se requiere cuantificar y manipular el contenido de este reactante, se identificó que la variable a controlar sería el nivel, de esta manera se cuantificara la cantidad a adicionar.

4.2 DISEÑO DEL ESQUEMA DE CONTROL

En el diseño de los lazos de control, se estudió el procedimiento de operación de la etapa de lavado, esto con el fin de garantizar la incorporación de la fase de procesamiento de sustancias descargadas en la retención y neutralización de los gases. Se obtuvo que el sistema de llenado y vaciado del tanque de recirculación es de forma manual como se mencionó anteriormente, donde inicialmente el operador en turno adiciona los reactantes por medio de un control de nivel local y por la manipulación de las válvulas de paso, este indicador de nivel es el cristal cilíndrico que se encuentra ubicado a un costado del tanque de recirculación.

Para la adición de reactantes, siendo para la etapa de lavado agua cruda e hidróxido de sodio al 50%, no se aplica ninguna acción para su suministro, esto a razón de que la planta posee tuberías que se mantiene en recirculación constante para disponer de ellos en distintos puntos.

Una vez alcanzada la concentración fijada por el control manual aplicado en la elaboración de la mezcla, queda a disposición de los operadores monitorear el valor de pH que tome la solución que se dispone en contracorriente a la circulación de los gases en la torre de absorción. Para una solución virgen o recién creada el valor de pH



se encuentra superior a 11, posteriormente ocurre que este valor decrece a medida que la solución interactúa con las corrientes de gases que provienen del proceso de sulfonación; se considera que un valor de pH desfavorable sería inferior a 7, ya que la solución deja de ser alcalina para convertirse en un ácido. Este cambio en la solución crea impactos negativos sobre la emisión de los gases a la atmósfera.

Por otra parte, en el tratamiento de sustancias descargadas, una vez alcanzado el nivel máximo de la pileta en uso, se le dosifica peróxido de sodio (Na_2O_2) a la solución agotada (Na_2SO_4), esta reacción permite incorporar este recurso a los procesos continuos pertenecientes a la empresa. La adicción de peróxido de sodio (Na_2O_2), vendrá dada por gravedad, por lo cual no se requiere bombas para su transferencia. Para este caso se le incorpora al tanque de peróxido de sodio un control de nivel que permite supervisar la cantidad de materia prima disponible en esta etapa y a su vez cuantificar la cantidad a ser transferida a las piletas.

En continuación a lo expuesto anteriormente, se diseña el lazo de control de pH , en conjunto con el disponible y aplicado en el proceso actualmente, donde la elaboración inicial de la solución a una concentración fijada por los operadores en turno, vendrá cuantificando las variables de flujo presente en la adición de los reactantes, esto por medio de medidores y/o transmisores de flujo (FT) en las tuberías de los mismos. La cantidad requerida o necesaria la indicará el controlador (PLC) y por consiguiente condicionará las válvulas (apertura y cierre) en función a lo exigido, para así alcanzar los valores fijados por el proceso. También se incorpora un control de nivel (LT) sobre el tanque de recirculación, de esta manera se podrá supervisar el llenado y vaciado, con el fin de prever un rebose, luego de que la solución se encuentre en un punto donde no retenga los gases, debe ser descargada para procesar y cargar nuevo compuesto de partida permitiendo así alcanzar una solución óptima en sus características y brindar un punto de operación considerable conforme a lo exigido por la planta de sulfonación. El esquema de control se visualiza en la figura 4.9.

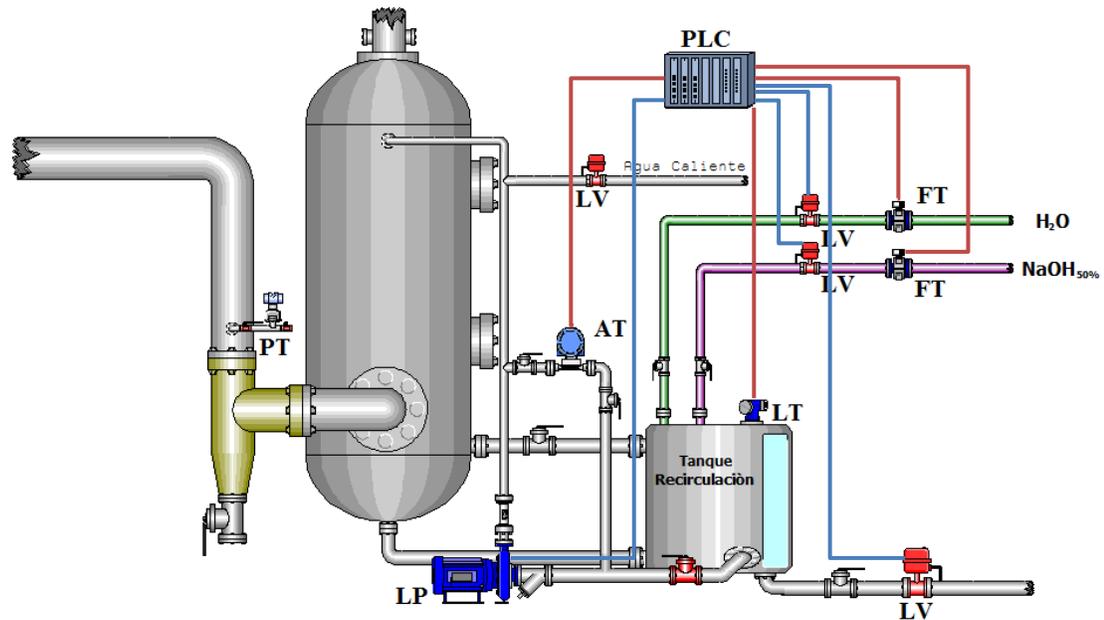


Figura 4.9: Esquema de control de pH

Fuente: Elaboración propia

Se desea establecer un valor de pH que oscile entre 9 y 11, para ello debe existir el elemento controlador (PLC) capaz de mantener esta condición, será necesario programarlo e identificar el rango de comparación entre la variable procesada y las funciones aplicadas en el control. En el diseño del esquema de control expuesto no fue necesario establecer un control PID, debido a que la variable de pH comprende un rango de operación en la zona lineal, este comportamiento se puede observar en la curva de titulación o valoración de un compuesto base mediante la figura 4.10.

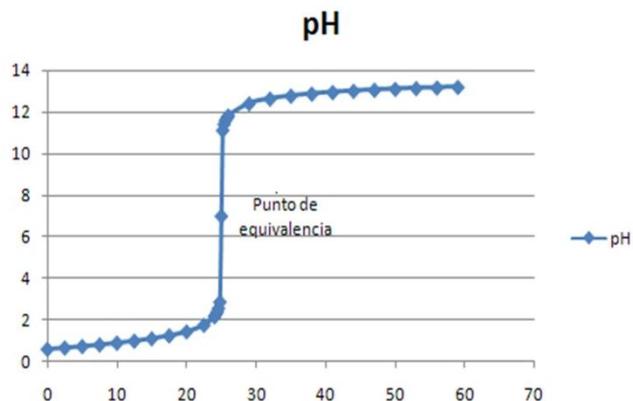


Figura 4.10: Curva de titulación o valoración de una base.

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar el proceso, se incorporó al diseño un elemento que es capaz de definir si existe o no una óptima retención de los gases, siendo este la presión diferencial de la torre de absorción, este lazo de control se encarga de supervisar la presión interna. En presencia de aditivos en la pared de la torre y los elementos de relleno, se elevará la presión e indicará que no se está aplicando una solución con características correctas a la corriente de gases. En la figura 4.11, se muestra el lazo de control que comprende el medidor o transmisor de presión (PT), junto a los demás elementos que comprenden el proceso.

Se acota que este instrumento que supervisa la presión interna existe in situ y está operativo, el cual se incorporó al desarrollo de esta propuesta.

Se incorpora el control sobre la adición de agua caliente en la etapa de lavado, específicamente en la recirculación de solución, esto con el fin de controlar el lavado o barrido de aditivos adheridos a las paredes y rellenos de la torre de absorción. Esta condición se verá en acción una vez que la presión interna de la torre haya superado su límite fijado, y las características de la mezcla de hidróxido y agua sean óptimas.

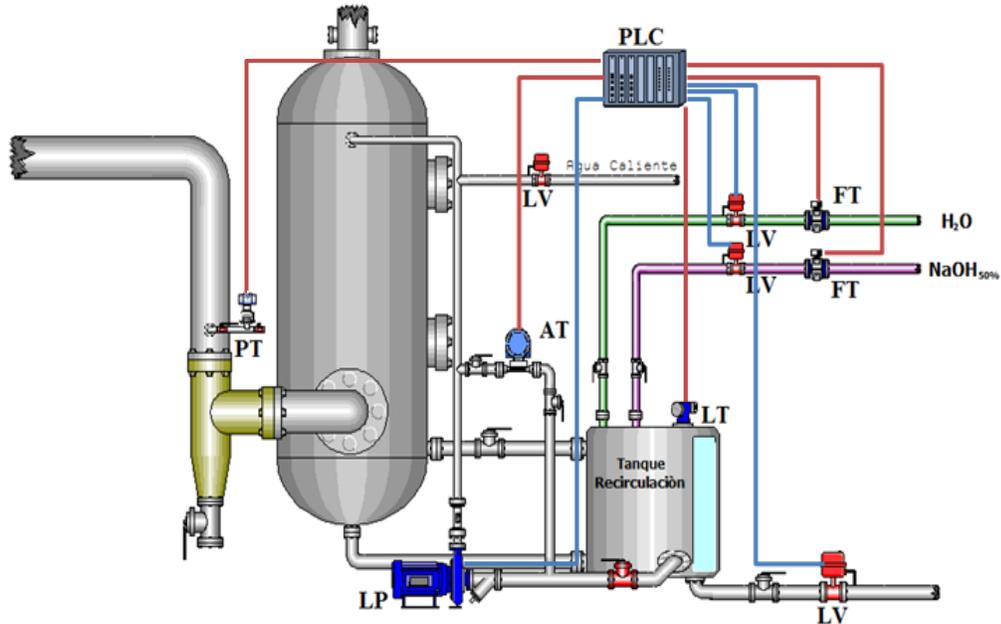


Figura 4.11: Esquema de control de presión.

Fuente: Elaboración propia

En relación a establecer un proceso óptimo y seguro, se incorporará al sistema de control un switch o interruptor de flujo (SF) como se muestra en la figura 4.12, que será capaz de proteger la bomba de recirculación, necesidad expuesta por la planta de sulfonación y el personal de ingeniería y mantenimiento. A su vez, este se enlaza con el sistema aplicado en el proceso de sulfonación, ya que se establece un control permisivo o interlock sobre la etapa principal que en su totalidad generan las corrientes de gases a ser procesadas.

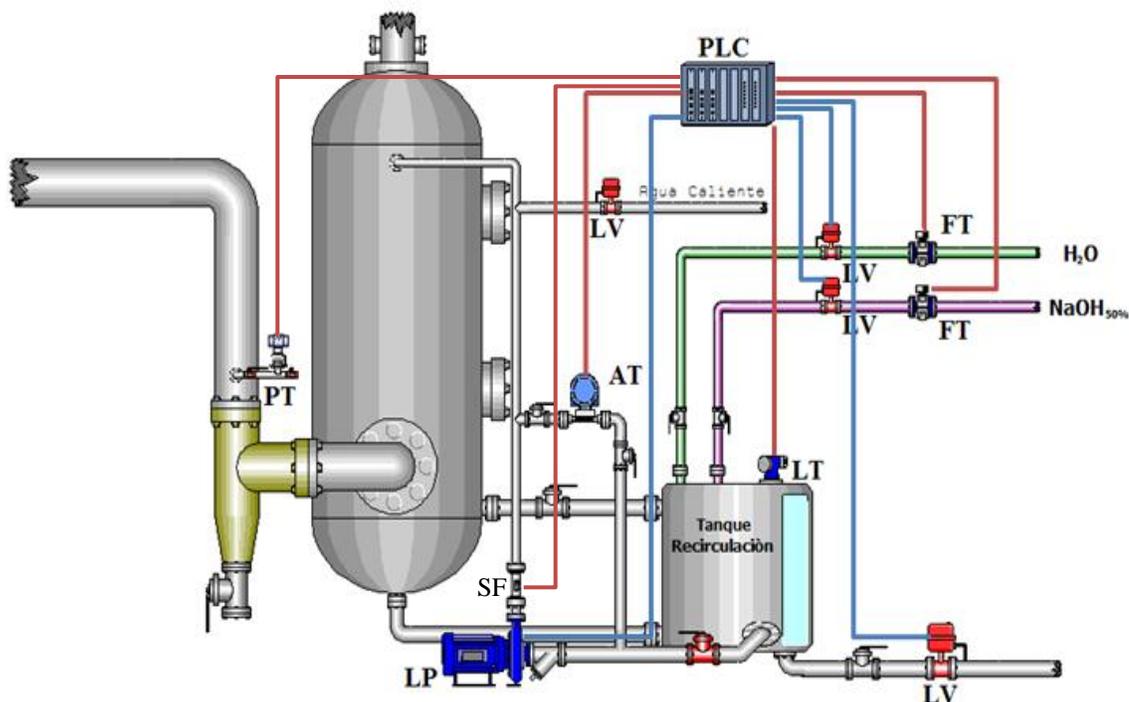


Figura 4.12: Esquema de control de pH, presión e interlock.

Fuente: Elaboración propia

En desarrollo al diseño de la estrategia de control, se incorporaron los lazos de la etapa de tratamiento de efluentes al sistema automatizado, para ello fue primordial identificar las variables a monitorear, dando como resultado que supervisar el nivel de las piletas (LT_1 y LT_2) es la fase fundamental del control a ser aplicado en esta etapa. Se tomó en cuenta la dosificación de peróxido de sodio (Na_2O_2), por lo cual se añade otro lazo de control (LT_3) el cual se encarga de cuantificar la cantidad de sustancia contenida en el tanque de este reactivo, de esta manera se podrá determinar por el volumen ocupado y la capacidad del tanque, la porción a dosificar luego de encontrarse llena una de las piletas y así, cumplir con el proceso de reacción. Estos lazos de control se muestran respectivamente en la figura 4.13 y figura 4.14.

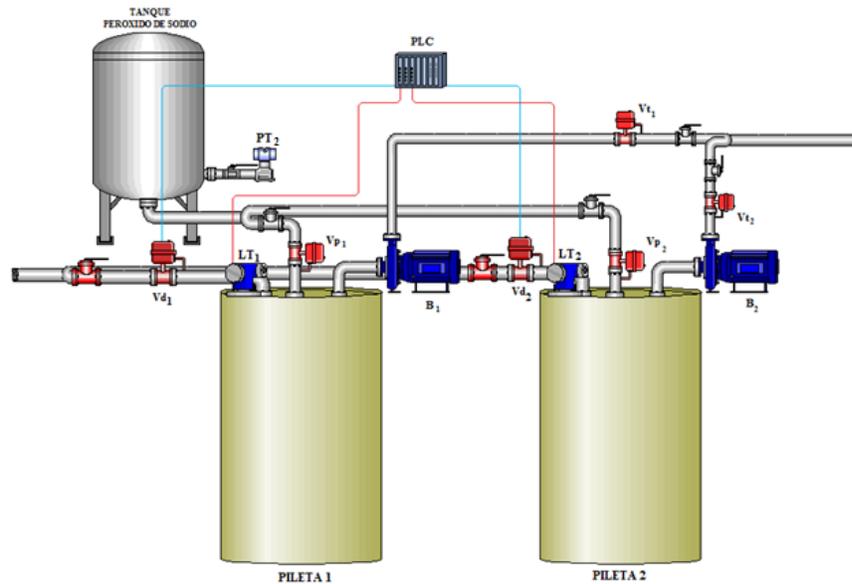


Figura 4.13: Esquema de control de nivel en piletas de solución agotada.

Fuente: Elaboración propia

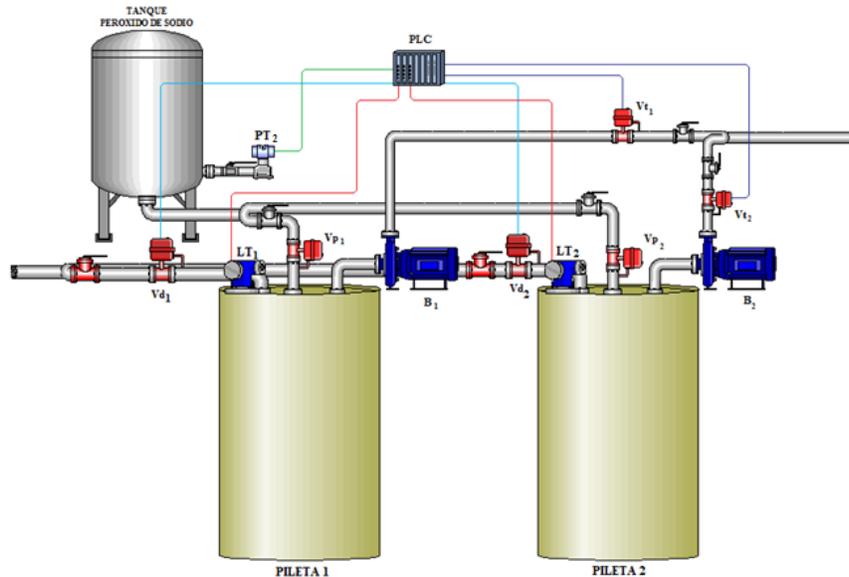


Figura 4.14: Esquema de control de nivel en tanque de peróxido de sodio.

Fuente: Elaboración propia

Los esquemas de control desarrollados fueron esquematizados y unificados, cumpliendo lo establecido en las normas ISA. Apéndice D, sistema propuesto.



4.2.1 MODOS DE OPERACIÓN

Automático: una vez seleccionado por el operador en turno este modo de trabajo, el sistema tendrá la capacidad de monitorear todas las variables existentes en el proceso. Esta selección se realiza en la interfaz gráfica, la cual se describirá más adelante, luego de haber indicado esta opción, se podrá introducir la concentración a la cual se dosificarán los reactantes, esto para garantizar una solución alcalina acorde a las exigencias del proceso. Por otra parte, el elemento controlador ejecutará las acciones asentadas en la programación, que serían las descritas a continuación:

Arranque automático, en esta acción el sistema comparará todas las variables con sus valores nominales fijados para garantizar un proceso óptimo, y estas tareas corresponden a comprobar que haya solución en el tanque de recirculación (de haber indicado por medio del transmisor de nivel presente), seguido a esto y en presencia de líquido se compararía el valor del pH medido con el set point o el rango fijado para el proceso de lavado, en caso contrario. En caso, de no haber solución se iniciaría la elaboración de la mezcla a la concentración indicada por el operador en turno, este proceso se lleva a cabo activando o abriendo las válvulas hasta que el flujo de agua cruda e hidróxido de sodio al 50% alcance el valor fijado por el controlador, posteriormente se encenderá la bomba de recirculación para darle comienzo al proceso continuo de producción de la planta de sulfonación.

Se realiza la supervisión de la presión interna en la torre de absorción, esto con el fin de prever la presencia de espumas y aditivos, que como ya se ha indicado aumentaría la presión interna y una vez superado un valor de 16 mbar se descargará parcialmente la solución existente en el tanque de recirculación, ya que ha ocurrido un cambio o reacción en la mezcla, dejando de ser alcalina para convertirse en un ácido. Una vez procedido con esta labor, el controlador fijará la nueva cantidad a ser agregada en función a la capacidad disponible en el tanque (hasta alcanzar su nivel máximo) evitando reboses.



Una mejora adicional que se incorpora a este proceso es el switch o interruptor de flujo, con este dispositivo se garantizará en todo momento una operación segura de la planta de sulfonación y la etapa de lavado, ya que de haber solución recirculando se mantendría operativa la planta, de no haber fluido, el controlador ejecutaría una acción de seguridad, donde desactivaría los compresores de aire, los cuales interactúan con el proceso que generan y desplazan los gases hacia los efluentes o etapa de neutralización.

Para la descarga de solución, no se requiere ningún elemento para su traslado desde el tanque hasta las piletas, esto se llevará a cabo mediante la activación y/o desactivación de válvulas solenoides tipo bola (apertura y cierre) que permiten el llenado de las piletas. Existe un control de nivel en estos contenedores para definir cual se llenará, una vez alcanzado el set point o nivel máximo se le dosificará por gravedad la cantidad de peróxido de sodio fijado por los especialistas químicos, este valor será indicado por los operadores. Luego de haber alcanzado las características de la mezcla posterior a la reacción, se transferirá hacia la etapa de secado activando la bomba correspondiente a la pileta, esto permitirá incorporar esta fase a un proceso productivo de la empresa y se estaría evitando las descargas de estas soluciones a ríos y canales.

Manual: será indicada por el operador en turno mediante la interfaz gráfica, lo cual deshabilita el modo automático. Esta acción viene seguida de cambios de estado (activado o desactivado) de los elementos que comprenden este sistema de control, también se podrá monitorear todas las variables presentes en el proceso, con el fin de que los operarios puedan fijar las cantidades a ser suministras de reactantes al tanque de recirculación. Por otra parte se podrá encender y apagar la bomba de la etapa de lavado y también será posible indicar la cantidad de solución agotada que se descargaría y se incorporaría al proceso de tratamiento de sustancias descargadas. Para esta etapa se podrá cuantificar la solución a ser almacenada en los contenedores y su posterior adición de peróxido de sodio vendrá indicada por el operador en turno,



el cual podrá transferir esta mezcla a la etapa de secado una vez alcanzada la reacción necesaria.

Los elementos que comprenden un control de seguridad sobre el proceso (medidor de presión interna de la torre de absorción y el switch o interruptor de flujo), seguirán operando en sus condiciones de monitoreo y supervisión, sin importar el modo de trabajo, esto con el fin de garantizar en todo momento un proceso eficaz que cumpla con las exigencias y garantice una emisión segura de gases y que evite la contaminación de ríos y canales.

4.2.2 SISTEMA DE CONTROL SEGÚN SU COMPORTAMIENTO

Este control se caracterizó por la existencia de pautas o metas dentro de las cuales debe funcionar el sistema, al apartarse de ella se determina una acción correctiva para que el proceso vuelva a desarrollarse dentro de los límites de tolerancias fijados, en otro sentido, este régimen toma su acción de control sobre los valores de salida o la retroalimentación de las variables (Control de lazo cerrado). Permanentemente estará capturando señales de estado del proceso bajo su control y al detectar una desviación de los parámetros pre-establecidos del funcionamiento norma, los sensores y actuadores lo llevarán de vuelta a sus condiciones operacionales de funcionamiento.

Por otra parte, se consideró que este sistema es acoplado ya que la variable de pH está relacionada con la presión diferencial de la torre de absorción, a su vez ambas al permanecer fuera de los límites considerados se relacionan con una condición de seguridad del sistema.



4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR Y RECOMENDACION DE LA INSTRUMENTACIÓN NECESARIA

Para la selección de los equipos, se consideraron las recomendaciones dadas por la empresa en cuanto a dispositivos y marcas a utilizar, de acuerdo a las exigencias se definió el dispositivo controlador, aunque para ello es necesario cuantificar las variables del proceso y todos los periféricos de E/S que vayan a estar conectado a la unidad central de control.

El dispositivo controlador será el PLC Siemens Simatic S7 1200, exigencia expuesta por la empresa para su pronta implementación. Donde se puntualizó de un equipo compacto con la mayor cantidad de E/S en la unidad CPU y a su vez salida a 24 VDC (transistorizada), ya que se acoplara con el proceso tomando en cuenta los niveles de protección en función a la carga que operen, y así evitar el efecto de desgastes en los contactos de ser a relé, producto del switcheo al activar y desactivar las salidas.

De esta manera la selección vendrá definida hacia la CPU ya que esta serie dispone de varios dispositivos en función a la cantidad de entradas y salidas, y por el tipo de contacto que posean (relé y transistorizada), es por ello que a continuación se cuantifican las variables para su elección.

4.3.1 VARIABLES PRESENTES EN EL PROCESO

4.3.1.1 Entradas digitales:

-  Selector de arranque
-  Pulsador de STOP
-  Pulsador de operación automático
-  Pulsador de operación manual
-  Pulsador de bomba de recirculación
-  Pulsador de bomba de pileta 1



- ✚ Pulsador de bomba de pileta 2
- ✚ Contacto NA del térmico de la bomba de recirculación
- ✚ Contacto NA del térmico de la bomba de pileta 1
- ✚ Contacto NA del térmico de la bomba de pileta 2
- ✚ Interruptor de flujo
- ✚ Pulsador válvula de llenado de agua
- ✚ Pulsador de válvula de agua caliente
- ✚ Pulsador válvula de llenado de hidróxido de sodio al 50%
- ✚ Pulsador válvula de llenado de pileta 1
- ✚ Pulsador válvula de llenado de pileta 2
- ✚ Pulsador válvula de transferencia de pileta 1
- ✚ Pulsador válvula de transferencia de pileta 2
- ✚ Pulsador válvula de peróxido de sodio pileta 1
- ✚ Pulsador válvula de peróxido de sodio pileta 2
- ✚ Confirmación de alarmas y eventos

4.3.1.2 Salidas digitales:

- ✚ Indicador de operatividad de la etapa de lavado
- ✚ Indicador de bomba de recirculación
- ✚ Indicador de bomba de pileta 1
- ✚ Indicador de bomba de pileta 2
- ✚ Fuente de 24 V (alimentación de los lazos de control)
- ✚ Bomba de recirculación
- ✚ Bomba de pileta 1
- ✚ Bomba de pileta 2
- ✚ Bomba de recirculación de hidróxido de sodio al 50%
- ✚ Válvula de llenado de agua
- ✚ Válvula de agua caliente
- ✚ Válvula de llenado de hidróxido de sodio al 50%



- + Válvula de llenado de pileta 1
- + Válvula de llenado de pileta 2
- + Válvula de transferencia de pileta 1
- + Válvula de transferencia de pileta 2
- + Válvula de peróxido de sodio pileta 1
- + Válvula de peróxido de sodio pileta 2
- + Alarma sonora
- + Interlock con el compresor de aire

4.3.1.3 Entradas analógicas:

- + Sensor magnético de flujo en línea de agua
- + Sensor magnético de flujo en línea de hidróxido de sodio 50%
- + Sensor de presión diferencial en torre de absorción
- + Analizador de pH en línea de recirculación
- + Sensor capacitivo de nivel en tanque de recirculación
- + Sensor capacitivo de nivel en pileta 1
- + Sensor capacitivo de nivel en pileta 2
- + Sensor de presión diferencial en tanque de peróxido de sodio

De este análisis se obtuvo las siguientes cantidades de E/S:

21 Entradas digitales

20 Salidas digitales

8 Entradas analógicas

4.3.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVO CONTROLADOR

Una vez cuantificado las variables del proceso, se realizó un análisis para determinar la CPU que se adapte a las características del proceso en base a los requerimientos de E/S, para esto fue necesario evaluar cada uno de los dispositivos que dispone la serie Siemens Simatic S7 1200, de lo cual se obtuvo que el módulo

central que se adecua a lo exigido por su capacidad de E/S, por su versatilidad en cuanto a programación y manejo será la CPU 1214C, sin embargo con esta unidad compacta no se abarca en su totalidad las E/S, es por ello que se incorporan módulos de expansión tanto como para las entradas y salidas digitales como para las analógicas. A continuación en la figura 4.15 se muestra el módulo central Siemens Simatic S7 1214C.



Figura 4.15: PLC Siemens Simatic S7 1214C

Fuente: Catálogo Siemens S70 N

a-. Características básicas de la CPU 1214C:

- ✚ Memoria de programas/datos integrada de 50 kbytes, memoria de carga de 2 Mbyte.
- ✚ Alimentación de 24 V DC.
- ✚ Tiempo de ejecución booleano 0,1 μ s por operación.
- ✚ 14 entradas digitales, 10 salidas digitales, 2 entradas analógicas.
- ✚ Ampliable hasta con 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señales.
- ✚ Entradas digitales utilizables como HSC con 100 kHz.

- ✚ Salidas digitales de 24 V DC utilizables como salidas de impulsos (PTO) o salidas con modulación de ancho de impulsos (PWM) con 100 kHz.
- ✚ Interfaz Ethernet integrada (TCP/IP nativa, ISO-on-TCP).

4.3.2.1 SELECCIÓN DE MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

A continuación se muestran los módulos de expansión requeridos para cubrir la cantidad de E/S determinadas:

a-. Módulo de entradas y salidas digitales

Se recomendó el módulo de entradas y salidas digitales SM 1223. Este módulo se adaptó a las características del sistema diseñado por su cantidad de entradas y salidas que dispone, ya que tiene 16 entradas digitales a 24 V DC transistorizada y 16 salidas digitales a 24 V DC transistorizada. En la figura 4.16, se observa el modulo recomendado.



Figura 4.16: Módulo de entradas y salidas digitales SM 1223

Fuente: Catálogo Siemens S70 N

b-. Módulo de entradas analógicas

Se recomendó el módulo de entradas analógicas SM 1231 AI 4 x 13 bit (ver figura 4.17) por sus tiempos de conversión extremadamente cortos, y porque también facilita la conexión de sensores y transmisores sin amplificadores adicionales. Se necesitan dos módulos de este tipo.



Figura 4.17: Módulo de entradas analógicas SM 1231

Fuente: Catálogo Siemens S70 N

c-. Módulo salidas analógicas

Se recomendó el módulo de salidas analógicas SM 1232 AQ 2 x 14 bit por su adaptación óptima ya que permite conexiones directas de actuadores sin amplificadores adicionales, esto facilita la solución de tareas de automatización más complejas. Cabe destacar que para el sistema diseñado no se requiere de este módulo más sin embargo de existir un control aplicado de respuesta proporcional se recomienda este dispositivo que se muestra a continuación en la figura 4.18.



Figura 4.18: Módulo de salidas analógicas SM 1232

Fuente: Catálogo Siemens S70 N

4.3.2.2 Fuente de alimentación

Se recomendó la fuente de alimentación PM 1207, por ser una fuente estabilizada de conmutación automática de rango (120/230 V AC), con una tensión de salida de 24 V DC y a su vez una intensidad de salida de 2,5 A, brindando con esto la alimentación de todos los módulos a ser conectados. En la figura 4.19, se muestra la fuente de alimentación antes mencionada.



Figura 4.19: Fuente de alimentación PM 1207

Fuente: Catálogo Siemens S70 N



Consumo de los lazos de control

El ritmo de consumo de corriente aumenta linealmente a medida que se operan todos los lazos, sin embargo, en función a las variables presente existirán variaciones instantáneas de corriente que vendrán representada por el valor que tome o indique el instrumento, fue por ello que se consideró una corriente de 22 mA, como intensidad máxima para determinar el consumo total de los lazos que comprenden el diseño.

$$I_{consumo} = \text{Numero}_{lazos} * I_{max} \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$I_{consumo} = 8 * 22 \text{ mA} = 176 \text{ mA}$$

Por medio del manual del sistema del PLC S7-1200 específicamente la CPU 1214C, se conoció el consumo de las E/S digitales, esto nos permitió totalizar la demanda y así fundamentar la selección de la fuente de alimentación. A continuación se muestran los cálculos correspondientes:

Consumo para la cantidad de entradas descritas:

$$I_E = \text{Numero}_E * I_{max} \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$I_E = 21 * 4 \text{ mA} = 84 \text{ mA}$$

Una vez ya determinado el consumo para cada uno de los periféricos que serán conectados al PLC, se obtuvo el consumo total.

$$I_{Total} = I_{consumo} + I_E \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$I_{Total} = 176 + 84 = 260 \text{ mA}$$



4.3.2.3 CONFIGURACION DEL PLC.

La configuración del PLC debe ser por hardware y software. Las entradas y salida del CPU, el módulo de entrada y salida digital, los módulos de entrada analógica y la fuente de alimentación no necesitan configurarse físicamente, solo se debe garantizar que los módulos se abrochen correctamente sobre el perfil a la derecha de la CPU; la conexión eléctrica y mecánica con los otros módulos y con la CPU se establece con el mecanismo deslizante integrado. Mediante el software se definió el modelo del CPU y los módulos a utilizarse, por defecto la fuente viene descrita para este PLC; esta configuración se puntualizó al inicio de la programación y se puede observar en el Apéndice A.

4.3.2.4 TIPO DE ENTRADAS Y VALORES QUE TOMARIA LA CPU.

A continuación en la tabla 4.2, se puede observar el equivalente en formato decimal que tomaría de la activación o desactivación de las entradas y salidas digitales respectivamente, y el rango de valores en formato digital de la señal analógica, esto con el objetivo de que la CPU pueda procesar la información recibida y ejecutar las instrucciones sin error alguno.

Tabla 4.2: Valores en formato decimal que procesaría la CPU.

| Declaración de variable | Tipo de datos | Área de memoria | Descripción | Valor que tomaría |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|--|--------------------------|
| Entradas digitales | BOOL | I,M | Entrada 24 VD, se le indica un estado de señal 1. | 0,1 |
| Salidas digitales | BOLL | Q,M | Salida 24 VDC con habilitación para un estado de señal 1 si la función se ejecuta sin errores. | 0,1 |
| Entradas analógicas | WORD | I,Q,M,P, o constante | Valor de entrada de 4 – 20 mA a convertir en un valor REAL | 5.529,6 a 27.648 |

Fuente: Elaboración propia.



Para una señal de entrada de 4mA el valor mostrado o procesado será 5529,6, y cuando sea de 20mA el valor será 27648.

4.3.2.5 DIRECCIONAMIENTO DE LAS VARIABLES.

Con el objetivo de esquematizar de manera clara y detallada las operaciones que debe realizar el PLC en cuanto a las tareas del proceso y el control a aplicar se identifica cada variable y se denota la dirección correspondiente a la misma. A continuación se muestra todas las variables presentes:

a-. Direccionamiento de las entradas digitales.

Tabla 4.3: Direccionamiento de las entradas digitales.

| N° | Variable | Descripción | PLC |
|----|----------------|---|-------|
| 1 | Arranque | Pulsador normalmente abierto, inicio de la etapa de lavado. | %I0.0 |
| 2 | Parada | Pulsador normalmente abierto con enclavamiento mecánico, condición de parada de emergencia. | %I0.1 |
| 3 | Automático | Pulsador normalmente abierto, modo de funcionamiento. | %I0.2 |
| 4 | Manual | Pulsador normalmente abierto, modo de funcionamiento. | %I0.3 |
| 5 | BRecirculación | Pulsador normalmente abierto, encendido de bomba de recirculación. | %I0.4 |
| 6 | Vagua | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de agua cruda. | %I0.5 |
| 7 | Vsoda | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de hidróxido de sodio. | %I0.6 |
| 8 | Vaguac | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de agua caliente. | %I0.7 |
| 9 | Interruptor | Contacto normalmente abierto, indicación de presencia de flujo. | %I1.0 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.3:** Direccionamiento de las entradas digitales.

| | | | |
|----|-----------|---|-------|
| 10 | TermicoBR | Contacto normalmente abierto, relé de sobre carga bomba de recirculación. | %I1.1 |
| 11 | Vdesc1 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de descarga o llenado de la pileta 1. | %I1.2 |
| 12 | Vdesc2 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de descarga o llenado de pileta 2. | %I1.3 |
| 13 | Vper1 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de adición de peróxido de sodio a pileta 1. | %I1.4 |
| 14 | Vper2 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de adición de peróxido de sodio a pileta 2. | %I1.5 |
| 15 | BPileta1 | Pulsador normalmente abierto, encendido de bomba de transferencia de solución en pileta 1. | %I8.0 |
| 16 | Bpileta2 | Pulsador normalmente abierto, encendido de bomba de transferencia de solución en pileta 2. | %I8.1 |
| 17 | Vtrans1 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de transferencia en pileta 1. | %I8.2 |
| 18 | Vtrans2 | Pulsador normalmente abierto, apertura de válvula de transferencia en pileta 2. | %I8.3 |
| 19 | Alarma | Pulsador normalmente abierto, confirmación de haber atendido el evento o emergencia. | %I8.4 |
| 20 | TermicoB1 | Contacto normalmente abierto, relé de sobre carga bomba de pileta 1. | %I8.5 |
| 21 | TermicoB2 | Contacto normalmente abierto, relé de sobre carga bomba de pileta 2. | %I8.6 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.3:** Direccionamiento de las entradas digitales.

| | | | |
|----|---------|--|-------|
| 22 | CompCNA | Contacto normalmente abierto, condición de operatividad o encendido del compresor. | %I8.7 |
| 23 | BRHidro | Contacto normalmente abierto, condición de operatividad de la bomba de recirculación de hidróxido de sodio | %I8.8 |

Fuente: Elaboración propia.

b-. Direccionamiento de las salidas digitales.

Tabla 4.4: Direccionamiento de las salidas digitales.

| N° | Variable | Descripción | PLC |
|----|-----------------|--|-------|
| 1 | IndOperatividad | Indicador luminoso, etapa operativa. | %Q0.0 |
| 2 | IndBombaRecir | Indicador luminoso, bomba de recirculación encendida. | %Q0.1 |
| 3 | IndBombaPil1 | Indicador luminoso, bomba de pileta 1 encendida. | %Q0.2 |
| 4 | IndBombaPil2 | Indicador luminoso, bomba de pileta 2 encendida. | %Q0.3 |
| 5 | Fuente_Alim | Fuente de alimentación de lazos de control energizada. | %Q0.4 |
| 6 | BombaRecir | Motor de bomba de recirculación de solución. | %Q0.5 |
| 7 | BombaPil1 | Motor de bomba de pileta 1. | %Q0.6 |
| 8 | BombaPil2 | Motor de bomba de pileta 2. | %Q0.7 |
| 9 | BombaRH | Motor de bomba de recirculación de hidróxido de sodio. | %Q8.0 |
| 10 | Valagua | Electroválvula (Agua cruda). | %Q8.1 |
| 11 | Valsoda | Electroválvula (Hidróxido de sodio). | %Q8.2 |
| 12 | Valaguac | Electroválvula (Agua caliente). | %Q8.3 |
| 13 | Valpil1 | Electroválvula (Llenado de pileta 1). | %Q8.4 |
| 14 | Valpil2 | Electroválvula (Llenado de pileta 2). | %Q8.5 |
| 15 | Valtrans1 | Electroválvula (Transferencia pileta 1). | %Q8.6 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.4: Direccionamiento de las salidas digitales.

| | | | |
|----|-------------|--|-------|
| 16 | Valtrans2 | Electroválvula (Transferencia pileta 2). | %Q8.7 |
| 17 | Valper1 | Electroválvula (Descarga de peróxido de sodio a pileta 1). | %Q9.0 |
| 18 | Valper2 | Electroválvula (Descarga de peróxido de sodio a pileta 2). | %Q9.1 |
| 19 | Alarma_1 | Aviso sonoro. | %Q9.2 |
| 20 | Interlock | Permisivo para el control de la operatividad del proceso. | %Q9.3 |
| 21 | Permisivo_1 | Permisivo con compresor. | %Q9.4 |
| 22 | Permisivo_2 | Permisivo auxiliar. | %Q9.5 |

Fuente: Elaboración propia.

c-. Direccionamiento de las salidas analógicas.

Tabla 4.5: Direccionamiento de las salidas analógicas.

| N° | Variable | Descripción | PLC |
|----|--------------|---|--------|
| 1 | Caudalagua | Sensor-Transmisor electromagnético de flujo de agua. | %IW112 |
| 2 | Caudalsoda | Sensor-Transmisor electromagnético de flujo de hidróxido de sodio. | %IW114 |
| 3 | SensorpH | Analizador-Transmisor de alcalinidad (pH). | %IW116 |
| 4 | NivelRecir | Sensor-Transmisor capacitivo de nivel del tanque de recirculación. | %IW118 |
| 5 | PresionTorre | Sensor-Transmisor de presión interna de la torre de absorción. | %IW128 |
| 6 | NivelPil1 | Sensor-Transmisor capacitivo de nivel de la pileta 1. | %IW130 |
| 7 | NivelPil2 | Sensor-Transmisor capacitivo de nivel de la pileta2. | %IW132 |
| 8 | NivelTPer | Sensor-Transmisor de presión de la columna interna ejercida por la sustancia contenida. | %IW134 |

Fuente: Elaboración propia.



4.3.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC.

El software utilizado para programar y configurar el PLC es el Administrador SIMATIC TIA (Totally Integrated Automation) PORTAL STEP 7 Basic V10.5 ya que es un sistema de ingeniería más intuitivo y eficiente. Permite diseñar los procesos de automatización de forma óptima desde una sola pantalla del ordenador a lo largo de toda la cadena de suministro de información.

En el desarrollo de la programación del PLC SIMATIC S7 1200, se tomó en cuenta toda la estructura del proceso, lo que constituye los elementos existentes y los adicionados por las estrategias de control a aplicarse. La programación se trató mediante el lenguaje de escalera o ladder, se distribuyeron las tareas en función a los lazos de control y a las instrucciones que ejecutará el PLC.

La programación fue distribuida por las condiciones de operación y las etapas fijadas en el proceso, se detalla a continuación:

a-. Arranque de planta.

Esta condición se incorpora a la planta de sulfonación, a razón de que es primordial establecer un ambiente de operación óptimo en la etapa de lavado para que se dé comienzo al proceso de producción, motivo a evitar emanación de gases contaminantes a la atmósfera.

La puesta en marcha es precedida de la confirmación del modo de operación. En la selección al fijar el modo en automático se pulsa el botón de inicio (Arranque), esto dará comienzo a la etapa de lavado; se verifica el nivel de solución en el tanque de recirculación (NivelRecir) para detectar si existe o no solución con características óptima, se considera un nivel mínimo permitido en condición previa del encendido de la bomba de recirculación (BombaRecir). Un nivel inferior al mínimo fijado (NivelMin) da por consiguiente el vaciado total del tanque de recirculación (VN-804-



2), esto con el fin de preveer fluctuaciones internas de presión producida por la ausencia de líquido en la operatividad de la bomba al encenderse.

El vaciado del tanque es una acción que involucra cuantificar el volumen contenido en las piletas, la que contenga un volumen disponible para ser llenada mayor o igual al que sería descargado, es la que interfiere directamente en el proceso de transferencia de la sustancia del tanque de recirculación. Una vez esté el tanque descargado, se procede a llenar con la relación de concentración establecida por el proceso en curso o la indicada por el operador en turno. Esta acción se alcanza mediante la apertura de las válvulas de agua cruda (Valagua) e hidróxido de sodio (Valsoda) hasta que los medidores de flujo (Caudalagua y Caudalsoda) respectivos indiquen la cantidad demandada. Luego de totalizada la cantidad ya sea de agua cruda o hidróxido de sodio se desactivan las electroválvulas correspondientes para que se procede al cierre de los reactantes.

Luego de alcanzado el nivel (Nivel_Proceso) del tanque de recirculación, garantizando que la solución se encuentra en características óptimas para dar inicio, se procede a encender la bomba de recirculación (BombaRecir), comprobando a su vez que se cumpla con la recirculación (Interruptor_flujo) de solución en todo el sistema, de ser así se habilitarán los permisivos (Permisivo_1 y Permisivo_2) que permitirán arrancar la planta de sulfonación.

Si el modo de operación fijado es el manual, el operador indicará todas las acciones correspondientes a seguir para darle inicio al proceso de producción de la planta de sulfonación, tomando en cuenta todas las condiciones fundamentales de la etapa de lavado. Por medidas de seguridad y operatividad del sistema se monitorearán las variables presentes, esto con el fin de evitar que ocurran fallas previas y posteriores a las indicaciones del operador. De existir un nivel en el tanque de recirculación inferior al nivel mínimo permitido (NivelMin), no se admitirá el encendido de la bomba de recirculación (BombaRecir), por lo que se requerirá



adición de reactantes. Esta acción será controlada por el operador supervisando el nivel del tanque; para el caso de que el nivel sea excedido del máximo permitido, se procederá a desactivar la electroválvula y de esta manera evitar algún derrame de sustancias.

En esta condición de operación el operador tendrá la potestad de decidir si la mezcla o solución se encuentra óptima por medio del valor de pH para la retención de los gases, sin embargo, de igual manera se supervisarán las variables para evitar que operen fuera de los rangos establecidos.

b-. Etapa de lavado.

Una vez operativa la planta de sulfonación se generan gases tóxicos (dióxido y trióxido de azufre), los cuales no pueden ser descargados a la atmósfera sin antes eliminar su alto contenido tóxico, este proceso se lleva a cabo en esta etapa, es por esta razón que se debe mantener una solución base que absorba toda sustancia tóxica contenido en ellos.

En esta etapa no interfiere el modo de operación con el control aplicado, ya que es primordial mantener las variables del proceso en los rangos admisibles para una excelente operación; es por ello que se supervisa la alcalinidad de la solución recirculante mediante el medidor de pH (SensorpH) en la línea de bombeo y la presión interna de la torre de absorción (PresionTorre) para aplicar la acción preventiva o correctiva y de esta manera garantizar una emisión de gases efectiva y segura.

- **Acción preventiva.**

Esta tarea se encarga de mantener los valores de proceso en los rangos ideales. Principalmente se garantiza que la solución mantenga una alcalinidad entre 9 y 11, y la presión interna de la torre de absorción no exceda de 16 mbar, se supervisa el nivel



del tanque de recirculación a razón de que no se produzcan reboses y se llegue a un nivel menor que el mínimo permitido.

- **Acción Correctiva.**

Luego de identificado los rango de operación de cada variable, y para el caso del medidor-transmisor de pH indique un valor inferior a 9 se procederá a descargar la cantidad de solución agotada o consumida (Apéndice B) hacia la pileta en uso, por lo que se amerita suministrar una nueva cantidad de reactante, la misma será indicada por la concentración fijada en el desarrollo gráfico del cual se menciona más adelante.

En caso de elevarse la presión interna y superar el límite considerado se concluye que existe aditivo y espumante dentro de la torre de absorción por consiguiente se debe monitorear el pH de la solución, esto con el fin de descartar si es por esta variable que ha subido la presión, de ser así se aplica la acción correspondiente, de lo contrario se concluye que los anillos de rasching se encuentran recubiertos de aditivos, impidiendo establecer un contacto directo entre los gases y la solución, para esta acción será necesario alimentar el sistema con agua caliente por lo que se apertura la válvula correspondiente (Valaguac) y se realizan descargas parciales del tanque de recirculación (VN-804-2) para evitar rebose y así cumplir con un control correctivo y un proceso estable en las condiciones exigidas.

- c-. Etapa de descarga de solución.**

Por medio de los niveles existentes en las piletas se cuantifica el volumen disponible para ser llenadas, de esta forma se compara la cantidad descargada del tanque de recirculación con el espacio útil en la pileta que interfiere con la transferencia, una vez alcanzado el nivel máximo de la pileta en uso se le adiciona la cantidad de peróxido de sodio indicada por el operador mediante la interfaz gráfica, una vez que transcurra la reacción, la pileta desocupada recibirá las descargas



posteriores. El control de llenado de las piletas se cumple mediante la supervisión de los niveles y la acción de apertura y cierre de las válvulas de llenado (Vdesc1 y Vdesc2).

d-. Etapa de transferencia de solución.

Posterior a la descarga de peróxido de sodio y trascendido el tiempo de reacción, se activará la bomba perteneciente a la pileta (BombaPil) llena ya sea la primera o la segunda, en conjunto se activara la válvula (Valtrans) correspondiente a ella, la supervisión del nivel en esta pileta es la condición de control fundamental para garantizar una óptima transferencia ya que el operador podrá indicar por medio del desarrollo gráfico si el envío de fluido a la siguiente etapa es parcial o total.

Luego de alcanzado el nivel mínimo dado por la condición de transferencia se desactiva la bomba de la pileta (BombaPil) y se cierra la válvula de transferencia (Valtrans).

e-. Alarmas y eventos.

Durante el desarrollo de la programación se evaluaron todas las condiciones existentes, lo que permitirá notificar mediante un avis o en pantalla el equipo que presente el desperfecto a nivel operativo, esto sería en caso de los motores acoplados a las bombas y para la condición de un valor fuera de rango en las variables.

- **Falla de sobre corriente.**

Una vez operativo el sistema, se supervisarán los contactos normalmente abierto de los térmicos de cada motor presente (TérmicoBR, TérmicoB1, TérmicoB2 y TérmicoBRH), al ocurrir algún desperfecto o un consumo mayor al permitido se sabrá al detectar activado el contacto normalmente abierto y de esta manera se evitará algún daño en el equipo. Se notificará indicando la condición de apagado del equipo en específico en la interfaz gráfica y también por medio de una señal sonora.



- **Falla de presión diferencial alta.**

Al elevarse la presión interna en la torre de absorción (PresionTorre) por encima de los 16 mbar, se comprueba si la solución se encuentra o no en el rango de alcalinidad establecido para aplicar la acción correctiva, y se indica por medio del registro de eventos en la interfaz gráfica esta falla y a su vez mediante un aviso sonoro.

- **Falla de sobre nivel.**

Se presenta en los contenedores existentes en todo el proceso, donde se supervisan los niveles y se comparan con los niveles máximos de cada uno de los tanques, de excederse alguno de ellos se indicará en el registro de eventos y con un aviso sonoro.

- **Falla de ausencia de flujo.**

Condición de seguridad o interlock de la etapa de lavado con los generadores de aire o compresores que desplazan los gases hacia la torre de absorción, una vez el interruptor de flujo (Interruptor) detecte la ausencia de solución en la tubería se indicará mediante un aviso sonoro y en pantalla el evento, a su vez se desactivarán los permisos (Permisivo_1 y Permisivo_2) que habilitan la operación de los compresores.

En el apéndice C se encuentra el diagrama de flujo que explica la programación realizada, en forma gráfica.



4.3.4 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DE MEDIDORES DE NIVEL

La selección y recomendación de los medidores de nivel se ajustó a las características de los tanques y piletas presentes en los procesos. El agente químico que interactúa en conjunto a la altura, fueron las características principales que permitió definir el sensor a ser recomendado, es por ello que se muestra a continuación la tabla 4.6, con cada uno de los tanques y sus características.

Tabla 4.6: Características de cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización.

| Tanque o Pileta | Características | | | |
|--------------------------|-----------------|--|-------------|----------|
| | Altura | Agente Químico Presente | Presión | Densidad |
| Tanque de Recirculación | 1,22 mts | Hidróxido de Sodio _{11%} , Sulfito de Sodio, Sulfato de Sodio | Atmosférica | Variable |
| Pileta 1 | 2,20 mts | Sulfato de Sodio | Atmosférica | Variable |
| Pileta 2 | 2,20 mts | Sulfato de Sodio | Atmosférica | Variable |
| Tanque Peróxido de Sodio | 1,5 mts | Peróxido de Sodio | Atmosférica | Fija |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

Se recomienda sensores capacitivos para determinar los niveles, tanto en el tanque de recirculación como en las piletas, ya que la variación de la densidad del agente contenido en ellos no afectará la medida. Luego de haber puntualizado las características de cada uno de los tanques, se definió el sensor a recomendar siendo para este caso varilla capacitiva. Fue por ello que se consideró la altura útil de cada contenedor para definir el tamaño de la varilla (Ver tabla 4.7).



Tabla 4.7: Altura útil para cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización.

| Contenedor | Altura útil | Conexión del sensor |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| Tanque de Recirculación | 1,12 mts | Brida |
| Pileta 1 | 2,10 mts | Brida |
| Pileta 2 | 2,10 mts | Brida |

Fuente: Elaboración propia.

Se descartó el uso de sensor tipo sonda capacitiva para el tanque de recirculación por su constante agitación en la carga y descarga de solución. La recomendación de tipo varilla para las piletas vino dada por el beneficio de una medida efectiva y precisa en condiciones extremas, ya que ocurrirán en el momento de la post-reacción diferentes interfaz en el líquido contenido.

Tanque de recirculación: para este tanque se recomienda el medidor de nivel SITRANS LC300 del fabricante Siemens el cual es un instrumento capacitivo rentable en aplicaciones de gran exactitud, tales como el procesamiento de alimentos y bebidas, productos farmacéuticos, detergentes y alimentos para animales. Funciona en líquidos considerando materiales viscosos (conductores o no), incluso en aplicaciones muy exigentes con vapor y polvo.

El transmisor de nivel a 2 hilos SITRANS LC300 incorpora un microprocesador perfeccionado de fácil ajuste y sondas apropiadas para condiciones extremas, este transmisor se activa cuando se conecta la alimentación eléctrica la cual va desde 12 a 30 V DC de polaridad indiferente, este sensor-transmisor capacitivo ofrece salida 4 - 20 mA/20 - 4 mA. En la figura 4.20, se muestra el dispositivo mencionado.



Figura 4.20: Sensor-Transmisor capacitivo de nivel SITRANS LC300.

Fuente: Catálogo SITRANS LC300.

Pileta 1: posee las mismas características que la pileta 2, es por ello que el instrumento que se recomienda se puede ajustar igualmente. En función al agente químico que ocuparía estas piletas se recomienda el transmisor capacitivo SITRANS LC500 del fabricante Siemens el cual ofrece medición precisa de nivel y detección de interface incluso bajo condiciones extremas reinantes en aplicaciones tales como coalescedores de alta presión, unidades FPSO, plantas de proceso de gas natural licuado y buques gasísticos y petroleros. El principio de medida de capacidad por frecuencia inversa y la tecnología Active Shield patentada aseguran resultados fiables. Este transmisor es eficaz para medir líquidos, sólidos, interfaces y espuma, productos químicos tóxicos y corrosivos, incluso con vapor, acumulaciones de material, polvo o condensación.

Este transmisor posee un indicador integrado para la puesta en marcha y verificación in situ, a su vez ofrece comunicación HART y salida 4 - 20 mA/20 - 4 mA. En la figura 4.21, se muestra el dispositivo mencionado.



Figura 4.21: Sensor-Transmisor capacitivo de nivel SITRANS LC500.

Fuente: Catálogo SITRANS LC500.

Tanque de peróxido de sodio: por las características del tanque y las condiciones del sistema se recomendó cuantificar el volumen contenido en el mediante un sensor-transmisor de presión diferencial, para ello fue necesario conocer la densidad del peróxido de sodio, esto permite establecer una relación entre el volumen contenido en él y la presión que ejerce la columna de líquido. Se recomienda el dispositivo Deltabar S FMD76., del fabricante Endress+Hauser el cual es un transmisor de muy buena reproducibilidad y estabilidad a largo plazo. Rangos de medición de 0 a 100 mbar y 0 a 3 bar, resistente al vacío y a sobre carga, salida 4 - 20 mA/20 - 4 mA, comunicación HART y PROFIBUS PA. En la figura 4.22, se muestra el dispositivo recomendado.



Figura 4.22: Sensor-Transmisor de presión diferencial Deltabar S FMD76.

Fuente: Catálogo Deltabar S PMD70/75, FMD76/77/78

El nivel se recomienda medir por medio del peso que ejerce la columna de líquido sobre el sensor de presión, donde la siguiente relación define la medición de presión debido a un líquido, la cual puede ser convertida a altura del nivel sobre una línea de referencia determinada o conocida.

$$H = \frac{P}{\rho * g} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Conocidas las dimensiones del tanque, y el peso específico del peróxido de sodio, se podrá determinar el peso ejercido por la columna de líquido contenido en el tanque, el cálculo desarrollado se muestra a continuación:

Dónde:

ρ : 2,8 g/cm³

Altura útil: H : 140 cm

Gravedad específica : 9.8 m/s²



Nos queda:

$$P = H * \rho * g \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$P_{max} = 1,40 \text{ m} * 2800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 38416 \text{ Pa} = 0,38416 \text{ bar} \quad \text{Ec.4.6}$$

$$P_{min} = 0,2 \text{ m} * 2800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5548 \text{ Pa} = 0,05548 \text{ bar} \quad \text{Ec. 4.7}$$

En una ocupación total del tanque el instrumento estaría interpretando la altura del líquido en una presión ejercida de 0,38416 bar, este valor se ajusta perfectamente al rango de escala del equipo recomendado.

4.3.5 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DE MEDIDORES DE CAUDAL.

Se recomendó el caudalímetro electromagnético de Endress+Hauser Proline Promag 50, por su precisión, alto desempeño en las mediciones de caudal y por adaptarse a las características del proceso en cuanto a las sustancias químicas a usarse, ya que el cuerpo del sensor es de Hastelloy C-22, tántalo, el mismo es un material altamente resistente a la corrosión y a los materiales y sustancias abrasivas. Dado que este dispositivo no dispone de partes mecánicas requiere de muy poco mantenimiento preventivo. También se ajusta a las conexiones de proceso que para este caso es de tipo brida. Ofrece comunicación HART y salida 4 - 20 mA/20 – 4 mA. En la figura 4.23, se muestra el dispositivo.



Figura 4.23: Sensor-Transmisor electromagnético de caudal Promag 50.

Fuente: Caudalímetros electromagnéticos Serie Promag Endress+Hauser.

4.3.6 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DE MEDIDORES DE pH .

Por las características de la etapa de lavado y el rendimiento que ha prestado el equipo instalado, se mantuvo el dispositivo Endress+Hauser modelo CM42-MAA001 en el desarrollo de este diseño, el cual actualmente se encuentra operativo. Sin embargo, se recomienda un analizador de pH de última generación, con características similares de medición y conexión, ya que dispone de un electrodo que estaría en contacto con la solución y seguiría estando en línea por el conexionado a brida. El equipo que se sugiere es el FlowFit P CPA 240 SS del fabricante Endress+Hauser. A continuación se muestra el dispositivo recomendado en la figura 4.24.

La recomendación de este equipo vino dada en función a su fácil instalación y remoción de la porta-electrodo, en caso de ser necesario para su calibración, posee conexiones flexibles para los procesos, y dispone de un toma muestra integrado, el cual facilita su verificación in situ y se ajusta a una limpieza por ultrasonido lo cual brinda una mejora a los operadores ya que evitaría el contacto de ellos con los agentes químicos, esto ocurre una vez que el medidor existente se desajusta, se retira el electrodo para ser limpiado.



Figura 4.24: Analizador-Transmisor de pH FlowFit P CPA 240 SS.

Fuente: pH / ORP Electrode Holder FlowFit P CPA 240 Endress+Hauser.

4.3.7 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DE MEDIDORES DE PRESION DIFERENCIAL.

En las condiciones de operación del proceso de lavado es primordial tener un equipo de prestaciones óptimas es por ello que se recomienda el dispositivo sensor-transmisor de presión SITRANS P de la serie DSIII del fabricante SIEMENS, el cual está diseñado para medir la presión relativa, la presión absoluta, la presión diferencial, el caudal y el nivel de llenado. Este equipo ofrece completa funciones de diagnóstico y por disponer de la nueva tecnología de comunicación PROFISAFE garantiza seguridad homogénea desde el sistema de control hasta el transmisor.

Este transmisor de presión tiene dos rangos de medida que van desde 0 – 100 mbar o 0 – 700 bar, dispone de amplia ventaja sobre otros equipo que incluso actualmente sobre el instalado ya que presenta variaciones en cuanto a la medida exacta tanto por precisión como por largo plazo de uso, a su vez por ser un equipo de

seguridad se puede integrar en los circuitos de medición SIL 2 (Ver Anexo C) el cual garantiza máxima seguridad de comunicación hasta el nivel del sistema de control. Posee múltiples posibilidades de comunicación mediante bus: HART, PROFIBUS PA, PROFISAFE o FF. En la figura 4.25, se muestra el dispositivo recomendado.



Figura 4.25: Sensor-Transmisor de presión SITRANS P de la serie DSIII.

Fuente: Catálogo SITRANS P.

Este equipo por su alto desempeño tecnológico se calibrara para un rango de medición de 0 -100 mbar, esta configuración se recomienda hacer en campo haciendo uso del protocolo de comunicación HART.

4.3.8 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DE VALVULAS.

Una vez conocido el proceso se recomienda válvulas de tipo bola paso total, esta selección se basó en los lazo de control diseñados, ya que como se mencionó anteriormente en cuanto al tanque de recirculación lo que se desea es llevar el nivel de un valor a otro, ya sea para la preparación de la solución o la descarga de la misma, al igual que para el llenado y vaciado de las piletas acumuladoras de solución. La selección del material de construcción se ajustó a las sustancias que interfieren en



cada una de las válvulas a recomendarse, fue por ello que se presenta en la tabla 4.8, las sustancias que se relacionan con cada una de ellas.

Tabla 4.8: Sustancias que interfieren con cada válvula.

| Válvula | Ubicación | Sustancia |
|--|-----------|-----------------------------|
| Llenado de agua cruda | VN 804-25 | Agua |
| Llenado de hidróxido de sodio | VN 804-27 | Hidróxido de sodio al 50% |
| Llenado de agua caliente | VN 804-22 | Agua Caliente |
| Descarga de solución pileta 1 | VN 805-10 | Sulfato y Sulfitos de sodio |
| Descarga de solución pileta 2 | VN 805-11 | Sulfato y sulfitos de sodio |
| Descarga de peróxido de sodio pileta 1 | VN 805-12 | Peróxido de Sodio |
| Descarga de peróxido de sodio pileta 2 | VN 805-13 | Peróxido de Sodio |
| Transferencia de solución pileta 1 | VN 805-8 | Sulfato de sodio procesado |
| Transferencia de solución pileta 2 | VN 805-9 | Sulfato de sodio procesado |

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado cada uno de los líquidos que circularían por cada una de las válvulas se recomienda que el material de construcción de ellas sea para el cuerpo acero al carbono ASTM A216 GR WCB, para la bola acero inoxidable ASTM A351 Gr CF8M y asiento de teflón, a estas característica se ajusta la válvula de bola serie F15-WCB, modelo 150100-11000CSJR-NN, conexionado a brida para mayor practicidad en cuanto al manejo y a la conexión, del fabricante FLOW_TEK, a continuación se muestra en la figura 4.26, la válvula recomendada.



Figura 4.26: Válvula de bola serie F15-WCB, modelo 150100-11000CSJR-NN.

Fuente: Catálogo FLOW_TEK F15.

Otra especificación para la selección de las válvulas fue el diámetro de la tubería donde será colocada la misma. A continuación, se presenta en la tabla 4.9, los diámetros de las tuberías de llenado y de vaciado para cada tanque.

Tabla 4.9: Características de cada uno de los tanques presentes en la etapa de neutralización.

| Tanque | Ubicación | Diámetro de tubería |
|-------------------|--------------------|---------------------|
| Recirculación | Agua cruda | 1" |
| | Agua caliente | 1" |
| | Hidróxido de Sodio | 1" |
| Piletas | Llenado | 3" |
| | Transferencia | 2" |
| Peróxido de sodio | Descarga | 1/2" |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

En conjunto a la recomendación de las válvulas se añade la selección del dispositivo que le proporcionaría la acción de apertura y cierre, siendo este el actuador, se recomienda un dispositivo neumático de simple acción, retorno por muelle, a su vez se indica que el piñón sea compatible con el eje de movimiento de la válvula, para ello se promueve el actuador neumático de simple acción, modelo 93-0833-11300-532 de la marca BRAY el cual se muestra en la figura 4.27.



Figura 4.27: Actuador neumático, modelo 93-0833-11300-532.

Fuente: Catálogo neumatic actuator BRAY, serie 92-93.

Seguido a esto, se requiere de válvula solenoide para la operación eléctrica del actuador neumático, fue por ello que se recomiendan la serie 63, modelo 0250-21520-536 del fabricante Bray, las cuales se montan directamente en el actuador mediante una interfaz NAMUR y la operación de la válvula puede estar condicionada mediante el control a partir de 3 vías y 4 vías. Alimentación de 120 VAC, conector DIN. A continuación se muestra en la figura 4.28, la válvula solenoide recomendada.

Este elemento dispone de un consumo de 3 A máximo, por lo que se requiere de elementos de protección o relé de contacto sólido para acoplarlo con la señal de salida del PLC.



Figura 4.28: Válvula solenoide serie 63, modelo 0250-21520-536.

Fuente: Catálogo BRAY line accesories.

4.3.9 SELECCIÓN DE RELÉS.

El uso de relé es para brindar protección a las salidas del controlador (PLC) propuesto en el diseño, por lo cual fue necesario identificar las características de los contactos asociados al dispositivos para recomendar los relés a ser usado, donde se obtuvo que la tensión de operación de los mismo es de 24 V DC. Se recomienda relés con los siguientes datos técnicos los cuales se pueden observar en la tabla 4.9.

Se identificó del manual de sistema del PLC S7-1200, específicamente de la CPU 1214C, la máxima corriente de operación de las salidas del módulo compacto como del adicional, tienen una intensidad máxima de 0,5 A.

La cantidad de corriente a demandar en el uso de las válvulas solenoides será mayor al límite indicado es por ello que se recomendó el uso de relé con las características mostradas en la tabla 4.10.



Tabla 4.10: Datos técnicos de los relés.

| COMPONENTE | TENSIÓN NOMINAL | CORRIENTE NOMINAL |
|------------|-----------------|-------------------|
| BOBINA | 24 V DC | 0,5 A |
| CONTACTO | 0-250 V AC | 5 A |

Fuente: Elaboración propia.

a-. Selección de relé térmico.

En cuanto a la selección del relé térmico, se identificaron los equipos que estarían asociados a este elemento de protección, esto permitió determinar la intensidad o el consumo en condiciones nominales de cada uno de ellos. La identificación arrojó que son los motores trifásicos, con una tensión en terminales de 440V y una potencia de 2 hp y se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Bomba de recirculación: actualmente operativa y con todos sus elementos de protección.

Bomba de pileta 1: al igual que para la bomba de la pileta 2, posee los mismos valores de operación nominal por lo cual los siguientes cálculos se aplican para ambos motores.

Se caracteriza el interruptor por ser de acción rápida y de uso general teniendo una corriente nominal no menor a dos veces la corriente a plena carga del motor, este comportamiento nos facilita la selección del contactor.

Interruptor de sobre corriente cuando se tenga una plena carga en el motor y el consumo sea no mayor del 80% de la capacidad nominal del interruptor.

No se puede exceder del 120% de la corriente nominal en el disparo es por ello que se considera la protección contra sobre carga dada por los siguientes cálculos:

Motor de 2 hp, que equivalen a unos 1491,4 w.

Corriente nominal de línea:

$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{Tension de línea}} = \frac{1491,4 \text{ w}}{440 \text{ v}} = 3,4 \text{ A} \quad \text{Ec. 4.8}$$

$$I_{\text{Disparo}} = 1,15 * I_{\text{Nominal}} = 1,20 * 3,4 = 4,08 \text{ A} \quad \text{Ec. 4.9}$$

Existen muchos dispositivos que ofrecen protección de motores trifásicos, el relé térmico de sobrecarga fue el seleccionado en vista de que la empresa dispone en su almacén de repuesto y por ser uno de los más confiable. Los cálculos realizados nos indican que la protección o la activación del interruptor de sobre carga vendrá dada para corrientes superiores a 4,08 A, sin embargo la selección fue referida a una escala de ajuste que va desde 2,8 a 4 A, lo que garantiza la operatividad de los motores.

Se recomienda el relé de sobrecarga electrónica para motor TeSys LR97D07M7 con un rango de operación que va desde 1,2-7 A, y con una tensión de contacto de 200-240 V CA, este equipo es del fabricante Schneider Electric, su rango de operación es ajustable lo que brinda a que trabaje en la escala referida. En la figura 4.29 se muestra el equipo recomendado. Este equipo viene separado del elemento contactor.



Figura 4.29: Relé de sobrecarga electrónica TeSys LR97D07M7.

Fuente: Catálogo Schneider Electric, relé de protección.

4.3.10 SELECCIÓN DE CONTACTORES.

En la selección de este dispositivo capaz de administrar la corriente eléctrica de una instalación o equipo con la posibilidad de ser accionado a distancia. Se recomienda contactores electromagnéticos para activar o desactivar la operatividad de las bombas presentes en el proceso, ya que todas tienen las mismas características en cuanto a tensión de alimentación, capacidad, corriente de carga. Una vez realizado los cálculos en la selección y recomendación de los relé se promueven contactores de 3 polos, frecuencia de trabajo 50/60 Hz, tensión de bobina 220 V, para motores de 2 hp o 1,5 kW con tensión de alimentación 440 V.

En función a la recomendación se exhorta a considerar el siguiente equipo, LC1D093M7 TeSys LC1D, es un contactor de tres polos, para una tensión de alimentación de 3x440 V AC, una corriente máxima de operación de 9 A y con una tensión del circuito de control de 220 V AC. Ver figura 4.30



Figura 4.30: Contactador LC1D093M7 TeSys LC1D.

Fuente: Catálogo Schneider Electric, circuitos de control.

4.3.11 SELECCIÓN Y RECOMENDACIÓN DEL INTERRUPTOR DE FLUJO.

El uso del interruptor de flujo es a razón de supervisar la presencia de solución a la salida de la bomba de recirculación, es por ello que se recomienda un dispositivo de acero inoxidable o teflón por su excelente resistencia al hidróxido de sodio, principal agente químico expuesto en el medio de contacto.

Se recomienda el interruptor de flujo del fabricante Delta Control modelo 621, el sensor con una paleta que se acopla magnéticamente al switch, posee un contacto de salida de mono y doble polo, una alimentación de 230 V AC. Su instalación puede ser mediante roscado NPT o bridado. En la figura 4.31, se muestra el interruptor de flujo recomendado.



Figura 4.31: Interruptor de flujo. Delta Control, modelo 621.

Fuente: Catálogo Delta Control, Interruptor de flujo.



4.4 DISEÑO DEL CONEXIONADO ELÉCTRICO.

Luego de haber seleccionado la instrumentación necesaria, se esquematizó el conexionado eléctrico por medio de planos haciendo uso del software AutoCAD, de esta manera se realizó los esquemas cumpliendo la norma ISA y la simbología DIN, esto permitió cumplir con una de las exigencia expuesta por la empresa para garantizar un estándar en la librería de planos. Los esquemas y planos se clasificaron de la siguiente manera:

4.4.1 PLANOS DE INSTRUMENTACIÓN.

Contienen los lazos de control y la representación del proceso, identificando todos los elementos que componen el sistema. Se pueden encontrar en el (Apéndice D), donde se muestra el plano antes de la propuesta y el sistema diseñado.

4.4.2 PLANOS DE CONTROL.

Se encuentra en el (Apéndice E), donde se representa el control a aplicarse en las condiciones de operación de los motores cumpliendo con los estándares establecidos en la FONDONORMA 200:2004 Sección 430, Parte VIII (Código Eléctrico Nacional). Por otra parte, se esquematizó la estrategia de control considerando las fallas, eventos y los puntos críticos de operación que hayan de existir, ya que se desea garantizar un proceso óptimo en todas sus fases.

4.4.3 PLANOS DE FUERZA.

Se esquematizó el conexionado de la alimentación, en conjunto de las protecciones y el sistema de distribución de energía para esta etapa, también se desarrolló la conexión de los motores que serán acoplados a las bombas (Apéndice F). Los cálculos realizados en la selección del relé de protección pudieron definir las características de conexión, las cuales fueron representadas en los esquemas de fuerza.



En este mismo sentido se promueve a que se sigan cumpliendo los estándares de clasificación de las señales según su tipo, ya que se dispone de espacio físico para ello. Se recomienda unificar todas las señales de control y ubicarlas en un espacio físico o tablero que se adapte a la cantidad de equipos a instalarse, a su vez para las señales neumáticas y de fuerza del proceso.

4.5 DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA

Para el diseño, configuración y programación de la interfaz gráfica se utilizó el programa InTouch® siguiendo los pasos planteados en el trabajo especial de grado de Pérez L. y Guzmán J. presentado en 2009 [2] cuyo título es “Desarrollo de estrategias didácticas dirigidas a la formación teórico-práctica con el sistema SCADA InTouch para el laboratorio de automatización industrial II”. Este software, cuenta con una versión educativa y es utilizado para realizar diseños y modelos gráficos capaces de reflejar claramente una representación del proceso a ser automatizado.

A continuación serán descritas las distintas pantallas de InTouch que conforman el SCADA diseñado.

4.5.1 Primera ventana: Pantalla de bienvenida

Es una pantalla de bienvenida al sistema supervisorio, en la cual a través del enlace de puesta en marcha se le dará comienzo al proceso de sulfonación y mediante el icono de “lavado” se podrá acceder a las demás pantallas que conforman el diseño. Esta pantalla puede ser observada en la figura 4.32.



Figura 4.32: Primera ventana, pantalla principal.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2 Segunda ventana: Etapa de lavado de gases

En esta pantalla se esquematizó la etapa de neutralización de gases (SO_2 Y SO_3), en ella se puede observar una representación de todos los elementos que forman parte del proceso, al igual que se podrá visualizar las variables que integran a esta etapa en tiempo real. Por otra parte, en esta pantalla se encuentran también el tanque de recirculación. Por medio de cálculos representados en los script del diseño gráfico se podrá cuantificar el nivel existente en el tanque. Estos cálculos se reflejan a continuación:

$$V = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec. 4.10}$$

Dimensiones del tanque de recirculación de la etapa de lavado de gases (SO_2 Y SO_3), del proceso de sulfonación. Se observa en la figura 4.33.

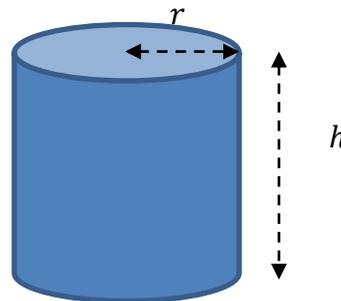


Figura 4.33: Dimensiones de tanque de recirculación, Etapa de lavado de gases.

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo como dato $r = 0.60 \text{ m}$ y $h = 1.20 \text{ m}$, nos queda:

$$V = \pi * (0.60 \text{ m})^2 * h$$

$$V = 0.36 * \pi * h \text{ [litros]} \quad \text{Ec. 4.11}$$

Dónde:

V = Volumen proporcional a la altura. [Litros]



Como se pudo apreciar en el cálculo anterior, el objetivo principal fue conseguir la relación entre el volumen y la altura del tanque de recirculación, esto con el fin de cuantificar el volumen contenido en él. Esta ecuación se introdujo en el software Intouch, de esta manera se podrá cuantificar el volumen, por medio del nivel disponible en él, esta variable es un dato de entrada que se le suministra a la interfaz gráfica desde el PLC, haciendo uso del sensor capacitivo de nivel conectado al módulo de entrada.

De la misma manera el volumen del tanque forma parte fundamental del control diseñado en la adición de reactante y la descarga de solución, es por ello que la relación entre el volumen y la carga y descarga de aditivos es primordial en la aplicación del control diseñado. La concentración se podrá fijar por medio de esta ventana una vez definido el modo de operación, la cual determinará la relación de agua e hidróxido de sodio que debe contener la solución en la operación de esta etapa.

Una vez conocidos los valores que tomará la concentración, se estudió la relación entre el volumen y la densidad de los reactantes, de esta manera se podrá alcanzar la mezcla deseada haciendo uso de los medidores de nivel. Se determinó la relación entre el volumen que se desplazaría en cierto instante de tiempo y la velocidad del flujo, esto con el fin de cuantificar la cantidad demandada de hidróxido de sodio y agua, definida por la concentración o el consumo del proceso continuo. A continuación se muestra la relación entre el caudal y la velocidad.

$$Q = A * v \quad \text{Ec. 4.12}$$

Dónde:

Q = Caudal. [l/s]

A = Área transversal de la tubería donde se realiza la medida. [m²]

v = Velocidad uniforme. [m/s]



Una vez que se determinó la relación del caudal con la velocidad del fluido, se realizó una analogía acumulativa de los litros por segundo que circulan en los medidores con un tiempo específico, esto para cuantificar el volumen requerido o fijado en la adición de hidróxido de sodio y agua. A continuación se muestra la relación que nos permite conocer el volumen.

$$V = \sum_{t=1}^t Q \quad \text{Ec. 4.13}$$

En cuanto a la medición de la presión interna en la torre de absorción, solo fue necesario establecer una relación entre la señal de medida que para el caso del instrumento recomendado es de 4 a 20 mA, con el valor del proceso. La relación se muestra a continuación en la tabla 4.11.

Tabla 4.11: Relación lineal entre la presión y la corriente.

| Intensidad (mA) | Presión (mbar) |
|-----------------|----------------|
| 4 | 0 |
| 20 | 30 |

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.34 se muestra el desarrollo grafico que comprende la etapa de lavado de gases y en conjunto a todos elementos y equipos que la integran.

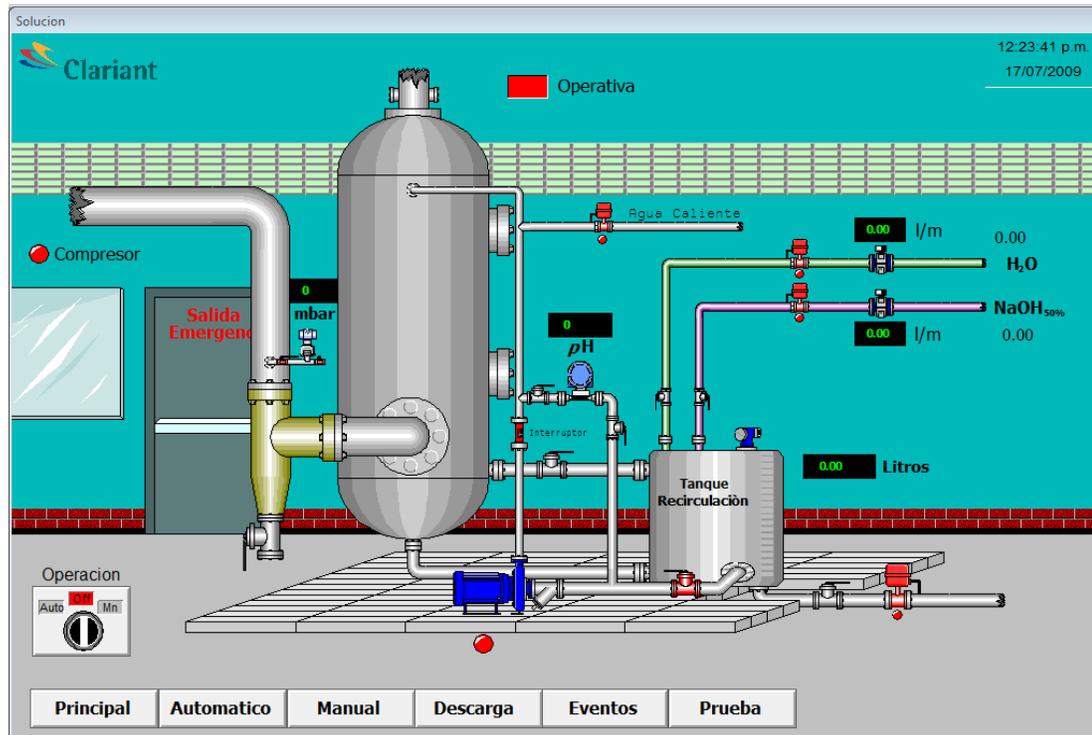


Figura 4.34: Segunda ventana, etapa de lavado de gases.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el modo de operación automático se muestra a continuación la interfaz gráfica (Figura 4.35), donde se podrá indicar la concentración deseada y una vez indicada, se le dará comienzo a la elaboración de la mezcla y el arranque de la planta de sulfonación, habilitando los permisos.

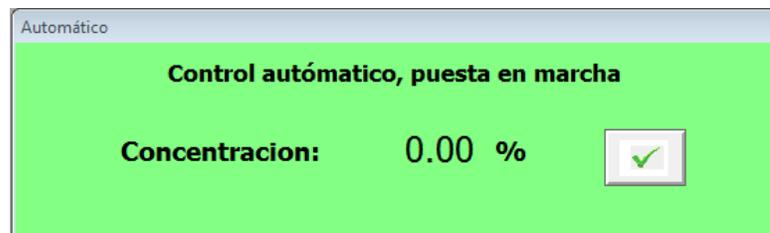


Figura 4.35: Control automático, inicio de operación de la planta de sulfonación.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 4.36, se muestra la ventana que se despliega una vez seleccionado el modo de operación manual, donde el operador podrá indicar la concentración, también indicara la apertura y cierre de las válvulas para suministrar la cantidad de reactante en función a la concentración especificada; cumpliendo con un nivel aceptable se podrá accionar la bomba de recirculación.

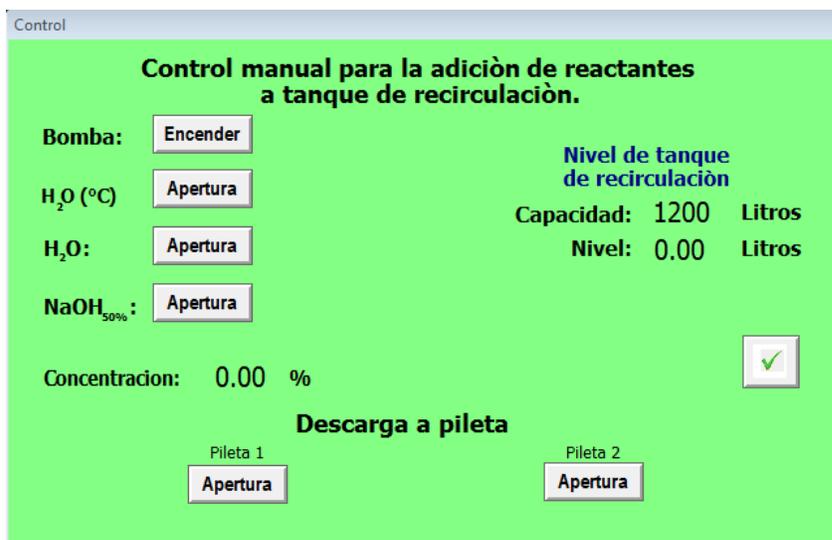


Figura 4.36: Control manual para la adición de reactantes a tanque de recirculación.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3 Tercera ventana: Sustancias descargadas

En esta pantalla se representó la etapa de procesamiento de sustancias descargadas del proceso de neutralización de gases (Ver figura 4.37). Se podrá visualizar en esta ventana el volumen contenido en las piletas acumuladoras, se estableció por medio del control diseñado una post-reacción, la cual comenzara una vez llena la pileta. Por otra parte, en esta pantalla también se encuentran ubicados los botones que seleccionan el tipo de control a ser aplicado en la transferencia de solución a la posterior etapa. También se indican la lectura de los instrumentos como el tiempo de post reacción una vez inicializado la descarga de peróxido de sodio.

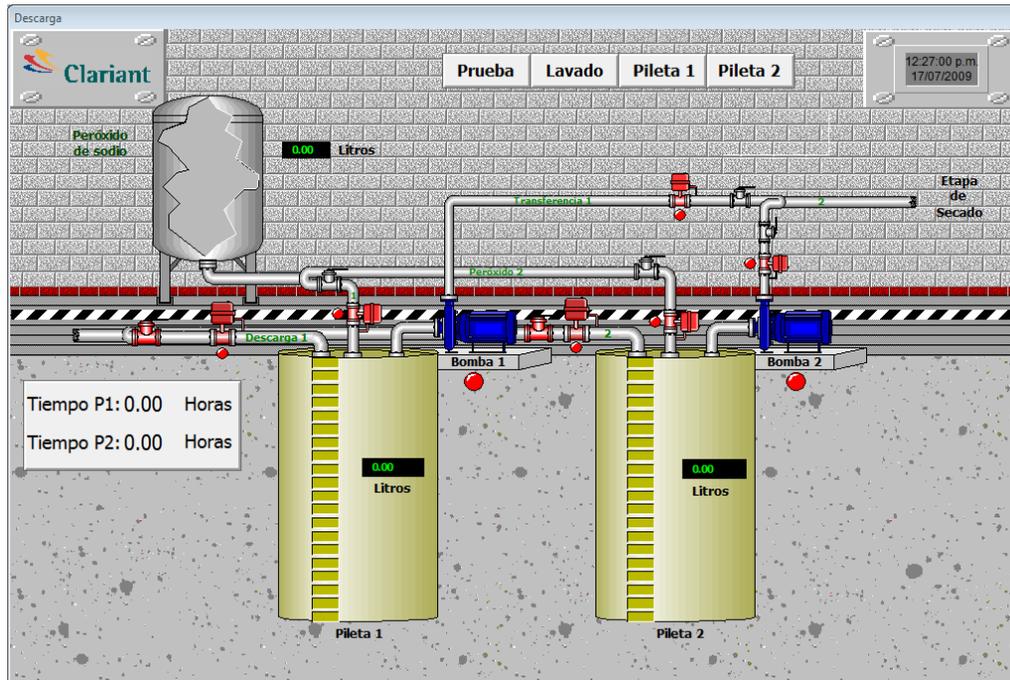


Figura 4.37: Tercera ventana, etapa de procesamiento de sustancias descargadas.

Fuente: Elaboración Propia.

La relación del volumen contenido en las piletas se pudo conocer por medio de la expresión que se describe a continuación. Ver figura 4.38.

Dimensiones de las piletas que corresponden a la etapa de procesamiento de sustancias descargadas, del proceso de sulfonación.

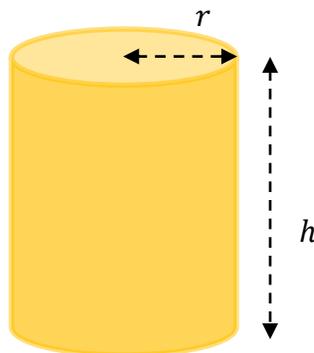


Figura 4.38: Dimensiones de las piletas acumuladoras.

Fuente: Elaboración Propia.



Teniendo como dato $r = 0.75 \text{ m}$ y $h = 2.20 \text{ m}$, nos queda:

$$V = \pi * (0.75 \text{ m})^2 * h$$

$$V = 0.5625 * \pi * h \text{ [litros]} \quad \text{Ec. 4.14}$$

Dónde:

V = Volumen proporcional a la altura. [Litros]

También se cuantificará el líquido en el tanque de peróxido de sodio, esto con el fin de proporcionar la cantidad fijada por el operador para alcanzar la post-reacción. La medición del volumen en este tanque se realizó con un sensor-transmisor de presión diferencial y se estableció que el nivel es proporcional a la columna de presión ejercida por el líquido contenido en él. La expresión que se muestra a continuación es la que nos permite conocer la altura alcanzada en el tanque:

$$H = \frac{P}{\rho * g}$$

Dónde:

ρ = densidad del peróxido de sodio. [2,8 g/cm³]

g = gravedad. [980 cm/s²]

H = Altura del líquido contenido en el tanque. [cm]

P = Peso de la columna de líquido. [g]

Dimensiones del tanque de peróxido de sodio, se muestra a continuación en la figura 4.39.

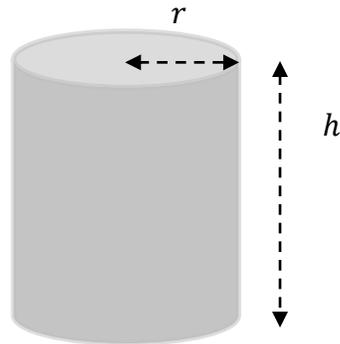


Figura 4.39: Dimensiones de tanque de peróxido de sodio.

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo como dato $r = 0.5 \text{ m}$ y $h = 1.5 \text{ m}$, nos queda:

$$V = \pi * (0.5 \text{ m})^2 * h$$

$$V = 0.25 * \pi * h \text{ [litros]}$$

Sabiendo que la altura es proporcional a la columna de presión ejercida por el líquido nos queda la siguiente expresión:

$$V = 0.25 * \pi * \frac{P}{\rho * g} \text{ [litros]} \quad \text{Ec. 4.15}$$

De esta manera se podrá aplicar la acción correspondiente en la apertura y cierre de las válvulas para la adición de reactante a las piletas. Una vez fijada por el operador la post-reacción en la piletas, y cumpliendo el tiempo de oxidación se le podrá dar inicio a la transferencia de la solución al siguiente proceso.

4.5.3.1 Transferencia automática

Esta estrategia se configuró con el objetivo de que siempre esté operativa, mas sin embargo, el operador en turno podrá deshabilitarla con el fin de supervisar el proceso de oxidación. La transferencia de la solución contenida en la piletas será hasta alcanzar el nivel mínimo fijado. Por medio de la relación entre la capacidad de la



pileta y la altura de la misma se podrá cuantificar el volumen contenido. En la figura 4.40, se puede evidenciar dicha pantalla donde se mostrará el nivel contenido.

También se podrá indicar otras acciones en cuanto a la cantidad de peróxido de sodio que se le suministrará a la pileta, así como el tiempo para alcanzar la reacción, lo cual será indicado por pantalla.

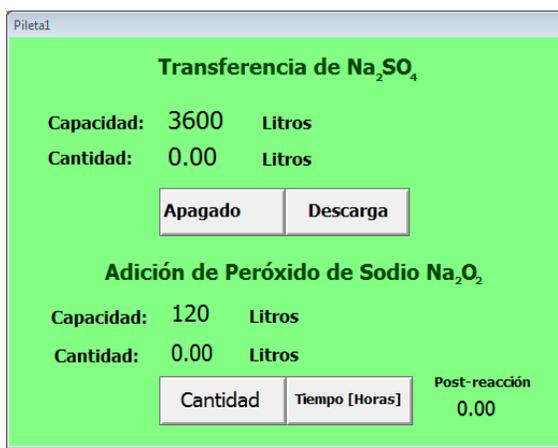


Figura 4.40: Pantalla de transferencia automática, y nivel contenido en la pileta.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.4 Cuarta ventana: Registro de eventos y alarmas

Fue necesario considerar el registro de eventos y alarmas producidas durante la operación del sistema diseñado, es por ello que se realizó esta ventana con el objetivo de registrar las rutinas de trabajo de los elementos que conforman la etapa y las fallas que puedan presentarse durante la operación del proceso. En la figura 4.41, se puede observar la pantalla de registro de eventos y alarmas, donde se visualizará el momento en que ocurrió y la prioridad del hecho originado.

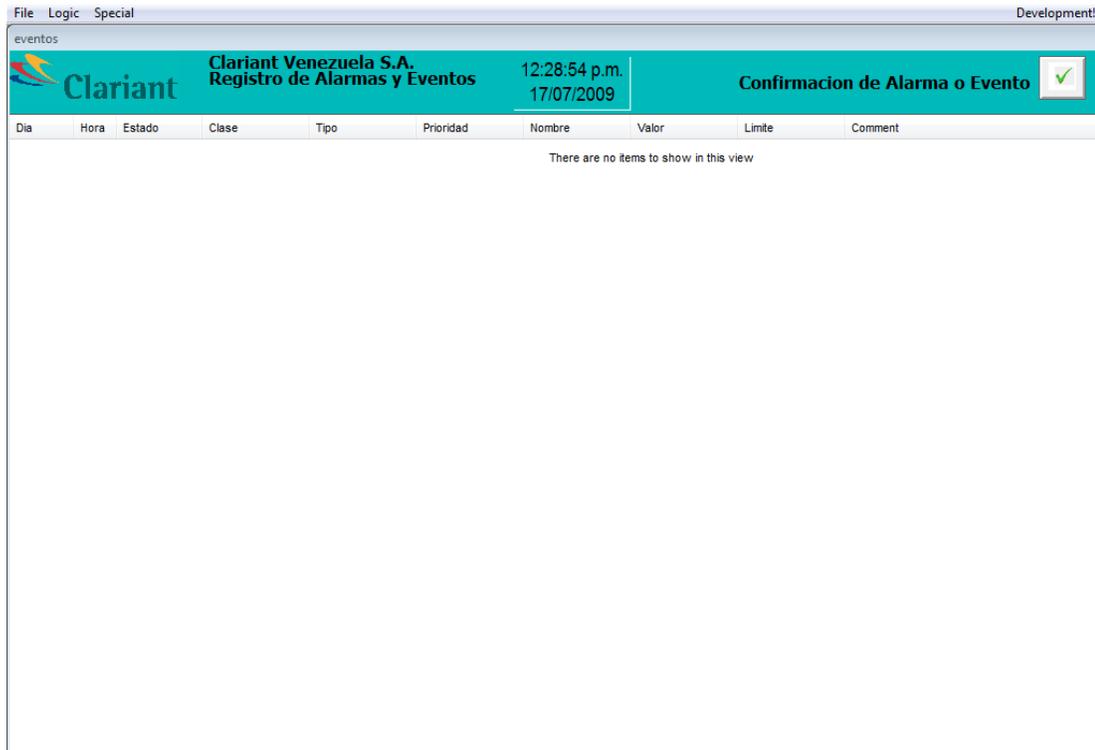


Figura 4.41: Pantalla de registro de eventos y alarmas.

Fuente: Elaboración Propia.

En el Apéndice G, se pueden apreciar todas las ventanas o diseño gráfico por medio del software, también los script desarrollados para darle un máximo desempeño al sistema propuesto.



4.6 SIMULACIÓN DEL PROCESO

En el laboratorio de Automatización Industrial II se dispone del PLC S7 1200, CPU 1212C, el cual posee características similares lo que permitió alcanzar una comunicación efectiva del sistema SCADA diseñado con el PLC; sin embargo, el no disponer de los módulos de entradas y salidas digitales y analógicas evitó desarrollar las pruebas del control diseñado.

Para la comunicación del PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C con la interfaz gráfica diseñada se utilizó protocolo OPC (Apéndice H), por ser un estándar en comunicación en los procesos de control y supervisión industrial. Para hacer esto posible, se trabajó con dos servidores OPC, como lo son Wonderware OPCLink y PC Access. El servidor OPC PC Access permite a las aplicaciones tipo cliente, como por ejemplo sistemas SCADA (casi siempre incluyen un cliente OPC), conectarse a sistemas de control de las series SIMATIC® S5 y SIMATIC® S7. El OPCLink Server es un programa de aplicación de Windows que proporciona la traducción del protocolo de comunicación y servicios de conversión de datos de Windows tengan acceso entre el PLC y la interfaz gráfica.

El procedimiento a seguir para llevar a cabo la configuración necesaria para lograr dicha comunicación se puede observar en el apéndice H.

4.6.1 SIMULACIÓN DEL ESQUEMA DE CONTROL DISEÑADO

Para la simulación de los esquemas de control diseñado fue necesario definir cuales variables se monitorearían, ya que en el laboratorio de Automatización Industrial II de la Universidad de Carabobo se dispone del PLC Siemens S7 1200, específicamente el CPU 1212C, el cual no es el CPU seleccionado para este proyecto pero si posee las mismas características de los requerimientos exigidos por la empresa para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado. Sin embargo, no se cuenta con la cantidad de módulos de E/S suficientes para comprobar el funcionamiento de todo



el proceso automatizado, es decir, el proceso de lavado de gases y el procesamiento de las sustancias descargadas, ya que como se mencionó anteriormente, se requieren de tres módulos de expansión (uno de entradas y salidas digitales y dos de entradas analógicas). Debido a las limitantes existentes, se simulará el control por medio de la interfaz gráfica, suministrándole los valores y acciones de proceso correspondientes, esto permitió comprobar la ejecución de las estrategias de control diseñadas.

Por último, se deja asentada en el Apéndice I la metodología de programación del PLC.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIÓN

La retención de los agentes contaminantes emitidos por la operación de la planta de sulfonación tiene una gran importancia debido a los efectos nocivos que estos puedan ocasionar. Existen diferentes tecnologías que han evolucionado a partir de los requisitos de las regulaciones actuales, establecidas por la legislación vigente.

Cabe destacar la intención del campo industrial en optimizar el tiempo y los recursos, dejando de lado la dependencia hacia los ciclos de regeneración ecológica, para pasar a una dependencia tecnológica y científica. Fue por ello que se analiza detalladamente el proceso existente en el tratamiento de efluentes de la planta de sulfonación, lo que permitió conocer el control aplicado para identificar las variables presentes y de esta manera mejorar las tecnologías aplicadas en el proceso.

Luego de analizar el proceso de lavado, se determinó que las variables relevantes son: el valor del pH en la solución, el nivel del tanque de recirculación y la presión interna de la torre de absorción. De la misma manera se obtuvo que con un valor de pH entre 9 y 11 en la solución se puede garantizar una limpieza de los gases generados en la operación del proceso de sulfonación; por otra parte el tanque, de recirculación pertenece a un proceso continuo, lo cual estará en constante carga y descarga, por lo que fue necesario controlar el nivel. Adicionalmente se conoció la necesidad de supervisar la presión interna con la cual se mantendrá vigilada la emisión segura de gases a la atmósfera, permitiendo así determinar si la operación del proceso de lavado de gases es efectiva.

Con una presión interna mayor a 12 mbar se definió un control ineficiente, debido a que la solución ha dejado de ser una sal para convertirse en un ácido producto de la recirculación, el contacto y la retención de los gases.



En el diseño del sistema de control, fue necesario el estudio de los diferentes esquemas de control de pH , de lo cual el valor de pH que tomará el proceso que neutralizará los gases y retiene las sustancias, definió la estrategia de control a ser aplicada, donde el mismo será un control todo-nada debido a que no se fijó un valor específico para el pH . A su vez el esquema de control que fue seleccionado para el nivel del tanque de recirculación tuvo como objetivo la supervisión del nivel máximo para que no se produzca rebose y un nivel proporcional a las descargas parciales que ocurrirán consecuentes a la nueva adición de reactantes y así de esta manera garantizar un sistema continuo. También fue necesario evaluar las condiciones de descarga, esto permitió definir el tipo de control que será aplicado para el llenado y transferencia de las soluciones agotadas.

La presión interna se interpretó como una de las variables más importantes del proceso ya que con ella se pudo definir si el proceso de lavado es óptimo y a su vez, indicar si existe o no espuma dentro de la torre de absorción, y si son aceptables o no las emisiones de gases a la atmósfera.

Para la incorporación del proceso de tratamiento de solución agotada o sustancias descargadas a los sistemas de producción continua adoptados por la empresa, se identificó que la variable a controlar es el nivel de las piletas, donde fue necesario determinar la cantidad de solución a ser procesada en conjunto con el peróxido de sodio, esto permitió definir la estrategia de control a aplicar. La selección de la instrumentación fue definida por las características del entorno y las sustancias a tratar.

Una vez definida y diseñadas las estrategia de control, se seleccionaron los equipos y la instrumentación necesaria cumpliendo los requerimientos exigidos por la empresa Clariant Venezuela S.A., y por las condiciones del proceso. En el caso de los transmisores, se consideraron las marcas Siemens y Endress+Hauser, ya que son las principales marcas aplicadas en los procesos de producción de la empresa y también



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

por su fiabilidad en los sistemas de control. En cuanto a los equipos de medición de flujo (Proline Promag 50W, Marca: Endress+Hauser) se consideraron las sustancias que interactuarían con ellos (Agua e Hidróxido de Sodio), para definir las características del sistema para su selección. Como controlador se usó el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C) por requerimiento de la división de mantenimiento de la empresa, ya que es un equipo compacto muy versátil, y puede ampliarse flexiblemente con módulos de E/S en función a las necesidades existentes. La selección de las válvulas dependió del tipo de sustancias con las que interactuarían y el conexionado del proceso aplicado.

Luego de haber llevado a cabo un estudio del proceso, el diseño y la selección del control a ser propuesto, se procedió a la elaboración de los esquemas de conexión entre la fuente de alimentación PM 1207, la CPU 1214C y los módulos de E/S necesarios. Cabe destacar que actualmente se dispone en el laboratorio de automatización industrial II la CPU 1212C, pero el mismo no dispone de la cantidad de E/S necesaria para comprobar el sistema diseñado por lo cual se procedió a comprobar la estrategia de control mediante un análisis gráfico en el sistema SCADA, fijando en él las operaciones a realizarse en cada uno de los eventos, para que de esta manera se visualizara la acción de control. En la elaboración de los planos eléctricos del sistema, fue necesario recopilar información acerca de la ubicación del tablero principal y las condiciones en las que se encontraba el sistema de control aplicado actualmente; esto permitió conocer la interconexión con la bomba de recirculación y con la señal del actual analizador de pH. El conexionado a ser planteado para el funcionamiento del sistema se representó cumpliendo la simbología establecida en las normas ISA para los planos de instrumentación, y la simbología NEMA para los esquemas eléctricos.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó la interfaz gráfica, donde se podrá observar el estado del proceso de tratamiento o lavado de gases y de esta manera, verificar las condiciones de operación. Por otra parte permite supervisar el estado de cada variable, como el nivel del tanque de recirculación, la característica de la solución en cuanto al valor del pH y la presión interna de la torre de absorción. También hace posible visualizar la condición de las electro-válvulas, es decir, abierta o cerrada, y el estado operativo de las bombas existentes. Se pueden observar los niveles en las piletas, la condición de apertura y cierre de las válvulas que seccionan el llenado de las mismas, e introducir la cantidad de solución que se desea transferir en caso de que no sea la totalidad existente en la pileta. Por último, se presenta un registro de eventos y alarmas, donde el electro-instrumentista podrá monitorear y verificar la operación del proceso.

Para el desarrollo del sistema SCADA, fue fundamental toda la información adquirida en la cátedra de Automatización Industrial II. Se utilizó el protocolo OPC para establecer la comunicación entre el PLC y el sistema SCADA, específicamente los servidores OPC PC ACCESS y OPCLink. En internet se consiguieron varios manuales para la configuración y puesta en funcionamiento de ambos servidores.

Las estrategias de control diseñadas al estar en conjunto brindan un sistema eficaz capaz de neutralizar las corrientes de gases antes de ser evacuados a la atmósfera, esto con el fin de cubrir la necesidad de conservar el medio ambiente. Se monitorearán cada una de las variables importantes del proceso y una vez enlazados se les suministrarán a los operadores la supervisión de todas ellas. Por último, la automatización de este proceso fue un campo abierto a la incorporación de estudios de ingeniería capaces de cubrir las necesidades del sistema y en general es una decisión de cambio para darle vida al mundo que nos acoge.



RECOMENDACIONES

Se promueve a la implementación del diseño propuesto, en virtud de mejorar las condiciones ocupacionales de los operarios en planta y así mismo las condiciones ambientales.

Para preservar la vida útil, y operación eficiente del sistema, es importante que los equipos y lazos de control estén sujetos a un mantenimiento adecuado, el cual debe ser realizado por personal calificado que comprenda la operación de los equipos. Se recomienda en la aplicación del mantenimiento operar en modo parada, así de esta manera quedarán aislados los equipos del sistema, lo cual garantiza una intervención eficaz sin interrupciones sobre el proceso y a su vez sin daños sobre otro equipo presente en el sistema.

Se recomienda el uso de tuberías y accesorios de acero inoxidable e incluso por las condiciones de algunas zonas acero al carbono.

Continuar con las labores de campo necesarias, adoptando tecnologías que permitan brindar seguridad a los operadores, al ambiente y a los procesos de producción, mediante la puesta en marcha de estudios de ingeniería que sigan mejorando la eficiencia en los sistemas de producción implicados.

APÉNDICE A

SIMATIC TIA (Totally Integrated Automation) PORTAL STEP 7 Basic V10.5 Y CONFIGURACIÓN DEL PLC S7 1214C

A.1.- Crear proyecto

Para realizar la configuración de la CPU a utilizar por medio del programa STEP 7 Basic V10.5:

Se debe entrar al programa TIA PORTAL, donde el entorno grafico es el mismo observado en la figura A-1, aquí se podrá crear el proyecto y adicionarla algún comentario que describa el propósito a alcanzar.

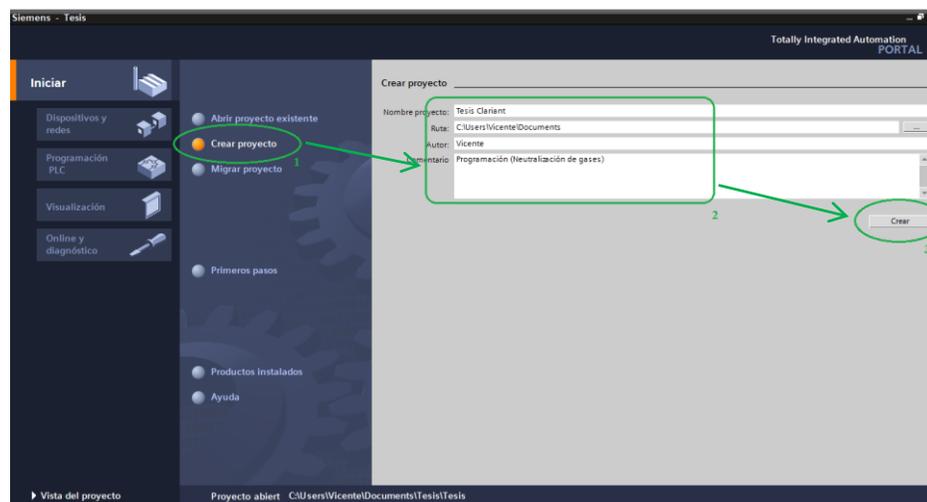


Figura A-1: Creación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procederá a la configuración de la CPU a utilizar, esto se realiza entrando en el icono resaltado de manera ilustrada en la figura A-2.

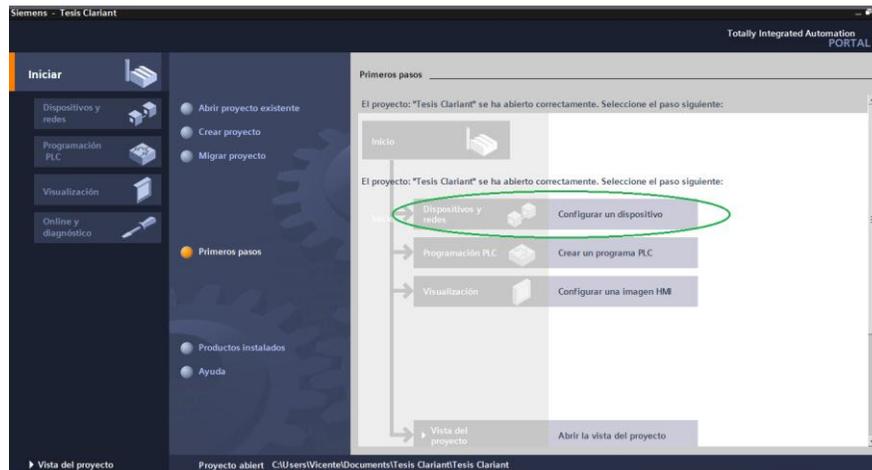


Figura A-2: Selección para la configurar un dispositivo.

Fuente: Elaboración propia.

Seguido a esto se debe agregar un dispositivo siendo para este caso el modelo del PLC a programar, de manera secuencial se muestran en la figura A-3 los pasos para seleccionar el CPU.

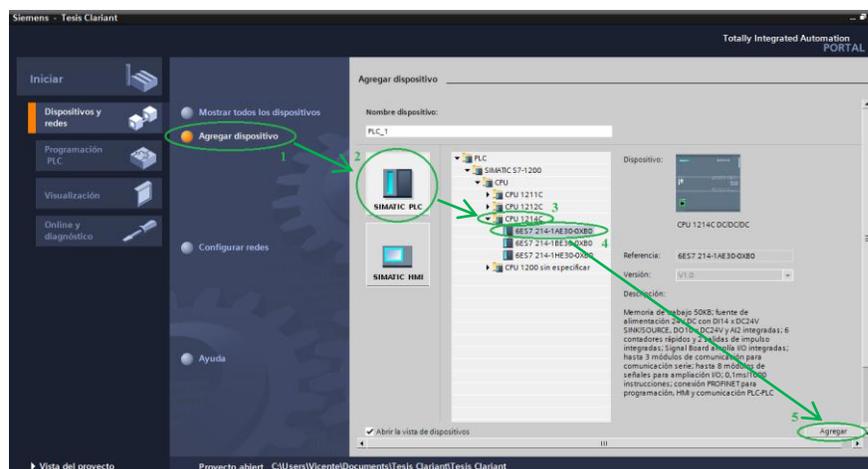


Figura A-3: Selección y adición de dispositivo.

Fuente: Elaboración propia.

En la adición de los dispositivos se toman en cuenta los módulos de expansión de entradas y salidas digitales y analógicas, considerados en el desarrollo de este proyecto, luego de haber definido la CPU se despliega la siguiente pantalla y siguiendo los pasos indicados en la ilustración se podrán agregar los módulos necesarios. En la figura A-4 se muestran la adición de los módulos de E/S digitales SM 1223, y para la figura A-5 el módulo de entradas analógicas SM 1231.

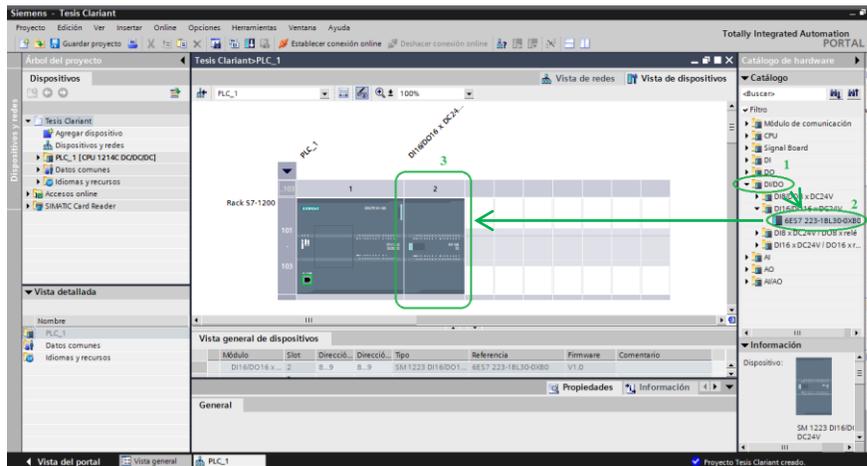


Figura A-4: Confirmación de adición de CPU 1214C, y suma de módulo de E/S digitales SM 1223.

Fuente: Elaboración propia.

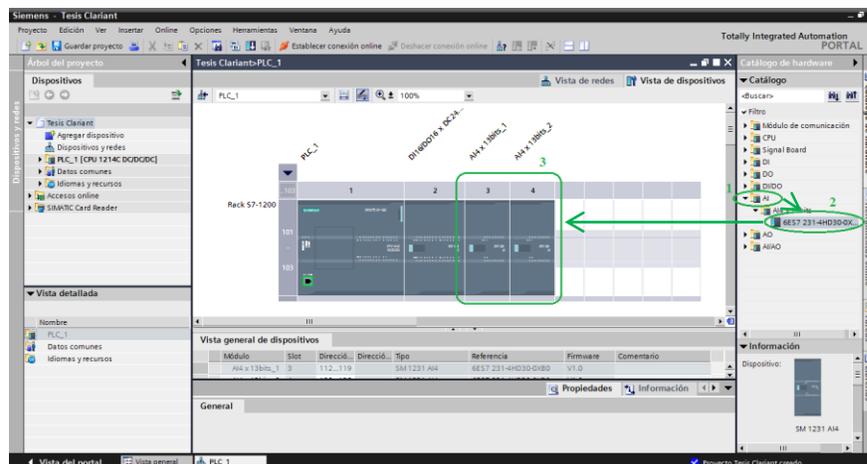


Figura A-5: Adición de módulos de entradas analógicas SM 1231.

Fuente: Elaboración propia.

Este nos permite crear etiquetas y cifrado de la programación de los equipos seleccionado seleccionando su configuración general. Figura A-6.

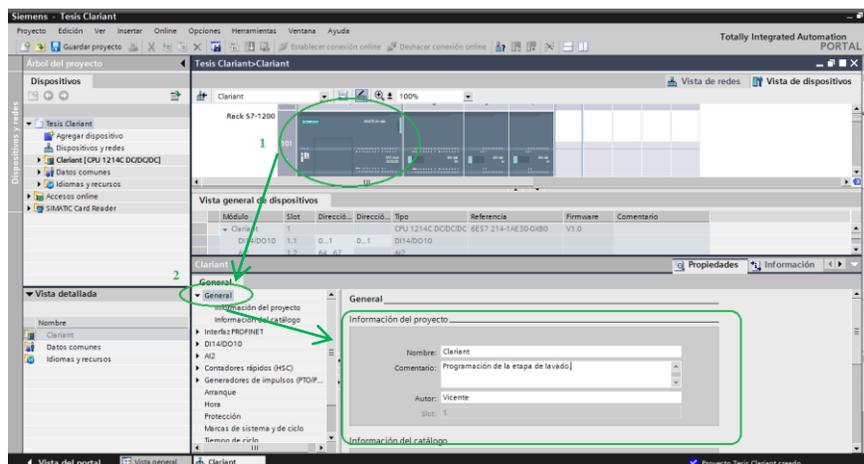


Figura A-6: Información general de CPU 1214C.

Fuente: Elaboración propia.

Por ser esta CPU un controlador compacto, no se requiere de módulo de comunicación para establecer un enlace entre el PLC y el sistema SCADA, sin embargo; es primordial especificar dentro de la interfaz PROFINET las direcciones PROFNET las direcciones IP correspondientes para alcanzar una comunicación efectiva entre ellos. Esto se muestra en la figura A-7.

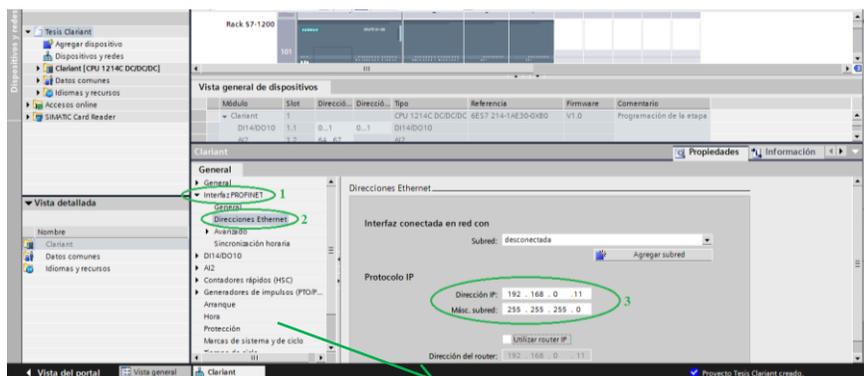


Figura A-7: Configuración de la interfaz PROFINET, Direcciones Ethernet.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura A-8, se muestran las configuraciones general de la CPU 1214C, aquí podemos establecer las protecciones o cifrado de código, el tiempo de retardo para los filtros de entradas, identificación de las entradas y salidas digitales y variable de medición de las entradas analógicas que posee el módulo compacto.

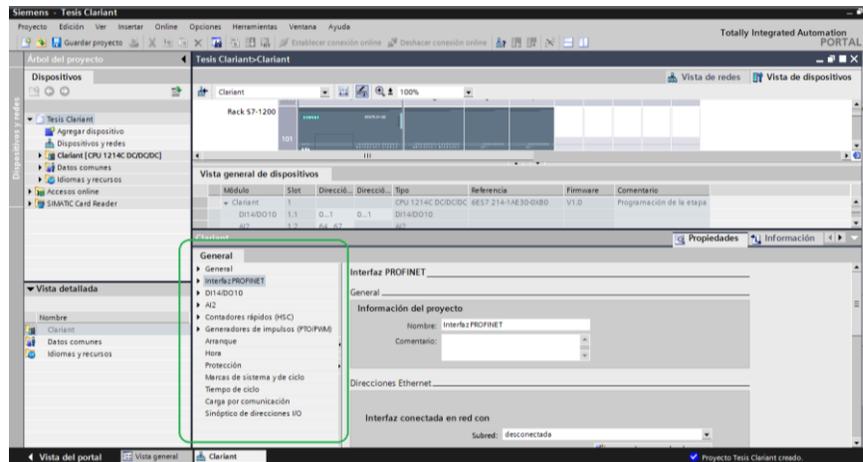


Figura A-8: Configuración general del CPU 1214C.

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la siguiente pantalla la configuración del módulo digital SM 1223, aquí se identifican las variables con cada entrada o salida correspondiente, y de igual manera se ajustan los tiempos de retardos. Figura A-9.

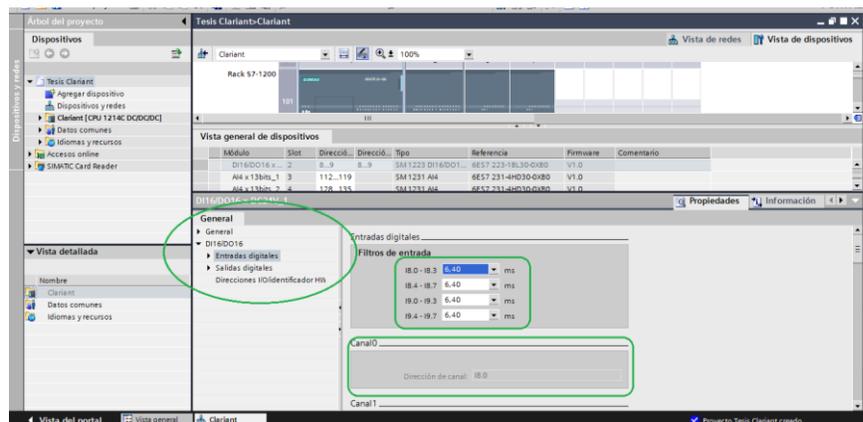


Figura A-9: Configuración general de módulo de E/S digitales SM 1223.

Fuente: Elaboración propia.

En la configuración de los módulos analógicos se identificó el tipo de señal a medir, siendo para el caso de todos los instrumentos presentes intensidad, que por defecto señala una medida con rango de 0 a 20 mA. La figura A-10 se muestra de manera ilustrada la configuración.

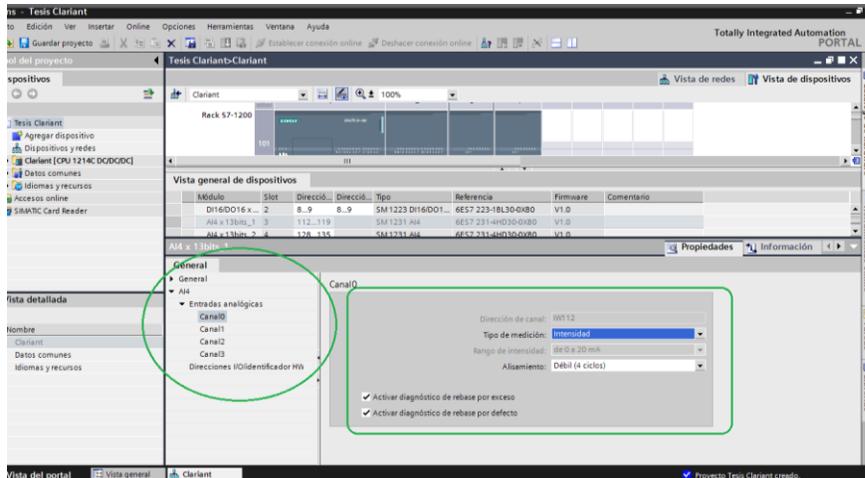


Figura A-10: Configuración general de módulos de entradas analógicas SM 1231, selección del tipo de medición.

Fuente: Elaboración propia.

En la identificación de las variables, en conjunto al tipo de dato que procesaría y la dirección correspondiente, se siguieron la secuencia de pasos que ilustra la figura A-11, donde se direcciona la variable con el puerto que corresponda.

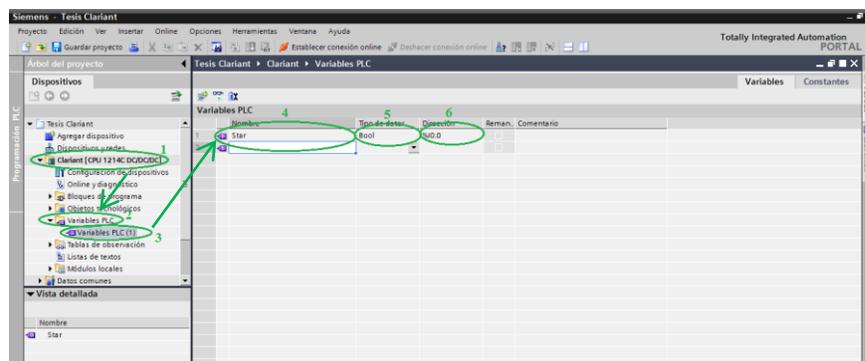


Figura A-11: Declaración y direccionamiento de las variables.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez declaradas todas las variables se configuro el lenguaje a ser usado para desarrollar la programación, así mismo se especificó el bloque que contendría toda la secuencia a ejecutarse, esto se puede apreciar en la siguiente ilustración, figura A-12.

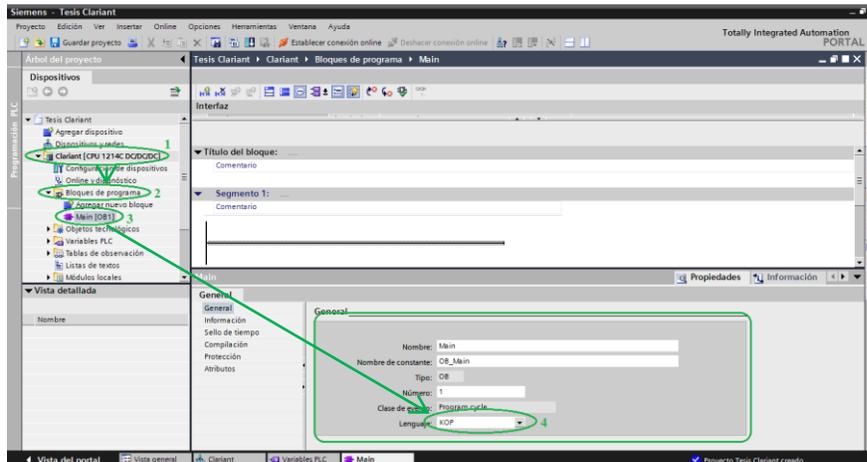


Figura A-12: Adición de los bloques de programación y configuración del lenguaje.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE H

CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Se puede establecer una conexión entre el servidor OPC PC Access y el PLC Simatic S7-1200. Sin embargo, hay una serie de restricciones que hay que tener en cuenta la cuales se representan a continuación por medio de las siguientes ilustraciones.

Esta configuración permite la comunicación y los servicios de conversión de datos entre el PLC y la interfaz gráfica.

A continuación se muestra en la figura H-1, la configuración por hardware, donde se especifica la secuencia a seguir para alcanzar una comunicación efectiva.

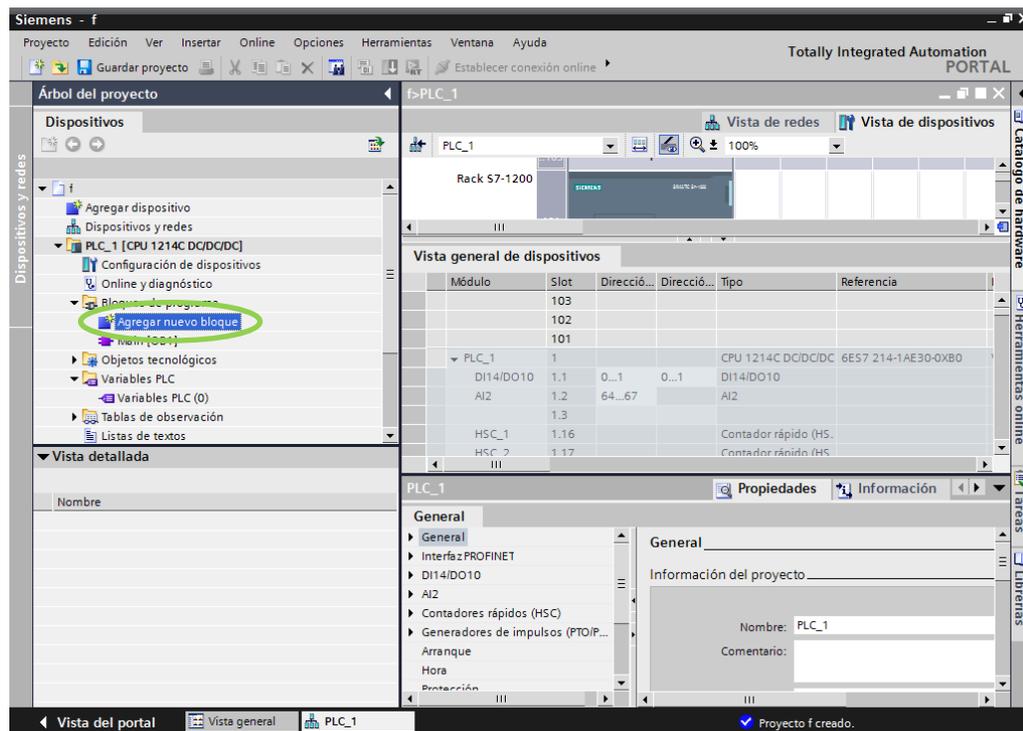


Figura H-1: Configuración PLC S/-1200.

Fuente: Elaboración propia.

Hay ciertas restricciones que se han de tener en cuenta ya que el servidor OPC PC Access se desarrolló originalmente para acceder a un PLC de la gama S7-200, sin embargo estableciendo la siguiente configuración que se muestra en la figura H-2, se puede lograr una comunicación efectiva.

Sólo se puede acceder a variables contenidas en el bloque de datos DB1 del PLC del S7-1200 esto a razón de que el PLC S7-200 sólo tenía un bloque de datos.

El DB1 en el PLC del S7-1200 tiene que no ser simbólico. Por lo que no se debe marcar la opción de "Sólo acceso simbólico" cuando se cree el DB1.

Para añadir el bloque de datos 1, se navega en el "árbol del proyecto" pulsando sobre el elemento "Añadir nuevo bloque". Luego pulsar sobre el botón de "Bloque de datos (DB)". Quitar la selección de "Sólo acceso simbólico". Pulsar en el botón "Aceptar".

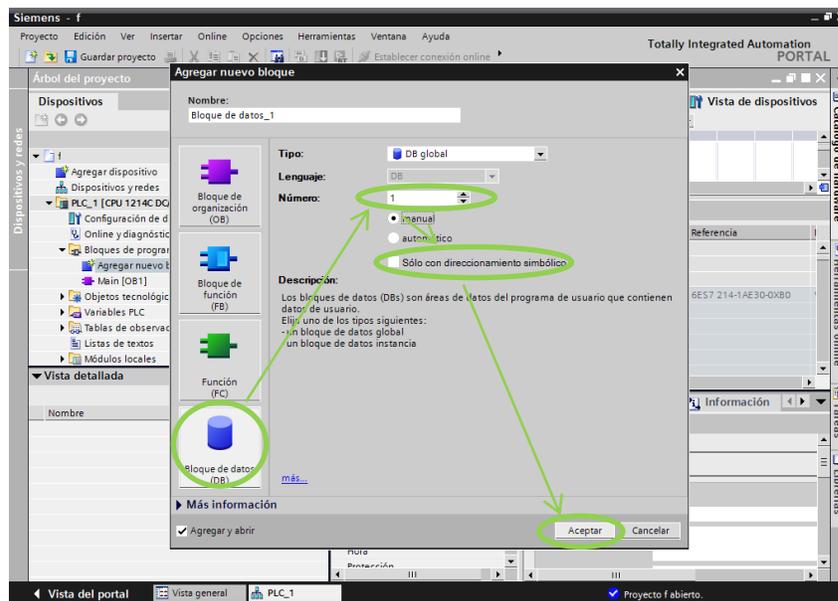


Figura H-2: Configuración PLC S/-1200.

Fuente: Elaboración propia.

Crear un nuevo proyecto en el servidor OPC PC Access y acceder a los tag

Una vez abierto el software PC Access, se navega por la barra de menú y se selecciona archivo, seguido de nuevo y se le da nombre a un nuevo proyecto.

Luego se selecciona la entrada "MicroWin (TCP/IP)" en el "árbol del proyecto". Posterior a esto se navega por la barra de menú y seleccionar "Editar > Nuevo > PLC". Se añadirá un objeto "NuevoPLC" y se abrirá la ventana del cuadro de diálogo "Propiedades del PLC" del nuevo PLC. Introducir los siguientes parámetros en los campos de entrada de esta ventana:

- Nombre: "S7-1200_PLC"
- Dirección IP: "192.168.0.11" (dirección IP del PLC del S7-1200)
- TSAP Local: "10.00." (TSAP del PC Access)

En las siguientes ilustraciones se muestra la configuración por hardware. Figura H-3 y H-4.

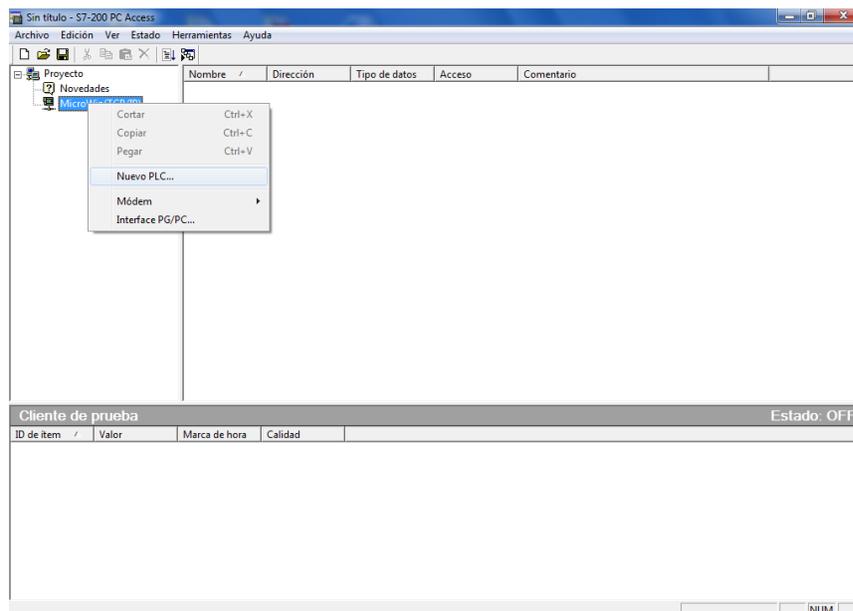


Figura H-3: Creación de nuevo proyecto en PC Access.

Fuente: Elaboración propia.

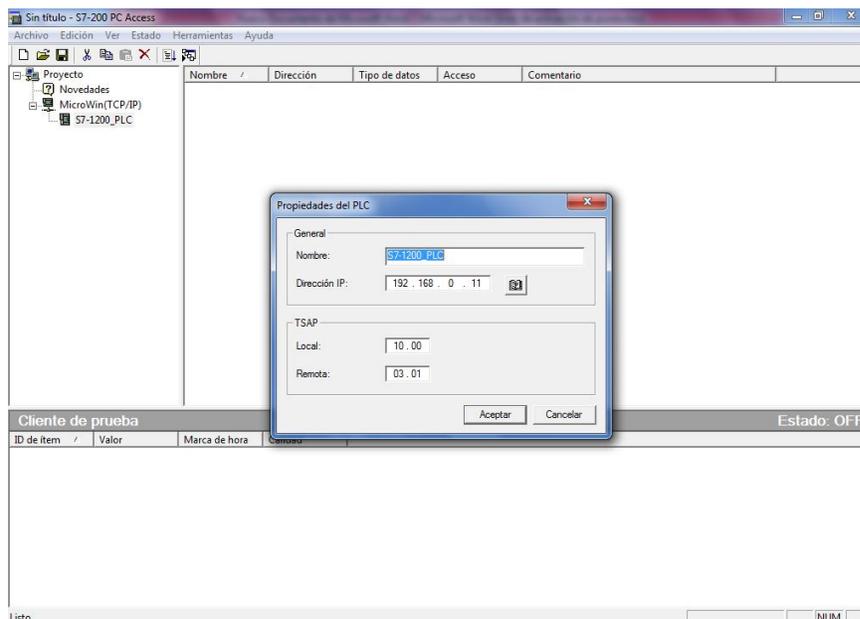


Figura H-4: Configuración del PLC S7-1200 en PC Access.

Fuente: Elaboración propia.

Para añadir los tag o las etiquetas nos posicionamos sobre la ventana o sobre el PLC del S7-1200 en el "árbol del proyecto", luego se navega por la barra de menú y se selecciona "Editar > Nuevo > Elemento". Se abrirá la ventana del cuadro de diálogo "Propiedades de elemento".

Para acceder a datos en el PLC del S7-1200 hay que realizar los siguientes pasos:

- Introducir un nombre de elemento en el campo de entrada "Nombre:".
- Introducir la dirección de la variable en el campo de entrada "Dirección:".
- Seleccionar el tipo de dato en el campo de entrada "Tipo de dato:".

Adicionalmente, se puede restringir el acceso a la dirección de memoria para sólo "lectura" o sólo "escritura". A continuación se muestran las siguientes figuras H-5, H-6, H-7 y H-8, donde se observa la creación de los tag uno a uno hasta definir los contenidos en la programación.

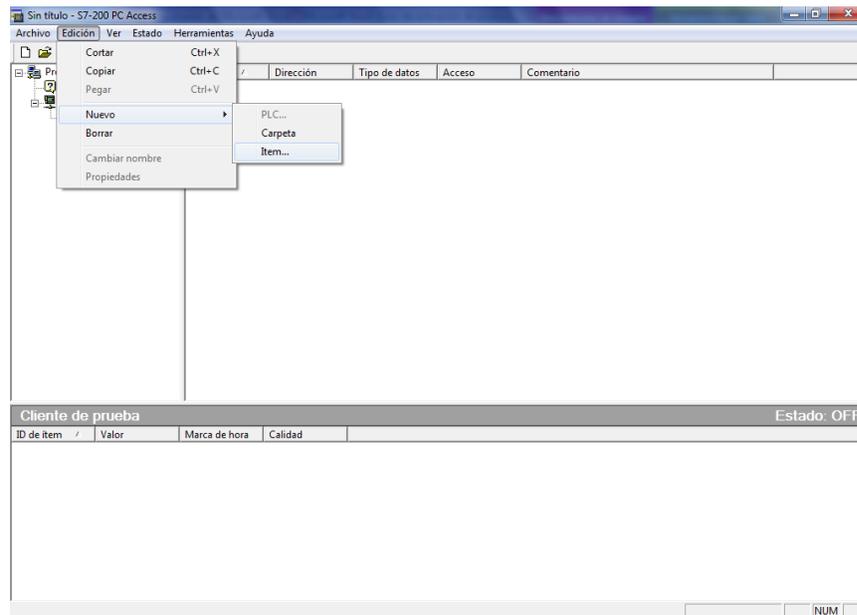


Figura H-5: Añadir etiquetas o tag.

Fuente: Elaboración propia.

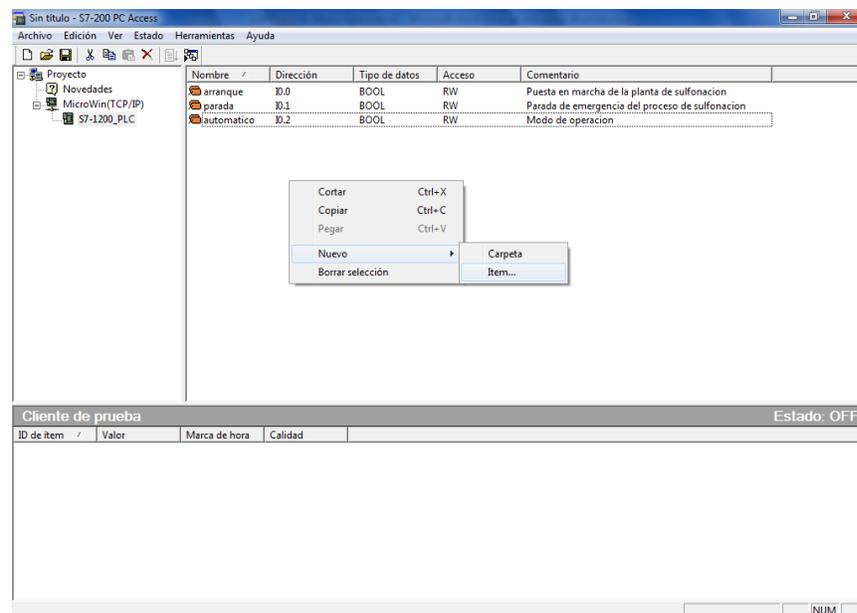


Figura H-6: Añadir etiquetas o tag.

Fuente: Elaboración propia.

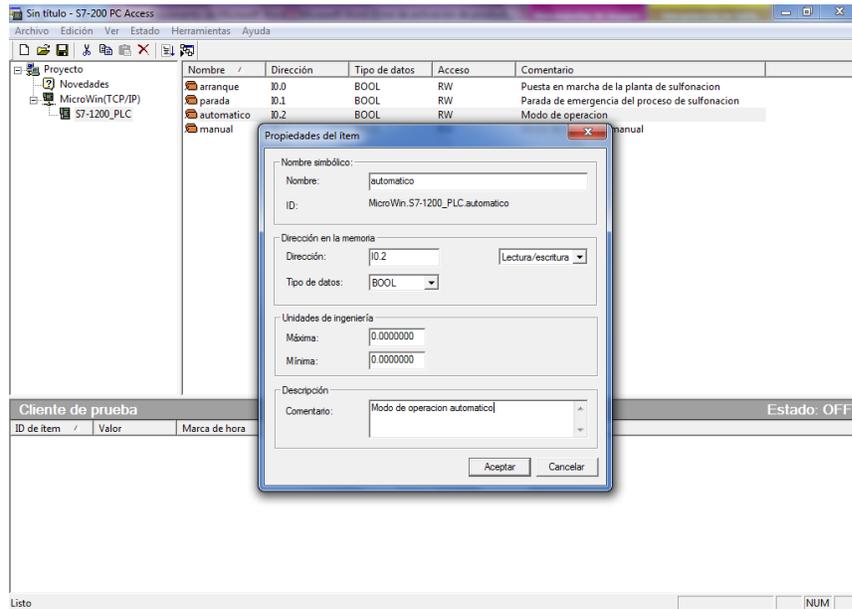


Figura H-7: Añadir etiquetas o tag.

Fuente: Elaboración propia.

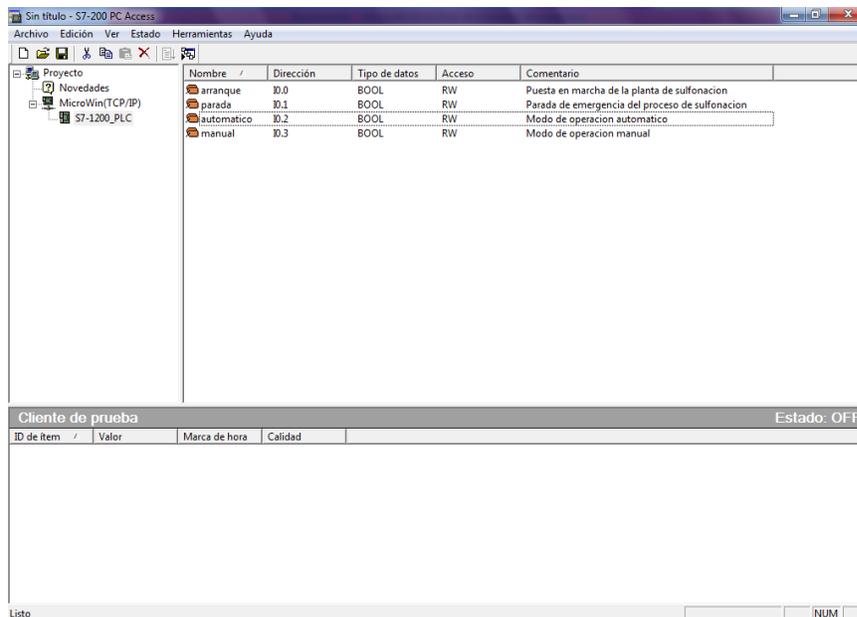


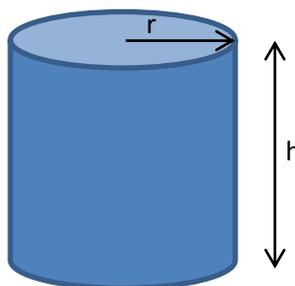
Figura H-8: Añadir etiquetas o tag.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE B

PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE SOLUCIÓN AGOTADA O CONSUMIDA EN TANQUE DE RECIRCULACIÓN.

Dimensiones y capacidad del tanque de recirculación de la etapa de lavado de gases.



$$V = \pi * r^2 * h$$

Teniendo como dato $r = 0.60 \text{ cm}$ y $h = 120 \text{ cm}$, nos queda:

$$V = \pi * (0.60 \text{ cm})^2 * 120 \text{ cm}$$

$$V = 1357.16 \text{ litros}$$

Se estiman 157.16 litros, los cuales no serán ocupados por solución debido al desahogo por factores de rebose y formación de espuma, nos queda que el volumen que ocuparía será de 1200 litros.

Del Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A. se obtuvo los valores de concentración requerida para neutralizar la mayor cantidad de gases en función a la producción.

Para la producción de NA-LS C12-14 28%, NA-LS C12 18 30%, NA-LES-IEO 26%, NA-LES-2EO 27%, NA-LES-2EO 70%, NA-LES-3EO 28%, NA-DDBSA 55% se requiere de una concentración de Hidróxido de sodio al 6,5% ($\text{NaOH}_{6,5\%}$),



con esta concentración se establece un proceso continuo donde se presenta un consumo en KG/HR, el cual será añadido para compensar el valor requerido de pH y así garantizar la neutralización o retención de los gases. Ver tabla A-1.

Tabla A-1: Consumo KG/HR a una concentración del 6,5%.

| | | |
|---------------------|-------|-----|
| Total | KG/HR | 131 |
| Agua | KG/HR | 123 |
| Soda Cautica al 50% | KG/HR | 8 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

La densidad de cada uno de los elementos permitió determinar la cantidad volumétrica que ocupa esta proporción.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$V_{H_2O} = \frac{123 \text{ kg}}{1 \text{ kg/l}} = 123 \text{ l}$$

$$V_{NaOH \text{ 50\%}} = \frac{8 \text{ kg}}{1,525 \text{ kg/l}} = 5,24 \text{ l}$$

Relación porcentual en función al volumen

Agua = 95,9139%

Soda Cautica = 4,0860%

Considerando la capacidad útil del tanque de recirculación y el comportamiento lineal de los elementos que conforman la solución podemos extrapolar los valores piloto.

Agua = 1150,96 litros; 1151 Kg



Soda Cautica = 49,03 litros; 74,77 Kg

Esto valores se consideran para la inicialización o arranque del proceso en la elaboración de los productos mencionados.

Por otra parte al establecer un proceso continuo se considera la incorporación de agua y soda cautica a la misma proporción o concentración cada hora para compensar el decaimiento en el pH producto del contacto de la solución con lo gases.

Estableciendo una descarga continua o previa a la incorporación de agua y soda, diario se tendría un consumo que se puede apreciar en la tabla A-2.

Tabla A-2: Consumo KG/DIA a una concentración del 6,5%.

| | | |
|---------------------|--------|------|
| Total | KG/DIA | 3678 |
| Agua | KG/DIA | 3453 |
| Soda Cautica al 50% | KG/DIA | 225 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

Con estos valores podemos definir la cantidad volumétrica a ser descargada durante una jornada diaria que se pueden observar en la tabla A-3, considerando las 24 horas, esto por corresponder a un proceso continuo.

Tabla A-3: Consumo Litros/DIA a una concentración del 6,5%.

| | | |
|---------------------|------------|------|
| Total | Litros/DIA | 3612 |
| Agua | Litros/DIA | 3453 |
| Soda Cautica al 50% | Litros/DIA | 149 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

Ahora en la actualidad al no disponer de un contador de flujo en la línea de inyección de soda cautica se estima que el consumo de hidróxido alcance los 350 Kg en una jornada diaria, con los valores antes expuestos se pueda apreciar el ahorro de



soda caustica en un 36%, de esta manera se obtiene un rendimiento en materia prima notable.

En la producción de NH₄-LES-3EO 25% se necesita una concentración de hidróxido de sodio al 11% (NaOH_{11%}), con esta concentración se establece un proceso continuo donde se presenta un consumo en KG/HR, el cual será añadido para compensar el valor requerido de pH y así garantizar la neutralización o retención de los gases. Por tratarse de una nueva concentración existe una distinta relación la cual se observa en la tabla A-4.

Tabla A-4: Consumo KG/HR a una concentración del 11%.

| | | |
|----------------------|-------|-----|
| Total | KG/HR | 131 |
| Agua | KG/HR | 118 |
| Soda Caustica al 50% | KG/HR | 13 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

Con la densidad de cada uno de los elementos permitió determinar la cantidad volumétrica que ocupa esta proporción.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$V_{H_2O} = \frac{118 \text{ kg}}{1 \text{ kg/l}} = 118 \text{ l}$$

$$V_{NaOH \text{ 50\%}} = \frac{13 \text{ kg}}{1,525 \text{ kg/l}} = 8,52 \text{ l}$$



Relación porcentual en función al volumen

Agua = 93,0731%

Soda Cautica = 6,9268%

Considerando la capacidad útil del tanque de recirculación, comportamiento lineal de los elementos que conforman la solución podemos extrapolar los valores piloto.

Agua = 1116,87 litros; 1117 Kg

Soda Cautica = 83,1228 litros; 126,76 Kg

Esto valores se consideran para la inicialización o arranque del proceso en la elaboración de los productos que conforman esta concentración neutralizante.

Por otra parte al establecer un proceso continuo se considera la incorporación de agua y soda cautica a la misma proporción o concentración cada hora para compensar el decaimiento en el pH producto del contacto de la solución con lo gases.

Estableciendo una descarga continua o previa a la incorporación de agua y soda, diario se tendría un consumo que se puede apreciar en la tabla A-5.

Tabla A-5: Consumo KG/DIA a una concentración del 11%.

| | | |
|---------------------|--------|------|
| Total | KG/DIA | 3732 |
| Agua | KG/DIA | 3351 |
| Soda Cautica al 50% | KG/DIA | 381 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

Con estos valores podemos definir la cantidad volumétrica a ser descargada durante una jornada diaria que se pueden observar en la tabla A-6, considerando las 24 horas, esto por corresponder a un proceso continuo.

**Tabla A-6:** Consumo Litros/DIA a una concentración del 11%.

| | | |
|----------------------|------------|------|
| Total | Litros/DIA | 3603 |
| Agua | Litros/DIA | 3351 |
| Soda Caustica al 50% | Litros/DIA | 252 |

Fuente: Manual de Operación de la Planta de Sulfonación de Clariant Venezuela S.A.

En este caso se estima que el consumo de hidróxido de sodio alcance los 500 Kg en una jornada diaria, manteniendo un control aplicado que se adapte a los valores expuestos en la tabla A-6, se tendrá un ahorro del 23,8%.

Se concluye que para ambas concentraciones al brindar una estrategia de control capaz de adaptarse al consumo diario indicado en las tablas, se podrá obtener un rendimiento y ahorro favorable.

APÉNDICE C

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación automático).

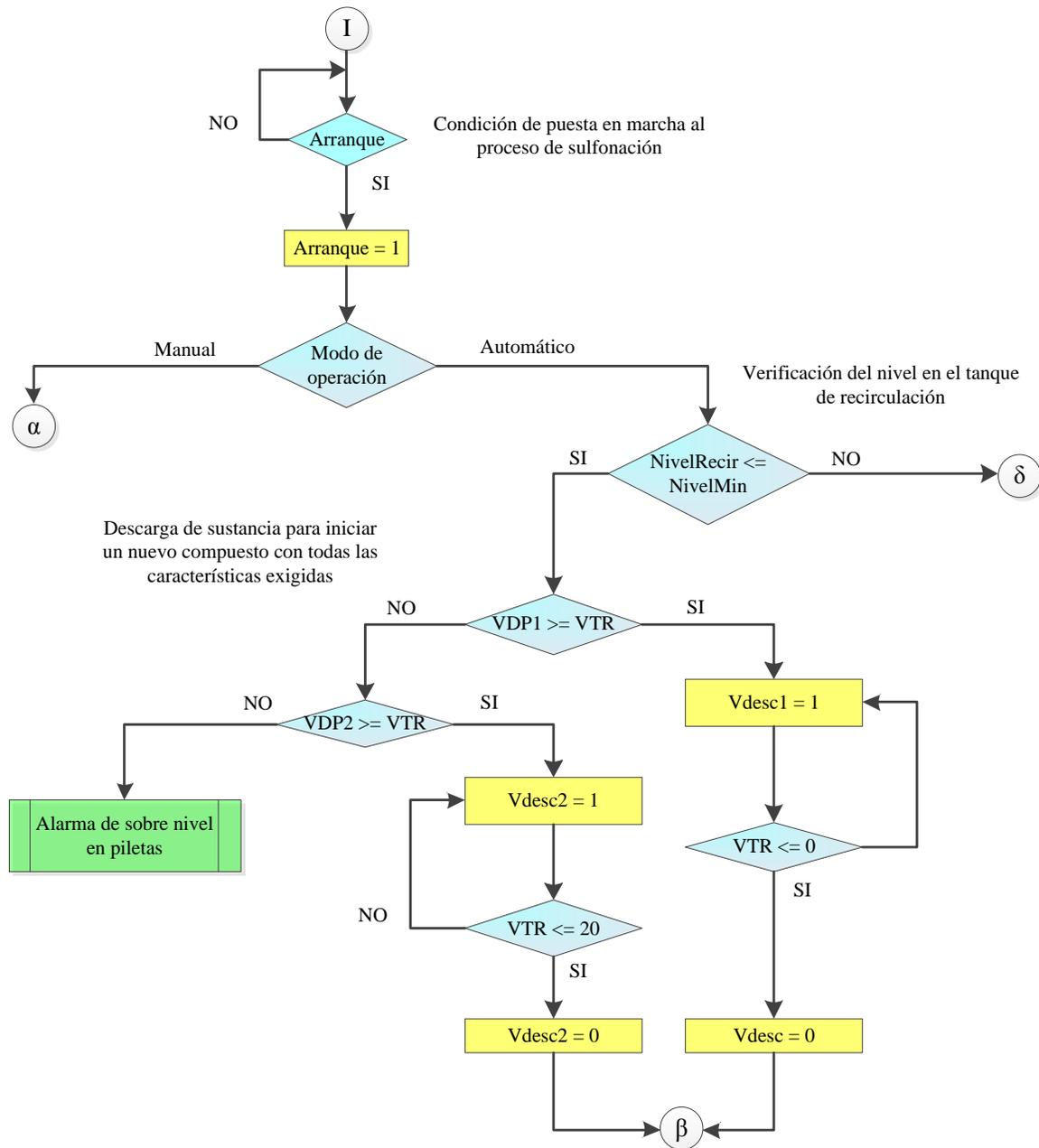


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación automático).

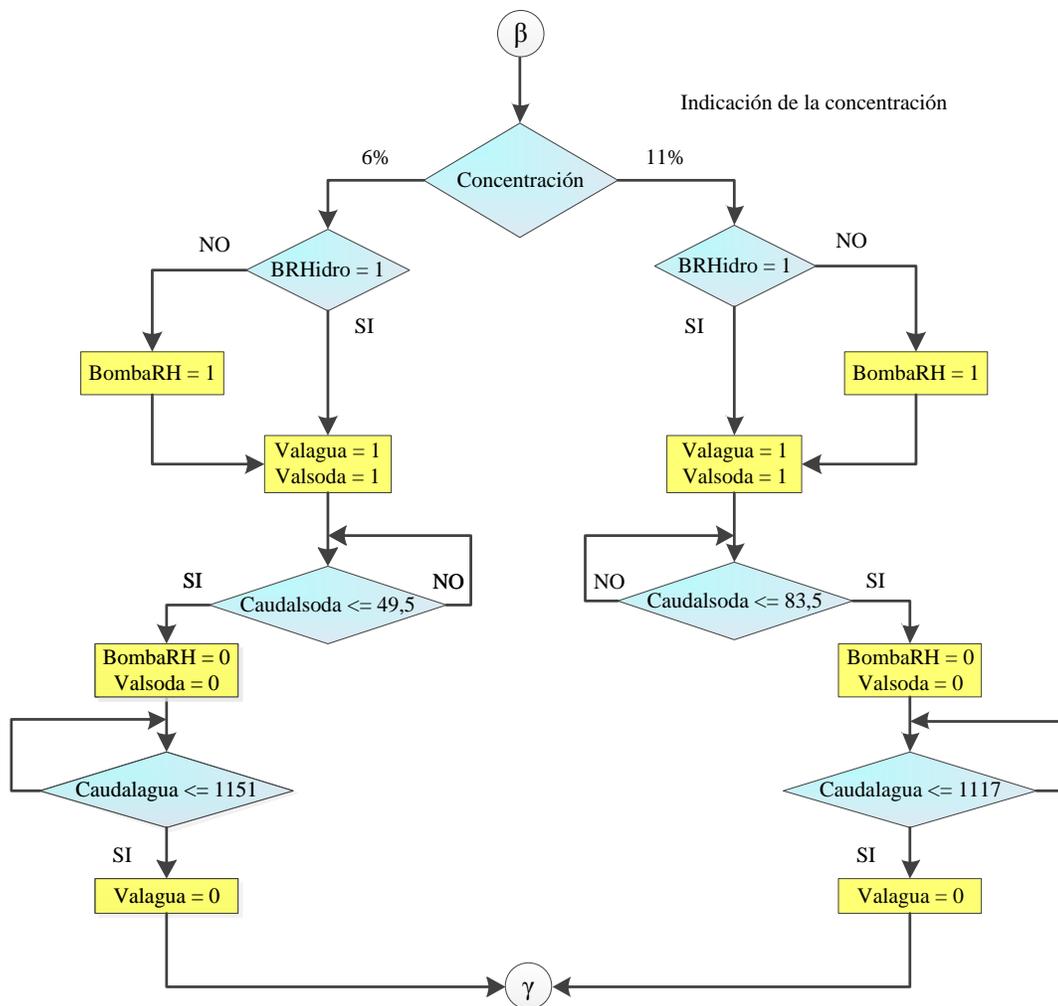


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación (Continuación).

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación automático).

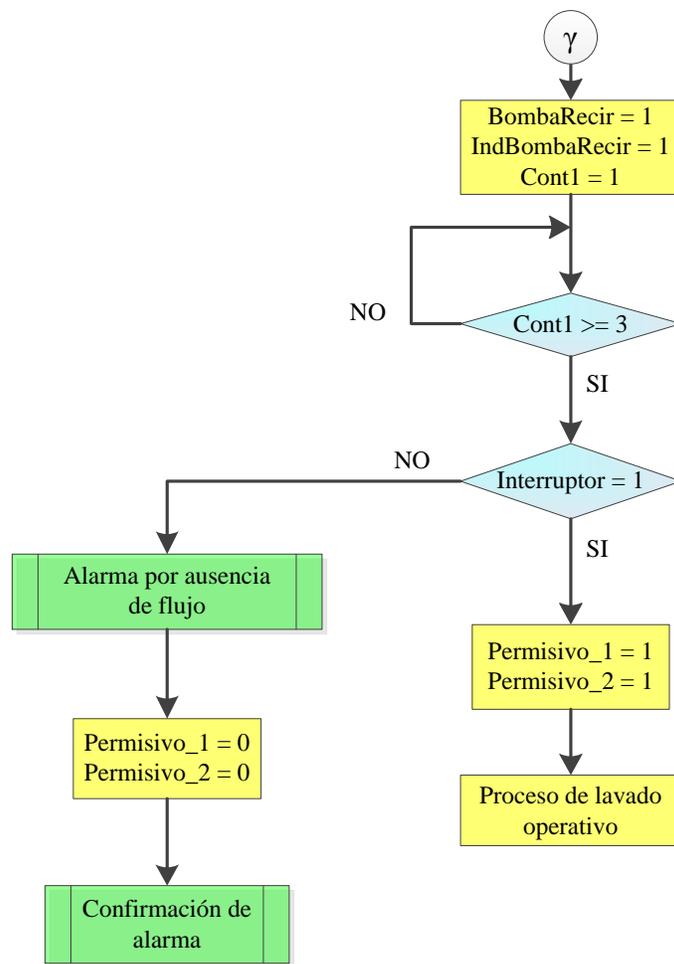


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación (Continuación).

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación automática).

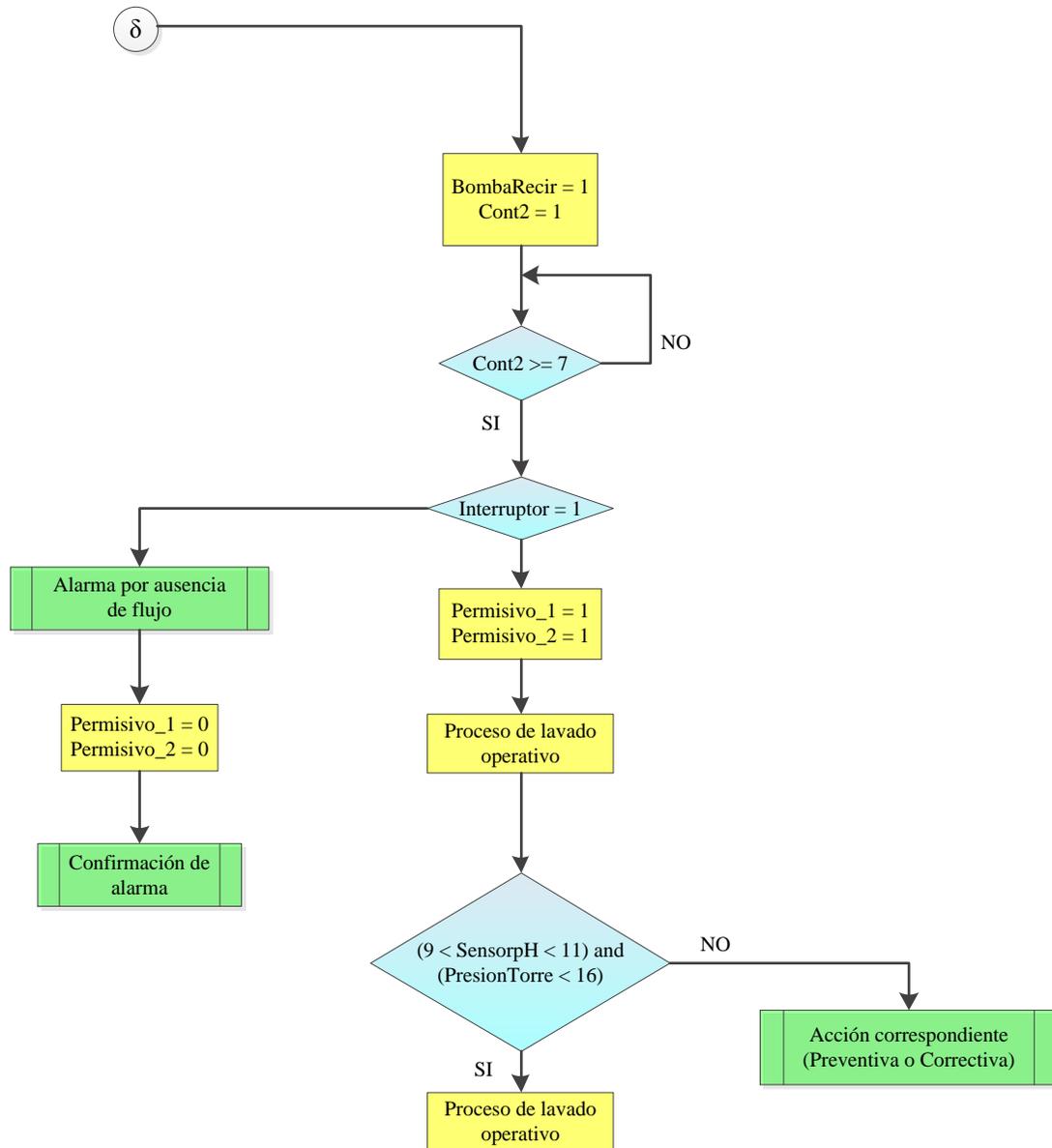


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación (Continuación).

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación manual).

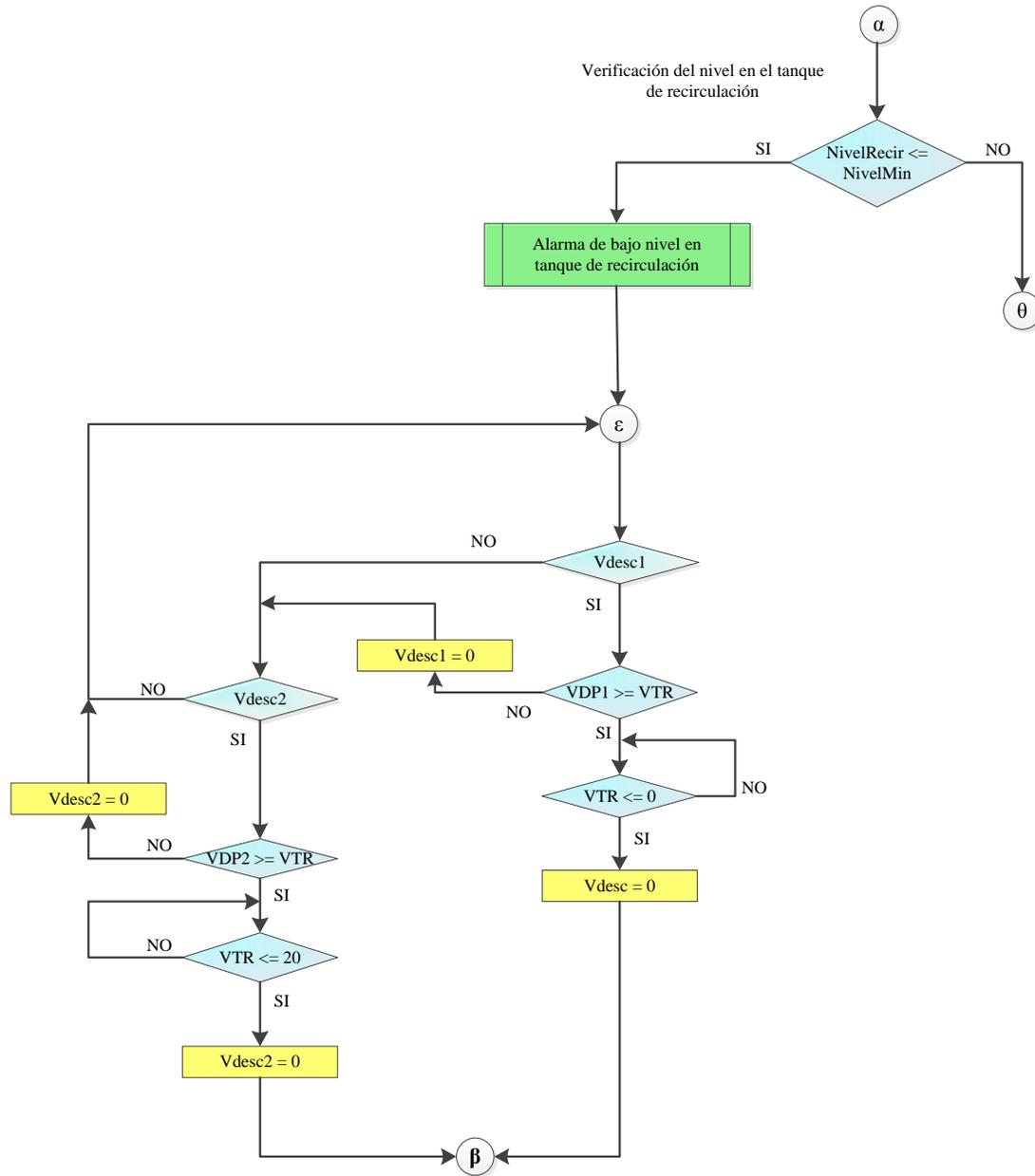


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-1: Arranque de planta (Operación manual).

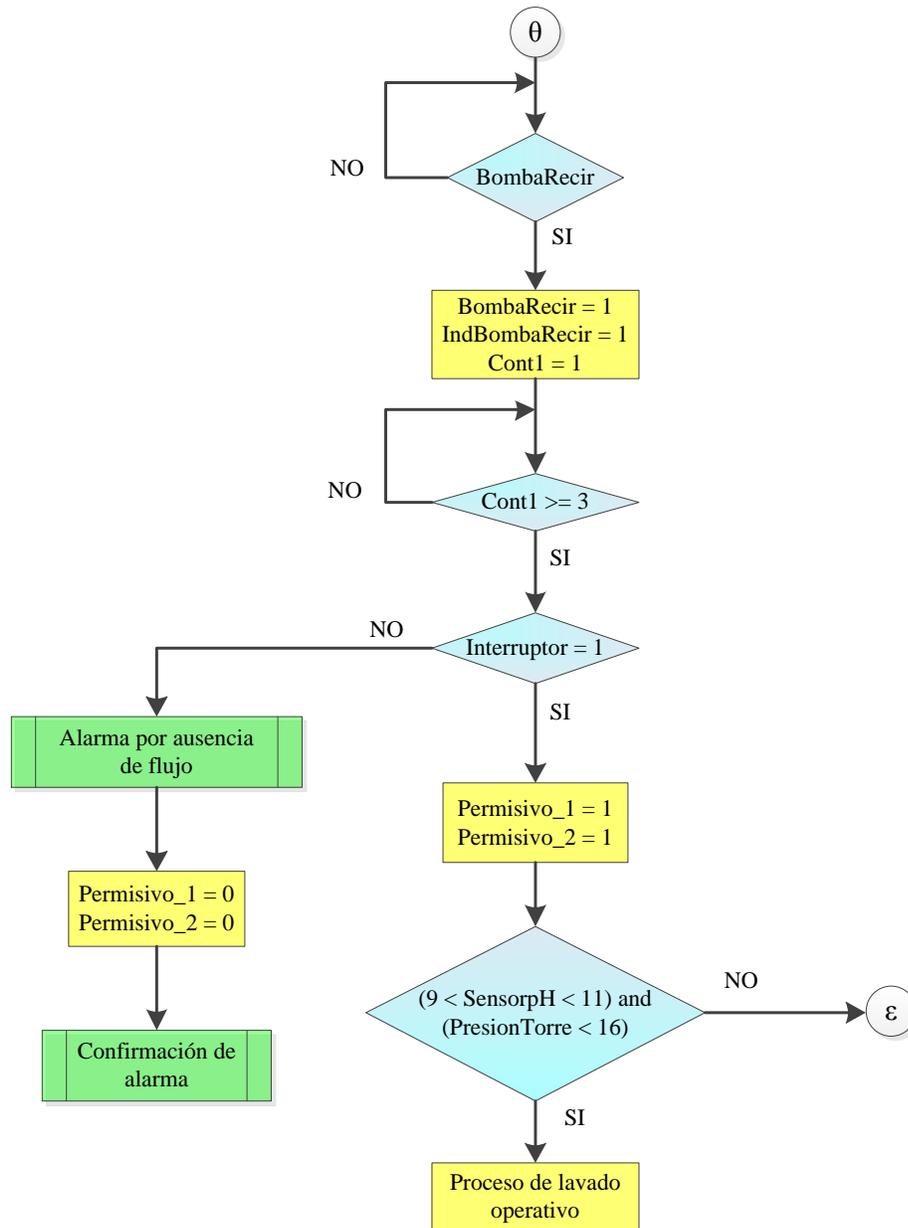


Figura C-1: Arranque de planta de sulfonación (Continuación).

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-2: Etapa de lavado.

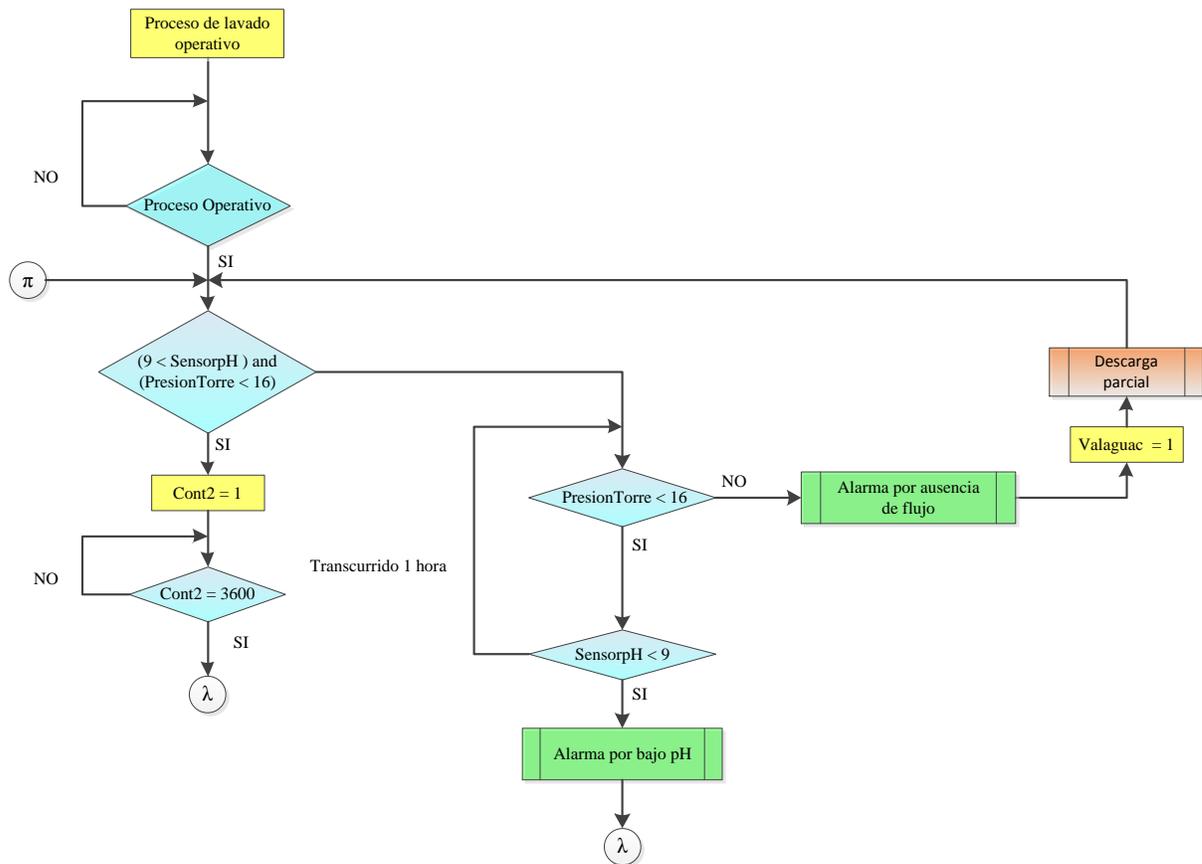


Figura C-2: Etapa de lavado.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-2: Etapa de lavado (Continuación).

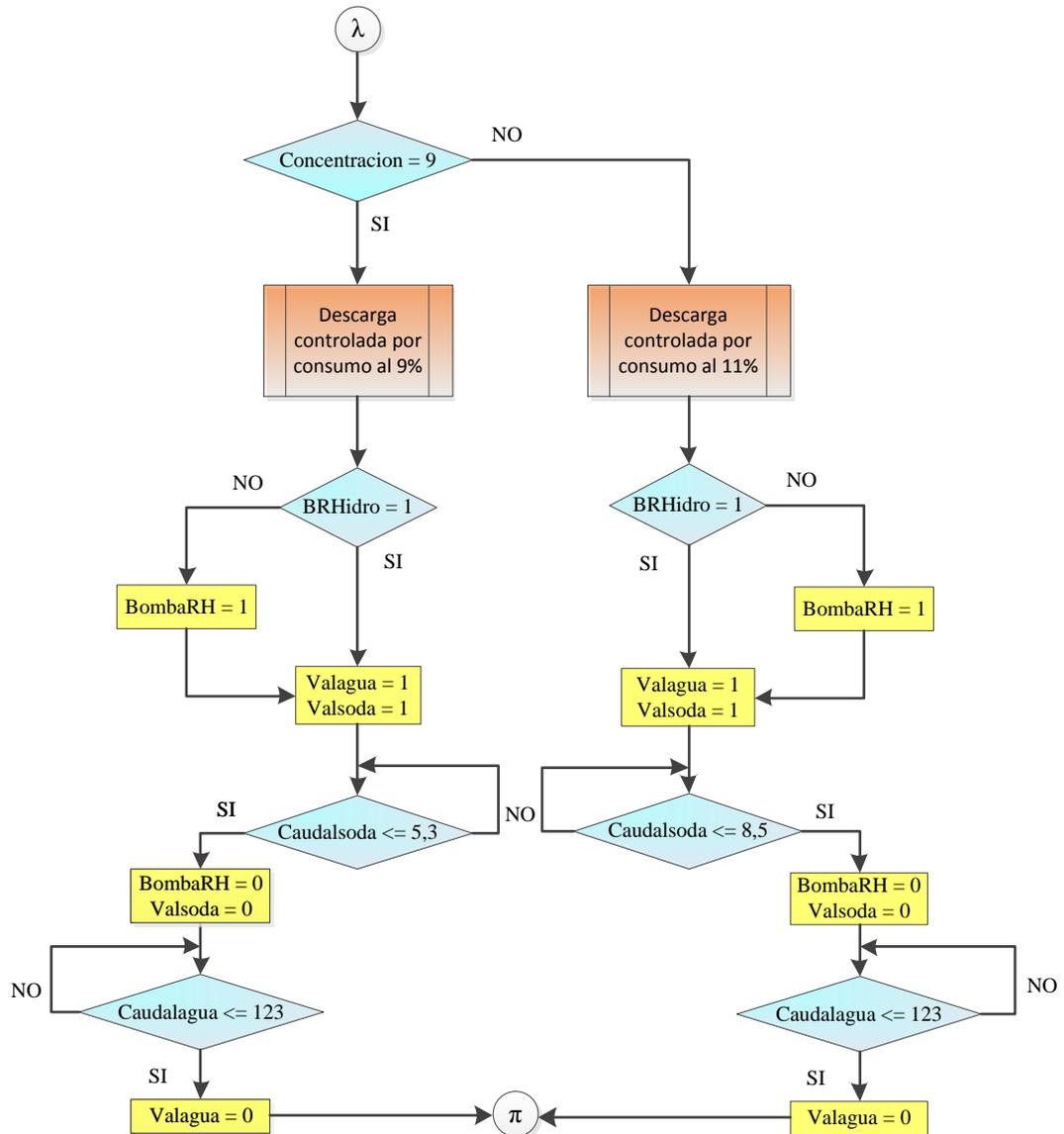


Figura C-2: Etapa de lavado.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-3: Etapa de descarga de solución en proceso continuo.

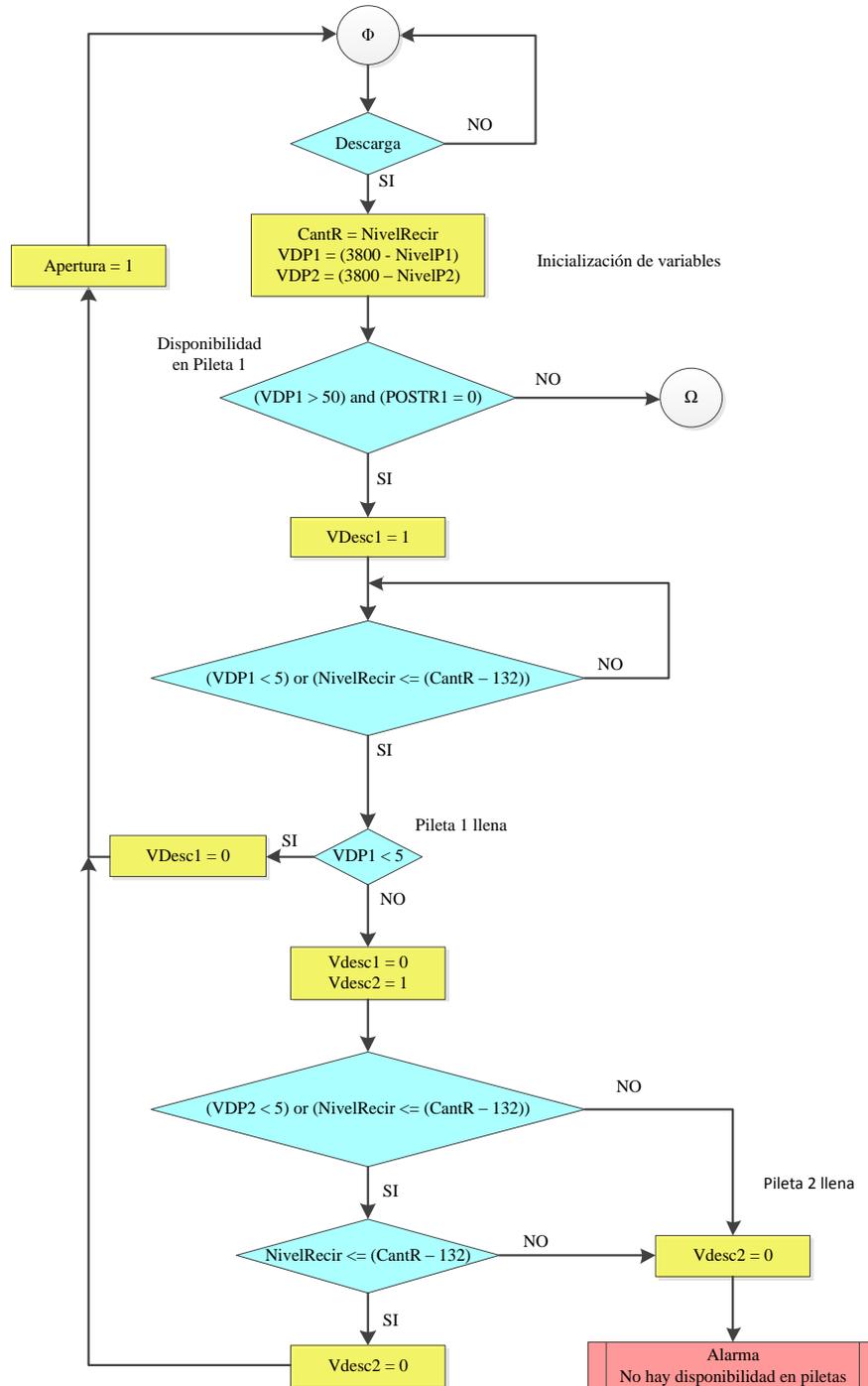


Figura C-3: Etapa de descarga de solución en proceso continuo.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-3: Etapa de descarga de solución (Continuación).

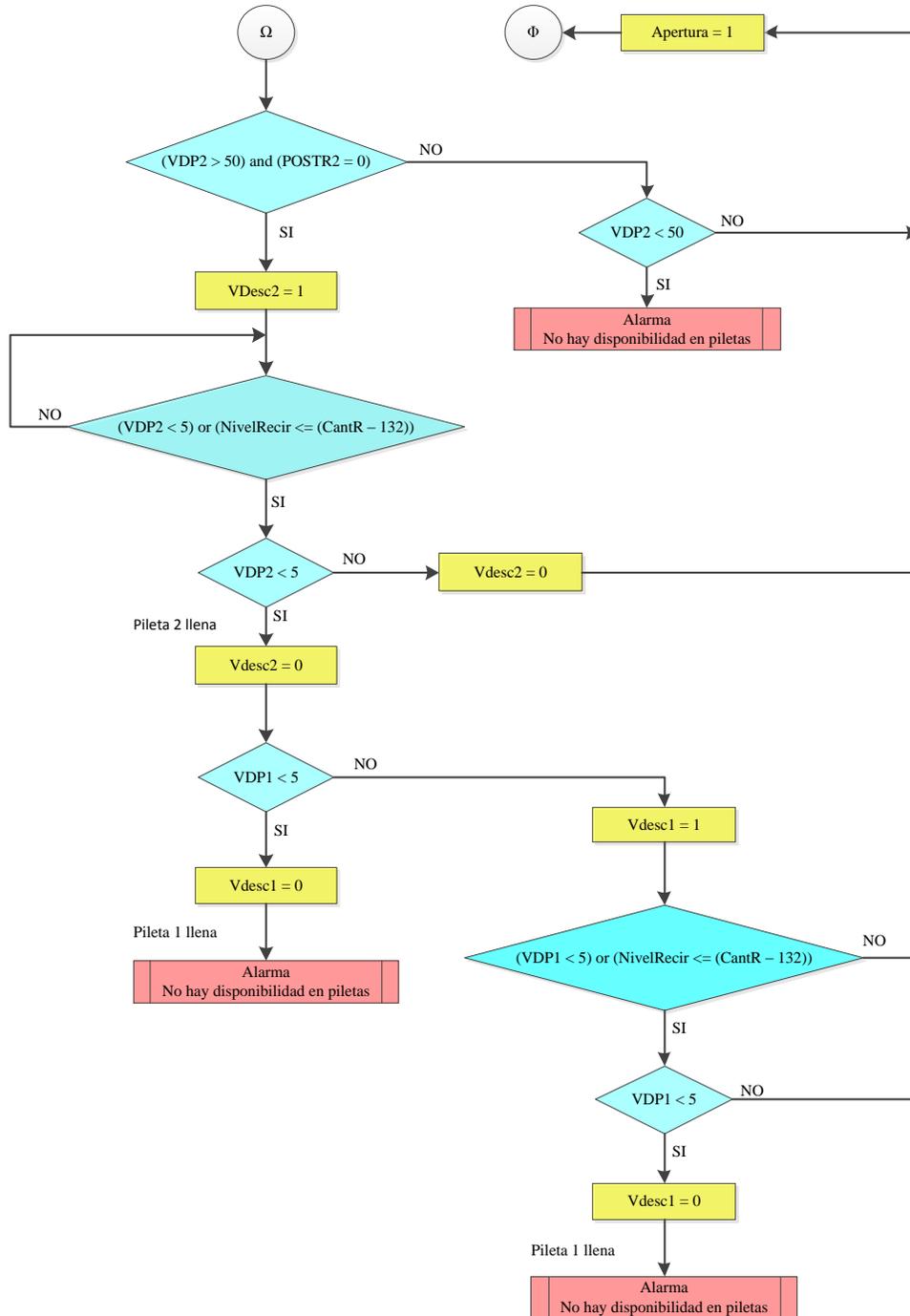


Figura C-3: Etapa de descarga de solución en proceso continuo.

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C-4: Etapa de transferencia de solución.

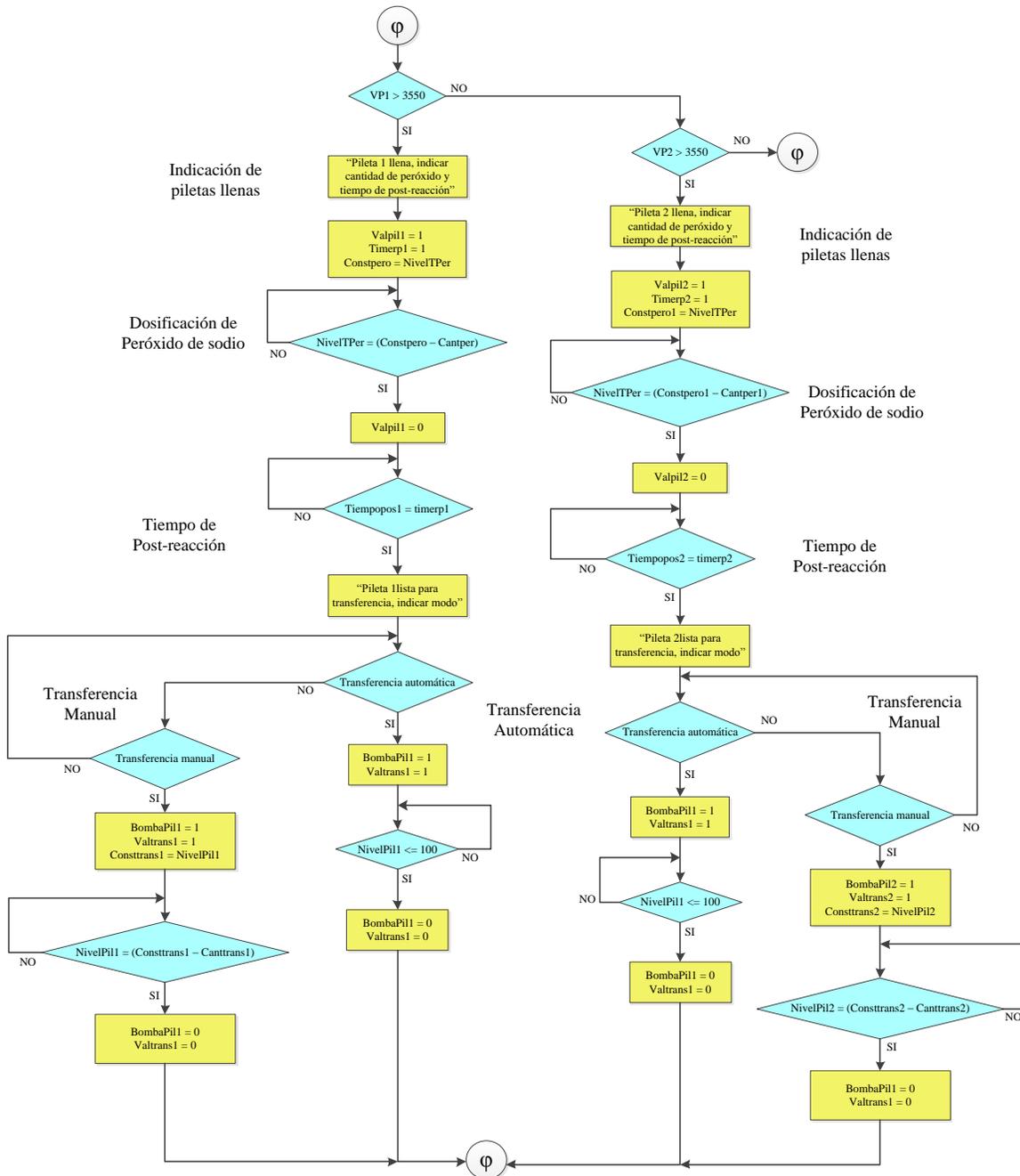
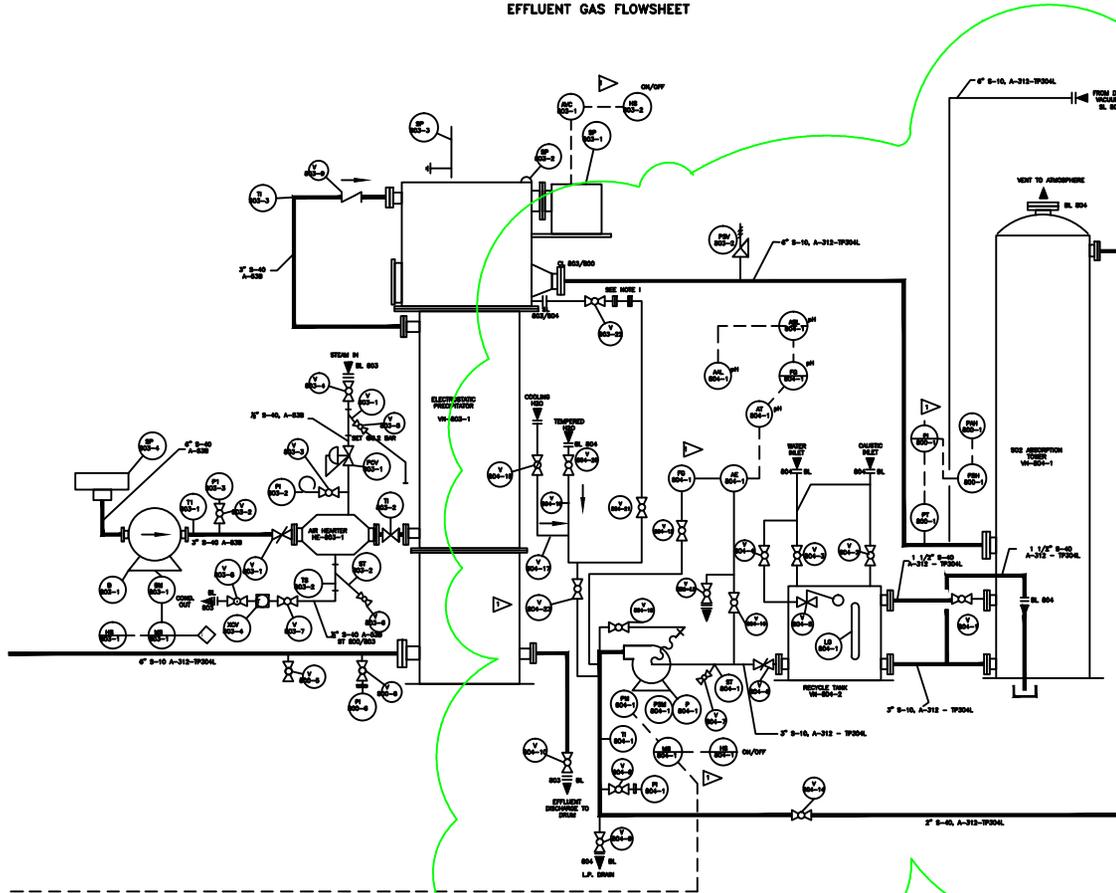


Figura C-4: Etapa de transferencia de solución.

Fuente: Elaboración propia.

EFFLUENT GAS FLOWSHEET



LEYENDA DE ACCESORIOS

- ↑ REFERENCIA Y DIRECCION DE FLUJO
- EMISION
- ◇ CANAL A EFLUENTES
- ◻ SEPARACION DEL MATERIAL DE LA TIERRA
- ▨ AISLAMIENTO TERMICO
- ⊥ CONEXION RAPIDA TIPO MACHO
- ⊥ TAPA
- ⊥ DRENAJE ABIERTO
- ⊥ MANIVELA
- ⊥ FLANJE
- ⊥ REDUCCION
- ⊥ FILTRO TIPO CIEGA
- ⊥ VISOIR DE FLUJO
- ⊥ VALVULA DE GLOBO
- ⊥ VALVULA DE MARCHA
- ⊥ VALVULA DE BOLA
- ⊥ VALVULA DE RETENCION
- ⊥ VALVULA DE SEGURIDAD
- ⊥ ARRESTALLAMA
- ⊥ VALVULA DE ANULADO EN 45°
- ⊥ STRAPPA DE VAPOR

LEYENDA DEL MEDIO

| CODIGO | DESCRIPCION | MATERIAL PREFERIBLE | MATERIAL ALTERNATIVA |
|--------|---------------------------------|---------------------|----------------------|
| AP | AIRE A PRESION | 8814C | 82/14C |
| BN | LINDA DE DENSIDAD CALIENTE | 8814C | 82/14C |
| C | CONDENSADOR | 8214C | 88/14C |
| OW | OMES CONTAMINADOS | 8214C | 88/14C |
| H | HIDROGENIO | 8814C | 88/14C |
| PRO | PRODUCTO | 8214C | 88/14C |
| STL | VAPOR 10 BAR | 8814C | 88/14C |
| STH | VAPOR 20 BAR | 8214C | 88/14C |
| WAG | WAGO | 8214C | 8814C |
| W | AGUA CRUDA | 8214C | 8814C |
| WCS | AGUA CONDENSADA | 8214C | 8814C |
| WVW | AGUA CALIENTE DE SUMINISTRO | 8814C | 88/14C |
| WRS | AGUA DE CALIENTE DE RETORNO | 8814C | 88/14C |
| WR | AGUA DE ENFRIAMIENTO | 8814C | 88/14C |
| WS | AGUA DE ENFRIAMIENTO SUMINISTRO | 8214C | 88/14C |
| WSD | AGUA BLANDA | 8214C | 8214B |

LEYENDA DEL MATERIAL

- 88: ACERO AL CARBONO A330
- 82: ALUMINO 7053
- 82: ACERO INOXIDABLE 304L
- 82: ACERO GALVANIZADO

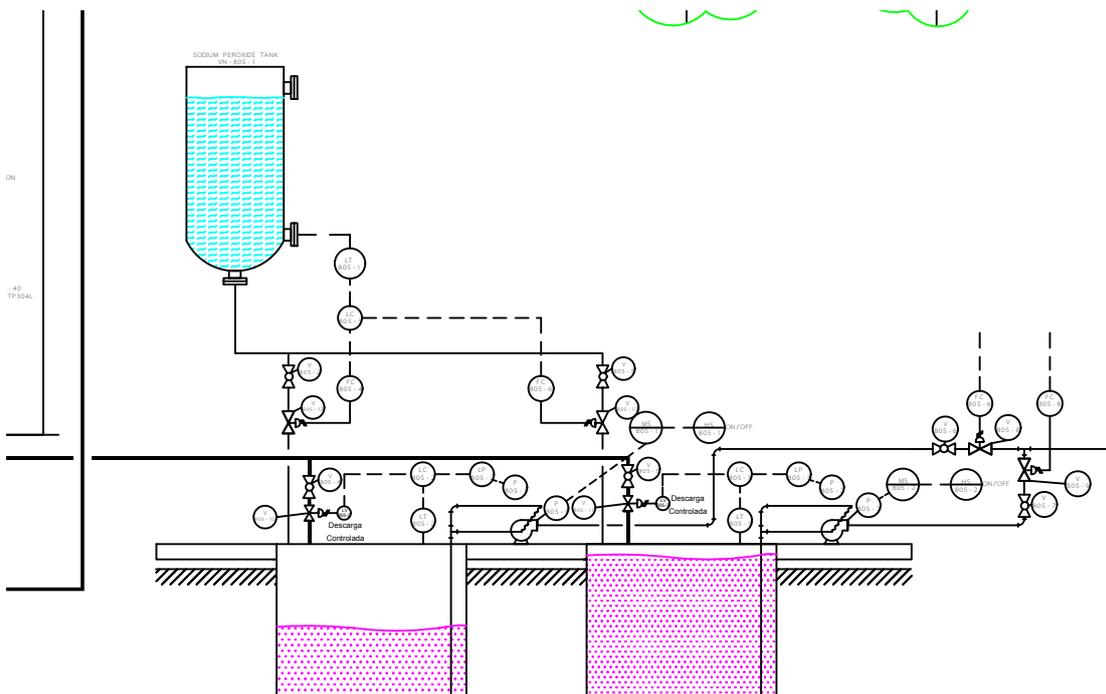


Clariant

DEPARTAMENTO: INGENIERIA

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS LA REPRODUCCION Y/O DIVULGACION A TERCEROS SIN EL DEBIDO CONSENTIMIENTO, IMPLICARA INDEMNIZACION, PUDIENDOSE GENERAR ACCIONES LEGALES.

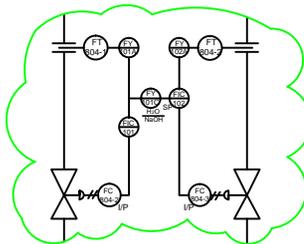
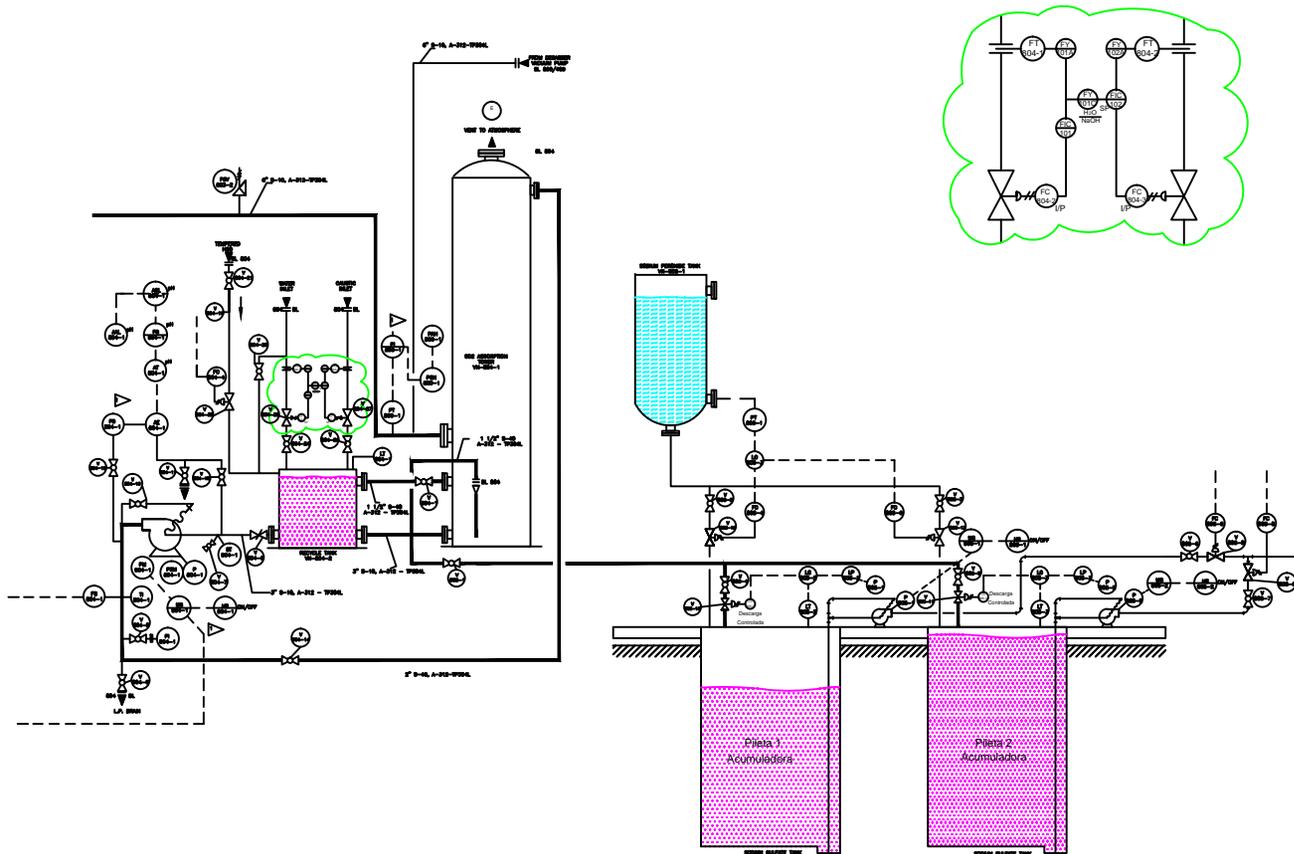
| | | | | | |
|-----------------------------|--|---------|--------|-----------------|-----------|
| EDIFICIO: S03 | FECHA: | NOMBRE: | FIRMA: | USCB-UAB-K | DE OROJAS |
| PLANTA: MARACAY | APROB: | APROB: | APROB: | 585102-000002-0 | 010 |
| ESCALA: S/E | DENOMINACION: PLANTA DE SULFONACION (APENDICE D-1) NEUTRALIZACION DE GASES (S02 Y S03) | | | | |
| ORIGEN: MARACAY - VENEZUELA | SUSTITUYE ASUSTITUIDO POR: | | | | |
| NORMA DE FABRICA: | SIVGROB (SIVGROB)-K | | | | |



LEYENDA

| CODIGO | DESCRIPCION |
|--------|-------------------|
| SIP | AIRE A PRESION |
| BH | LINEA DE DESCARGA |
| C | CONDENSADOR |
| SW | GASES CONTAMINAD |
| N | NITROGENO |
| PRO | PRODUCTO |
| STL | VAPOR 6.0 BAR |
| STM | VAPOR 20 BAR |
| VAC | VACIO |
| W | AGUA CRUDA |
| WCS | AGUA CONTAMINADA |
| WHR | AGUA CALIENTE DE |
| WHS | AGUA DE CALIENTE |
| WR | AGUA DE ENFRIAMEI |
| WS | AGUA DE ENFRIAMEI |
| WSO | AGUA BLANDA |

DIAGRAMA DE FLUJO DE GAS DE EFLUENTES



- LEYENDA DE ACCESORIOS**
- ➔ REFERENCIA Y DIRECCION DE FLUJO
 - BOMBA
 - ORIF. A EFLUENTES
 - ⊥ CONECTOR SUPLEN. TPO. MACHO
 - ⊥ TPO.
 - ⊥ BOMBA ABAST. (BOMBA)
 - ⊥ INYECTOR
 - ⊥ FLUJO
 - ⊥ REDUCCION
 - ⊥ VALVULA DE CIERRE
 - ⊥ VALVULA DE SUCCION
 - ⊥ VALVULA DE VENTA
 - ⊥ VALVULA DE RESERVA
 - ⊥ VALVULA DE SEGURIDAD

LEYENDA DEL MEDIO

| CODIGO | DESCRIPCION | MATERIAL | UNIDAD |
|--------|-------------------------------|----------|----------------------|
| 01 | AGUA A PRESION | ACERO | CM ² /DIA |
| 02 | AGUA DE RECUPERACION CALIENTE | ACERO | CM ² /DIA |
| 03 | CONDENSADOR | ACERO | CM ² /DIA |
| 04 | AGUA CONDENSADA | ACERO | CM ² /DIA |
| 05 | REFRIGERANTE | ACERO | CM ² /DIA |
| 06 | PROCESO | ACERO | CM ² /DIA |
| 07 | VAPOR AGU CALIENTE | ACERO | CM ² /DIA |
| 08 | VAPOR AGU FRIA | ACERO | CM ² /DIA |
| 09 | AGUA CALIENTE | ACERO | CM ² /DIA |
| 10 | AGUA CONDENSADA | ACERO | CM ² /DIA |
| 11 | AGUA CALIENTE DE RESERVA | ACERO | CM ² /DIA |
| 12 | AGUA DE CALIENTE DE RESERVA | ACERO | CM ² /DIA |
| 13 | AGUA DE RESERVA | ACERO | CM ² /DIA |
| 14 | AGUA DE RESERVA | ACERO | CM ² /DIA |
| 15 | AGUA CALIENTE DE RESERVA | ACERO | CM ² /DIA |
| 16 | AGUA FRIA | ACERO | CM ² /DIA |

- LEYENDA DEL MATERIAL**
- 01: ACERO AL CARBONO A304
 - 02: ALUMINIO 6061
 - 03: ACERO INOXIDABLE 304L
 - 04: ACERO GALVANIZADO

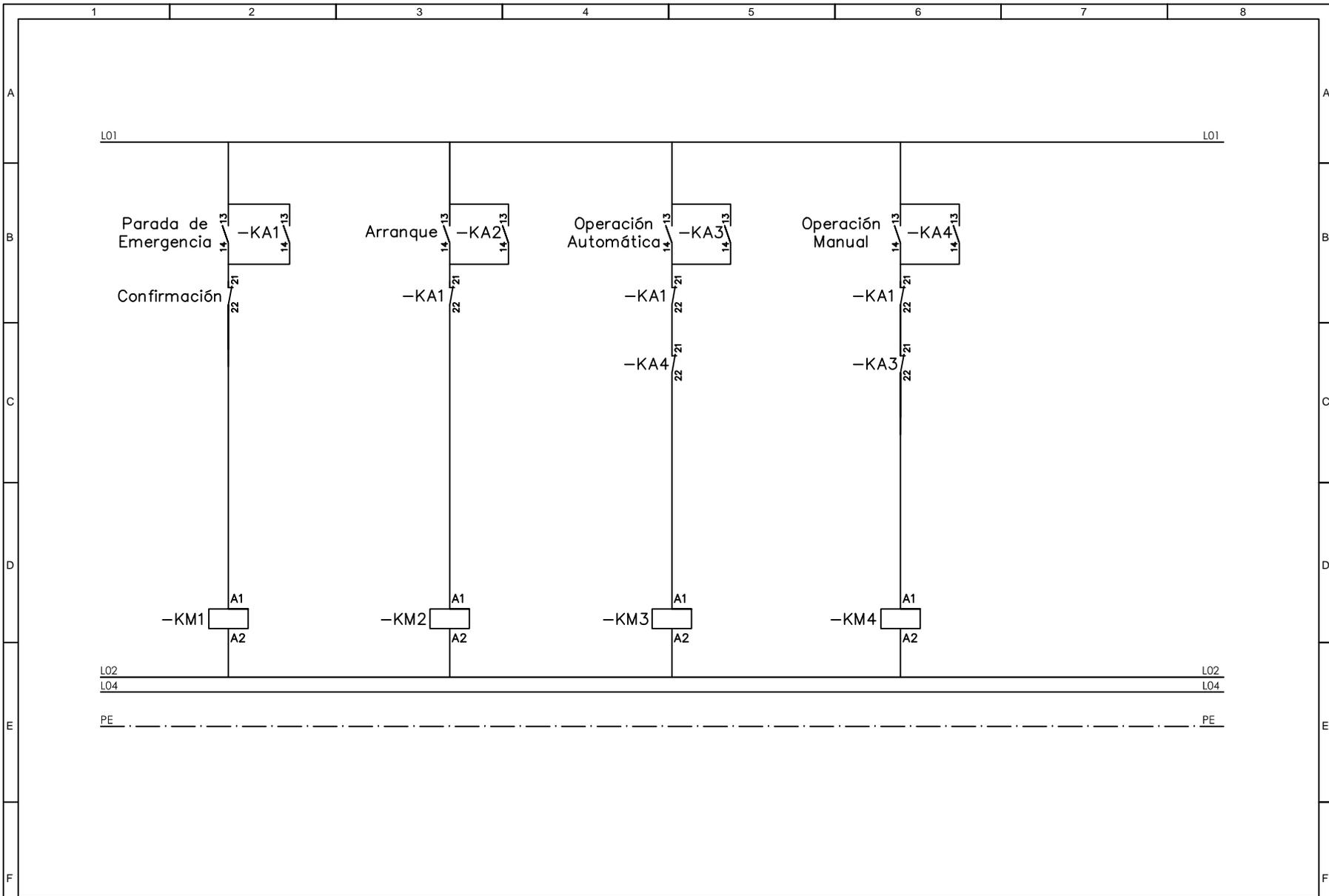


Clariant

DEPARTAMENTO: **INGENIERIA**

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS
LA REPRODUCCION Y/O DIVULGACION A
TERCEROS SIN EL DEBIDO CONSENTIMIENTO,
IMPLICARA INDEMNIZACION, PUDIENDOSE
GENERAR ACCIONES LEGALES.

| | | | | | |
|-----------------------------|---|---------|-----------------------------|------------------|------------|
| EDIFICIO: | FECHA: | NOMBRE: | FIRMA: | USC:BU:AD:K | DE ORIJAS: |
| S03 | | | | | |
| PLANTA: | VERIF: | APROB: | | 5851020000010010 | |
| MARACAY | | | | | |
| ESCALA: | DENOMINACION: PLANTA DE SULFONACION (APENDICE D-2) NEUTRALIZACION DE GASES (S02 Y S03) | | | | |
| ORIGEN: MARACAY - VENEZUELA | | | SUSTITUYE A/SUSTITUIDO POR: | | |
| NORMA DE FABRICA: | | | S01/0000 (S01/0000)AD-K | | |



Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



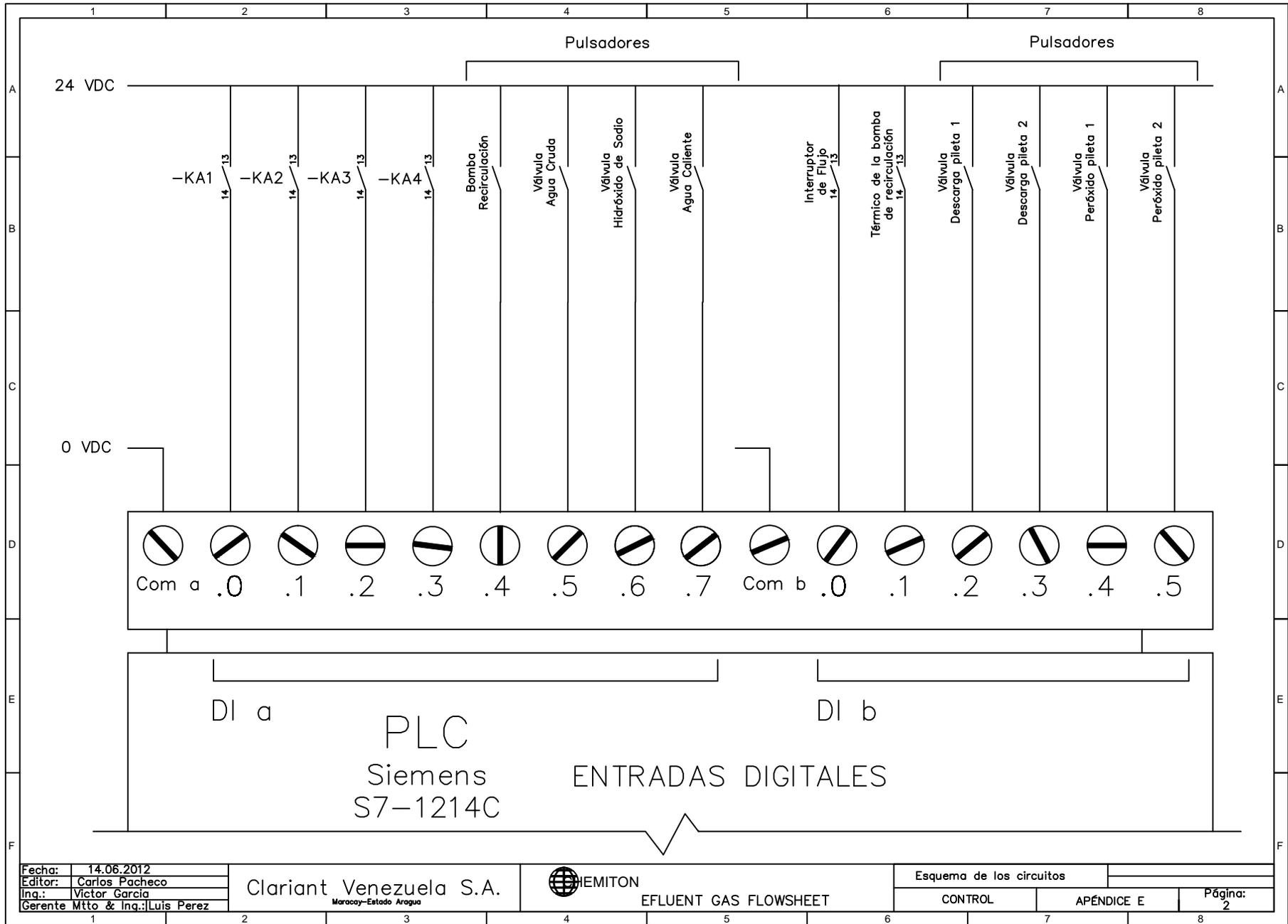
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página: 1



| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Inq.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Inq.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



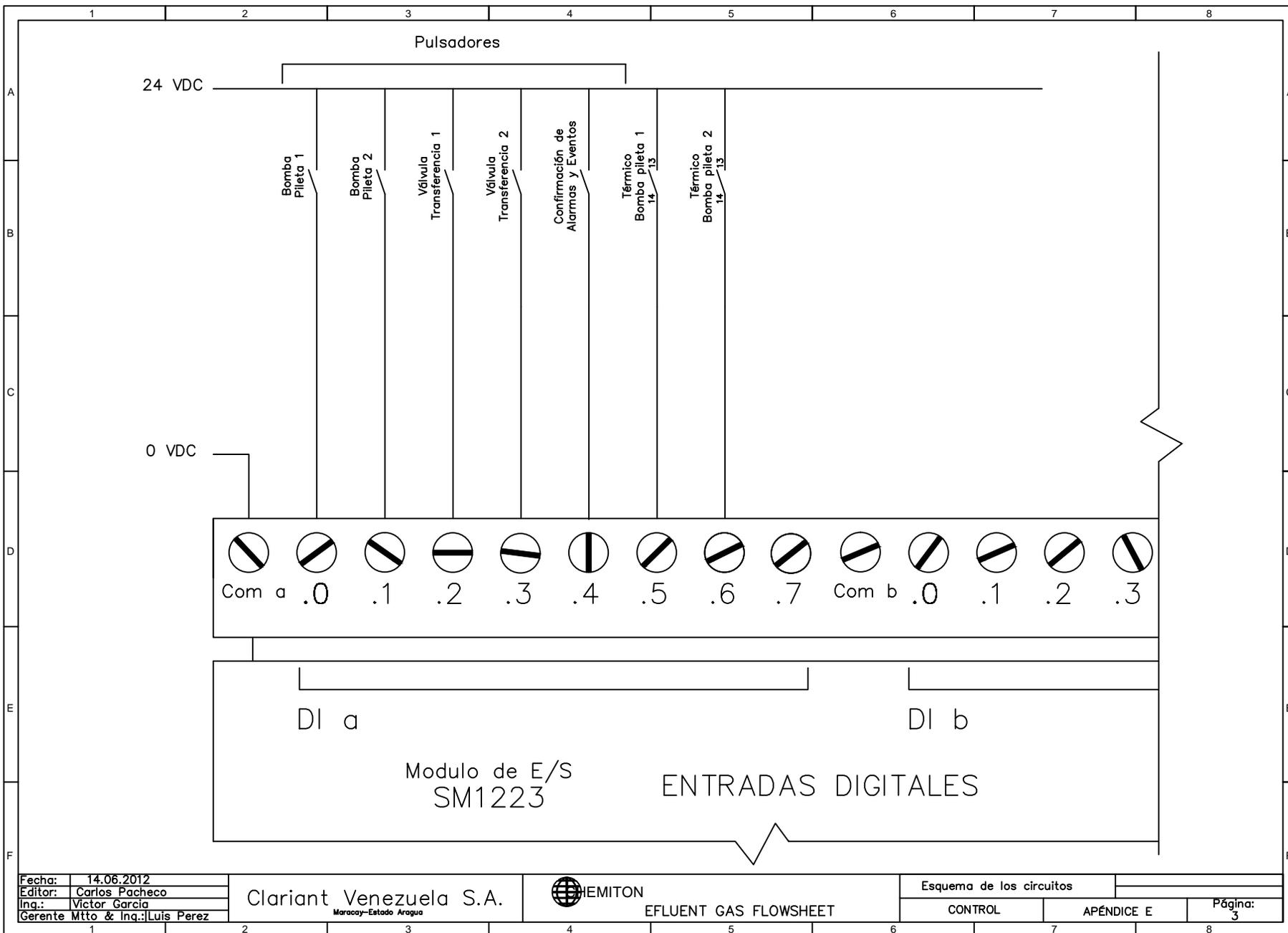
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
2



| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Inq.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Inq.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



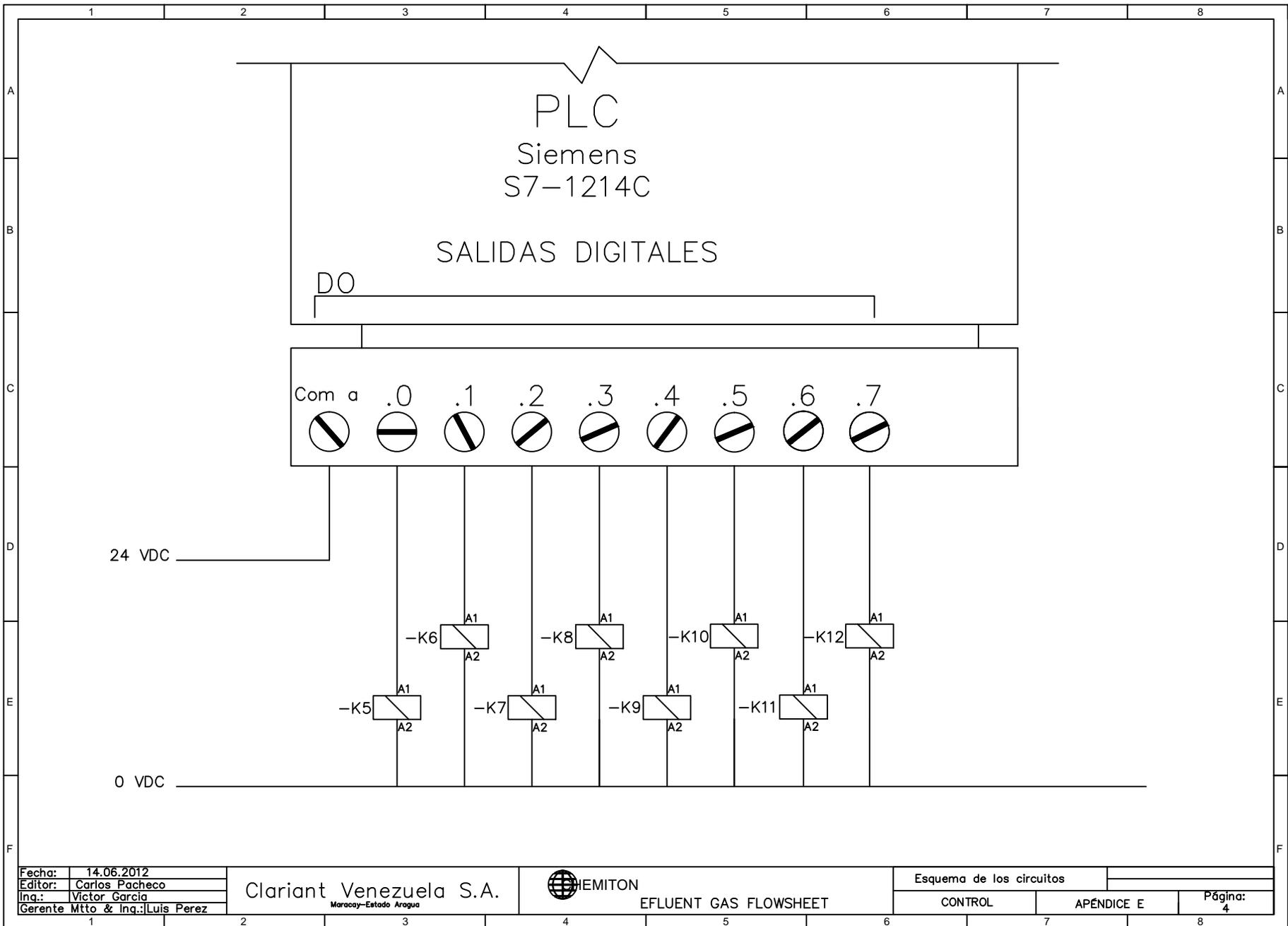
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
3



Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



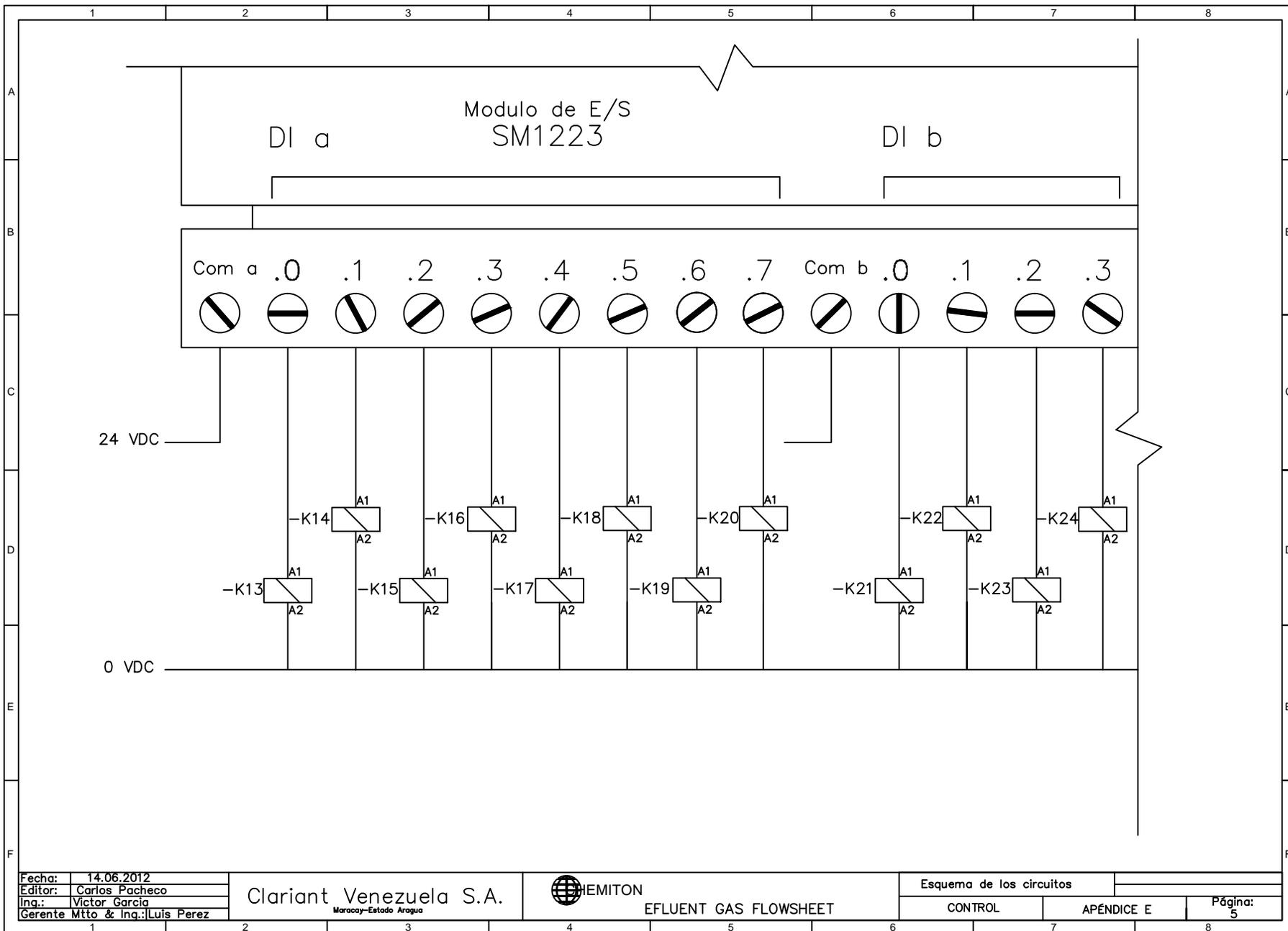
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
4



Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



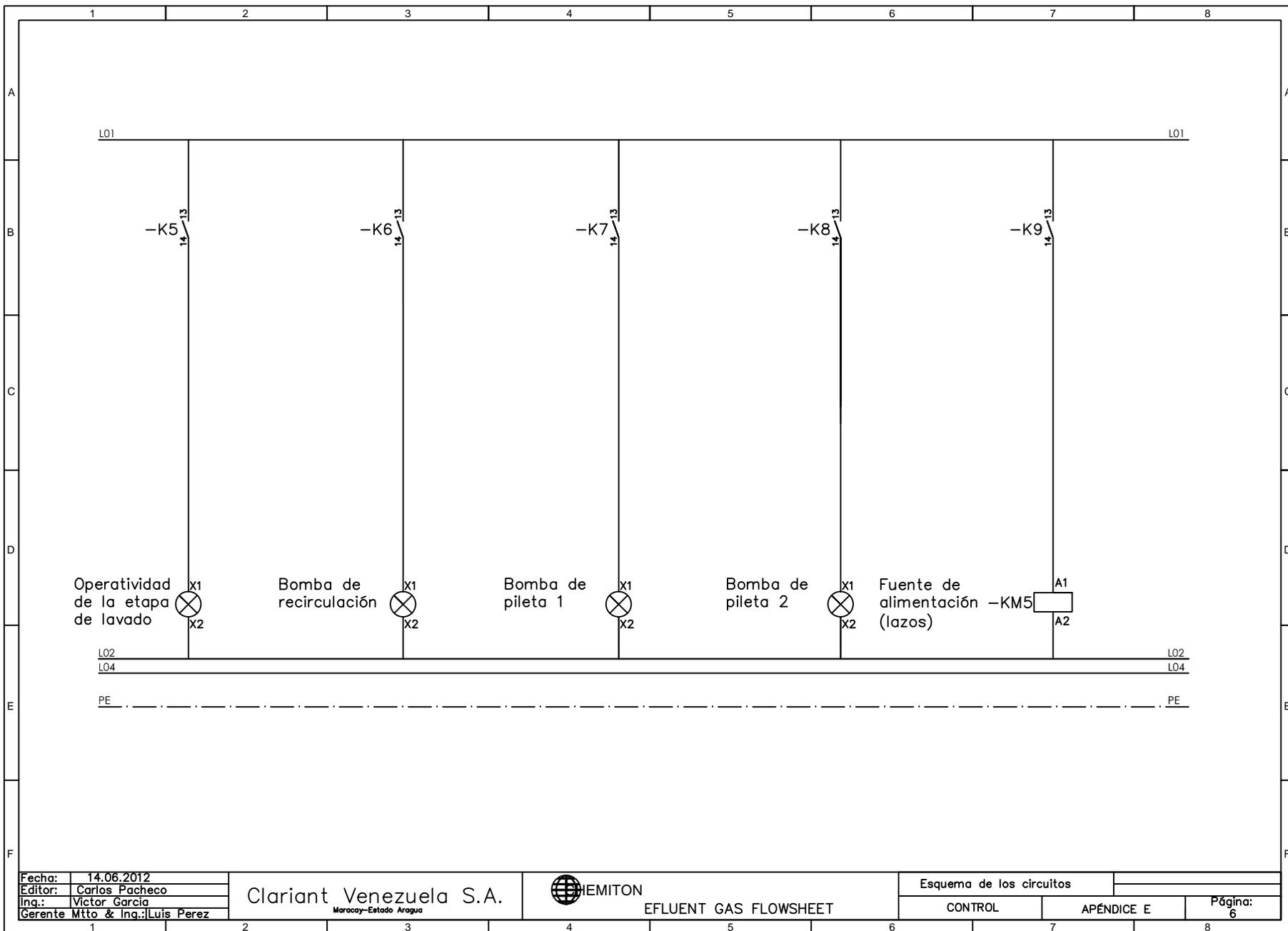
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página: 5



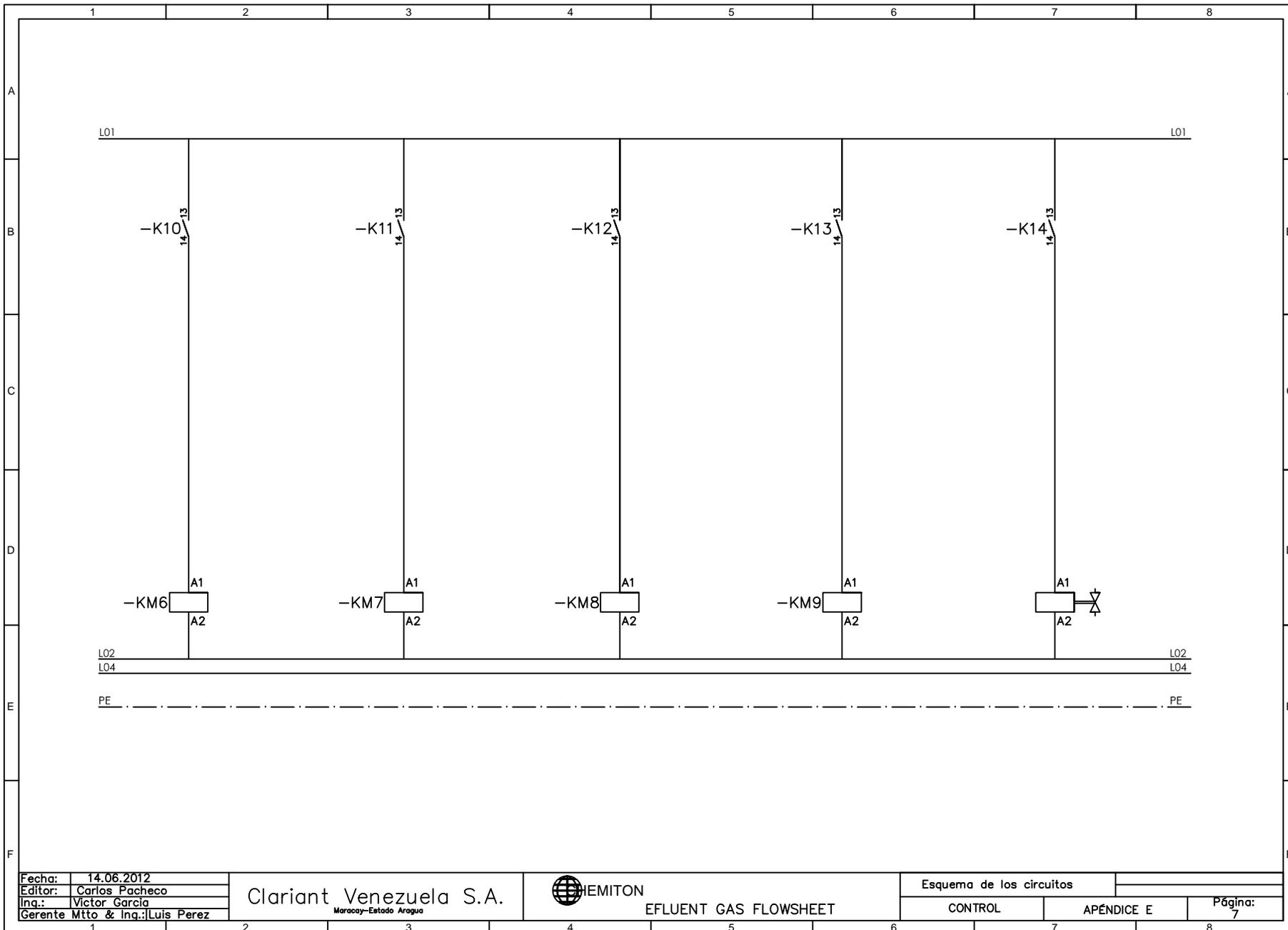
Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



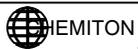
HEMITON
EFLUENT GAS FLOWSHEET

| | | |
|--------------------------|------------|--------------|
| Esquema de los circuitos | | |
| CONTROL | APÉNDICE E | Página: 6 |



| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Inq.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Inq.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



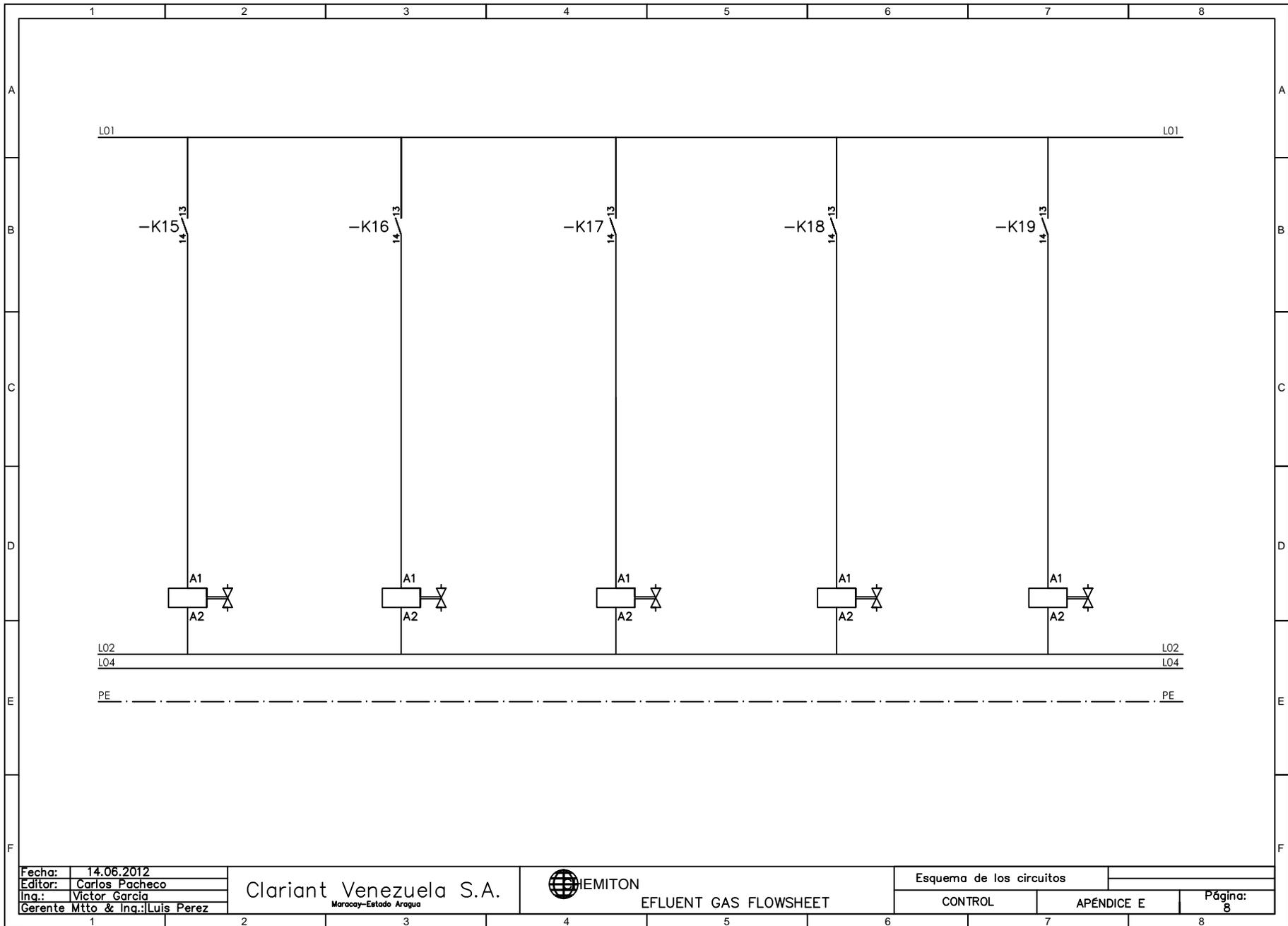
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
7



| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Ing.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Ing.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



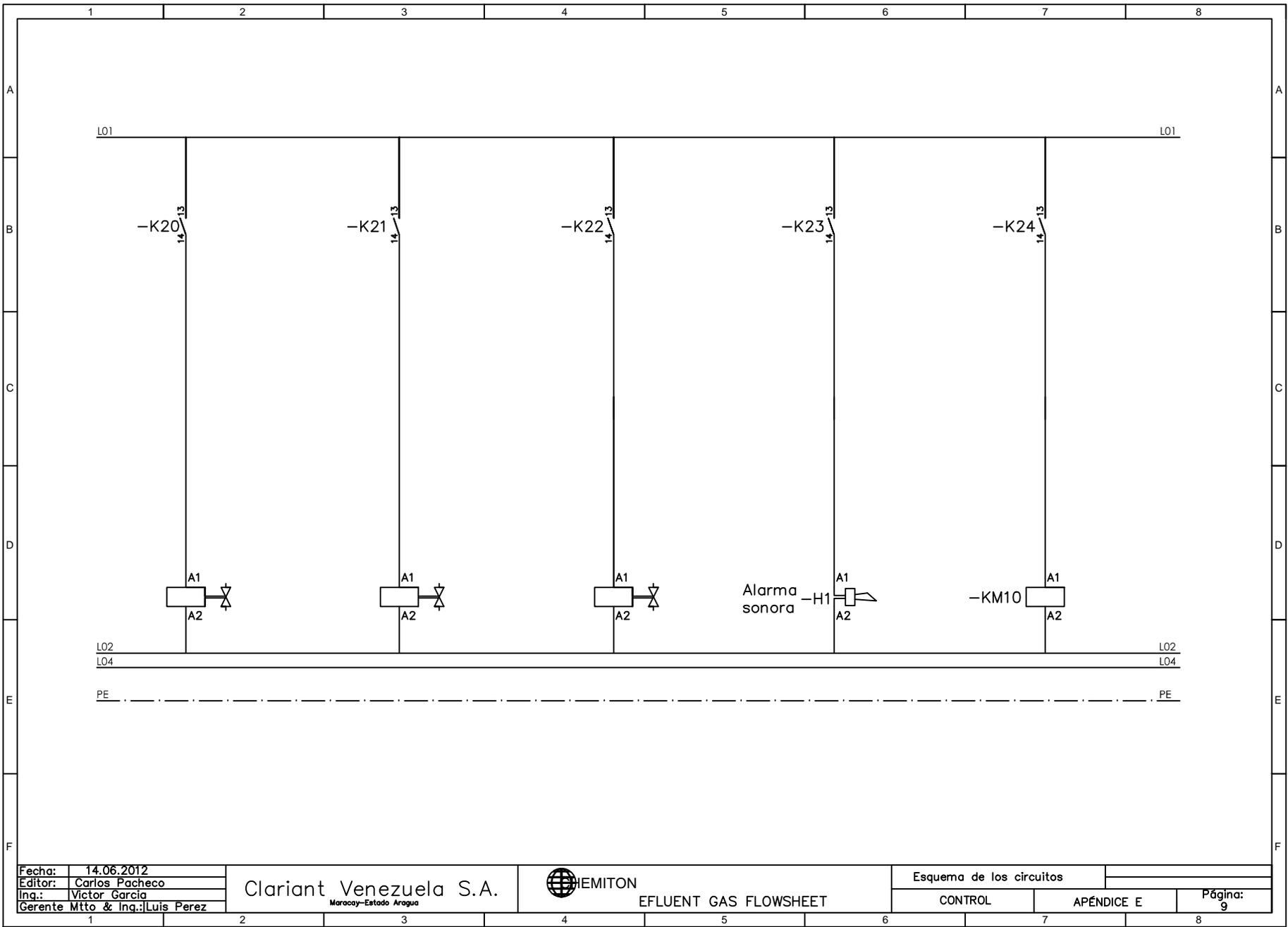
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
8



Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mito & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



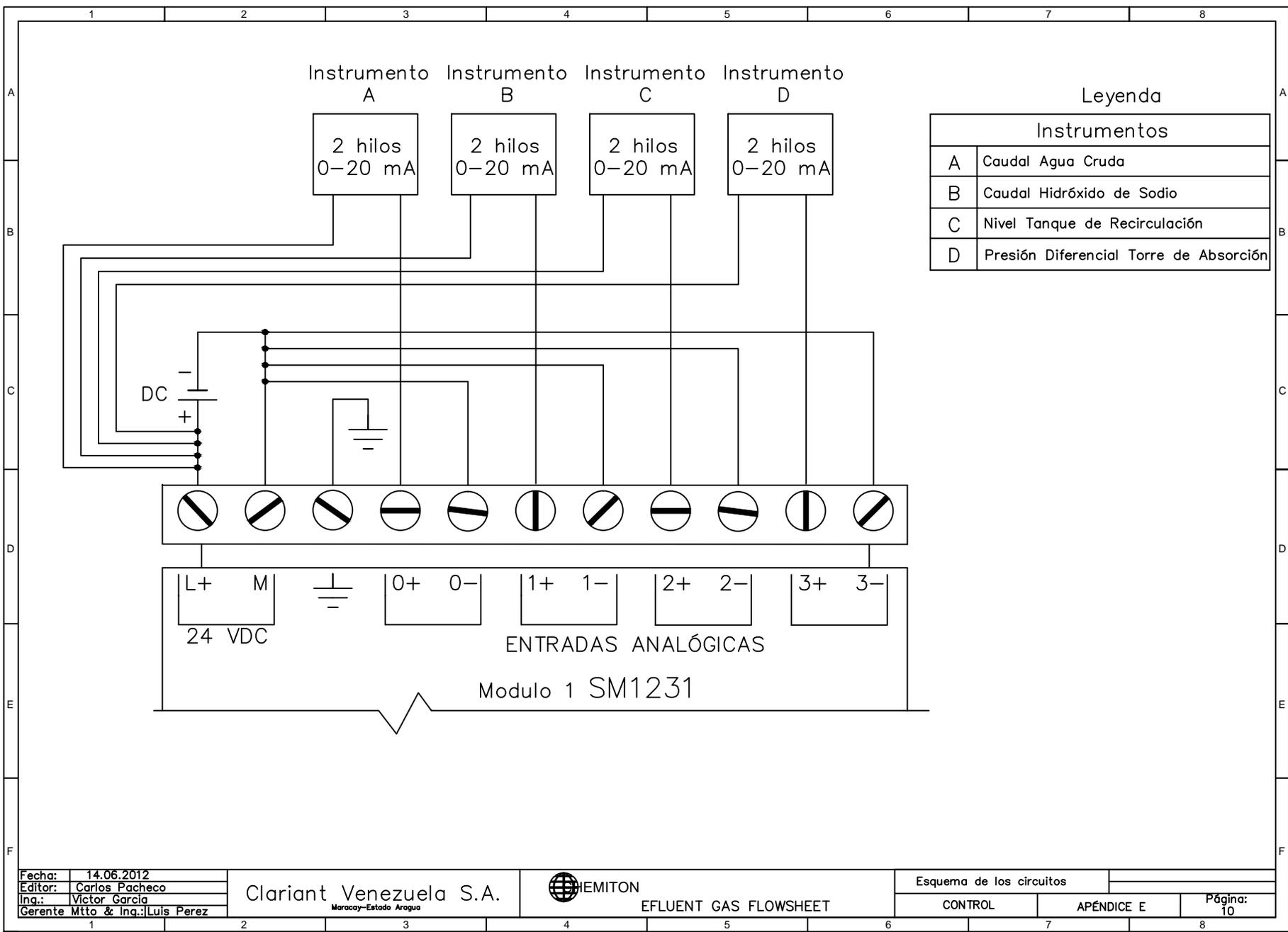
HEMITON
 EFLUENT GAS FLOWSHEET

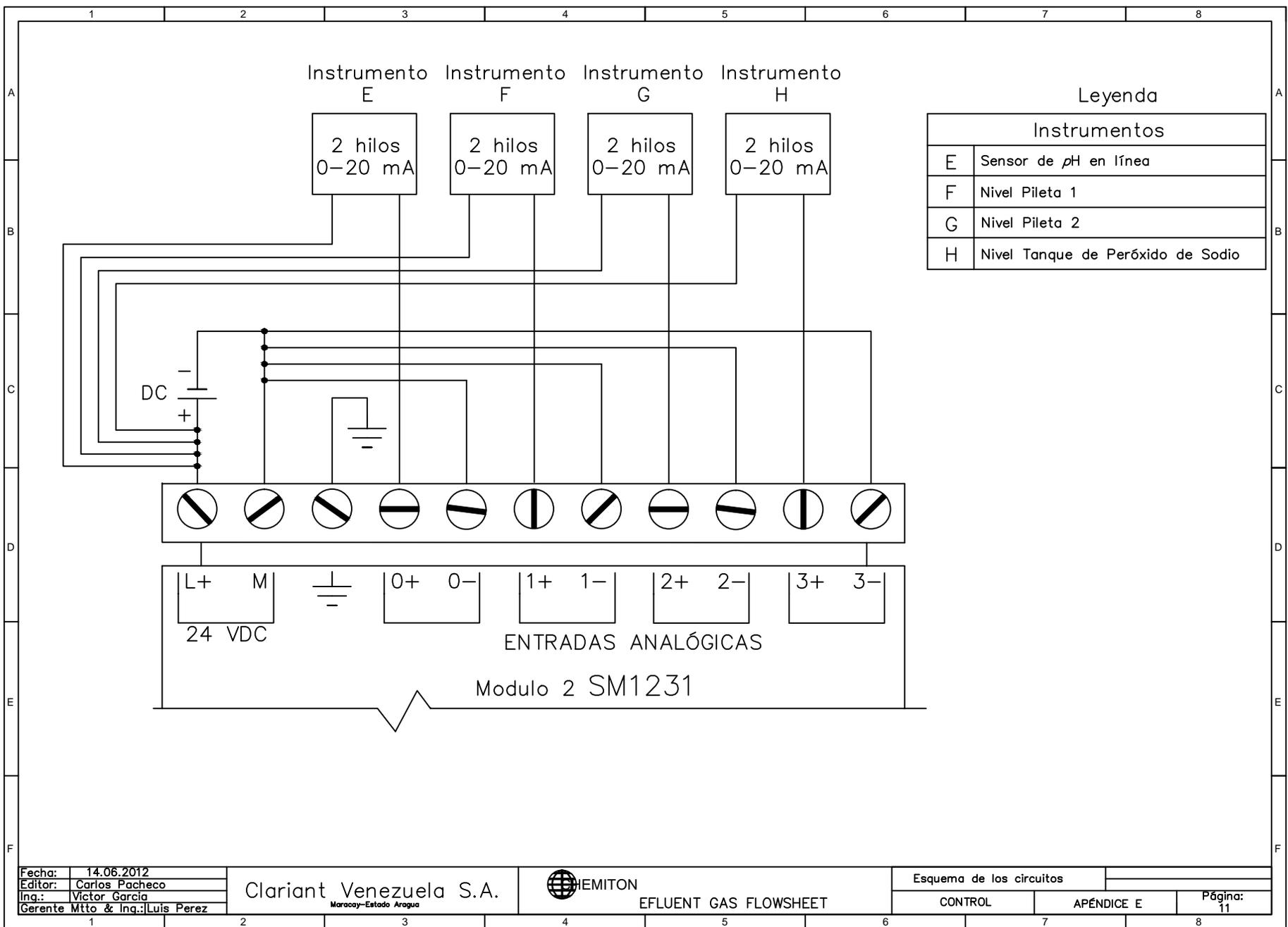
Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página:
 9





Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Inq.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Inq.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



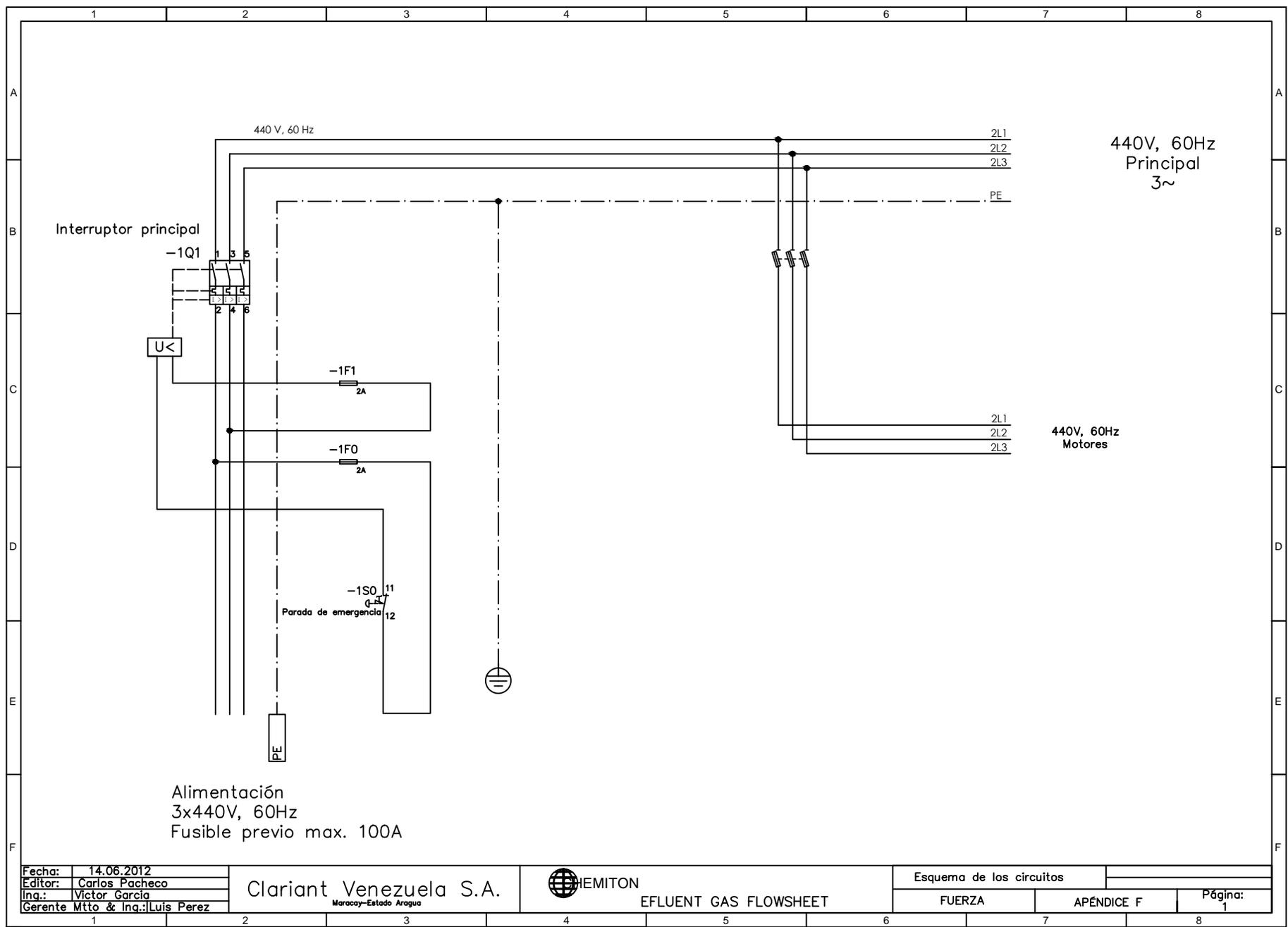
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

CONTROL

APÉNDICE E

Página: 11



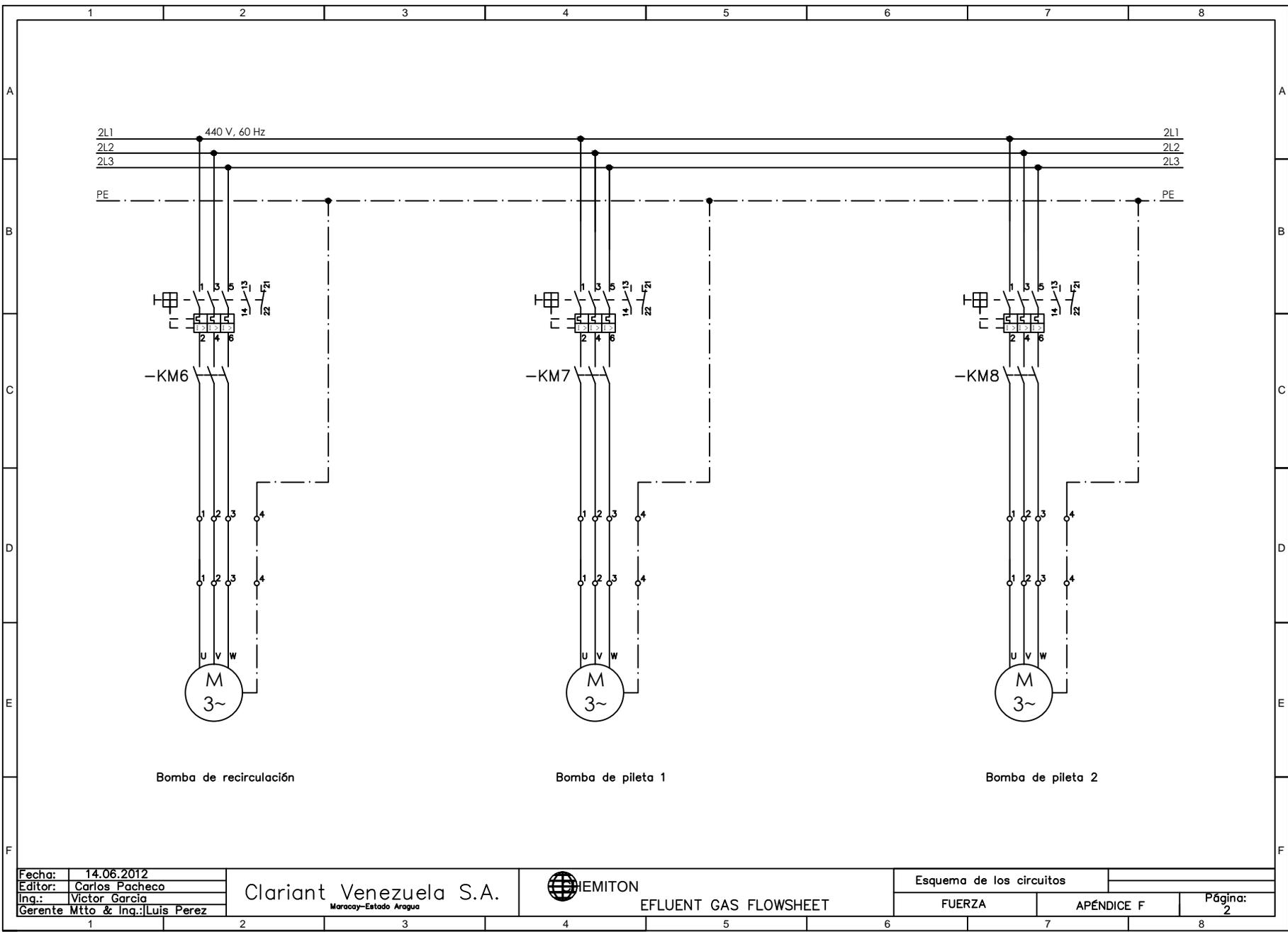
| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Ing.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Ing.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



EFLUENT GAS FLOWSHEET

| | | |
|--------------------------|------------|--------------|
| Esquema de los circuitos | | |
| FUERZA | APÉNDICE F | Página: 1 |



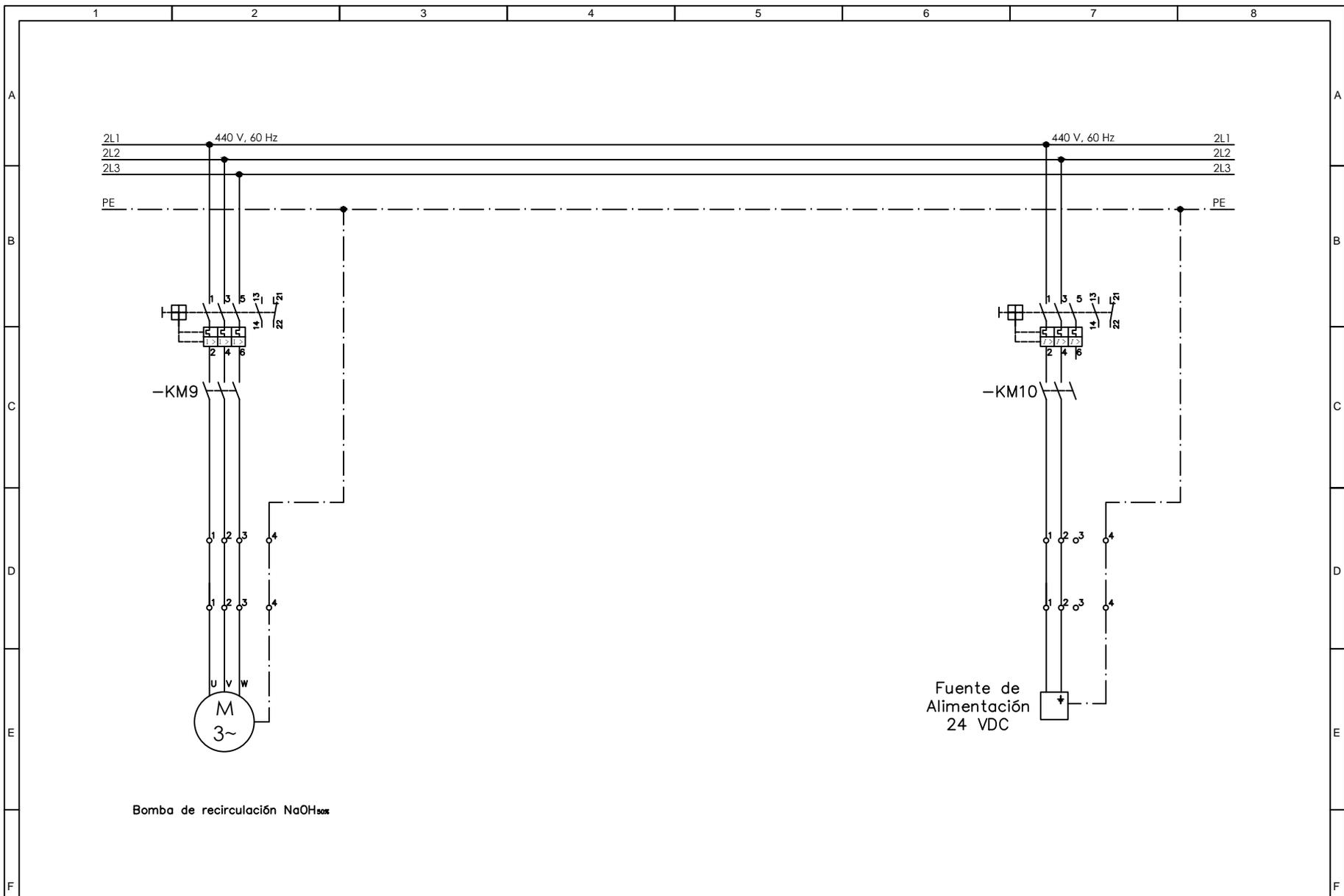
Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Víctor García
 Gerente Mto & Ing.: Luis Pérez

Clariant Venezuela S.A.
Maracay-Estado Aragua



EFLUENT GAS FLOWSHEET

| | | |
|--------------------------|------------|-----------|
| Esquema de los circuitos | | |
| FUERZA | APÉNDICE F | Página: 2 |



Bomba de recirculación NaOH₅₀₀

| | |
|---------------------|----------------|
| Fecha: | 14.06.2012 |
| Editor: | Carlos Pacheco |
| Inq.: | Victor Garcia |
| Gerente Mto & Inq.: | Luis Perez |

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



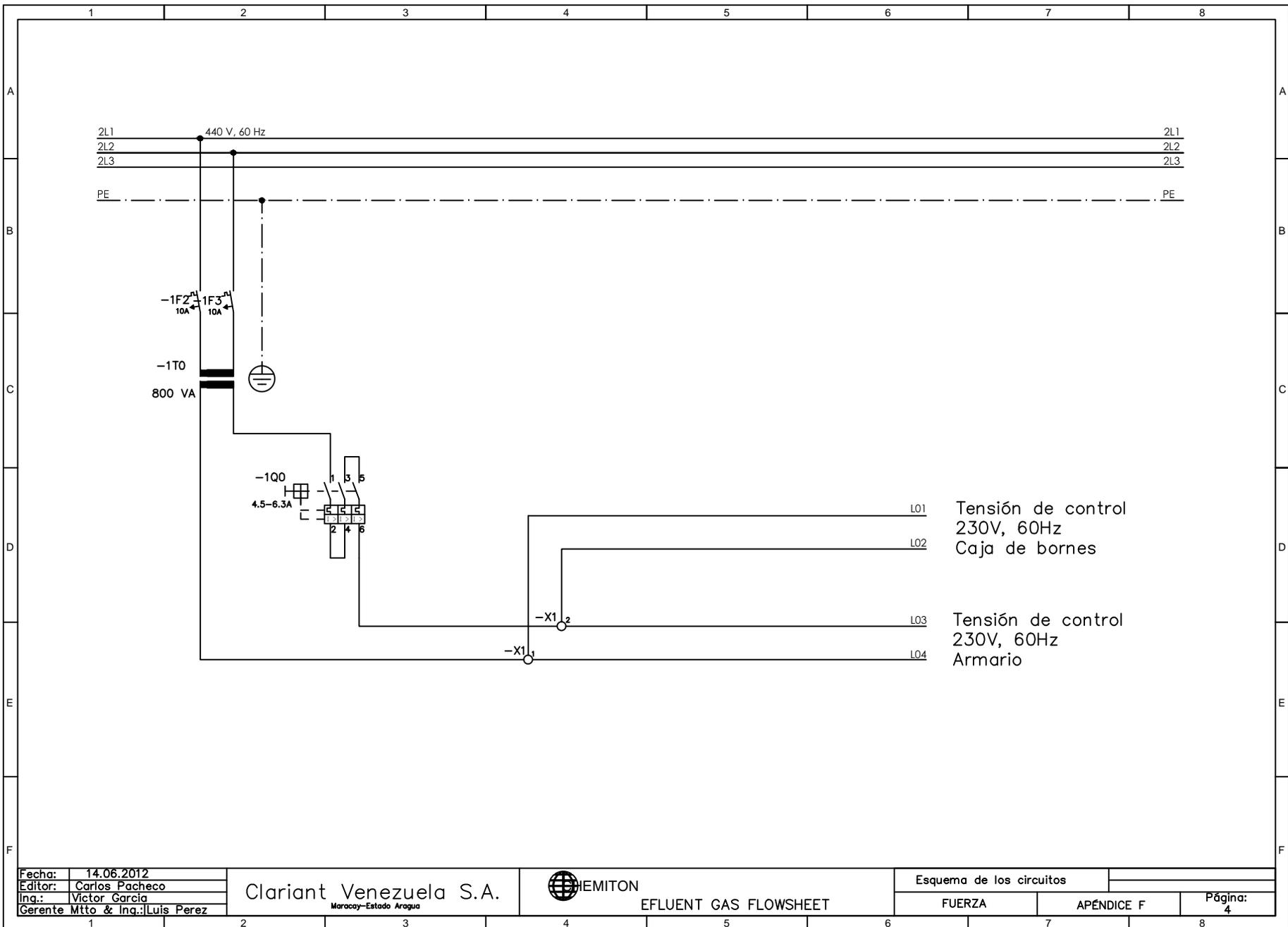
EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

FUERZA

APÉNDICE F

Página:
3



Fecha: 14.06.2012
 Editor: Carlos Pacheco
 Ing.: Victor Garcia
 Gerente Mto & Ing.: Luis Perez

Clariant Venezuela S.A.
 Maracay-Estado Aragua



EFLUENT GAS FLOWSHEET

Esquema de los circuitos

FUERZA

APÉNDICE F

Página:
4



BIBLIOGRAFÍA

1. PÁEZ, Alfredo. CAMPEROS, Graciela. (2011).Diseño de la automatización de un proceso de nivel de sustancias químicas controlado por un autómatas programable siemens s7 300. Valencia, Universidad de Carabobo.
2. PÉREZ, Guzmán. (2009). “Desarrollo de estrategias didácticas dirigidas a la formación teórico-práctica con el sistema SCADA InTouch para el laboratorio de automatización industrial II”.
3. GARCÍA, Víctor. (2006). Ingeniería de detalles para la instalación y automatización de los procesos de pH , control de intercambiador de calor y mezclas de fluidos fríos y calientes en el laboratorio de instrumentación de proceso. Valencia, Universidad de Carabobo.
4. MACHADO, Allen. MARTÍNEZ, Edward. (2005). Diseño de la automatización de una planta de producción de ácido sulfónico lineal. Valencia, Universidad de Carabobo.
5. Neutralización [Pagina Web en Línea]
Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Neutralizaci%C3%B3n>
Consultada: 03/08/2011.
6. PERRY. Robert; CHILTON, Cecil. “Manual del Ingeniero Químico”.
Volumen 1, Capitulo 3, Quinta Edición, MacGraw Hill, México 13, D.F México, pp 25-219.
7. CIAPPINA, Franco. “Control de Procesos Industriales Continuos”.
Edición 2000. Universidad de Carabobo.



8. AMENDOLA, Luís. “Instrumentación Industrial”. Venezuela, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

9. Medidores y métodos de medición de caudal [Documento en línea]
Disponible:<http://www.monografias.com/trabajos31/medidores-flujo/medidores-flujo.shtml>.
Consultada: 06/10/2011.

10. Válvula de solenoide [Página Web en línea]
Disponible: http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_07.pdf
Consultada: 03/11/2010.

11. Medidores de presión. [Documento en línea]
Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>.
Consultada: 07/10/2011.

12. MICROCONTROLADOR SIMATIC S7-1200 (2011) [Pagina Web en Línea]
Disponible:<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/component/content/article/3-noticias-y-actualidad/84-siemens-presenta-simatic-s7-1200.html>.
Consultada: 26/07/2011.

13. Rodríguez Penin, A. (2007). Sistemas SCADA. España Barcelona.
Editorial Marcombo. Capitulo1.

14. SCADA InTouch [Documento en línea]
Disponible: <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>
Consultada: 05/12/2011.



15. Simatic STEP 7 Basic (2011) [Pagina Web en Línea]

Disponible: https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/software/step7_s71200/Pages/STEP7BasicparaS7-1200.aspx

Consultada: 08/09/2011.

16. VETHENCOURT, Adriana. (1998). “Evaluación de la eficiencia de conversión y absorción de los reactores catalíticos y absorbedores de SO₂ de las Plantas de Sulfonación/Sulfatación de Hoechst de Venezuela S.A.”, Informe Final de Cursos en Cooperación, Coordinación de Ingeniería Química, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

17. THE CHEMITHON CORPORATION. (1990). “Manual de operación de la Planta de Sulfonación/Sulfatación de Clariant Venezuela S.A.”, pp. 1-121.

