

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

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

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE
GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA
ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-
QUITO”**

GALO DAVID ANDRADE TERÁN

LUIS FERNANDO IDROVO CAJAS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2012

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

GALO DAVID ANDRADE TERÁN

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO””, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 1 de Octubre de 2012.

Galo David Andrade Terán.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Galo David Andrade Terán

Yo, Galo David Andrade Terán Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 1 de Octubre de 2012.

Galo David Andrade Terán.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

LUIS FERNANDO IDROVO CAJAS

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO’”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 1 de Octubre de 2012.

Luis Fernando Idrovo Cajas.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Luis Fernando Idrovo Cajas

Yo, Galo David Andrade Terán Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 1 de Octubre de 2012.

Luis Fernando Idrovo Cajas.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Hugo Ortiz

Ing. Patricia Zapata

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “AUTOMATIZACIÓN DE LA TEA DE INCINERACIÓN DE GASES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN LA ESTACIÓN OSAYACU DEL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO”, realizado por Galo David Andrade Terán y Luis Fernando Idrovo Cajas, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

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

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Galo David Andrade Terán y Luis Fernando Idrovo Cajas que lo entregue al Ingeniero Víctor Proaño, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 1 de Octubre de 2012.

Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR

Ing. Patricia Zapata
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTOS.

A Dios, ya que Él no manda cosas imposibles, sino que, al mandar lo que manda, te invita a hacer lo que puedas y pedir lo que no puedas y te ayuda para que puedas. “San Agustín (354-430) Obispo y filósofo.”

A nuestros padres, por haberme apoyado durante la carrera pese a los inconvenientes que se puedan presentar en la vida.

A nuestros hermanos, por brindarme su ayuda y aliento en los momentos más difíciles que se presentaron en el transcurso de mi carrera.

A Ing. Wilson Pazmiño, por darme la confianza además de brindarme todo su apoyo para que el presente proyecto fuera culminado de la mejor forma.

A todos los amigos del Poliducto en la estación Osayacu, por brindarnos toda su ayuda y darnos los mejores consejos en la fase para el desarrollo del proyecto, mostrándome que con el esfuerzo y dedicación se puede llegar lejos.

Al Director y Codirector del presente proyecto de grado por saber darme consejo y guiarme para obtener el mejor resultado de mi trabajo realizado.

DEDICATORIA.

Este proyecto está dedicado a Dios por darme la fuerza para continuar adelante en los momentos más difíciles, mis padres y mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional para verme crecer como persona y profesional y a todos mis amigos los cuales me ayudaron dándome sus mejores consejos.

GALO ANDRADE

DEDICATORIA.

El fruto de este trabajo se lo dedico a Dios, por concederme la gracia y los dones que me han permitido cumplir mis objetivos, a mis padres que con su esfuerzo y ejemplo han sabido guiar mi camino, a mis hermanos y sobrinos quienes siempre han sido parte elemental de mi vida.

LUIS IDROVO

RESUMEN.

Se realizó el diseño y la implementación de la automatización del Quemador y Generador frontal de llama que alivia la presión dentro del tanque de almacenamiento de gas LP Bullet en la estación Osayacu del Poliducto Shushufindi-Quito. El sistema cuenta con tres válvulas solenoides, una que permite el paso de gas hacia el quemador piloto y las otras dos que permiten el paso de gas hacia los quemadores principales 1 y 2, una punta de encendido que produce la chispa inicial del quemador piloto, un sensor de llama que indica la existencia de llama en la punta de los quemadores, tres válvulas reguladoras de presión, dos interruptores de presión que indican la existencia de presión en las líneas principales 1 y 2 y un actuador rotativo instalado en la válvula de cierre rápido ubicado bajo el tanque Bullet. El sistema cuenta con un controlador programable TSX NANO que se comunica con una pantalla táctil Magelis ubicada en la sala de operaciones por medio del protocolo UNI_Telway para el control y monitoreo del sistema de quemado de gases, además se comunica con el PLC QUANTUM el cual provee el dato de presión dentro del tanque Bullet por medio del protocolo Modbus TCP.

Se implementó una caja de control la cual activa el proceso de quemado de gases cuya operación se realiza de forma local a una distancia segura para un monitoreo directo en caso de presentarse algún inconveniente.

Se realizó la interfaz humano máquina en el software de desarrollo Vijeo Designer el cual permite la activación y monitoreo del sistema de incineración de gases implementada en la pantalla táctil Magelis XBTG 4330.

El resultado obtenido de la implementación del presente proyecto, permitirá la fácil operación para el alivio de presión dentro del tanque Bullet de forma automática, confiable y segura, además de rehabilitar este proceso que llevaba 30 años sin presentar un funcionamiento adecuado.

PRÓLOGO.

La estación “Osayacu” del poliducto Shushufindi-Quito de EP Petroecuador se localiza en las cercanías del cantón BORJA, en la provincia del Napo. La estación se encarga del bombeo de productos derivados de petróleo como gasolina, diesel, gasolina base, gas licuado de petróleo entre otros. El poliducto cuenta con grupos de bombeo totalmente automatizados para el transporte de productos, además cuenta con tanques de almacenamiento los cuales retienen temporalmente al producto para su posterior reflujo a la línea de bombeo.

En este proceso de almacenamiento, la estación cuenta con una TEA de incineración para el quemado de gases retenidos luego del reflujo del producto a la línea de bombeo, para lo cual el operador tenía que realizar el procedimiento de quemado de forma manual e insegura.

El proyecto nace a partir de la necesidad de realizar el quemado de gases en la TEA de incineración de forma automática y segura, cuyo objetivo fundamental es la de facilitar el manejo del proceso al operador, además de brindarle confiabilidad al momento de ejecutar el encendido de la TEA.

El presente documento inicia con una breve descripción relacionada con antecedentes previos sobre el quemado de gases en la empresa CEPE (actual poliducto de EP Petroecuador), la justificación e importancia de elaborar el proyecto en las instalaciones del poliducto y el alcance del mismo.

A continuación se realiza un análisis de las leyes físicas que se presentan en el flujo de gases a través de tuberías, la presión de vapor que existe dentro de tanques al almacenar GLP así como las definiciones básicas de las propiedades de los gases licuados de petróleo y conceptos sobre Quemadores y Generadores frontales de llama.

Una vez que se conocen las definiciones básicas de los quemadores de gases, se procede a realizar la investigación sobre las normas que involucra la elaboración de un

sistema de quemado de gases seguro, y las normas que se deben cumplir para realizar instalaciones eléctricas dentro de ambientes industriales.

Con estas pautas, se procede a realizar el diseño del sistema de automatización del Quemador y Generador frontal de llama, con el fin de iniciar el proceso de implementación del sistema, incluyendo el rediseño del sistema mecánico con el propósito de facilitar la automatización del mismo.

Se realizan pruebas al sistema implementado con el fin de obtener respuestas favorables para su validación, además se analizan los resultados obtenidos durante la operación del mismo en modo automático para posteriormente elaborar el manual de operaciones.

Por último se presentan las conclusiones a las que se llegó luego de haber finalizado el presente proyecto de titulación, así como las recomendaciones que se deben tener en cuenta para futuras mejoras en el sistema implementado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.	IX
PRÓLOGO.	X
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. General.....	1
1.1.2. Específicos.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO.....	4
1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO.	6
2.1. GASES PERFECTOS.....	6
2.2. ECUACIÓN DE ESTADO DE LOS GASES IDEALES.....	6
2.3. LEY BAROMÉTRICA.....	6
2.4. FLUJO COMPRESIBLE EN TUBERÍAS.....	7
2.4.1. Tipo de Flujo en el Transporte de Gas Natural.....	7
2.4.1.1. Flujo Laminar.....	7
2.4.1.2. Flujo Transicional.....	8
2.4.1.3. Flujo Turbulento.....	8
2.4.2. Ecuación General para la obtención del Flujo de Gas a través de tuberías.....	8
2.5. DINÁMICA DE FLUIDOS.....	10
2.5.1. Fluidos Ideales.....	10
2.5.2. Ecuación de la Continuidad.....	10

2.5.3. Ecuación de Bernoulli.....	11
2.5.3.1. Energía de Flujo.....	11
2.5.3.2. Energía Potencial.....	11
2.5.3.3. Energía Cinética.....	11
2.5.4. Efecto Venturi.....	12
2.6. GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP).....	13
2.6.1. Concepto.....	13
2.6.2. Características.....	13
2.6.2.1. Estado.....	13
2.6.2.2. Toxicidad.....	14
2.6.2.3. Odorización.....	14
2.6.2.4. Poder Calorífico.....	14
2.6.2.5. Inflamabilidad y Combustión.....	15
2.6.2.6. Densidad y Viscosidad.....	16
2.6.2.7. Corrosión.....	17
2.6.2.8. Límites de Inflamabilidad (Mezcla Explosiva).....	17
2.6.2.9. Relación de Expansión, Límites.....	18
2.6.3. Combustión.....	19
2.6.3.1. Concepto.....	19
2.6.3.2. Elementos Esenciales para la Combustión.....	19
2.6.3.2.1. El Comburente (Oxígeno).....	20
2.6.3.2.2. Energía De Activación.....	20
2.6.3.2.3. El Combustible.....	21
2.6.3.3. Tipos De Combustión.....	21
2.6.3.3.1. Combustión Completa.....	21
2.6.3.3.2. Combustión Incompleta.....	22
2.6.3.3.3. Combustión Teórica O Estequiométrica.....	22
2.6.3.3.4. Combustión Con Exceso De Aire.....	22
2.6.3.3.5. Combustión Con Defecto De Aire.....	22
2.7. QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.....	23
2.7.1. Concepto.....	23
2.7.2. Utilidad.....	23
2.7.3. Tipos.....	24
2.7.3.1. Antorchas Elevadas.....	24
2.7.3.2. Antorchas de Suelo.....	24
2.7.3.3. Antorcha de Corriente Forzada.....	25
2.7.3.4. Antorchas De Puntos Múltiples.....	25
2.7.4. Componentes.....	26
2.7.5. Diseño.....	26
2.7.6. Dimensiones de la Antorcha.....	27
2.7.7. Ubicación de la Antorcha.....	28
2.7.8. Efecto del Viento.....	28

2.7.9. Inversión de Temperatura.	28
2.7.10. Tipo de Gas a Quemarse.....	28
2.7.11. Radiación de Calor.	28
2.7.12. Arrastre de Líquido.....	30
2.7.13. Mantenimiento.....	30
2.7.14. Modos de Avería de la Antorcha.....	30
2.8. PRESIÓN DE VAPOR.....	31
CAPÍTULO 3.....	34
SEGURIDAD PARA INDUSTRIAS PETROQUÍMICAS.....	34
3.1. INTRODUCCIÓN.....	34
3.2. SEGURIDAD ELÉCTRICA EN INSTALACIONES PETROLERAS.....	35
3.2.1. Normas y Regulaciones.....	36
3.2.2. Medidas de Seguridad antes del montaje.....	37
3.2.3. Fuentes de Riesgos Eléctricos.....	37
3.3. NORMA NAG - 318.....	39
3.3.1. Introducción.....	39
3.3.2. Objetivo.....	40
3.3.3. Alcance.....	40
3.4. NORMA NTE INEN.....	41
3.4.1. Introducción.....	41
3.4.2. NTE INEN 2 260:2001.....	41
3.4.2.1. Objetivo.....	41
3.4.2.2. Alcance.....	42
CAPÍTULO 4.....	43
DISEÑO.....	43
4.1. DISEÑO ORIGINAL DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.....	43
4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.....	45
4.3. DISEÑO DEL PILOTO DE IGNICIÓN DE LLAMA.....	46
4.3.1. Introducción.....	46
4.3.2. Diagrama esquemático del piloto de ignición de llama.....	46

4.3.3. Dimensionamiento de los elementos que forman parte del diagrama esquemático del prototipo del piloto de ignición de llama.	48
4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.	50
4.4.1. Introducción:	50
4.4.2. Diagrama esquemático del sistema de encendido del quemador y generador frontal de llama.	51
4.4.3. Dimensionamiento de los elementos que forman parte del diagrama esquemático del sistema de encendido del quemador y generador frontal de llama	52
4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.	55
4.5.1. Modos de funcionamiento.	56
4.5.2. Pasos para el encendido y apagado seguro del quemador y generador frontal de llama.	57
4.5.3. Variables del proceso.	61
4.5.4. Selección y descripción del PLC.	64
4.5.5. Detalle de los sensores y actuadores necesarios para la adquisición de datos y accionamiento del proceso.	66
4.5.6. Acciones y relaciones.	73
4.5.7. Diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama.	75
4.5.8. Diagrama graficet del quemador y generador frontal de llama.	76
4.5.9. Diagrama P&ID del quemador y generador frontal de llama.	76
4.5.10. Caja de control.	79
4.5.11. Arquitectura de red.	80
4.6. DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.	83
4.6.1. Pantalla táctil.....	83
4.6.2. Consideraciones de diseño de la HMI.	84
4.6.3. Funciones de la HMI.....	85
4.6.4. Elementos de la HMI.	86
4.6.5. Pantalla principal	88
4.6.6. Pantalla HMI TEA.	90

4.6.7. Pantalla emergente de confirmación de activación.....	91
Esta pantalla desaparece cuando se presiona “SALIR”	92
4.6.8. Pantalla emergente de configuración.	92
4.6.9. Método de representación del estado de las variables del proceso.....	93
4.7. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.	95
4.7.1. Determinación de la carga total del sistema de automatización de encendido del quemador y generador frontal de llama.....	95
4.7.2. Dimensionamiento de la instalación eléctrica.	97
4.7.3. Protección de los elementos electrónicos en la caja de control.	101
CAPÍTULO 5	103
IMPLEMENTACIÓN.....	103
5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL PILOTO DE IGNICIÓN DE LLAMA.....	103
5.1.1. Sección Mecánica.	103
5.1.2. Sección Eléctrica.....	106
5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.	108
5.2.1. Sección Mecánica.	108
5.2.2. Sección Eléctrica.....	111
5.2.3. Sección de Comunicaciones.	114
CAPÍTULO 6	117
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	117
6.1. INTRODUCCIÓN.....	117
6.2. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	117
6.2.1. Prueba de encendido.	118
6.2.2. Resultado de la prueba de encendido.....	118
6.2.3. Prueba de reencendido.	120
6.2.4. Resultado de la prueba de reencendido.....	120
6.2.5. Prueba de apagado.	121

6.2.6. Resultado de la prueba de apagado.....	122
6.2.7. Resultado de la prueba de alivio de presión del tanque Bullet.	124
CAPÍTULO 7	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	126
7.1 CONCLUSIONES.....	126
7.2. RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ÍNDICE DE FIGURAS	132
ÍNDICE DE TABLAS	135
REFERENCIAS DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	137
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO	140

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. General.

- Diseñar e implementar un sistema automático que monitoree la presión y nivel del GLP dentro del tanque Bullet, informe de niveles críticos de dichas variables al operador y permita activar el “Quemador y Generador Frontal de Llama” de forma remota y segura.

1.1.2. Específicos.

- Conocer y aplicar las normas de seguridad que se maneja en una planta de bombeo de hidrocarburos, para realizar la implementación el sistema automático de encendido del “Quemador y Generador Frontal de Llama” en las instalaciones de la estación Osayacu del poliducto Shushufindi-Quito.
- Realizar el pertinente estudio de la necesidad de utilizar oxígeno para la generación de una llama estable con el poder calorífico necesario para encender el sistema.

- Determinar las presiones de salida adecuadas que generen una llama piloto con la suficiente fuerza para encender el “Quemador y Generador Frontal de Llama”, en condiciones ambientales adversas.
- Establecer las presiones de salida de las líneas principales de GLP provenientes del tanque Bullet necesarias para garantizar la combustión adecuada del producto.
- Diseñar y programar una Interfaz Humano-Maquina para una operación y monitoreo fácil e intuitiva que permita al operador activar el sistema de forma oportuna, acompañado de un sistema de control que ejecute la secuencia de encendido del “Quemador y Generador Frontal de Llama” para una operación remota y segura.
- Realizar un manual de usuario para la operación y mantenimiento del sistema.

1.2. ANTECEDENTES.

En el año de 1979, la entonces Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE), a través de la empresa WILLIAMS BROTHERS ENGINEERING COMPANY (AGENT), realiza la compra de cuatro “Quemadores y Generadores Frontales de Llama” a la empresa NATIONAL AIROIL BURNER Co. para ser implementados en las cuatro estaciones de bombeo que forman parte del actual POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO de la empresa EP PETROECUADOR, con el propósito de servir como una “TEA DE INCINERACIÓN DE GAS” para liberar la presión dentro del tanque de alivio Bullet que almacena gas licuado de petróleo. El sistema fue diseñado para ser operado de forma manual, sin un mecanismo de ignición de llama piloto.

El sistema fue construido con tres líneas que llevan el combustible desde el tanque Bullet donde se almacena GLP, el manifold de válvulas de los grupos de bombeo y la línea de ingreso de producto al tanque Bullet, hacia la TEA, estas líneas se unen para formar dos conductos principales los cuales serán efectivamente los que alimenten la torre de quemado; cada conducto cuenta con un tren de válvulas que se encargan de reducir la presión y permitir o restringir el paso de gas para la combustión, además de un deshidratador que se encarga de separar el combustible líquido del gaseoso con la finalidad de prevenir derrames durante la operación.

Desde el momento de su instalación hasta la fecha actual, el sistema no ha sido modificado en su estructura de tal forma que se ha convertido en un mecanismo obsoleto de uso eminentemente emergente.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

Debido a la problemática que sugiere el hecho de encender de forma manual el “Quemador y Generador Frontal de Llama”, por cuestiones de seguridad de la estación y del operador encargado de su accionamiento, y, adicionalmente por motivos de eficiencia en los tiempos de operación en los cuales se incinera el gas la empresa se ve en la necesidad de incurrir en la automatización de todo el proceso de operación de la TEA de incineración de gases del tanque de alivio Bullet.

La importancia de automatizar el sistema de incineración de gases actual radica en el hecho de cumplir con estándares de seguridad industrial que garanticen la integridad tanto del personal que lo opera, como de los equipos que forman parte del sistema; además de optimizar los tiempos de operación de la incineración de gases mediante el “Quemador y Generador Frontal de Llama”.

La realización de este proyecto se justifica en el hecho de que el sistema deberá ser activado de forma remota y segura con tiempos de operación mínimos cuando los

parámetros de nivel y/o presión del GLP dentro del tanque Bullet se encuentren en estados críticos que ameriten el accionamiento del sistema.

Finalmente, el sistema estará provisto de una interfaz local cuidadosamente ordenada y estructurada, la cual permitirá la fácil operación del sistema por parte del encargado de la estación.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO.

El presente proyecto plantea satisfacer una necesidad presente en las estaciones de bombeo del poliducto SHUSHUFINDI-QUITO; a través del diseño e implementación de un sistema automático que monitoree la presión y nivel del GLP dentro del tanque Bullet, informe de niveles críticos de dichas variables y permita al operador activar el sistema de forma remota.

El proyecto consiste en dotar al proceso de una caja de control ubicada en las cercanías de la TEA para la operación, una pantalla táctil para la supervisión desde la sala de operaciones, sensores, actuadores y una red de comunicaciones que integrará la interfaz humano máquina con el sistema de control y la red interna de la estación OSAYACU.

Una vez ejecutada la automatización del proceso de combustión de gases en la TEA, el sistema tendrá la capacidad de ser operado en modo automático bajo el cual una vez accionado el proceso el controlador ejecutará una secuencia previamente programada con la finalidad de aliviar las presiones al interior de las líneas que lo alimentan, y un modo semiautomático con el que el operador tiene la capacidad únicamente de activar y desactivar la punta de encendido ubicada en la cúspide de la antorcha y que genera la chispa de ignición.

El alcance del proyecto plantea que la automatización del proceso será ejecutada en la estación de bombeo “Osayacu” y adicionalmente será tomado como proyecto piloto

para ser implementado en el resto de estaciones que forman parte del poliducto SHUSHUFINDI-QUITO.

1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

El sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama se basa en cuatro ejes fundamentales los cuales guardan correspondencia entre sí como se representa en la Figura 1.1.

El piloto de ignición, produce la flama inicial para un encendido suave, mientras tanto el quemador y generador frontal de llama se encarga de conducir el gas de las líneas principales desde el tanque Bullet y del manifold de válvulas hacia la punta de la TEA, todo este proceso es manejado por el operador desde la caja de control y monitorizado a través de la interfaz humano máquina ubicada en la sala de operaciones.

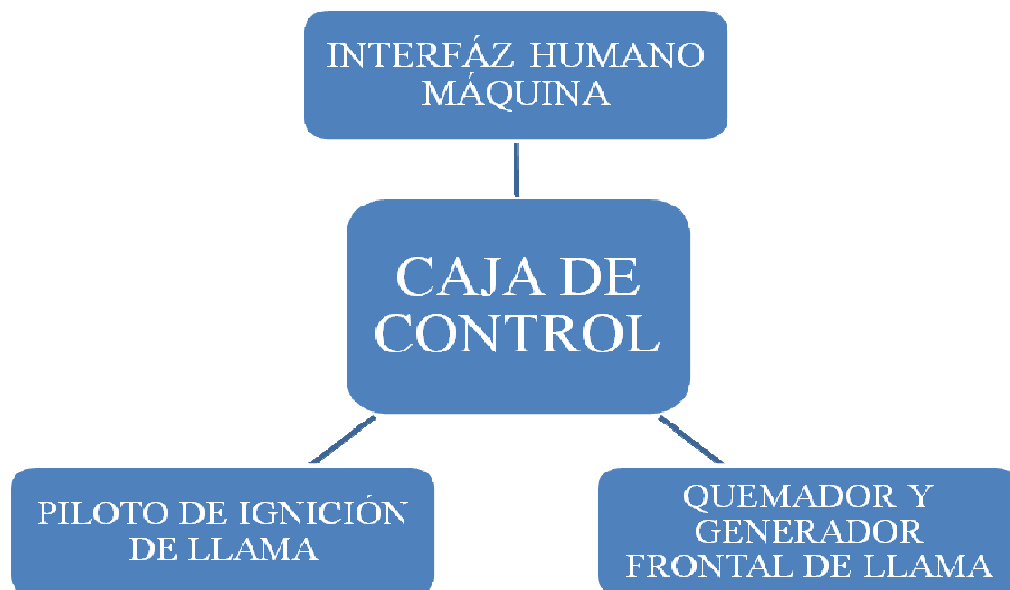


Figura 1.1. Diagrama de bloques del sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO.

2.1. GASES PERFECTOS.

Lo gases perfectos son aquellos que cumplen con las leyes de Boyle y Mariotte la cual expresa que si se mantiene constante la temperatura de una cierta cantidad de gas, la presión varía inversamente con el volumen cuando se produce un cambio de estado, y con la ley de Gay-Lussac la cual manifiesta que si se mantiene constante la presión de una cierta cantidad de gas, la presión varia de una forma proporcional con el volumen en un cambio de estado.

2.2. ECUACIÓN DE ESTADO DE LOS GASES IDEALES.

Esta ecuación manifiesta que el producto de la presión absoluta con el volumen de un gas ideal es igual al producto del número de moléculas con la constante universal de los gases y a la temperatura a la cual está sometido el gas ideal relacionando las leyes de los gases ideales en una sola expresión.

2.3. LEY BAROMÉTRICA.

Establece que la presión atmosférica o la densidad atmosférica varían con la altura, como se expresa en la ecuación 2.1 [1].

$$P = P_0 e^{\frac{-Mg(h-h_0)}{R_u T}} \quad [\text{Ec. 2.1}].$$

Dónde:

P: Presión final.

P_0 : Presión inicial.

M: Masa molecular.

g: Aceleración de la gravedad.

$h - h_0$: Diferencia de alturas

R_u = Constante universal de los gases.

T: Temperatura absoluta.

2.4. FLUJO COMPRESIBLE EN TUBERÍAS.

2.4.1. Tipo de Flujo en el Transporte de Gas Natural.

Son de tres tipos los cuales tienen de ser considerados para realizar el control de la operación del transporte de gas, estos son:

2.4.1.1. Flujo Laminar.

Es aquel que presenta un movimiento del fluido suave, ordenado sin entremezclarse, este flujo no es común en la distribución de gas y su principal característica es que las partículas del fluido no se cruzan con otras partículas durante su trayectoria.

2.4.1.2. Flujo Transicional.

Se presenta cuando existe un aumento de caudal después de estar en flujo laminar, al igual que dicho flujo, el flujo transicional no es muy ocasional en la distribución de gas natural.

2.4.1.3. Flujo Turbulento.

Se presenta cuando el flujo tiene velocidades mayores que las del flujo transicional, el movimiento de este fluido se produce de forma irregular y caótica donde se forman trayectorias de corrientes perpendiculares al del flujo principal, se presenta a menudo en el transporte de gas natural.

2.4.2. Ecuación General para la obtención del Flujo de Gas a través de tuberías.

Se debe considerar que el flujo entre dos secciones de un tramo de tubería cumpla con las siguientes especificaciones:

- a. No existe fuerzas externas que incidan en el flujo dentro de la tubería.
- b. El flujo de gas dentro de la tubería es constante.

Para la simplificación de los términos de la ecuación general para la obtención del flujo de gas a través de tuberías, se debe tomar en cuenta tres condiciones que se detallan a continuación:

1. El flujo se presenta en condiciones en la cual no existe variación de la temperatura del gas.
2. La presión es inversamente proporcional al volumen del gas como se describe en la ley de Boyle y Mariotte.

3. La tubería es horizontal. Los cambios de elevación a lo largo de una tubería rara vez son muy grandes y su efecto en el cálculo del flujo de gas usualmente es despreciable; sin embargo, para el flujo de líquidos, el peso del fluido hace imposible ignorar las diferencias en elevación al escribir un balance de energía [2].

En el flujo de gas natural a través de tubería se presenta ocasionalmente caídas de presión entre las secciones de entrada y salida, por lo tanto se tendrán en cuenta las condiciones de flujo relativas a grandes porcentajes de caída de presión [3].

Como la presión a lo largo de la tubería disminuye y la temperatura permanece constante, el volumen del gas aumenta, y como el mismo peso de gas cruza cada sección del tubo durante el mismo intervalo de tiempo, y el tubo es de área constante en la sección, la velocidad del flujo aumenta [4].

En el transporte comercial de gas natural por tubería el flujo es turbulento, para flujo turbulento, la resistencia a la fricción es proporcional a la superficie de contacto con el fluido, aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad y proporcional al peso específico del fluido [5].

Además, en tuberías comerciales la relación longitud a diámetro es grande comparada con la relación de presiones a la entrada y a la salida del tramo, tomando en cuenta todos estos parámetros de flujo a través de tuberías se define la ecuación 2.2 como:

$$A * v_1 = Q = A * \left[\frac{g * R_u * T * (p_1^2 - p_2^2)}{2p_1^2 * \frac{4 * f * L}{2 * D}} \right] \quad [\text{Ec. 2.2}].$$

2.5. DINÁMICA DE FLUIDOS.

2.5.1. Fluidos Ideales.

Se considera un fluido ideal a aquel que presente las siguientes características:

- a. Fluido no viscoso: Es aquel que no presenta fricción o rozamiento entre las capas internas del fluido.
- b. Flujo estacionario. Es aquel flujo cuya característica es presentar una velocidad constante en el tiempo.
- c. Fluido incompresible. La cual presenta una densidad del fluido constante con el tiempo.
- d. Flujo irrotacional. No existe un momento angular en el fluido por lo que elimina la posibilidad de presentar torbellinos.

2.5.2. Ecuación de la Continuidad.

Esta ecuación expresa que si la cantidad de fluido que pasa a través de dos secciones cualesquiera permanece constante en un tiempo determinado, entonces la masa del fluido que pasa a través de las secciones debe ser la misma en el mismo intervalo de tiempo, este concepto se ilustra en la ecuación 2.3 [6]:

$$M = \rho * v * A$$

[Ec. 2.3].

Dónde:

ρ : Densidad de flujo.

v : Velocidad promedio de flujo

A: Área de la sección transversal.

2.5.3. Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli hace referencia a la ley de la conservación de energía, la cual hace necesario tomar en cuenta tres formas de energía “las cuales se presentan a continuación [7]:

2.5.3.1. Energía de Flujo.

Llamada también energía de presión o trabajo de flujo, representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de una cierta sección en contra de la presión p .

2.5.3.2. Energía Potencial.

Debido a su elevación, la energía potencial del elemento del fluido con respecto a algún nivel de referencia, es directamente proporcional al producto del peso del fluido con su altura de elevación donde se encuentra el fluido.

2.5.3.3. Energía Cinética.

Debido a su velocidad, la energía cinética del elemento del fluido es igual al peso del fluido por el cuadrado de la velocidad dividido para la suma de 2 veces la gravedad.

La cantidad total de energía que posee el elemento del fluido será la suma de las tres anteriores.

Pero la ley de Bernoulli presenta restricciones en los siguientes casos:

- a. Es válida solamente para fluidos incompresibles, puesto que el peso específico del fluido se tomó como el mismo en las dos secciones de interés.
- b. No puede haber dispositivos mecánicos entre las dos secciones de interés que pudieran agregar o eliminar energía del sistema, ya que la ecuación establece que la energía total del fluido es constante.
- c. No puede haber transferencia de calor hacia adentro o afuera del sistema.
- d. No puede haber pérdidas de energía debidas a la fricción.

2.5.4. Efecto Venturi.

La corriente de un fluido dentro de un conducto cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor, lo que incita que al conectar el extremo de otro conducto en este punto se produce una succión del fluido contenido.

Como la velocidad en el tramo de menor sección es mayor, la presión en dicho tramo es menor.

2.6. GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP).

2.6.1. Concepto.

Los Gases Licuados de Petróleo (GLP), son un conjunto de gases derivados del proceso de licuefacción del petróleo o del gas natural que se encuentra en yacimientos bajo tierra.

En general los GLP son una combinación de hidrocarburos cuya propiedad es mantenerse en estado gaseoso a temperatura ambiente, mientras que si se los mantiene a baja temperatura o a una presión mayor a la atmosférica su estado se vuelve líquido.

Los GLP pueden estar compuestos de Propano (C₃H₈), Butano (C₄H₁₀) o una mezcla de estos dos gases los cuales son licuados a presión para facilitar su transporte y almacenamiento.

2.6.2. Características.

2.6.2.1. Estado.

El estado natural de los GLP a presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), es gaseoso, mientras que si aumenta la temperatura por sobre la del ambiente o disminuye la presión bajo la presión atmosférica los GLP mantienen su estado gaseoso.

Si la presión a la cual se encuentran los GLP es la presión atmosférica para que estos gases cambien su estado gaseoso a líquido, la temperatura a la cual están expuestos debe ser inferior a -0,5°C en el caso del butano y a -42,2°C en el caso del propano. Por otro lado si la temperatura a la cual se encuentra los GLP es la temperatura ambiente, para que estos gases cambien su estado gaseoso a líquido, deben ser

sometidos a una presión de 2 atmósferas para el butano y de 8 atmosferas para el propano.

2.6.2.2. Toxicidad.

Los gases que componen el GLP no tienen propiedades tóxicas, sin embargo estos gases son peligrosos para el ser humano ya que tienen la propiedad de desplazar el oxígeno lo cual provoca sofocamiento, falta de oxígeno en la sangre y por ultimo hasta la muerte.

2.6.2.3. Odorización.

Por propiedad natural de los GLP estos son inodoros e incoloros por lo cual advertir su presencia en el ambiente es imposible para el sentido humano, razón por la cual y debido a su grado de peligro si se lo encuentra libre en el ambiente es necesario someterlos a un proceso de odorización que no es más que añadir una sustancia química por lo general etil-mercaptano que le proporcione olor a los Gases Licuados del Petróleo (GLP).

2.6.2.4. Poder Calorífico.

Es la cantidad de energía en forma de calor resultado de la oxidación completa de un combustible por unidad de masa o volumen. Las unidades que se usan para medir el poder calorífico son (kcal/kg), (kcal/m³), (BTU/lb) y (BTU/pie³).

La tabla 2.1 muestra el poder calorífico de los gases naturales, del propano y del butano a una temperatura de 20° C, mientras que la tabla 2.2 ilustra el poder calorífico del propano y butano en estado líquido.

Sustancia	Poder calorífico (Kcal. / m3)
Gas natural	8800
Propano	17375
Butano	22880
Propano 70%-Butano 30%	19026

Tabla 2. 1. Poder calorífico de combustibles (en estado gaseoso a las condiciones de una atmósfera de presión y una temperatura de 20° C) [8].

Unidad	Propano	Butano	Propano 70% Butano 30%
Kcal /Kg. (líquido)	13005	11780	11938
Btu / Kg. (líquido)	47659	46768	47392
Kcal / It (líquido)	6105	6910	6347
Btu / It (líquido)	24238	27432	25196
Kcal / It (vapor)	23	30	25
Btu / It (vapor)	91	119	99
Kcal /galón (líquido)	23108	26153	24022
Btu / galón (líquido)	97140	103830	95367
Btu / pie3 (vapor)	2563	3369	2805

Tabla 2. 2. Poder calorífico del Propano y Butano en estado Líquido [8].

2.6.2.5. Inflamabilidad y Combustión.

Los GLP forman con el aire mezclas inflamables las cuales requieren necesariamente una gran cantidad de aire para su combustión. Resultan inflamables en el aire solo cuando se mezclan en una cierta proporción:

Propano: entre el 2,2 y el 9,5 % de propano.

Butano: entre el 1,9 y el 8,5 % de butano.

Presiones de utilización más usuales de los GLP:

Propano comercial 37 y 50 mbar.

Butano comercial 28 mbar.

2.6.2.6. Densidad y Viscosidad.

La densidad y presión de vapor del GLP varían según la composición.

La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que el GLP resulta más pesado que éste. Por lo tanto una nube de GLP tenderá a permanecer a nivel del suelo. Es importante diferenciar las densidades según el estado en que se encuentren el butano / propano.

Densidad en fase líquida (agua = 1) aproximadamente 0,5 Kg./l, densidad relativa en fase gaseosa (aire = 1), para el butano 2,03 y para el propano 1,57. La tabla 2.3 describe los valores comerciales en los que se puede encontrar el propano y el butano en sus características de tensión de vapor, temperatura de ebullición, masa en volumen de gas y de líquido, densidad en fase líquida y poder calorífico.

Valores Característicos	Propano Comercial	Butano Comercial
Tensión de vapor absoluta a 20° C	8,5 bar abs.	2,25 bar abs.
Temperatura de ebullición a presión atm.	- 45° C	- 0,5° C
Masa en volumen del gas a 20° C y presión atmosférica (ρ) (valores SEDIGAS)	2,095 kg/m ³	2,625 kg/m ³
Densidad en fase gas (respecto al aire)	1,62	2,03
Masa en volumen del líquido a 20° C (ρ)	506 kg/m ³	0,580 kg/m ³
Densidad en fase líquida (respecto al agua)	0,506	0,506

Valores Característicos	Propano Comercial		Butano Comercial	
Poder Calorífico Superior - Hs-	12 000 kcal/kg	13,95 kWh/kg	11 900 kcal/kg	13,83 kWh/kg
	25 140 kcal/m ³	29,23 kWh/m ³	31 240 kcal/m ³	36,32 kWh/m ³
Poder Calorífico Inferior - Hi-	10 900 kcal/kg	12,67 kWh/kg	10 820 kcal/kg	12,47 kWh/kg
	22 835 kcal/m ³	26,55 kWh/m ³	28 400 kcal/m ³	33,02 kWh/m ³
Presión atmosférica = 1,01325 bar; Masa en volumen del aire $\rho = 1,293$ kg/m³; Masa en volumen del agua $\rho = 1000$ kg/m³.				

Tabla 2. 3. Valores característicos básicos de los GLP comerciales [8].

2.6.2.7. Corrosión.

Los GLP no corroen al acero, ni al cobre o sus aleaciones y no disuelven los cauchos sintéticos por lo que éstos materiales pueden ser usados para construir las instalaciones. Por el contrario disuelven las grasas y al caucho natural.

2.6.2.8. Límites de Inflamabilidad (Mezcla Explosiva).

La diferencia entre una mezcla inflamable y una mezcla explosiva depende de la cantidad y localización de la mezcla en el momento de la ignición, es así que si una mezcla naturalmente inflamable se confina dentro de un área sin ventilación, se tornará explosiva siempre y cuando se guarden las proporciones de aire y gas adecuadas para iniciar la explosión.

Los límites de inflamabilidad se dividen en: "límite inferior" y "límite superior" que se miden por porcentajes de contenido. Entre los límites superior e inferior existe un porcentaje de mezcla que recibe el nombre de mezcla carburada.

En el caso del GLP que normalmente se usa, es necesario que la mezcla de vapor contenga entre el 2.2% a 9.2% de gas en el aire para que se produzca el encendido.

Los límites de inflamabilidad (mínimo y máximo) de los gases licuados de petróleo se encuentran considerablemente cercanos uno de otro, es decir, su rango es pequeño en comparación con los de otros gases combustibles como se muestra en la Tabla 2.4.

GAS	Mínimo % de Gas	Máximo % de Gas
Propano	2,4	9,5
Butano	1,9	8,4
Propano 70% - Butano 30%	2,2	9,2

Tabla 2. 4. Límites de inflamabilidad [8].

2.6.2.9. Relación de Expansión, Límites.

Una propiedad física de los gases es que cuando se calienta una muestra de gas, aumenta la velocidad promedio de sus partículas, las cuales se mueven en un espacio mayor, dando como resultado que todo el gas aumenta su volumen se han expandido, por lo tanto cuando los gases licuados de petróleo, son derramados al aire libre, fácilmente se expanden y se mezclan con el aire, llegando a formar mezclas inflamables.

De un litro de G L P (en una relación de 9.2% de G L P y 90.8% de aire) se obtiene 262 litros de vapor de G L P y 11500 litros de mezcla inflamable, algunas equivalencias del GLP en estado líquido se muestran en la Tabla 2.5.

Estado líquido	Equivalencia en líquido	Equivalencia en vapor
Un galón de líquido GLP	0,0038 m ³	1 m ³ de vapor GLP
Un Kg. de líquido GLP	0,0019 m ³	0,5 m ³ de vapor GLP
Una libra de líquido GLP	0,0304 pies ³	8 pies ³ de vapor

Tabla 2. 5. Equivalencias del GLP en estado líquido y estado de vapor [8].

2.6.3. Combustión.

2.6.3.1. Concepto.

Es el resultado de la combinación química de forma instantánea de un comburente con un combustible, provocando la emisión de energía en forma de calor y luz.

En términos químicos a la Combustión se la describe como el proceso de oxidación exotérmico que desencadena la reacción de ciertos elementos al ser fusionados con el oxígeno, produciendo calor y luz.

En general para que se dé lugar una combustión debe existir una combinación química de forma violenta que genere energía calorífica y lumínica.

2.6.3.2. Elementos Esenciales para la Combustión.

Para que la combustión suceda debe existir necesariamente la presencia del Comburente, el Combustible y la energía de activación; de tal manera que a estos tres elementos forman parte del llamado triángulo de combustión que se muestra en la Figura 2.1 tomado de http://www.combustionindustrial.com/img/GLP_propano_o_butano.pdf

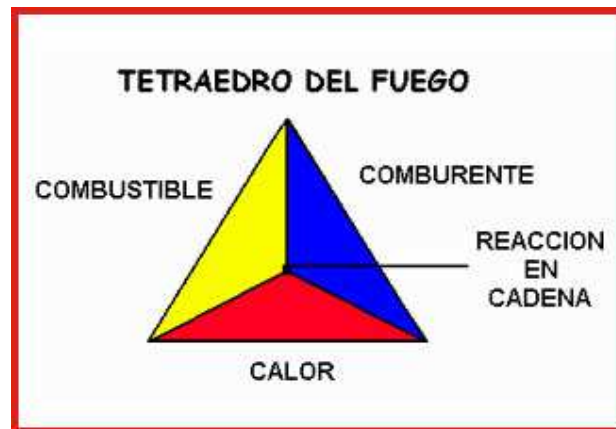


Figura 2.1. Tetraedro del fuego.

2.6.3.2.1. El Comburente (Oxígeno).

El aire presente en el ambiente, contiene oxígeno que es necesario para la combustión, la composición media se proporciona en la siguiente tabla:

	Peso Molecular	%Volumen	%Peso
Nitrógeno, N₂	28	78,08	75,52
Oxígeno, O₂	32	20,95	23,15
Argón, A	40	0,93	1,28
Dióxido de Carbono, CO₂	44	0,03	0,046
Otros		0,01	0,004

Tabla 2. 6. Promedio de la composición en aire ambiente (Aire Seco a 273 K, 1013 mbar) [8].

2.6.3.2.2. Energía De Activación.

Es la energía mínima necesaria para la activación de la combustión, si se tiene el comburente y el combustible la presencia de una pequeña cantidad de calor aportada puede bastar para que se desencadene una combustión, haciendo de la energía calórica aportada las veces de energía de activación.

Según el origen de este primer aporte de energía lo clasificamos como:

- a. Químico: La energía química exotérmica desprende calor, que puede ser empleado como fuente de ignición.
- b. Eléctrico: El paso de una corriente eléctrica o un chispazo produce calor.
- c. Nuclear: La fusión y la fisión nuclear producen calor.
- d. Mecánico: Por compresión o fricción, la fuerza mecánica de dos cuerpos puede producir calor.

2.6.3.2.3. El Combustible.

Son elementos de origen mineral, orgánico, animal o vegetal, constituidos principalmente por carbono e hidrogeno que se utilizan en procesos industriales para la producción de calor.

Según su naturaleza existen varios tipos de combustible:

- a. Sólidos
- b. Líquidos
- c. Gaseosos

2.6.3.3. Tipos De Combustión.

2.6.3.3.1. Combustión Completa.

Es cuando el proceso de combustión ha oxidado todas las sustancias combustibles, es decir a consumido todo el combustible posible de manera que no queda sustancias remanentes del combustible utilizado para el proceso.

2.6.3.3.2. Combustión Incompleta.

Es el tipo de combustión resultado del cual quedan residuos de sustancias combustibles debido a una ineficiente oxidación de dichos elementos, los restos de combustible que no se consumen en el proceso son conocidos como inquemados los cuales indican que la combustión se realiza o se realizó de forma incompleta.

2.6.3.3.3. Combustión Teórica O Estequiométrica.

Es la combustión que se realiza con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que se produzcan inquemados.

Esta combustión se denomina teórica porque en la práctica siempre se producen inquemados, aunque sea en muy pequeña proporción.

2.6.3.3.4. Combustión Con Exceso De Aire.

Este tipo de combustión es caracterizado por que la cantidad de comburente (oxígeno) es mayor a la necesaria para producir una combustión completa evitando la formación de inquemados, las consecuencias de este tipo de combustible son que existe pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama.

2.6.3.3.5. Combustión Con Defecto De Aire.

En esta combustión, el aire disponible es menor que el necesario para que se produzca la oxidación total del combustible. Por lo tanto, se producen inquemados.

2.7. QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

2.7.1. Concepto.

El “Quemador y Generador Frontal De Llama”, es un “Sistema de Antorcha” o “TEA”, que genera un proceso de combustión de combustibles excedentes de algún tipo de proceso industrial.

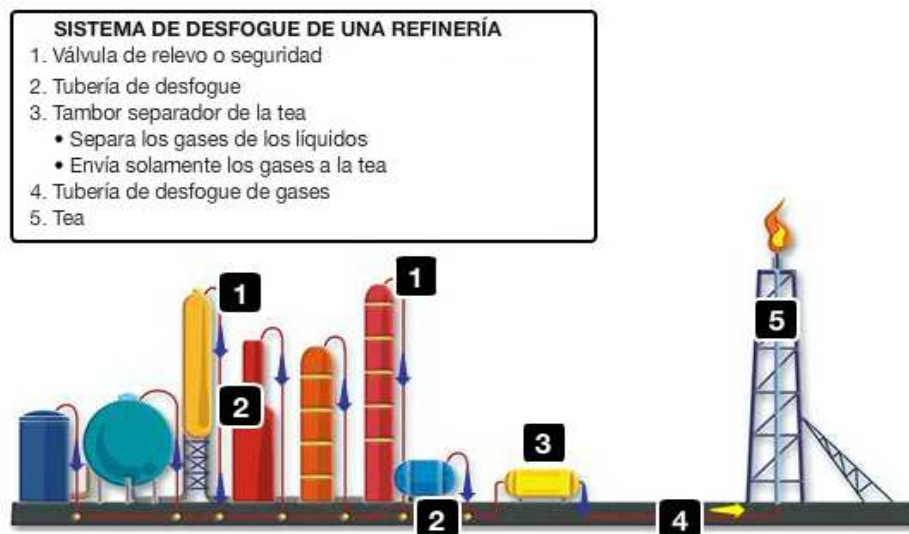


Figura 2.2. Sistema de desfogue de una refinería [9].

2.7.2. Utilidad.

Las “TEAS” son de gran utilidad en distintos tipos de procesos industriales donde se maneja hidrocarburos, los sistemas de “Antorchas” se utilizan para aliviar el exceso de gases remanentes de procesos como extracción, refinación, transporte y comercialización de derivados de petróleo u otros combustibles, las “TEAS” son también sistemas de seguridad cuyo fin es disminuir las concentraciones peligrosas de gases inflamables en el ambiente quemándolos continuamente reduciendo el riesgo de explosiones, figura 2.2 se ilustra el sistema de desfogue de gas en una refinería con sus respectivos componentes.

2.7.3. Tipos.

2.7.3.1. Antorchas Elevadas.

Las TEAS de tipo elevadas tienen como finalidad característica la combustión de gases de forma segura ante emergencias tales como cortes de electricidad, fuegos en la planta, fallas de componentes y otras situaciones de emergencia en las cuales la descarga directa a la atmósfera puede resultar en peligros de explosión, por lo que dejan de lado aspectos de eficiencia de la combustión y contaminación ambiental anteponiendo aspectos como la caída permisible de la presión y la dispersión de la radiación térmica o la dispersión de gases tóxicos cuando ocurre la extinción de la antorcha.

2.7.3.2. Antorchas de Suelo.

Este tipo de quemadores a nivel del suelo está diseñado para cubrir requerimientos ambientales sin dejar de lado su fin principal que es la combustión segura de los gases residuales del proceso; otra característica de este tipo de quemadores es que suelen estar apoyados con antorchas elevadas para prevenir gases fugitivos en el ambiente.

Su diseño y construcción consiste en recubrir a la TEA con un escudo o coraza de acero el cual a su vez está revestido de material refractario lo cual evita que la energía calórica y lumínica, así como el ruido producto de la combustión sea transferida directamente al ambiente. Otro aspecto característico de este tipo de sistemas es que al mantenerse cubierta la TEA la cantidad de aire que se encuentra alrededor de ella no satisface las necesidades de una buena combustión por lo que se hace necesario incluir en su diseño un sistema de suministro de aire para que la combustión se realice de manera adecuada.

2.7.3.3. Antorcha de Corriente Forzada.

Las antorchas de corriente forzada básicamente son antorchas elevadas cuyo fin es mantener una llama constante que combustione todos los gases que se encuentran en el ambiente a fin de mantenerlo seguro, son mayormente utilizadas en industrias petroquímicas cuyos procesos traen consigo la inherente presencia de gases combustibles en el entorno.

Su característica principal en la construcción es la presencia de una línea de aire forzado el cual provee al sistema de la cantidad de oxígeno necesaria para tener una combustión completa, además disminuya los efectos del viento en la llama, proporciona un quemado sin humo con bajo costo de operación y aumenta la confiabilidad ya que sólo requiere gas piloto y electricidad.

2.7.3.4. Antorchas De Puntos Múltiples.

Este tipo de sistemas de quemado de gases son variantes de la antorcha elevada diseñados para aumentar el tiempo de vida útil de la misma, ya que dividen la carga de combustión en dos o más puntos.

Otras ventajas de este tipo de quemadores son:

- a. Vida prolongada
- b. Bajo mantenimiento
- c. Bajo consumo de energía
- d. Llamas cortas
- e. Radiación reducida
- f. Los líquidos arrastrados se queman
- g. Capacidades muy superiores de no generar humo

2.7.4. Componentes.

Los componentes que forman parte de un “Quemador y Generador Frontal de Llama” básicamente son:

- a. Una o varias tuberías (líneas) de suministro de combustible.
- b. Línea auxiliar de aire (opcional).
- c. Un tambor eliminador de líquido o barriles deshidratadores.
- d. Una chimenea con boquilla de antorcha.
- e. Un sistema de asistencia para mantener combustión sin humo (opcional).
- f. Un sistema de gas piloto.
- g. Encendedores.
- h. Instrumentación.
- i. Sellos moleculares (opcional).
- j. Purgas.
- k. Sistemas de detección de llamas.

En la figura 2.11 se muestran los componentes de un quemador y generador frontal de llama.

2.7.5. Diseño.

Para el diseño de un Quemador y Generador Frontal de Llama se considera varios aspectos fundamentales entre los cuales se denota:

- a. Método de Ignición.
- b. Cantidad de aire presente en la atmosfera.
- c. Sistema de remoción de líquidos.
- d. Ubicación de la TEA.
- e. La necesidad o no de un sistema de supresión de humo.
- f. Niveles de emisión permisibles.
- g. Aspectos operacionales o emergentes que ameriten el encendido de la TEA.

- h. Gases y líquidos de proceso.
- i. Contingencia en caso de derrames de líquidos no combustionados.
- j. Caudal de flujo.
- k. Presión disponible del gas.
- l. Temperatura del gas.
- m. Costo de energía y disponibilidad.
- n. Exigencias ambientales.
- o. Exigencias de seguridad.

2.7.6. Dimensiones de la Antorcha.

Normalmente se diseñan las dimensiones de los quemadores de antorcha de acuerdo con dos criterios: caída de presión o máxima velocidad de salida permisible para un quemado estable. La caída de presión y la velocidad de salida están relacionadas.

La caída de presión permisible se fija por el diseño total del sistema de antorcha y por los requerimientos de contrapresión máxima para los dispositivos de alivio. En algunos casos, los límites de caída de presión mantienen la velocidad de salida, bastante por debajo de la máxima permisible. En otros, hay disponibilidad de una considerable presión y la velocidad de salida es la que limita el tamaño del quemador de la antorcha.

El uso prudente de la caída de presión de la que se dispone puede permitir que se mantenga el tamaño del quemador de antorcha al mínimo.

Esto incrementa la velocidad de salida para una velocidad de flujo dada, reduciendo de este modo el choque de llamas y mejorando la vida de la antorcha. Un beneficio adicional de los tamaños más pequeños de antorchas es una reducción en el tamaño de las problemáticas zonas de baja presión.

2.7.7. Ubicación de la Antorcha.

El lugar donde se ubicare la TEA debe ser motivo de un estudio a fondo que considere los siguientes aspectos fundamentales para evitar futuros conflictos de orden técnico, de operación, de mantenimiento, de seguridad, ambiental e incluso de costos.

2.7.8. Efecto del Viento.

El efecto del viento afecta la estabilidad de la llama, radiación de calor, y la dispersión de los gases en el ambiente por lo tanto hay que tomar en cuenta la dirección y velocidad de este parámetro para el diseño de la TEA.

2.7.9. Inversión de Temperatura.

Se deben considerar las condiciones meteorológicas que afecten a la estabilidad atmosférica, la dispersión de olores y las concentraciones de oxígeno en el ambiente afectando la eficiencia del proceso de combustión.

2.7.10. Tipo de Gas a Quemarse.

Dependiendo del tipo de gas para el cual se está diseñando el sistema se escoge el tamaño de la boquilla de antorcha, el flujo de gas hacia la misma, la necesidad o no de aire forzado o sistema de supresión de humo.

2.7.11. Radiación de Calor.

Hay que tener en cuenta que el sistema al encenderse genera un poder calorífico considerable que constituye un riesgo los propios componentes del sistema y más aún para el personal que opera el sistema.

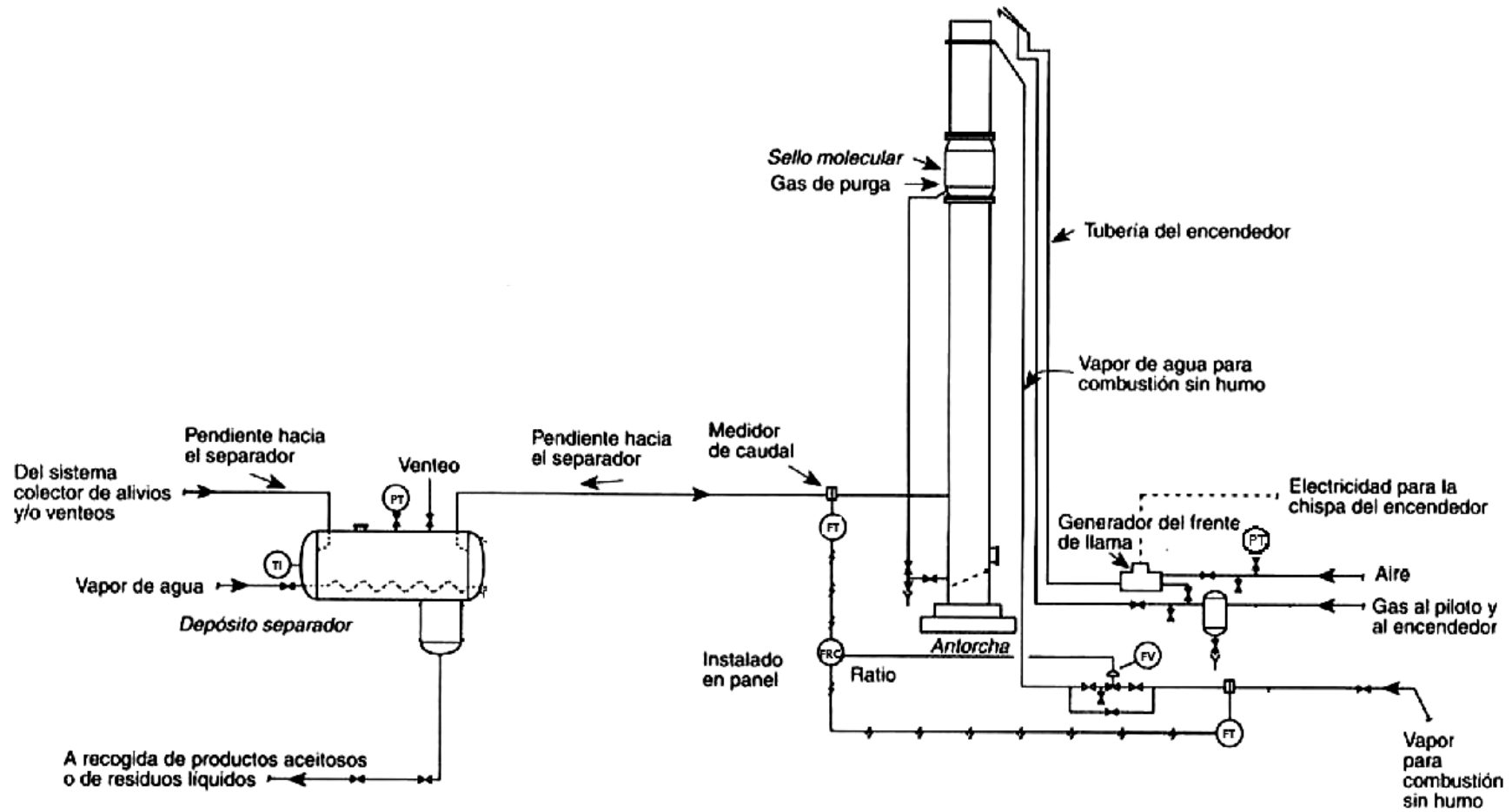


Figura 2.3. Componentes de un quemador y generador frontal de llama. [10].

2.7.12. Arrastre de Líquido.

Si existe un riesgo de que el producto que se combustione en la TEA contenga líquido inflamable, hay que considerar sistemas de contingencia y protección en caso de derrame de material líquido combustionando que puede generar incendios y contaminación.

2.7.13. Mantenimiento.

Se deben establecer procedimientos periódicos de mantenimiento preventivo y correctivo orientados a mantener el sistema operativo para ser accionado en cualquier momento, estos procedimientos incluyen:

- a. Purga periódica de las líneas.
- b. Limpieza de los dispositivos de encendido.
- c. Encendido periódico del sistema para garantizar su funcionamiento.

2.7.14. Modos de Avería de la Antorcha.

Las causas más frecuentes de avería de un Quemador y Generador Frontal de Llama son:

- a. Obstrucciones en el flujo de combustible, producido por materiales contaminantes que taponan las líneas y generan oposición al flujo de los gases en dirección a la antorcha.

- b. Fallas en los dispositivos mecánicos que componen el sistema como reguladoras de presión, válvulas de paso entre otros.
- c. Desgaste o corrosión del sistema de ignición.
- d. Fallas en el instrumental.

Hay que considerar que el proceso de supresión de gases por medio de la combustión de los mismos en una TEA es un proceso de carácter importante para garantizar la seguridad de la planta, de manera que se tiene que prevenir las averías en el sistema con la finalidad de mantener al sistema correctamente operativo ante casos de emergencia.

2.8. PRESIÓN DE VAPOR.

La presión de vapor de una sustancia pura es la presión a la cual la fase vapor está en equilibrio con su fase líquida a una determinada temperatura. Las sustancias más ligeras tienen mayor presión de vapor que las sustancias pesadas [11].

Cuando se trata de una mezcla de sustancias, la presión de vapor de la mezcla dependerá, además de la temperatura, de la composición que tenga la fase líquida.

En la Figura 2.12 se grafica la variación de la presión de vapor del propano y butano con la temperatura. Se puede apreciar que la presión de vapor del butano es 0.0725 PSI a 0°C y 11.6 PSI a 15°C, mientras que la presión de vapor del propano a estas temperaturas es de 58 y 94.25 PSI respectivamente. Esto crea una considerable diferencia en la presión de vapor de la mezcla en la medida que las proporciones de propano y butano varían.

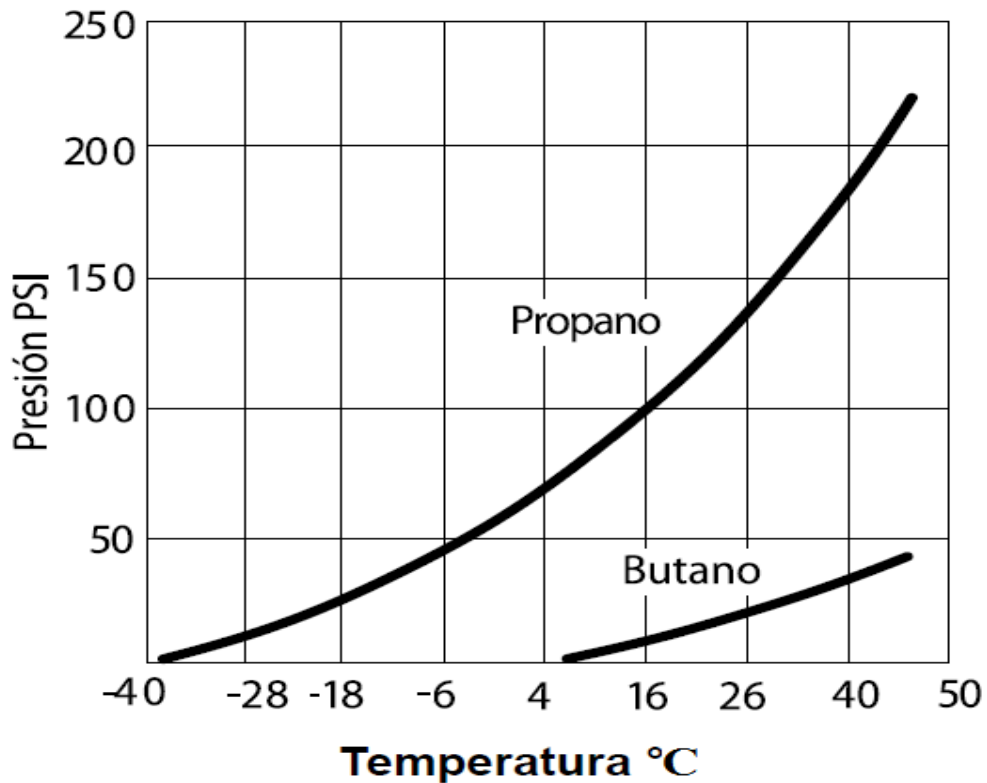


Figura 2.4. Presión de Vapor del butano y propano.

La presión se incrementa con la temperatura y ello conduce a grandes variaciones en el volumen de GLP en el estado líquido. Por lo tanto, si un contenedor (balón, bombona o tanque) está completamente lleno de GLP en su estado líquido y aumenta la temperatura, se producirá un rápido incremento de la presión, creando el riesgo de una explosión. Por esta razón, nunca debe llenarse completamente un tanque de GLP.

Con referencia a la Figura 2.12 procedemos a obtener de los datos, puntos del compuesto del GLP teniendo en cuenta la mezcla o la proporción de los dos elementos que conforman el GLP (butano y propano), así.

Temperatura [°C]	Presión Propano [PSI]	Presión Butano [PSI]	Presión GLP [PSI] Propano 70%-Butano 30%
-10	44,1	0	30,87
0	58,8	0	41,16
10	80,85	7,35	58,8
20	113,19	16,17	84,08
30	151,41	30,87	115,24
40	183,75	52,92	144,5

Tabla 2.7. Presión de vapor del GLP.

CAPÍTULO 3

SEGURIDAD PARA INDUSTRIAS PETROQUÍMICAS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Todas las instalaciones centralizadas de Gas Licuado de Petróleo (GLP) se deben operar dentro de un marco de seguridad cada vez más exigente. El GLP es un combustible excelente, ecológico y versátil, que cuenta con millones de consumidores satisfechos alrededor del mundo.

El GLP es un combustible potencialmente peligroso si se manipula incorrectamente, el riesgo cero es una aspiración más que una certeza absoluta. Por ello, el cuidado en la manipulación y el uso del GLP puede ayudar a reducir el número de accidentes y sus consecuencias, permitiendo situarse dentro de los parámetros de riesgo social e individual aceptados en una sociedad moderna e industrializada, las fugas de GLP suelen degenerar en daños graves tanto a la construcción civil como a los usuarios del sistema.

Las fugas suelen generarse principalmente en las conducciones. Dentro de éstas los puntos más vulnerables son las uniones entre diferentes tramos y las conexiones a los equipos. Las causas de tales fugas son múltiples pero en su mayoría se deben a fallos de proyecto. Las fugas pueden ser de varios tipos en función de las características y estado del fluido en cuestión. Las fugas en fase líquida son extremadamente peligrosas en el caso de gases licuados, debido a la gran cantidad de masa que se va a producir en un breve plazo de tiempo.

Las fugas de sustancias inflamables generarán atmósferas peligrosas capaces de arder dentro del rango de inflamabilidad al encontrar cualquier foco de ignición en el entorno, las fugas de sustancias volátiles se difundirán en el medio ambiente pudiendo afectar a personas no necesariamente próximas a la instalación. Por otra parte las fugas en la fase líquida si no existen medios de control podrán contaminar a través de la red general de desagües al suelo y cauces fluviales.

Por todas estas causas de contaminación al ambiente y de peligro de daño a personas, para la instalación de un sistema que involucre gas GLP se toman medidas de protección, estas medidas de protección constan en numerosas normas, las cuales se tomarán las más importantes para el desarrollo de la implementación de esta tesis de grado.

3.2. SEGURIDAD ELÉCTRICA EN INSTALACIONES PETROLERAS.

La seguridad eléctrica está relacionada con las precauciones que se toman para que los riesgos asociados con el uso de energía eléctrica no causen daño o resulten mortales. En instalaciones petroleras existen áreas donde la producción, procesamiento, transporte y almacenamiento de materiales inflamables, pueden producir escapes de gases, o vapores y formar mezclas explosivas de gas en contacto con el oxígeno de la atmósfera.

Esto representa el riesgo adicional de una ignición accidental y la explosión de estas mezclas de gas. Entre las posibles fuentes de ignición se encuentran: chispas de conmutación eléctrica, producción de chispas por fricción y descargas electrostáticas, entre otros.

El análisis de los riesgos eléctricos en este tipo de instalaciones proporciona información al personal encargado de la construcción, operación y mantenimiento de

los sistemas eléctricos para mejorar la seguridad y reducir las consecuencias para el personal, equipos e instalaciones.

3.2.1. Normas y Regulaciones.

Para el montaje y/o construcción de las instalaciones eléctricas en áreas peligrosas, deben observarse las siguientes regulaciones:

- a) Normas de la American Petroleum Institute que la podemos encontrar en la página web oficial de la API en la siguiente dirección <http://www.api.org/>.
- b) API RP500 “Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and 2.” y RP505 “Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities, Classified Class I, Zone 0, Zone 1, or Zone 2” las cuales se encuentran contenidas en: <http://e-h2s.sokoguru.net/pdf/API%20RP%20500%20Electrical%20Classifications%201997.pdf>.
- c) API RP 2003-1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static Lightning and Stray Currents API, esta regulación se la puede descargar de http://www.4shared.com/office/kEz08PTA/API__RP_2003__1998_.html.
- d) Normas de la International Electrotechnical Commission (IEC) 60079-17, “Explosive atmospheres – Part 17: Electrical Installations Inspection and maintenance”, la (IEC) 60079-17 completa se encuentra disponible para su descarga en <http://www.filecrop.com/iec-60079-17.html>.

3.2.2. Medidas de Seguridad antes del montaje.

Es necesario evitar la producción de chispa en áreas catalogadas de alto riesgo, por lo que en el momento del montaje no se debe utilizar herramienta que puedan producir chispa, por lo que se recomienda el uso de herramientas que no ocasionen chispas y que estén elaboradas de cobre berilio, (destornilladores, llaves, planas de tuercas, cinces y martillos), ya que estas herramientas son más proclives al desgaste, las mismas deben ser manipuladas con cuidado.

Se deben evitar llevar instrumentos de uso común como lámparas de mano, reflectores de construcción, medidores, soldadoras y sopletes a áreas de alto riesgo. Obviamente también se prohíbe llevar encendedores y fósforos. El equipo a utilizar debe contar con protección adecuada para trabajos en áreas clasificadas.

En el desmantelamiento de equipos se recomienda que se rocíe con agua los pisos de concreto y las partes de hierro de modo que cualquier pieza que se desprenda no produzca chispas. Esencialmente se prohíbe efectuar operaciones en instalaciones y equipos con alimentación en áreas de alto riesgo.

Dentro de estas operaciones figura la desconexión de líneas eléctricas de control para propósitos de prueba, mientras circule corriente eléctrica por las mismas. La conexión a tierra y la aplicación de cortocircuitos puede efectuarse sólo cuando no exista peligro de explosiones en el punto de la conexión a tierra o del corto circuito. Únicamente se pueden utilizar instrumentos para verificar que un circuito no esté cargado si los mismos han sido aprobados para instalaciones a prueba de explosión.

3.2.3. Fuentes de Riesgos Eléctricos.

Los aparatos eléctricos pueden ser fuentes de ignición, ya que estos pueden alcanzar elevadas temperaturas en su superficie o generar arco s eléctricos por un

inadecuado funcionamiento, ineficiente mantenimiento, maniobras de conexión y desconexión, cortocircuitos por conexiones erróneas, por sobrecargas entre otros.

Se debe tener cuidado en especial de causar electricidad estática en estos aparatos, ya que en ambientes petroleros, en algunos casos se encuentra cargado de vapores inflamables y estos puede presentar una amenaza para el personal.

Debido a que las fuentes de ignición son de primordial importancia en atmósferas explosivas, es necesario proporcionar un sistema de protección más elevado para manejar la electricidad estática en este tipo de localidades.

Para la protección contra electricidades estáticas, se recomienda:

- a) Puesta a tierra del equipo de toda la planta cuyo objetivo es proporcionar una trayectoria de conducción de corriente que se deben drenar a tierra.
- b) Provisión de protección contra descargas atmosféricas, que involucra la instalación de dispositivos de sobrecarga captando la sobrecarga en un punto determinado, conduciendo la energía a tierra de manera segura.
- c) Selección correcta de vehículos con motores de combustión interna que tienen que trabajar en áreas clasificadas.
- d) Selección correcta de equipo para evitar fuentes de radiación electromagnética de alta intensidad.
- e) Prohibición de fumar/uso de encendedores.
- f) Controles sobre el uso de vehículos normales.
- g) Control de actividades de mantenimiento que pueden causar chispas/ superficies calientes /flamas abiertas a través de un sistema de permisos de trabajo.

Las normativas de seguridad utilizadas en la industria petrolera, son aquellas que cumplen con los mínimos requerimientos legales de seguridad y estándares de aplicación nacional e internacional, como pueden ser:

- a) OSHA
- b) NIOSH
- c) NFPA 70-2008
- d) NFPA 70E-2009 Norma para la seguridad eléctrica en los lugares de trabajo
- e) NFPA-70B Práctica recomendada para el mantenimiento de equipos eléctricos
- f) NESC-2007
- g) NETA
- h) IEC

La seguridad eléctrica en instalaciones petroleras es de primordial importancia para la eficiencia operativa y la protección del personal y las instalaciones , que a través de las normas permitirá determinar si las características, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas y las técnicas y procedimientos se ajustan a lo establecido, conjuntamente se deben proveer programas de capacitación para el personal electricista y disponibilidad de la documentación actualizada de la instalación.

Este documento se encuentra referenciado, y para mayor información sobre el tema de seguridades en industrias petroquímicas, se lo puede encontrar en la siguiente dirección web:

http://www.ieee.org.sv/concapan/descargas/memoria_secciones/Viernes_11/boqueron/P40.pdf

3.3. NORMA NAG - 318.

3.3.1. Introducción.

Es una norma argentina referida a la aprobación de dispositivos de encendido y de corte automático por extinción de llama, utilizados en artefactos a gas, controles de llama y de válvulas automáticas en quemadores.

Para saber más acerca de la norma NAG-318 habrase de referirse a la siguiente dirección <http://www.enargas.gov.ar/MarcoLegal/Normas/Nag318.pdf>.

3.3.2. Objetivo.

La presente norma tiene por objetivo definir las características de funcionamiento, métodos de ensayo y marcado de los dispositivos destinados a asegurar el encendido de un quemador de gas y fundamentalmente a cortar el suministro de gas a dicho quemador en caso de extinguirse la llama del mismo.

Dicho dispositivo, que en lo sucesivo se designará simplemente “dispositivo de seguridad” puede integrar en la práctica como parte esencial un sistema de seguridad que en general tendrá elementos susceptibles de ser adoptados a cada aplicación particular.

A los efectos de aprobación por Gas de Estado, se considerará como “dispositivo de seguridad” al conjunto de elementos dispuestos para cumplir la función definida al comienzo, de tal manera que esa unidad funcional se mantenga invariable en cualquiera de sus utilidades prácticas, con la sola excepción de la longitud de los cables que conecten eléctricamente dos pastes de la misma.

3.3.3. Alcance.

La presente norma se refiere principalmente a los dispositivos de seguridad que basan su funcionamiento en el efecto termoeléctrico (efecto Seebeck), no excluyendo sin embargo otros tipos, a los cuales les serán aplicados estas especificaciones en cuanto sean compatibles con su principio de funcionamiento y a sus características constructivas.

Las especificaciones no aplicables podrán ser substituidas por otras obtenidas por consideraciones de orden técnico, de normas extranjeras, de bibliografía autorizada o de trabajos de investigación cuyos resultados hayan sido publicados.

3.4. NORMA NTE INEN.

3.4.1. Introducción.

Norma técnica ecuatoriana en la cual hace referencia a las instalaciones para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial, en el apartado NTE INEN 2 260:2001.

Las normas NTE INEN se las puede encontrar en la página web del Instituto Ecuatoriano de Normalización en la siguiente dirección:

[http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=206
&Itemid=62](http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=206&Itemid=62)

3.4.2. NTE INEN 2 260:2001

3.4.2.1. Objetivo.

Esta norma establece los requisitos técnicos, las medidas de seguridad mínima que se deben cumplir al proyectar, construir, ampliar, reformar o revisar las instalaciones para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial y o industrial así como las exigencias mínimas de los sitios donde se ubiquen los artefactos o equipos que consuman gas combustible, las condiciones técnicas de su conexión, ensayos de comprobación y su puesta en marcha.

3.4.2.2. Alcance.

Esta norma se aplica a las instalaciones que utilizan gas combustible suministrado por redes de abastecimiento, tanques y o cilindros portátiles, correspondiendo a los diferentes tipos de gas: Gas ciudad, gas natural, y GLP, cuya presión máxima de servicio sea inferior o igual a 4 bar. (60psig).

Se excluye del alcance de esta norma, el montaje de artefactos que estén alimentados por un único envase o depósito portátil de gas combustible, de contenido unitario inferior a 15 Kg. conectado por tubería flexible o acoplado directamente.

CAPÍTULO 4

DISEÑO.

4.1. DISEÑO ORIGINAL DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

Los Quemadores y Generadores Frontales de Llama de todas las estaciones que conforman el Poliducto Shushufindi-Quito fueron instalados por la empresa estadounidense Williams Brothers Engineering Company (Agent) a finales de los 70; para el año 2012 fecha de inicio del presente trabajo, la estación de bombeo de hidrocarburos Osayacu, no cuenta con planos o diagramas que representen el diseño original del sistema íntegro, tan solo poseen un plano estructural de la torre de quemado de gases.

Un aspecto fundamental previo a la automatización del sistema es el análisis del diseño original del mismo, con la finalidad de someterlo a mejoras orientadas a simplificar el proceso, abaratar costos al momento de automatizar, mejorar la eficiencia y facilitar la operación. Debido a esto, y a la falta de información acerca del diseño original del sistema es necesario realizar un estudio de las instalaciones con la finalidad de esquematizar el proceso para dar sustento a la automatización.

Después de haber recorrido las instalaciones de la TEA, y consultado con los Operadores e Ingenieros encargados del mantenimiento mecánico y eléctrico de la Estación Osayacu acerca del funcionamiento y finalidad de cada elemento del sistema, y además de haber comprobado la proveniencia de cada línea que forma parte del mismo, se obtiene que el diagrama esquemático del sistema al momento de inicio del proceso de automatización es el que se presenta en la Figura 4.1.

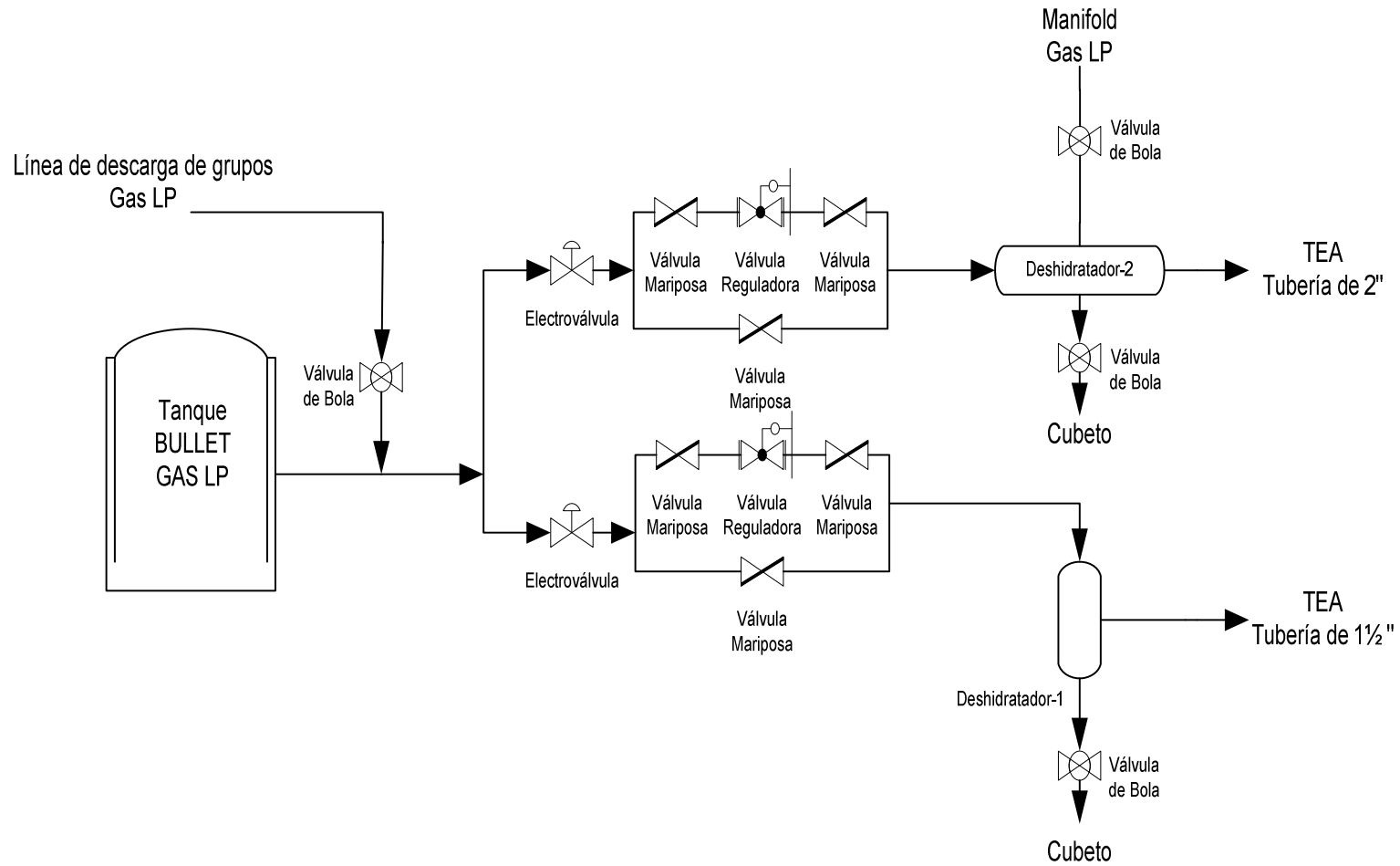


Figura 4.1. Diagrama esquemático original del quemador y generador frontal de llama.

Para poner en funcionamiento el sistema original, el operador abría las válvulas de bola del Tanque Bullet, del manifold y de las líneas de los grupos de bombeo, posteriormente abría las válvulas de mariposa de las líneas principales 1 y 2 y por último se activan las electroválvulas con la finalidad de permitir el paso de gas hacia la torre de quemado, la ignición se producía de forma manual mediante el encendido de una antorcha en las cercanías de la torre de quemado para que ésta se encendiera.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

El sistema de automatización está basado cuatro ejes fundamentales los cuales guardan relación entre sí como se describe en la Figura 4.2.

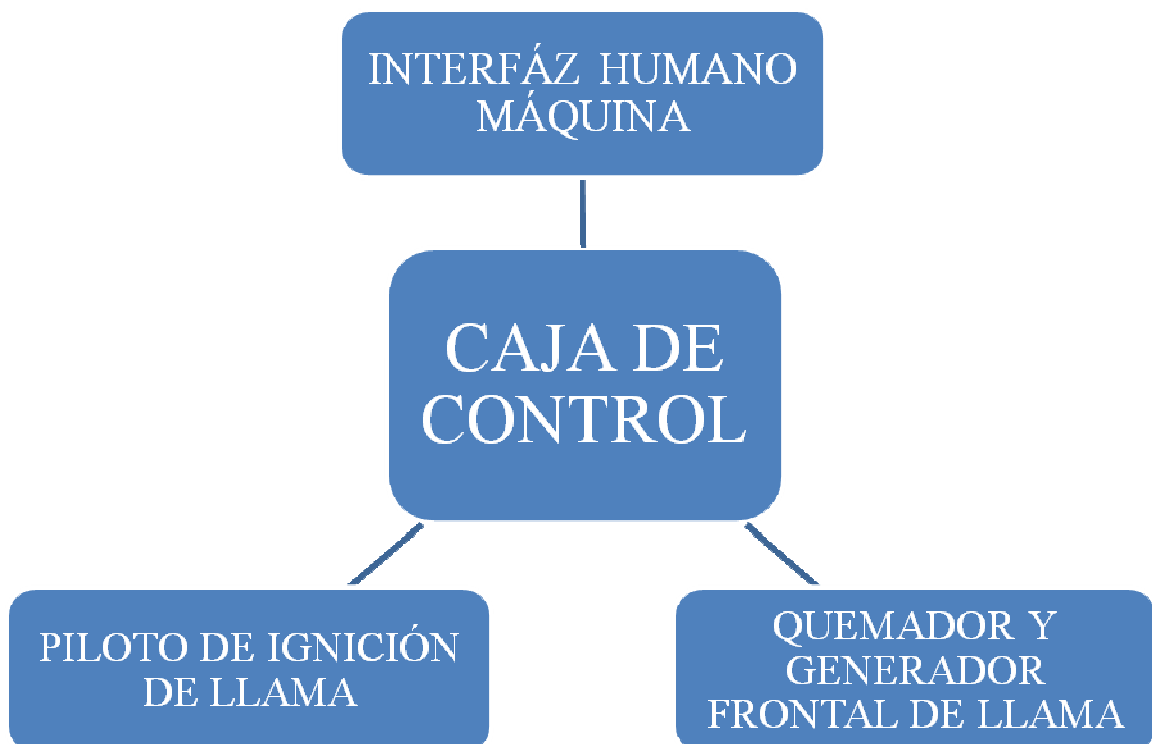


Figura 4.2. Diagrama de bloques del sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama.

Donde el piloto de ignición, produce la flama inicial para un encendido suave del combustible provisto por el quemador y generador frontal de llama, el cual se encarga de conducir el gas de las líneas principales desde el tanque Bullet y del manifold de válvulas hacia la punta de la TEA, todo este proceso es manejado por el operador desde la caja de control y monitorizado a través de la interfaz humano maquina ubicada en la sala de operaciones.

4.3. DISEÑO DEL PILOTO DE IGNICIÓN DE LLAMA.

4.3.1. Introducción.

En las instalaciones del Poliducto Shushufindi-Quito, cada estación cuenta con una Tea de incineración de gases, las cuales presentan tres tuberías, una de ellas es utilizada como tubería piloto que se encarga de encender la llama inicial para que las otras dos tuberías tengan un suministro de llama para su encendido.

Originalmente el sistema debía ser encendido de forma rústica utilizando una mecha en llamas la cual era acercada por el operador a la punta de la TEA, mientras el gas escapaba al ambiente; es debido al inminente peligro para el operador y para la estación que representa este procedimiento que se considera necesario diseñar un sistema de encendido a distancia, entonces, para satisfacer esta necesidad se crea un prototipo de ignición de llama piloto accionado por una punta de encendido y alimentado de combustible mediante el accionamiento manual de una válvula de cierre rápido, lo cual permitirá encender el piloto de manera fácil y segura.

4.3.2. Diagrama esquemático del piloto de ignición de llama.

Para el diseño del prototipo de ignición de llama se toman los siguientes aspectos basados en la norma NEG 318 (Diseño y construcción):

- El prototipo de ignición de llama debe tener dos modos de operación, un modo semiautomático y otro modo automático.
- Debe tener la capacidad de reencendido en modo automático, si esta se apaga por inconvenientes en el ambiente.

- Solo debe transportar gas doméstico en la tubería hasta llegar a la zona de quemado de gases, ya que de esta forma se facilita el control del flujo de gas mediante instalaciones de válvulas reguladoras, además de manejar presiones mucho más bajas por cuestiones de seguridad.

- Debe contar con un sistema de detección de llama capaz de soportar temperaturas altas, o a su vez, capaz de detectar la llama a una distancia en la cual el sensor no sea afectado por la temperatura de la llama.

De esta forma se obtiene un encendido suave con una llama estable y una detección de fuego la cual no es afectada por la temperatura, ya que se encuentra a una distancia de siete metros aproximadamente, esto es debido a que la instalación de termocuplas u otros sensores en las tuberías presentan los siguientes inconvenientes:

- Se debe usar una termocupla para cada tubería si se desea censar la presencia de temperatura en cada una de ellas, para de esta forma detectar la presencia o no de llama en los quemadores principales y piloto.

- Los cables que alimentan cada uno de estos sensores, por efectos de la temperatura, pueden quemarse o estropearse haciendo que el sistema falle mientras se encuentra en funcionamiento.

- La medición de la temperatura en cada uno de los quemadores y piloto verifican si esta es alta o baja, teniendo el inconveniente que la temperatura es una variable muy lenta, así que si se presenta un apagado en la llama piloto sin

haber prendido con anterioridad los quemadores, en ese instante no se podría detectar o saber por medio de los sensores si esta efectivamente se apagó.

En la Figura 4.3 se presenta el diagrama esquemático del Prototipo del piloto de ignición de llama, el cual necesariamente debe contar con un tanque de gas doméstico para el suministro de este fluido en la tubería piloto, una válvula reguladora que comprime la presión del tanque de gas de 80 a 6 PSI, un bypass con válvulas solenoide y de bola para accionamiento automático y manual, y por último la bujía que realiza la ignición en la torre de quemado.

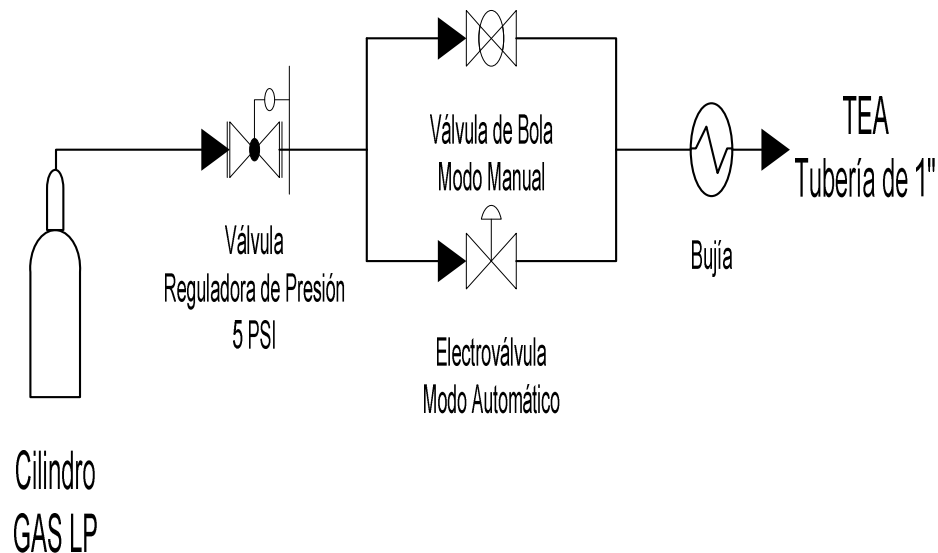


Figura 4.3. Diagrama esquemático del piloto de ignición de llama.

4.3.3. Dimensionamiento de los elementos que forman parte del diagrama esquemático del prototipo del piloto de ignición de llama.

Para el dimensionamiento de los componentes que conforman el piloto de ignición de llama se toma como referencia la presión de salida del tanque de gas, esta presión pertenece a la medida estándar del cilindro de gas doméstico que corresponde a 80 [PSI] de salida a temperatura ambiente.

Para determinar la potencia de encendido del piloto de ignición de llama, se hace referencia el consumo o potencia aproximada para algunos aparatos comunes lo cual es descrito en la tabla 4.1.

Aparato	Consumo aproximado (BTU/HORA)
Cocina/estufa doméstica.	65000
Horno integrado doméstico.	25000
Unidad superior integrada doméstica.	40000
Calentador de agua (30 galones).	30000
Calentador de agua (40 galones).	38000
Calentador de agua (50 galones).	50000
Calentador de agua automático (2 gal/min).	142800
Calentador de agua automático (4 gal/min).	285000
Calentador de agua automático (6 gal/min).	4284000
Refrigerador.	35000
Secador de ropa doméstica.	2500
Lámpara de gas.	30000
Leños a gas.	

Tabla 4. 1. Consumo en BTU/H de aparatos comunes.

Para el piloto de ignición, es necesario tomar en cuenta que la llama que produce debe ser resistente a las condiciones del medio, con una potencia 10 veces mayor a la que consume una cocina, se garantiza que esta llama no se apague con un fuerte viento o por una llovizna, entonces el piloto de ignición deberá tener una potencia promedio de 650000 BTU/H, con estas consideraciones de diseño se selecciona una válvula reguladora que presente las características que se encuentran en la tabla 4.2.

Numero de parte.	Método de ajuste.	Conexión entrada y salida.	Rango de Presión de descarga (PSI)	Presión de descarga Recomendada (PSI)	Capacidad (BTU/H)
597Fa	Mango T	¼" NPT	1-15	10	1750000

Tabla 4. 2. Características de la Válvula Reguladora de Presión para el piloto de ignición.

Consecuentemente, para la elección de la válvula solenoide, parte del sistema de automatización del piloto de ignición, se toma también la referencia de presión de entrada, además de ser un dispositivo electrónico, se debe considerar el tipo de protección de este tipo de electroválvulas, para la aplicación es necesario que cuente con una protección de tipo IP 65 con conectores antiexplosivos para gas, entonces las características de la válvula solenoide seleccionada son las que se describen en la tabla 4.3.

Conexión entrada y salida.	Código.	Potencia. [W]	Presión de trabajo. [PSI]	Protección.
1" NPT	401006	14	170	IP 65

Tabla 4. 3. Características de la válvula solenoide para el piloto de ignición.

4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

4.4.1. Introducción:

En las instalaciones del Poliducto Shushufindi-Quito, cada estación cuenta con un quemador y generador frontal de llama tipo antorcha elevada, las cuales presentan los siguientes componentes:

- Dos tuberías de suministro de combustible.
- Dos cilindros deshidratadores.
- Dos boquillas de antorcha.
- Un sistema de gas piloto.
- Encendedor.
- Instrumentación (Sensores y sistemas de activación).
- Purgas.
- Sistemas de detección de llamas.

Este sistema es operado de una forma manual, y en el caso de no haber el encendido por medio del sistema piloto, se realiza el encendido mediante una antorcha, la cual no es muy segura.

4.4.2. Diagrama esquemático del sistema de encendido del quemador y generador frontal de llama.

Para el diseño del sistema de encendido automático del quemador y generador frontal de llama se debe tomar a consideración los siguientes aspectos:

- Método de Ignición, la cual está dada por el sistema piloto.
- Sistema de remoción de líquidos, que están dados por deshidratadores que separan los líquidos de los gases por diferencia de densidades.
- Aspectos operacionales o emergentes que ameriten el encendido de la TEA.
- Caudal de flujo.
- Presión disponible del gas.
- Exigencias de seguridad.
- Medición de presencia de gas en las tuberías de los quemadores mediante sensores de presión.

- El sistema de encendido automático del quemador y generador frontal de llama debe tener dos modos de operación, un modo semiautomático y otro modo automático.
- Sistema de detección de llama.
- Regulación de flujo de gas hacia los quemadores principales.

De esta forma se obtiene un encendido seguro de la tea de incineración de gases cumpliendo con las normas establecidas en la NAG 318.

En la figura 4.4 se presenta el diagrama esquemático del quemador y generador frontal de llama, en el cual se prevé un accionamiento automático del sistema, mediante el direccionamiento del flujo hacia la torre de quemado utilizando válvulas anti retorno (Check) en las líneas de descarga de los grupos, en la línea manifold y en las líneas principales 1 y 2 provenientes del tanque Bullet, además de colocar dispositivos electrónicos para el control del sistema (interruptores de presión y electroválvulas) en las líneas principales en bypass con válvulas de bola para un accionamiento manual, como también válvulas reguladoras de presión para disminuir el flujo de gas a quemarse.

4.4.3. Dimensionamiento de los elementos que forman parte del diagrama esquemático del sistema de encendido del quemador y generador frontal de llama

Para el dimensionamiento de las válvulas que forman parte del quemador y generador frontal de llama, se debe tomar en cuenta la presión del tanque Bullet, la presión del Manifold de válvulas para mantenimiento, la presión que viene de la entrada del tanque Bullet y la presión de las líneas de bombeo.

Estas presiones están dadas en la tabla 4.4.

Fuentes de Presión.	Presión [PSI].
Tanque Bullet	145 a 40 [°C]
Manifold	250
Línea de Entrada del tanque bullet	250
Líneas de bombeo	250

Tabla 4. 4. Presiones en el quemador y generador frontal de llama.

Además se debe tomar en cuenta la aplicación que se le va a dar al quemador y generador frontal de llama, este quemador se lo considera de emergencia y es usado como promedio dos veces al año para un quemado rápido de los excesos de gases al interior del sistema, entonces se lo aplicará como un quemador de alta velocidad.

Los quemadores de alta velocidad generalmente tienen una potencia de hasta 22 millones de BTU/H.

Con estas consideraciones de diseño se puede seleccionar entre una amplia gama de válvulas reguladoras, en este caso se selecciona la válvula cuyas características se encuentran en la tabla 4.5, ya que además de reunir con los parámetros de diseño, su fácil montaje y su costo bajo la hacen ideal para la implementación de este tipo de quemadores.

Numero de parte.	Método de ajuste.	Conexión entrada y salida.	Rango de Presión de descarga (PSI)	Presión de descarga Recomendada (PSI)	Capacidad (BTU/H)
1588VN	Mango T	1" NPT	3-30	20	11000000

Tabla 4. 5. Características de la Válvula Reguladora de Presión para los quemadores principales.

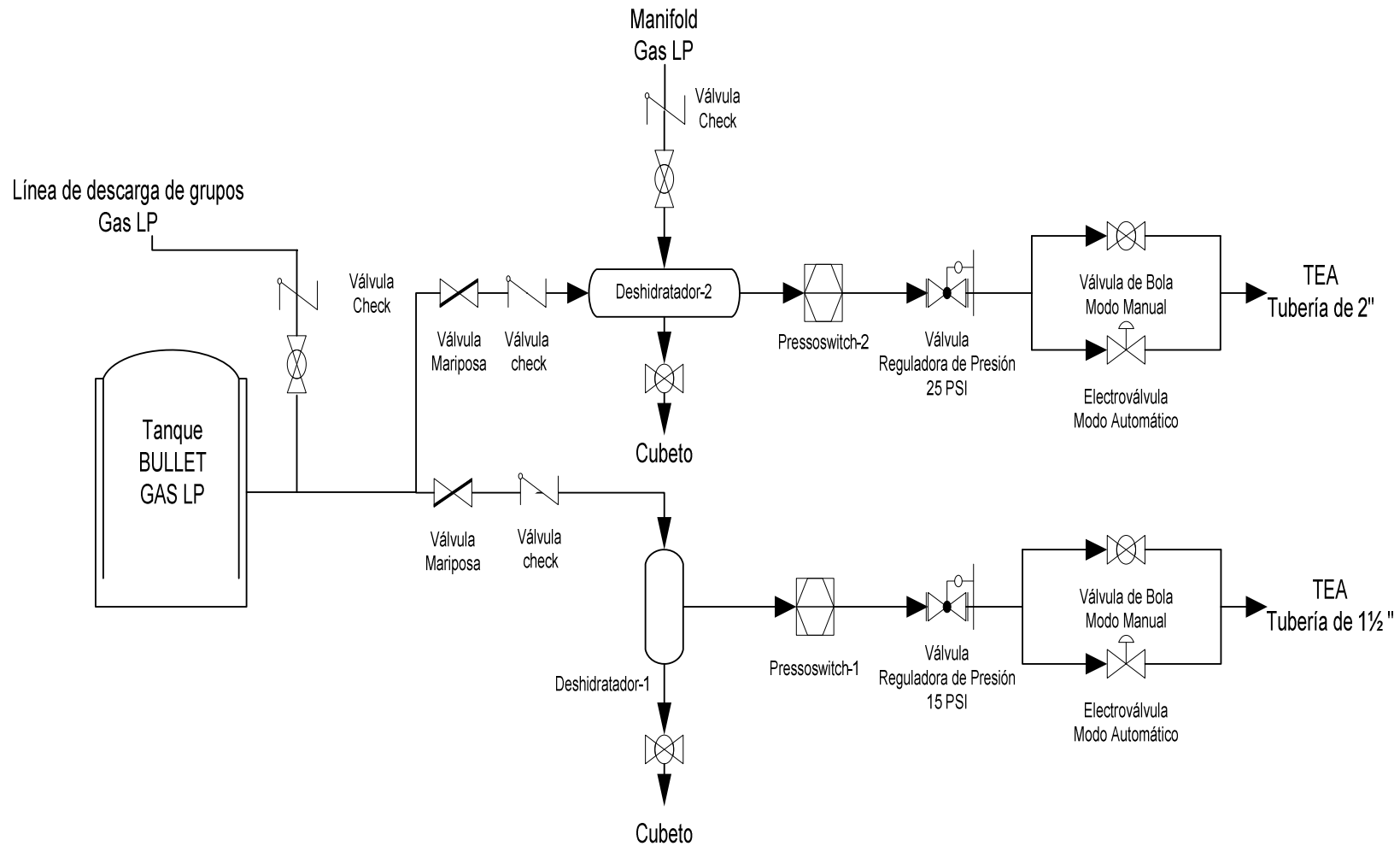


Figura 4.4. Diagrama esquemático del quemador y generador frontal de llama.

Para este caso específico, se toma las válvulas solenoides implementadas anteriormente ya que cumplen con las características de diseño, estas propiedades se detallan en la tabla 4.6.

Conexión entrada y salida.	Código.	Potencia. [W]	Presión de trabajo. [PSI]	Protección.
1" NPT	302298	16.7	300	IP 65

Tabla 4. 6. Características de la válvula solenoide para los quemadores principales.

4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

La automatización del proceso de quemado de gases en la antorcha TEA es necesaria para dotar a los operadores de una herramienta confiable que les permita aliviar las presiones de GLP, en cualquier instante, de forma rápida, sencilla y segura.

Hay varios aspectos a considerar dentro del diseño para la automatización de este proceso, entre los cuales se encuentran:

- Modos de Funcionamiento
- Pasos para el encendido seguro del Quemador y Generador frontal de llama.
- Variables del proceso.
- Selección y descripción del PLC.
- Arquitectura de red.
- Detalle de los sensores y actuadores necesarios para la adquisición de datos y accionamiento del proceso.
- Acciones y relaciones.

Todos estos aspectos se deben considerar y definir la manera de aplicarlos de la mejor manera.

4.5.1. Modos de funcionamiento.

Se debe proporcionar al operador y a los técnicos de mantenimiento las herramientas para poder manipular el mecanismo de quemado de gases de forma que permita realizar su propósito original eficientemente, también que facilite el mantenimiento y además se debe considerar que debe contar con contingencia para emergencias donde no exista suministro eléctrico, o posibles fallas en los sensores y/o actuadores.

Es así que se considera necesario dotar al sistema de tres modos de funcionamiento que son:

- **Modo Automático.**

Bajo este modo, el sistema una vez activado y encendido deberá quemar todos los gases que se encuentren dentro del sistema siguiendo una secuencia que garantice un quemado seguro; para su apagado lo hará de igual manera siguiendo pasos establecidos una vez se hayan aliviado las presiones al interior del sistema o por decisión del operador mediante un botón de parada que se encontrará en la caja de control.

- **Modo Semiautomático.**

Este modo permite únicamente encender y apagar la punta de encendido, la apertura o cierre del flujo de gas en cada una de las líneas se debe hacer operando manualmente las válvulas de cierre rápido que se encuentran en bypass con las solenoides respectivas.

- **Modo de detección de fuego manual.**

Como método de contingencia en caso de falla del sensor de fuego se dota al sistema de un mecanismo que le permita al operador indicar la presencia de fuego en la punta de la TEA si este no ha sido detectado por el sensor.

4.5.2. Pasos para el encendido y apagado seguro del quemador y generador frontal de llama.

A continuación se describen los casos en los cuales se debe activar y desactivar el sistema así como la consecución de pasos para garantizar un encendido del sistema seguro, la combustión requerida del producto, evitar al máximo la intervención del operador y evitar fallas de operación.

Existen circunstancias tras las cuales el sistema se debe activar:

a) Niveles de presión críticos en el tanque Bullet.

El tanque está diseñado para soportar presiones máximas de hasta 180 [PSI], sin embargo no resulta conveniente que dicho tanque llegue a esas presiones por razones como, el tiempo de vida del tanque, prevenir el riesgo de fuga y evitar el riesgo de presiones que desencadenen una explosión del combustible.

b) Mantener el tanque Bullet hábil para el alivio de presión del sistema de bombeo.

La finalidad principal de este tanque es servir de alivio a las líneas de bombeo en caso de algún tipo de contratiempo en dicho proceso, este se debe mantener a presiones muy bajas normalmente entre los 5 [PSI], para que pueda entrar en funcionamiento en cualquier instante; es por eso que el operador puede mediante la

quemado de gases en la TEA liberar la presión dentro del tanque para que este se encuentre en condiciones de servicio nuevamente.

c) Liberar la presión en el sistema de manifold de válvulas para mantenimiento.

Cuando se desea intervenir en las líneas que forman parte del manifold es necesario liberar la presión que hay en ellas puesto que al estar presionadas mientras son intervenidas se corre el riesgo de derrames de producto, explosiones y daños físicos al personal de mantenimiento.

d) Emergencia de sobrepresión en la línea de entrada al tanque.

Esto puede suceder en caso de emergencia de la planta mientras se bombea GLP, haciendo necesario liberar la presión de las líneas de bombeo de forma inmediata, es así que el operador debe activar el sistema de quemado de gases de manera rápida.

e) Mantenimiento del sistema.

Es recomendable activar el Quemador y Generador Frontal de Llama periódicamente para comprobar su correcto funcionamiento, eliminar sedimentos dentro de las tuberías que lo conforman, conservar la punta de encendido libre de óxido, y mantener en condición de funcionamiento los actuadores que forman parte del sistema.

De presentarse cualquiera de esas circunstancias que ameriten el encendido del sistema, el mismo debe cumplir con pasos específicos orientados a garantizar un encendido seguro y un fácil manejo por parte del operador.

Para cumplir con esos preceptos los pasos que debe seguir el sistema para su encendido correcto son:

1. Permiso de activación desde la HMI.
2. La luz indicadora verde debe parpadear.
3. Presionar 5 segundos el botón de encendido (verde) de la caja de mando.
4. Activación de la punta de encendido.
5. Apertura del solenoide de la línea piloto.
6. Detección de llama.
7. Desactivación de la punta de encendido.
8. Apertura de la válvula de salida del tanque Bullet.
9. Activación de la solenoide de las líneas principales 1 y 2.
10. Cierre del solenoide de la línea piloto.

Una vez encendido el sistema para que éste sea desactivado se deben cumplir aspectos que van de la mano de las condiciones que se tomaron en cuenta para activar el sistema entre las cuales constan:

a) Niveles de presión adecuados dentro del tanque Bullet.

Si la presión dentro del tanque disminuye a niveles normales de servicio después de haber sido activado el quemado de gases por sobrepresiones dentro del tanque bullet o si se mantiene el tanque hábil para el alivio de presión del sistema de bombeo, el Quemador y Generador Frontal de Llama debe ser desactivado.

b) La presión del sistema que alimenta a la TEA aliviado.

Tras haberse activado el sistema con el motivo de liberar la presión de las líneas del manifold y el sistema detecta que la presión en las líneas principales 1 y 2 es menor a los 4 psig el sistema debe desactivarse automáticamente.

c) Emergencia superada.

Esto puede asumirse cuando el operador indica manualmente que la emergencia ha sido superada y que ya no es necesario quemar los gases en la TEA, o cuando la presión de las líneas haya disminuido bajo los 4 psig, por cualquiera de estos dos motivos el sistema debe asumir que la emergencia fue superada y debe desactivarse.

d) Fin del mantenimiento.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de todos los elementos que forman parte del sistema el operador o el personal de mantenimiento debe desactivar el sistema.

Tras cumplirse con cualquiera de estas condiciones el sistema debe desactivarse ya sea de forma automática o semiautomática, para lo cual debe seguir los siguientes pasos.

a) Forma Semiautomática.

1. Mantener presionado 5 segundos el botón de parada (Rojo).
2. Cerrar la válvula de salida del tanque Bullet.
3. Cerrar los solenoides que corresponden a las líneas 1 y 2 siempre.
4. La luz indicadora roja parpadeará al mismo tiempo q la luz verde indicando que la combustión de gases ha sido detenida manualmente.

5. Para desactivar completamente el sistema de forma manual se debe enviar la señal de desactivación desde la HMI.

b) Forma Automática.

1. La presión al interior del tanque debe ser menor o igual a la presión saeteada por el operador, o a la presión adecuada de servicio.
2. Cerrar la válvula de salida del tanque Bullet.
3. Esperar a que se desactiven los interruptores de presión de las líneas 1 y 2 de la TEA.
4. Cerrar los solenoides que corresponden a las líneas 1 y 2 siempre y cuando los interruptores de presión correspondientes estén desactivados.
5. Las luces indicadoras roja y verde deben parpadear alternadamente durante 5 segundos en señal de un sistema apagado.
6. El sistema se desactiva completamente de forma autónoma.

4.5.3. Variables del proceso.

Las variables que intervienen en el proceso y su función dentro del mismo se detallan en la tabla 4.7:

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Interruptor de presión línea principal 1(1")	IN	Esta variable brinda información sobre la presencia de GLP dentro de la tubería de 1" la cual amerita que el sistema se mantenga encendido puesto que se debe garantizar que los gases dentro de ella sean aliviados completamente. No se requiere conocer la medida exacta de la presión dentro de la línea sino saber si esta presión supera o no la presión de alivio.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Interruptor de presión línea principal 2(2")	IN	En igual importancia que la Presión de Línea 1 esta proporciona la información de la presión al interior de la tubería de 2" de la misma forma que lo hace la variable "Interruptor de presión línea principal 1".
Presión interna del Tanque Ballet	IN	La presión del GLP al interior del Tanque Bullet es primordial en este proceso ya que esta es la presión a controlar y aliviar con mayor importancia por el peligro que representa si aumenta desproporcionadamente y también para mantener al sistema de alivio en condiciones de servicio. Esta variable debe ser medida de forma real.
Botón de encendido	IN	Su acción es la de encender el sistema siempre y cuando éste sea previamente activado. Se debe tomar en cuenta la acción de esta variable pasados los 5 segundos de mantenerse la misma activada, ya que por las características del proceso no es seguro que se ejerza una acción partiendo del primer instante en que esta se detecte activa.
Botón de apagado	IN	Su acción es la de detener el quemado de gases iniciando un proceso de apagado seguro. Se debe tomar las mismas consideraciones que ejercen sobre el Botón de Encendido.
Botón de emergencia	IN	Esta variable se encuentra siempre en contacto de manera que cuando se presione el Botón de emergencia se abre el contacto y es cuando se debe asumir que el sistema se encuentra en emergencia.
Switch ignición semiautomática de llama(Izquierda)	IN	Activando esta variable se elige el modo de operación semiautomática.

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Switch detección llama manual (Derecha)	IN	Esta variable es tomada en cuenta en caso de un desperfecto del sensor de llama y se desee indicar que existe fuego.
Electroválvula línea piloto	IN	Variable de salida que permite controlar la apertura y el cierre del flujo de combustible hacia la punta de la TEA a través de la línea piloto.
Sensor de Fuego	IN	La presencia de fuego es una variable de tipo discreto cuya finalidad es establecer si existe o no la combustión en la punta de la TEA, esta variable es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema.
Electroválvula línea principal 1(1")	OUT	Variable de salida que permite controlar la apertura y el cierre del flujo de combustible hacia la punta de la TEA a través de la línea principal 1.
Electroválvula línea principal 2(2")	OUT	Variable de salida que permite controlar la apertura y el cierre del flujo de combustible hacia la punta de la TEA a través de la línea principal 2.
Punta de encendido	OUT	Esta variable controla el relé que activa o desactiva el encendido del transformador que alimenta la punta de encendido y genera el arco eléctrico.
Actuador válvula de salida Bullet	OUT	Mediante la manipulación de esta variable se abre o cierra la válvula de bola ubicada a la salida del tanque Bullet
Luz piloto de encendido	OUT	Al activar esta variable se enciende la luz piloto verde.
Luz piloto de parada	OUT	Al activar esta variable se enciende la luz piloto roja.

Tabla 4. 7. Descripción de variables del proceso.

4.5.4. Selección y descripción del PLC.

Para automatizar el Quemador y Generador Frontal de Llama, es necesario contar con un PLC que gestione la lógica de control.

En un principio se analizó la idea de aumentar un módulo de entradas digitales y otro de salidas a relé en el PLC de la estación y crear una rutina que se encargue de la lógica de control del sistema, sin embargo ello significaba intervenir directamente en el proceso de bombeo para cargar el programa lo cual es muy delicado, otra cuestión es que se debería llevar todas las señales de entrada y salida desde el lugar de cada actuador y sensor hasta la sala de control donde se encuentra el PLC lo cual es muy costoso, otro aspecto en contra es que cada módulo de entrada y salida digital de la línea Modicon Quantum es muy costoso, sin embargo hay disponibles en la bodega de la empresa.

Debido a que intervenir en el sistema de control de bombeo de la estación es un procedimiento muy delicado y que los costos de instalación son muy elevados se descarta la alternativa de introducir la lógica de control en una rutina dentro del PLC de la estación y se decide distribuir el control de la TEA en un PLC específico para este proceso, el cual pasará a ser parte del sistema integrado mediante un bus de comunicaciones que debe cumplir con los siguientes requerimientos.

Todas las variables que intervienen en el proceso son de carácter digital, es decir pueden ser tomadas como señales de entrada y salida a relé lo cual disminuye el costo tanto del PLC, como de actuadores y sensores, sin necesariamente afectar la calidad del sistema ya que no es necesario realizar procesos de control finos puesto que al ser un sistema de emergencia y alivio de gases se considera como un proceso todo o nada para el cual un PLC con entradas y salidas análogas de alto costo es innecesario.

El lugar donde va a ser dispuesto el PLC es una caja con seguridad anti explosión la cual no permitirá el ingreso de gases inflamables, es decir que todo elemento que se encuentre dentro de ella está protegido contra explosión, por lo tanto no es necesario

que el PLC cuente con esas características de seguridad necesariamente, otro aspecto relacionado con la caja es que el espacio interior de la misma es reducido por lo cual el PLC debe ser compacto.

De acuerdo al número de entradas y salidas requeridas que intervienen en el sistema el PLC debe contar con mínimo de:

- a) 8 entradas de 24 VDC.
- b) 7 salidas a relé.

Puesto que es necesario monitorear el proceso desde la sala de control ubicada a aproximadamente 150 metros del lugar donde va instalado el PLC, es necesario que este cuente con un puerto de comunicaciones compatible con la pantalla táctil que se encuentra dispuesta en la sala de control.

Una vez conocidos todos estos antecedentes y requerimientos mínimos se decide trabajar con el PLC Modicon TSX Nano de Telemecanique que se muestra en la figura 4.5 y cuyas características se ajustan a lo que el sistema exige y además cuenta con la ventaja del ahorro de costos ya que la empresa dispone de estos equipos los cuales no son utilizados al ser remplazados en otros procesos. De esta manera no solo se aprovecha los materiales que la empresa tiene en desuso sino que se disminuyen costos de implementación.



Figura 4.5. PLC Modicon TSX Nano.

Las características básicas de este PLC se muestran en la tabla 4.8.

Fabricante	Schneider Automation S.A.
Modelo	TSX 07 31 2428
Número de Entradas	14 entradas 24 VDC
Número de Salidas	10 en dos grupos de 4 y 2 grupos de 2 cada grupo con una salida común
Alimentación	120/240 VAC 50/60 HZ 30VA
Fuente	24 VDC 1.5 A
Puerto de comunicación	Puerto de extensión Modbus, Puerto de comunicación y programación Uni-telway.

Tabla 4. 8. Características básicas PLC Modicon TSX Nano.

4.5.5. Detalle de los sensores y actuadores necesarios para la adquisición de datos y accionamiento del proceso.

Antes de proceder a la selección de los actuadores y sensores que forman parte del sistema se debe tener en cuenta que todos estos dispositivos deben cumplir con las certificaciones de seguridad industrial que garanticen que son aptos para ser dispuestos en ambientes industriales explosivos, y de no tener estas características se debe especificar un tipo de protección que garantice que pueden ser usados en este sistema para cumplir con las normas de seguridad.

La selección de los sensores necesarios que componen el sistema de quemado automático de gases en la TEA es el resultado de satisfacer la necesidad de medir físicamente los fenómenos que se generan en el proceso y convertirlos en señales lógicas las cuales el sistema de control pueda entender y procesar de manera que se pueda tratarlos como variables de entrada.

Es así que de acuerdo a las variables de entrada del proceso identificadas se debe escoger la manera en la que se requiere que el fenómeno físico sea interpretado en forma de señal lógica entonces:

- De la medida de presión de las líneas 1 y 2 es necesario saber concretamente si existe un nivel de presión mayor a los 4 [PSI] que amerite que el sistema se mantenga encendido, existe la posibilidad de adquirir la señal de presión mediante un transmisor de presión que da una medida análoga, sin embargo es más eficiente en términos económicos, de instalación y de programación, obtener la señal mediante un interruptor de presión que este calibrado para detectar que la presión dentro de las tuberías sea mayor a 4 [PSI], lo cual ahorra costos del equipo, disminuye el cableado y disminuye el tiempo de instalación y programación. De manera que se dispondrá de un interruptor de presión marca SOR Control Divices de 4 a 70 [PSI] que se lo puede apreciar en la figura 4.6 por cada línea principal del sistema del Quemador y Generador Frontal de Llama, el cual está diseñado para trabajar con hidrocarburos.

- Para medir la presencia de llama en la punta del quemador existen varias alternativas, la primera es disponer de un sensor de temperatura de cualquier tipo que mida el cambio de temperatura en la punta de la TEA en forma análoga, además que esta señal sea analizada para saber si existe o no la presencia de fuego, el problema de utilizar este método es que la temperatura es una variable muy lenta lo cual dificulta detectar si la llama existe o no, la ventaja es que en relación a otros métodos es económica; otra forma para medir la presencia de llama es utilizar detectores de llama por ionización, el problema de este método es que la señal que emiten es una señal que requiere una etapa de amplificación especial la cual debe estar cercana al sensor para no perder la señal haciendo de este método imposible de instalarlo en un ambiente industrial; por último existen detectores de llama industriales orientados originalmente a la prevención de incendios, son ideales para este tipo de aplicación ya que detectan la llama tanto en forma análoga midiendo el poder calorífico de la misma y también en forma

digital usando una salida a relé que se activa cuando el fuego es detectado, el problema de este sistema es su costo tanto del sensor como de instalación ya que requiere una plataforma propia para su instalación que le permita tener una línea de vista con la TEA y requiere de una fuente de energía exterior, tomando en cuenta esto y que además la estación posee en bodega sensores de llama de la línea DET-TRONICS como el que se aprecia en la figura 4.7 para el sistema contra incendio este se utilizará para detectar la presencia de llama en el quemador.

La presión interna del Bullet es medida mediante un transmisor de presión que envía la señal al sistema de control de bombeo de la estación, esta variable será adquirida mediante la red de comunicación para realizar la lógica de control del sistema de quemado de gases en la TEA.



Figura 4.6. Interruptores de Presión líneas principales.



Figura 4.7. Sensor de Fuego.

Para la selección de los actuadores que ejecuten las acciones que el sistema de control requiera para cumplir con su propósito, es necesario analizar las maneras de incidir en dichas variables, dicho análisis se lo detalla a continuación:

- Se requiere generar un desencadenante para la combustión, el mejor método para este efecto es utilizar una punta de encendido que genere un arco eléctrico el cual

inicie el quemado de los gases, se utiliza un piloto de encendido de Honeywell que requiere un transformador que entregue 6000 VAC a una corriente de 25 mA generando una energía de 120 W que son suficientes para generar un arco eléctrico que sirva como método de ignición, este debe ser controlado mediante un relé que active o desactive el transformador. El transformador debe ser instalado dentro de una caja con seguridad anti explosión. La punta de encendido y el transformador seleccionados son los representados en la en la figura 4.8 y 4.9 respectivamente.

- Para suministrar el gas a la línea piloto, la línea 1 y 2 se analiza la posibilidad de hacerlo de forma proporcional mediante válvulas reguladoras de presión eléctricas las cuales, mejoran el poder de control del sistema, pero sin embargo es una característica que no es necesaria, es costosa e implementar representa mayor tiempo, lo ideal es utilizar válvulas reguladoras de presión mecánicas saeteadas a presiones que garanticen un quemado adecuado y seguro, seguidas de solenoides los cuales van a ser los actuadores que permitirán controlar la apertura o cierre del flujo de gas de cada línea, esta alternativa es más económica, requiere menos mantenimiento, disminuye el tiempo de instalación y programación y no afecta los propósitos del sistema. Entonces serán instaladas una válvula reguladora de presión para GLP seguida de un solenoide para GLP, este último en bypass con una válvula de cierre rápido, por cada línea de suministro de combustible a la TEA.

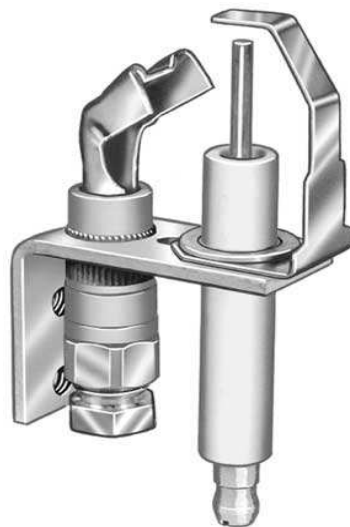


Figura 4.8. Punta de encendido.



Figura 4.9. Transformador.

En la figuras 4.10.a y 4.10.b se pueden observar las válvulas solenoides de las líneas piloto y principales respectivamente, de igual manera en las figuras 4.11.a y 4.11.b se encuentran ilustradas las válvulas reguladoras de presión elegidas para las líneas piloto y principales.

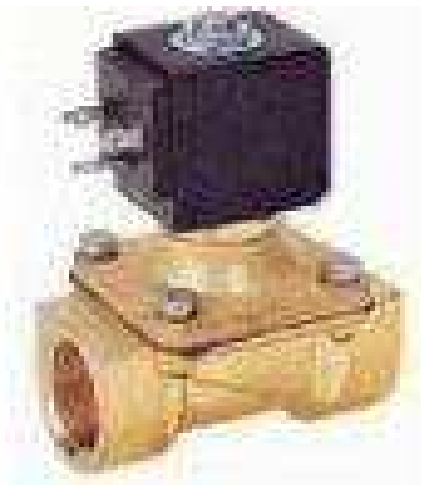


Figura 4.10.a. Solenoide Piloto.



Figura 4.10.b. Solenoide líneas Principales.



Figura 4.11.a. Reguladora Piloto.



Figura 4.11.b. Reguladora líneas Principales.

- Para permitir el flujo de gas desde el tanque Bullet hacia el Quemador y Generador Frontal de Llama se utilizará un actuador que genere un movimiento rotacional sobre el eje de la válvula de cierre rápido instalada en el mismo, realizando el procesos de cierre y apertura, para este fin se tienen dos tipos de actuadores rotacionales, uno con control proporcional análogo y otro todo o nada, nuevamente se opta por el todo o nada puesto que más adelante se tiene las válvulas reguladoras de presión lo que hace innecesario el uso de un control de apertura o cierre es esta válvula. El actuador seleccionado es de la línea Honeywell para GLP de 44lb de torque y un giro de 0 a 90 grados que se muestra en la figura 4.12.



Figura 4.12. Actuador Honeywell de válvula de salida Bullet.

Una vez conocidos los requerimientos de los actuadores y sensores que corresponde a las variables del proceso, a continuación se describirán las características principales de cada actuador y sensor que conforman al sistema de automatización del Quemador y Generador Frontal de Llama en la tabla 4.9.

N	DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS	
1	Interruptores de presión	Fabricante Modelo Rango de presión Contactos	SOR Control Divices 4NNN-K45-N4-B1A-X 4 – 75 Psi 1 NC, 1 NO
2	Sensor de fuego	Fabricante Modelo Alimentación Salida	DET-TRONICS U7652 C4001 24 VDC 2.0W NOM, 4.5 W MAX 4-20 mA, salida a relé 1 NC, 1 NO
3	Punta de encendido	Fabricante Modelo Alimentación	Honeywell Q345A 1313 6000 V
4	Transformador	Fabricante Modelo Alimentación Salida	ALLANSON 1092SG 120 V 50/60 hz 150 VA 6000 V 150 VA
5	Solenoides piloto	Fabricante Modelo Alimentación Presión Tipo	Genebre S.A. 4010 24 VDC 8W 203 psi Normalmente Cerrada
6	Actuador válvula de salida Bullet	Fabricante Modelo Alimentación Torque Rango de giro Tiempo de respuesta	Honeywell MN6105A1011 24 vac/dc, 50/60hz 44in-lb (5Nm) 0 -95 grados ajustable 110-90 s

N	DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS	
7	Solenoides principales	Fabricante	ASCO
		Modelo	8211B078
		Alimentación	120 VAC 60HZ 16.7 W
		Presión	300 PSI
		Tipo	Normalmente Cerrada
8	Reguladora piloto	Fabricante	REGO
		Modelo	597 FA
		Rangos de presión	1-15 PSI
		Presión máxima	100 PSI
9	Reguladoras principales	Fabricante	REGO
		Modelo	1588 VN
		Rangos de presión	3-25 PSI
		Presión máxima	400 psi

Tabla 4. 9. Características de sensores y actuadores.

4.5.6. Acciones y relaciones.

En la tabla 4.10 se detallan las acciones y relaciones que tienen cada variable del proceso durante las distintas etapas del proceso de combustión de gases en la TEA.

ETAPAS	ACCIONES	RELACIONES
ACTIVACIÓN	El operador da el permiso de activación desde la HMI.	La luz piloto verde se enciende intermitentemente El PLC se habilita para comenzar con el proceso de quemado

ETAPAS	ACCIONES	RELACIONES
SETEADO	El operador ingresa el punto de seteo de la presión.	Se comparan la presión interna actual del tanque bullet con el punto de seteo
ENCENDIDO	El operador presiona más de 5 segundo el botón verde.	La luz piloto verde se enciende Inicia el proceso de encendido del sistema Abre válvula de salida del tanque Bullet
IGNICIÓN	Activa el sistema de piloto	Activa la punta de encendido Abre solenoide piloto
	Detección de llama	Desactiva punta de encendido Encender luz piloto roja
ALIVIO DE PRESIÓN	Interruptor de presión línea principal 1 activo	Abre solenoide de línea principal 1 Cierra solenoide piloto
	Interruptor de presión línea principal 2 activo	Abre solenoide de línea principal 2
APAGADO	Presión interna del tanque menor o igual que el punto de seteo o presión de servicio.	Cerrar válvula de salida del Bullet.
	Interruptor de presión línea principal 2 activo	Cerrar solenoide de línea principal 2
	Interruptor de presión línea principal 1 activo	Cerrar solenoide de línea principal 1
APAGADO	Llama apagada	Parpadear alternadamente luz piloto roja y verde durante 5 segundos.

Tabla 4. 10. Acciones y relaciones de las etapas del proceso.

4.5.7. Diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama.

La figura 4.13 muestra el diagrama de flujo del proceso el cual representa gráficamente la secuencia de pasos que se debe realizar para un encendido y apagado seguro de la TEA.

Esto facilita la programación del sistema ya que se muestra de forma gráfica y secuencial la serie de procedimientos que se deben realizar para que el sistema funcione adecuadamente.

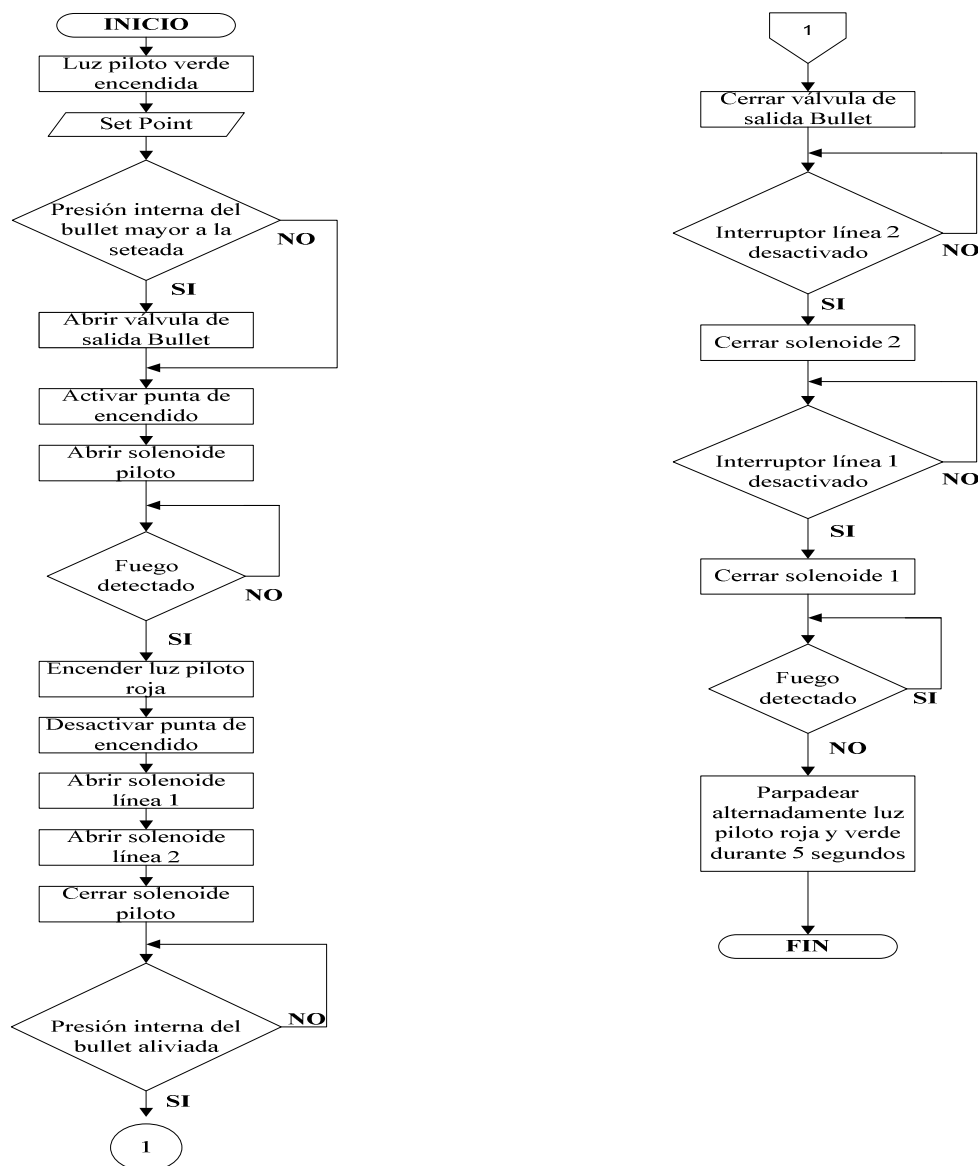


Figura 4.13. Diagrama de flujo del Quemador y Generador frontal de llama.

4.5.8. Diagrama grafcet del quemador y generador frontal de llama.

Al igual que el diagrama de flujo, el diagrama grafcet es un paso previo y elemental para poder programar la lógica de control de manera adecuada, de forma que el programador vea claramente los caminos más fáciles y adecuados a tomar al momento de introducir las sentencias lógicas que comandaran el sistema.

En el diagrama de la figura 4.14 se muestra el grafcet que gobierna las sentencias lógicas para la automatización del Quemador y Generador Frontal de llama.

4.5.9. Diagrama P&ID del quemador y generador frontal de llama.

En las figura 4.15.a y 4.15.b se representan los diagramas P&ID del quemador y generador frontal de llama, en el cual se muestra el flujo del proceso en las tuberías así como las relaciones de información que guardan los instrumentos instalados en el proceso.

En la figura 4.15.a, la señal del PLC activa el actuador en la válvula de salida del tanque Bullet para el suministro de gas en las líneas principales (TEA Tubo 2” y 1½”), los interruptores de presión (PSL P1 y P2) indican la presión mínima que el sistema debe tener para su activación, esta señal ingresa al PLC para ser procesado, el sensor de llama (BS) indica la presencia de fuego en la torre de quemado de las líneas piloto y principales y por último las válvulas solenoides (EV P1 y P2) que mediante una señal del PLC, permiten el paso de gas hacia la torre de quemado.

Mientras que en la figura 4.15.b, la señal del PLC activa la punta de encendido (BN) y la válvula solenoide (EV LP) para generar fuego en la línea piloto la cual provee al sistema de la llama inicial que el sistema necesita para su funcionamiento.

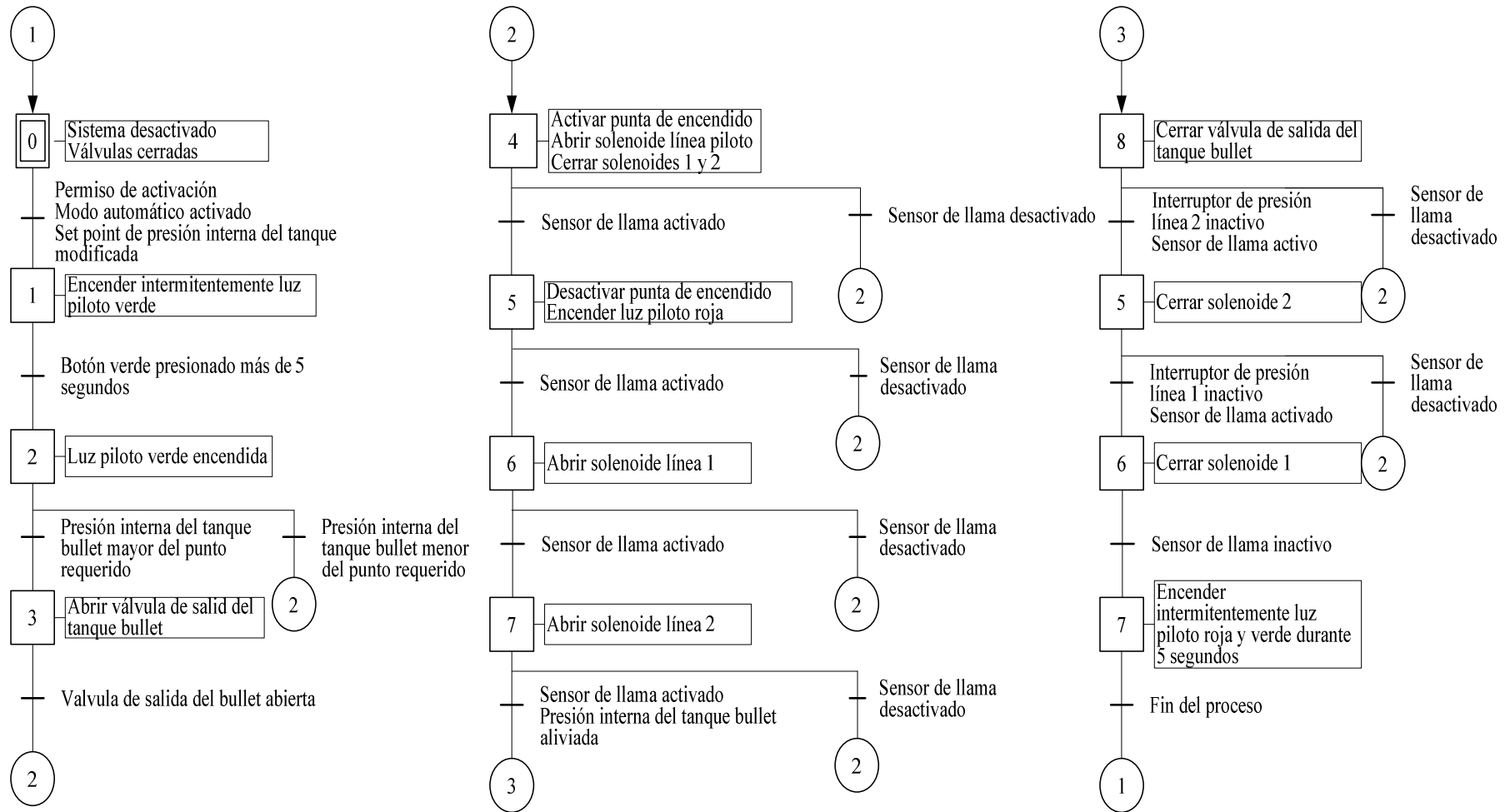


Figura 4.14. Diagrama Grafset del Quemador y Generador frontal de llama.

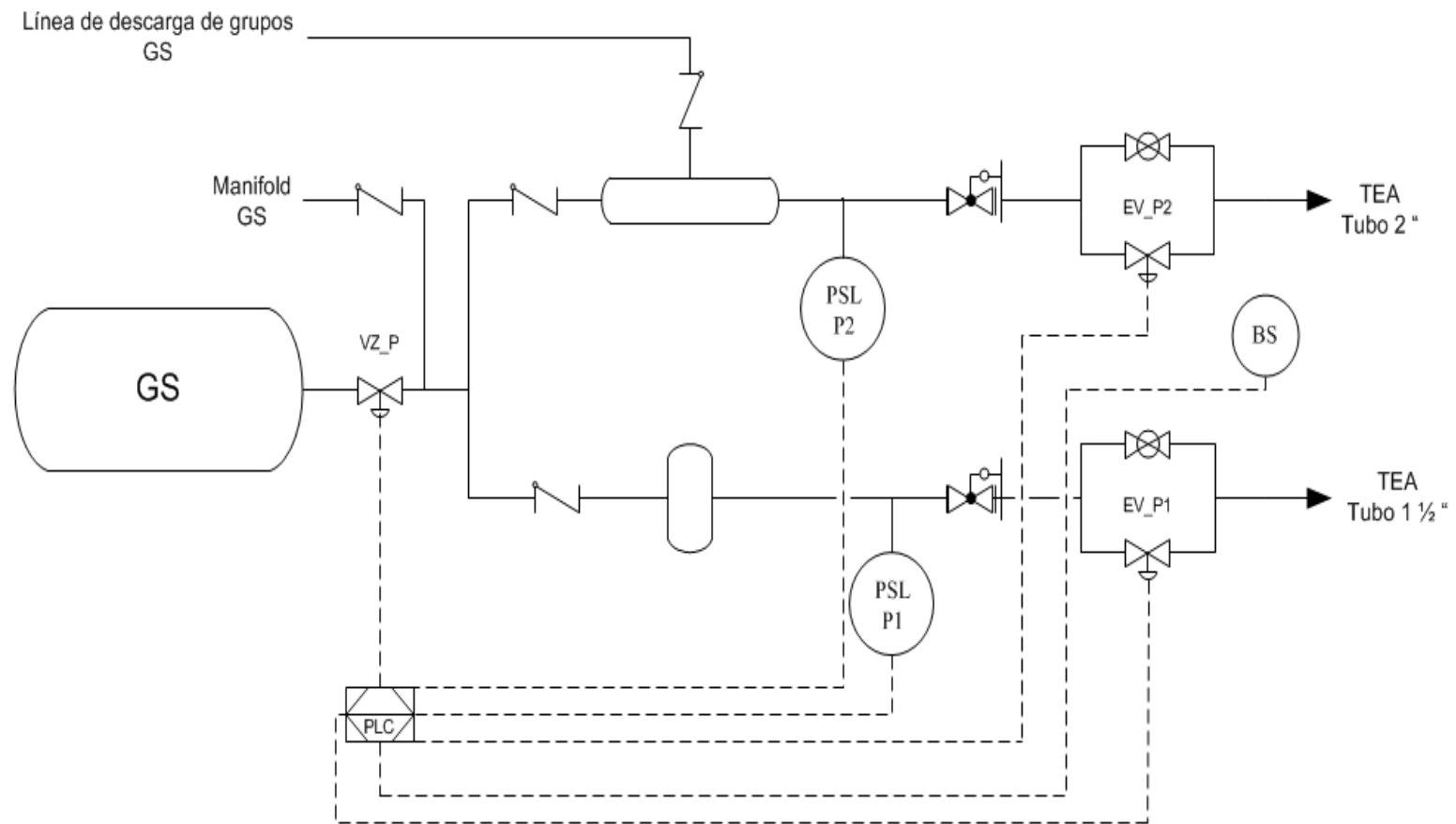


Figura 4.15.a. Diagrama P&ID del quemador y generador frontal de llama.

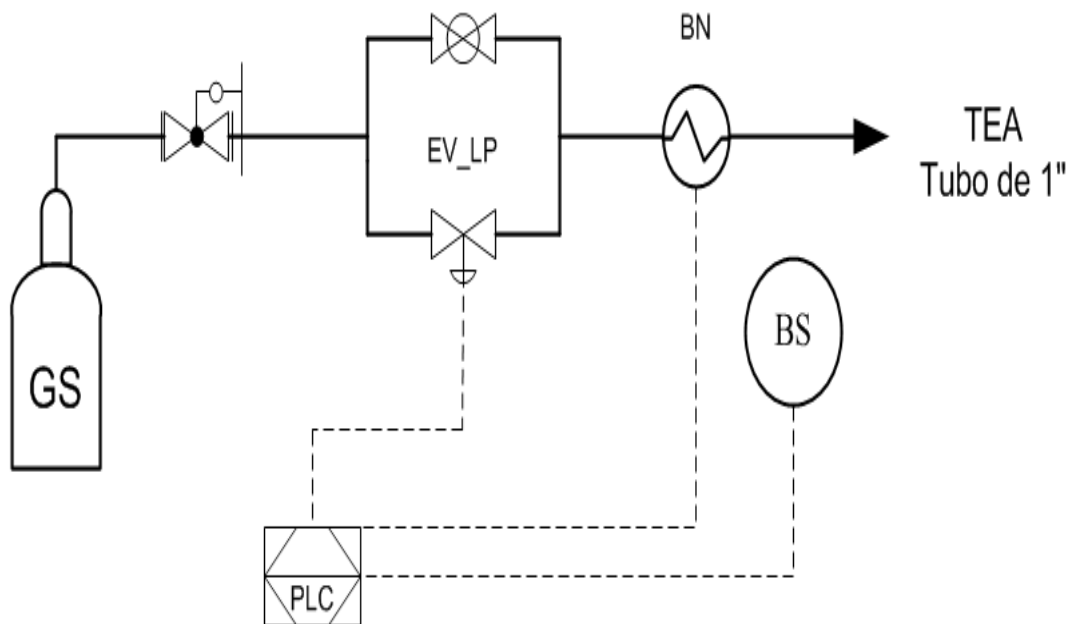


Figura 4.15.b. Diagrama P&ID del piloto del quemador y generador frontal de llama.

4.5.10. Caja de control.

El sistema debe contar con una caja de control ubicada bajo una caseta a 30m de la TEA, la cual cumplirá con la función de contener los dispositivos electrónicos como el PLC, relés, borneras, la fuente DC, los dispositivos de protección eléctrica, botones y luces piloto.

La caja debe estar diseñada y construida para ser instalada en una zona clasificación 1 división 1, de manera que todos los elementos que estén contenidos dentro de ella puedan o no ser de esas mismas características.

Además de cumplir con la función de contener los elementos eléctricos y electrónicos del sistema, la caja sirve como tablero de control del proceso de quemado de gases en la TEA, es así que en su tapa se disponen elementos para dicha función como se puede apreciar en la figura 4.16.

Los elementos que se encuentran en la tapa de la caja de control se describen a continuación:

1. Luz piloto Roja
2. Botón de parada
3. Botón de inicio
4. Interruptor de tres posiciones para selección de modo
5. Luz piloto verde
6. Botón de emergencia

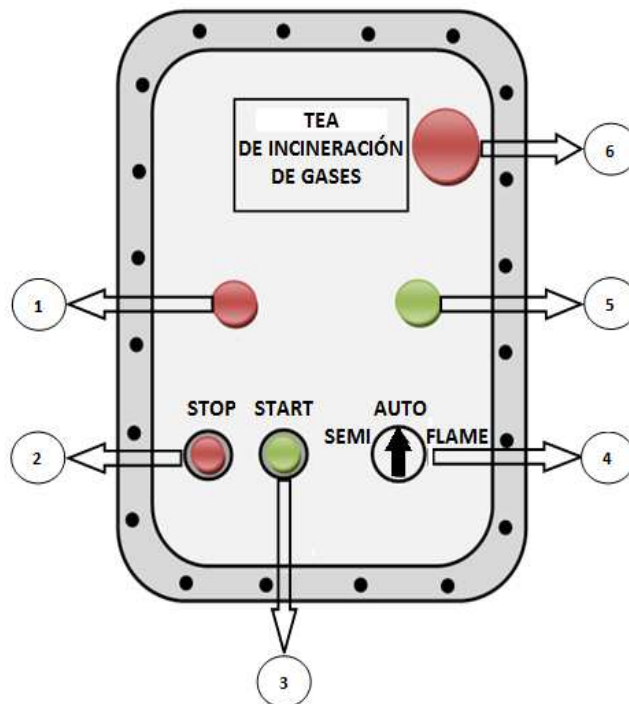


Figura 4.16. Caja de control.

4.5.11. Arquitectura de red.

El diseño de la red que comunicará al autómatas encargado de controlar el proceso con el dispositivo que contenga la HMI es un aspecto importante dentro del diseño

íntegro del sistema, y existen diversos requerimientos que deben ser cubiertos por el diseño que son:

- **Dispositivos que forman la red.**

La red está formada por el PLC seleccionado, una pantalla táctil que contenga la HMI y la red de la estación la cual es una red Ethernet IP.

- **Distancia entre dispositivos.**

La distancia entre estos dispositivos es de alrededor de 120 metros entre la sala de control de la estación donde se encuentra la pantalla ya conectada a la red de la estación y la caja de control del Quemador y Generador Frontal de Llama donde se encuentra el PLC.

- **Protocolo de comunicación de los dispositivos de la red.**

Es necesario saber que protocolos admiten cada uno de los dispositivos que conforman la red, esta información se encuentra descrita en la tabla 4.11

DISPOSITIVO	PROTOCOLO
PLC TSX Nano	Modbus RS485 no standard Uni-telway RS485
Maguelis 4330	Uni-telway RS485/RS232C Modbus RS485/RS232C Ethernet IP RJ45 Modbus TCP
Red de la estación	Modbus TCP Ethernet IP

Tabla 4. 11. Tabla de protocolos de comunicación de cada dispositivo.

Una vez definidos estos requerimientos la topología de red es una tipo árbol que integra dentro de su tronco principal la red de la estación como tal bajo protocolo Modbus TCP, y una de sus ramas es la que conforman la pantalla táctil con el PLC TSX Nano bajo un protocolo Uni-Telway.

Debido a las limitaciones de comunicación del PLC TSX Nano es necesario utilizar la pantalla táctil Maguelis 4330 como una especie de pasarela que permite acceder al dato de la presión interna del tanque Bullet que es medida mediante un transmisor de presión el cual está conectado al PLC Modicon Quantum el mismo que se encuentra enlazado en la red de la estación, y es a través de esa red que la pantalla accede a ese dato y lo transmite en protocolo Uni-Telway al PLC TSX Nano.

La arquitectura de red diseñada será como se describe en la figura 4.17.

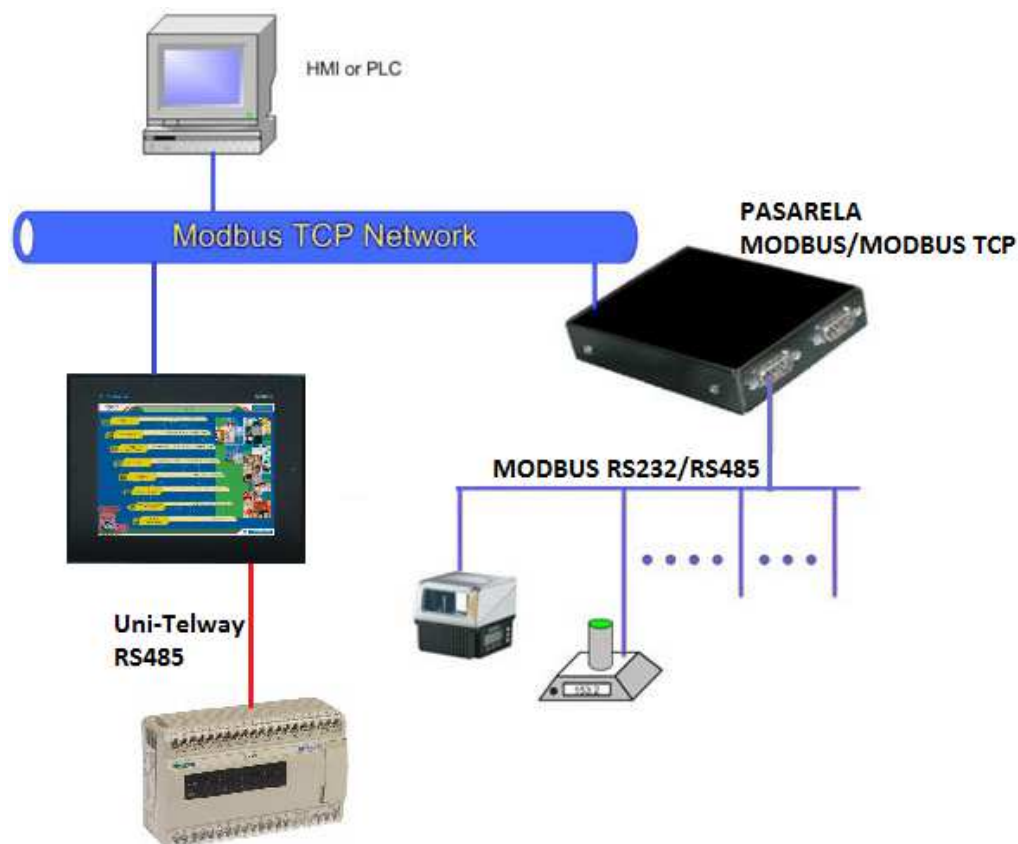


Figura 4.17 Arquitectura de Red.

4.6. DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.

Uno de los requerimientos del sistema es integrar un HMI que permita monitorear el proceso de quemado de gases en el Quemador y Generador Frontal de Llama desde la seguridad de la sala de control.

4.6.1. Pantalla táctil

Puesto que el proceso de bombeo de hidrocarburos del Poliducto Shushufindi-Quito es el proceso medular de todas las estaciones que integran el Poliducto, y que además dicho proceso es crítico y requiere mantenerse en constante monitoreo, no sería apropiado del punto de vista de operación incluir el sistema de monitoreo de la quema de gases en la TEA dentro de la interfaz que monitorea y controla el bombeo.

Es por tal motivo que la interfaz del sistema de automatización del quemador de la estación Osayacu será dispuesta en una de las pantallas táctiles que se encuentran en la sala de operaciones.

La pantalla táctil en la cual se va a disponer la HMI es una Maguelis XBTG 4330 de Schneider Electric que se muestra en la figura 6.18 y cuyas características principales se especifican en la tabla 4.12.



Figura 4.18. Pantalla Táctil Maguelis XBTG 4330.

Fabricante	Schneider Electric
Modelo	Maguelis XBTG 4330
Resolución	640 x 480 píxeles (VGA).
Puertos de comunicación	1 Ethernet IP RJ-45 Modbus rs232c, rs485 conector hembra SUB-D 25 Unitel_way rs232c, rs485
Alimentación	24 VDC 28W
Memoria	8 Mb de Flash EPROM, 512 Kb de SRAM.
Zona táctil	Película resistiva 32 x 24 células.

Tabla 4. 12. Tabla de características básicas de la Pantalla Táctil.

4.6.2. Consideraciones de diseño de la HMI.

Una vez definido donde se va a incluir la HMI del sistema se tiene que analizar cuáles van a ser las pautas de orden operativo y técnico que direccionen el diseño de la HMI.

- a) La pantalla táctil en la cual se va a incluir la HMI del sistema, al momento se encarga de monitorear el Grupo Eléctrico, El Variador, el Flujo Másico y los reportes de la estación Osayacu.
- b) Se debe diseñar la HMI de manera que guarde concordancia con el diseño de las interfaces que se encuentran ya cargadas en la pantalla táctil, de tal forma que armonice con el sistema general.
- c) Los elementos que se encuentren dentro de la interfaz deben ser acordes con los elementos que representan físicamente de manera que el operador los identifique fácilmente evitando confusiones.

- d) Los contrastes entre los elementos de la interfaz deben ser bien escogidos de manera que resalten aspectos como alarmas, fuego encendido, activación o paro de algún dispositivo entre otros sin que resulte agotante a la vista.
- e) Se debe incluir en la interfaz botones que le permitan regresar fácilmente a la pantalla inicial de manera que no complique el monitoreo de los demás procesos.
- f) Las operaciones que realice el operador en la HMI deben ser mínimas, sencillas e intuitivas de manera que se reduzcan al mínimo posible los errores de operación.
- g) Debe disponerse texto que identifique adecuadamente cada actuador y sensor.

4.6.3. Funciones de la HMI.

Una vez establecidas las directrices para el diseño de la HMI otro punto importante a tomar en cuenta para diseñar la HMI es definir las funciones que va a desempeñar la interfaz dentro del sistema, las mismas que se detallan a continuación:

- **Permiso de activación.**

Se debe incluir dentro de la interfaz un método que le permita al operador activar el sistema de quemado de gases, tomando en cuenta que debe tener una doble confirmación de manera que se evite activaciones equívocas del sistema.

- **Establecimiento de la presión de alivio.**

Es necesario que el operador configure la presión de alivio a la cual desea que se reduzca, de manera que debe incluirse una ventana emergente que le permita al operado establecer dicho parámetro de forma sencilla, evitando que la presión de

alivio sea mayor a la presión actual del tanque ya que el sistema no tiene la posibilidad de aumentar la presión.

- **Desactivación.**

El sistema debe tener la posibilidad de ser apagado desde la HMI, así que debe existir un método para apagar de forma segura la TEA desde la HMI.

- **Paro de emergencia.**

Debe incluirse un botón que este correctamente identificado que detenga por completo al sistema y genere una alarma, hay que tener en cuenta que este botón debe ser vistoso, y estar ubicado en un lugar dentro de la interfaz que evite su accionamiento por error pero a la vez sea fácil identificarlo en caso de emergencia.

- **Monitoreo.**

La finalidad medular de una HMI es monitorear el sistema, proporcionando al operador información de forma gráfica del estado de cada componente que integra el sistema, es decir para este sistema concretamente si los dispositivos se encuentran encendidos o apagados.

4.6.4. Elementos de la HMI.

El siguiente paso es definir qué elementos deben ser tomados en cuenta para formar parte de la interfaz, y también qué botones y herramientas tienen que ser

dispuestas para su manejo, en la tabla 4.13 se describen todos los elementos que deben necesariamente ser incluidos dentro de su diseño, y su función dentro de la misma.

N	Elemento	Función
1	Tanque Bullet	Representar al tanque Bullet.
2	Actuador de la válvula de salida del tanque	Representar la válvula de salida del tanque y su estado.
3	Solenoides línea 1	Representar la Solenoide línea 1 y su estado.
4	Solenoides línea 2	Representar la Solenoide línea 2 y su estado.
5	Interruptor de presión línea 1	Representar el Interruptor de presión línea 1 y su estado.
6	Interruptor de presión línea 2	Representar el Interruptor de presión línea 2 y su estado.
7	Línea principal	Representar la Línea principal
8	Línea piloto	Representar la Línea piloto
9	Válvula reguladora de presión línea 1	Representar la Válvula reguladora de presión línea 1 y su estado.
10	Válvula reguladora de presión línea 2	Representar la Válvula reguladora de presión línea 2 y su estado.
11	Válvula reguladora de presión piloto	Representar la Válvula reguladora de presión piloto y su estado.
12	Punta de encendido	Representar la Punta de encendido y su estado.
13	TEA	Representar la TEA
14	Llama	Representar la presencia de fuego en la punta de la TEA
15	Tanque de gas piloto	Representar el Tanque de gas piloto, sirve también para identificar la línea piloto
16	Tanque deshidratador 1	Representar el Tanque deshidratador 1, sirve también para identificar la línea de 1”

N	Elemento	Función
17	Tanque deshidratador 2	Representar el Tanque deshidratador 2, sirve también para identificar la línea de 2”
18	Botón de activación	Este botón debe desplegar una pantalla emergente de confirmación de la acción de activación.
19	Botón de paro de emergencia	Permite realizar el paro de emergencia, debe ser de color rojo.
20	Botón de configuración	Este botón debe desplegar una pantalla emergente que permita configurar la presión de alivio
21	Botón de retorno a página principal	Permite el retorno a la página principal del sistema
19	Pantalla emergente de activación	Permite confirmar o cancelar el proceso de activación del sistema
20	Pantalla emergente de configuración	Permite establecer la presión de alivio

Tabla 4. 13. Tabla de los elementos que componen la HMI.

Tomando en cuenta todos estos parámetros la interfaz humano máquina que monitorea el proceso de encendido del quemador es diseñada como se detalla a continuación.

4.6.5. Pantalla principal

Se añade un botón que direcciona a la pantalla de la TEA, además en los créditos de la misma aparece el nombre del Ingeniero que realizó la interfaz que monitorea el resto de funciones originalmente, seguido del título de la última modificación con su respectiva fecha. El resultado de estas modificaciones en la pantalla principal de la interfaz es representado en las figuras 4.19.a y 4.19.b



Figura 4.19.a. Pantalla Principal



Figura 4.19.b. Pantalla Principal con créditos.

4.6.6. Pantalla HMI TEA.

En esta pantalla se disponen todos los elementos principales para que el proceso sea monitoreado como se observa en la figura 4.20.

Esta pantalla está formada por 9 grupos de elementos que se describen a continuación:

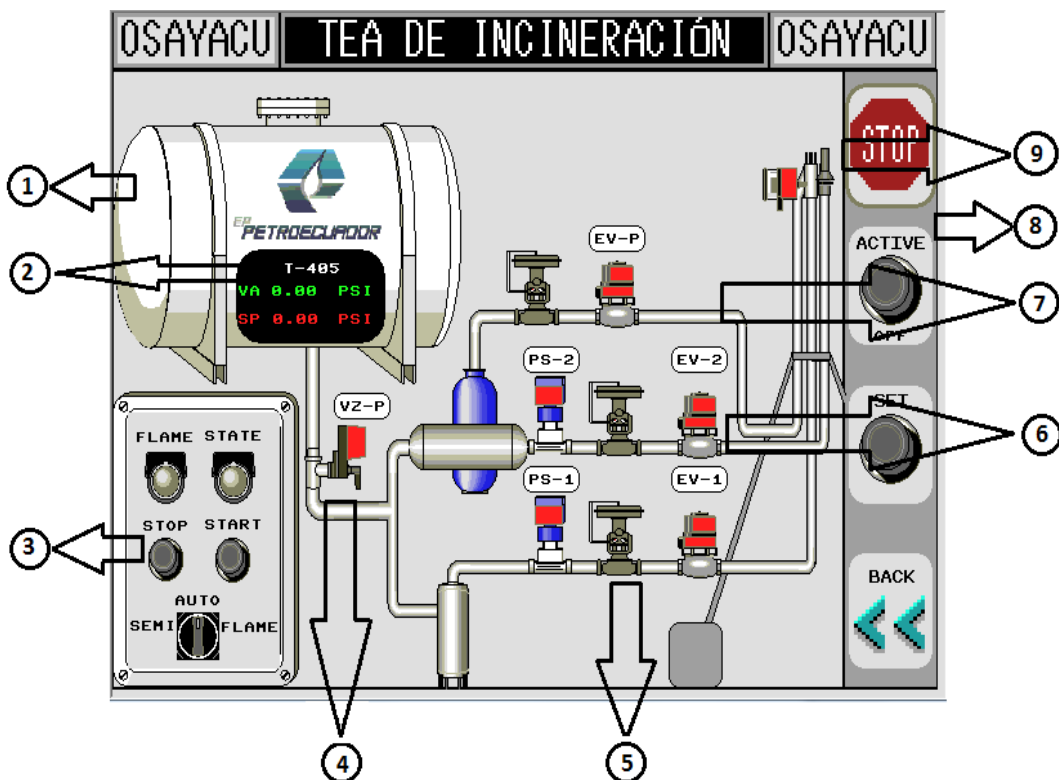


Figura 4.20. HMI de la TEA de Incineración.

1. El tanque Bullet compuesto por el logo identificativo de la empresa.
2. Es el bloque donde se aprecia la nomenclatura que identifica el tanque, la presión interna de alivio (Roja) y la presión interna actual (Verde) del tanque Bullet.
3. Este panel representa la caja de mando que se encuentra en la TEA, en ella se puede monitorear exclusivamente el estado de los botones de Start y Stop,

las luces piloto roja y verde; y además el interruptor que indica bajo qué modo está operando el sistema.

4. Representación de la válvula de salida del tanque Bullet con su respectivo actuador.
5. Este grupo representa el interruptor de presión y el juego de válvulas que componen la línea de 1”, y es identificado tanto por su nomenclatura como por el tanque deshidratador vertical que es característico de la línea 1.
6. Este grupo representa el interruptor de presión y el juego de válvulas que componen la línea de 2”, y es identificado tanto por su nomenclatura como por el tanque deshidratador horizontal que es característico de la línea 2.
7. Este grupo representa el juego de válvulas que componen la línea piloto, y es identificado por su nomenclatura y por el tanque de gas doméstico que es característico de la línea piloto.
8. Este grupo comprende la botonera de la interfaz, el cual contiene el botón de activación, el botón que despliega la pantalla de configuración, el botón de emergencia y el botón que regresa a la página principal.
9. En este grupo se encuentra representado la punta de encendido y el fuego que al estar o no presente significa que existe o no combustión.

4.6.7. Pantalla emergente de confirmación de activación.

El diseño de esta pantalla emergente es el mostrado en las figuras 4.21.a y 4.21.b, esta pantalla aparece cuando se ha presionado el botón de activación para que dicha operación sea confirmada al presionar sobre el botón “SI”.



Figura 4.21.a. Pantalla emergente de confirmación de activación desactivada.



Figura 4.21.b. Pantalla emergente de confirmación de activación activada.

Esta pantalla desaparece cuando se presiona “SALIR”.

4.6.8. Pantalla emergente de configuración.

Esta pantalla aparece en la esquina superior izquierda después de haber pulsado el botón “SET”, a través del manejo de esta pantalla el operador tiene la capacidad de establecer la presión interna de alivio a la cual desea que el tanque bullet disminuya; para lo cual está compuesta los elementos que se destacan en la figura 4.22.

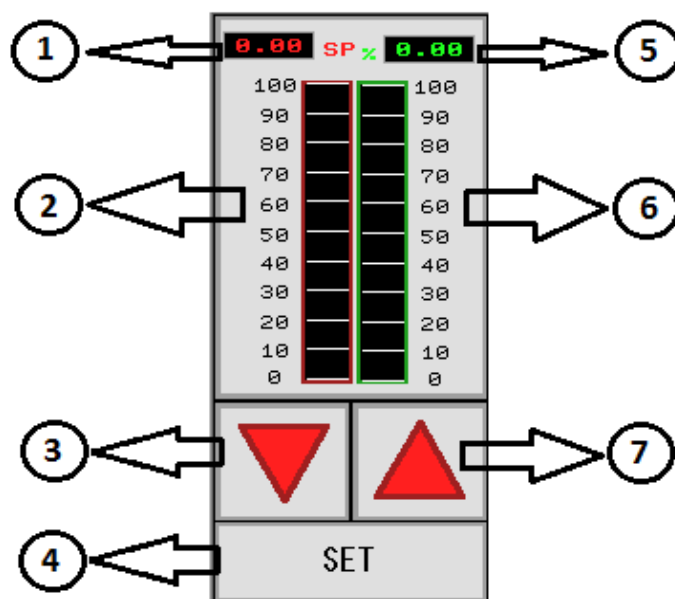


Figura 4.22. Pantalla emergente de configuración.

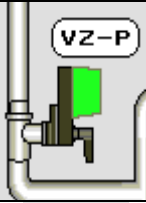
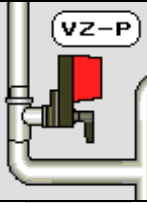


1. Presión de alivio en Rojo
2. Barra roja indicadora de la presión interna de alivio.
3. Botón para disminuir la presión de alivio.
4. Botón de establecimiento de la presión de alivio.
5. Botón para aumentar la presión de alivio.
6. Barra verde indicadora de la presión interna actual del tanque.
7. Presión interna actual del tanque en verde

Esta pantalla desaparece cuando se presiona sobre el botón “SET”.

4.6.9. Método de representación del estado de las variables del proceso.

Para realizar una interfaz que le permita monitorear de manera adecuada el proceso al operado se debe establecer cuál será el método que se utilice para representar los estados de activación y desactivación de cada sensor y actuador.

Tomando en cuenta que se debe guardar armonía con el resto de las interfaces de la estación se decide representar la activación de cada elemento con el color verde y su desactivación con el color rojo quedando de como se muestra en la tabla 4.14.

Elemento	Activado	Desactivado
Actuador de la válvula de salida del tanque		
Solenoide línea 1		



















Elemento	Activado	Desactivado
Solenoides línea 2		
Solenoides línea Piloto		
Interruptor de presión línea 1		
Interruptor de presión línea 2		
Punta de encendido		
Llama		
Botón de activación		
Botón de paro de emergencia		
Botón de configuración		

Tabla 4. 14. Tabla representaciones.

4.7. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

4.7.1. Determinación de la carga total del sistema de automatización de encendido del quemador y generador frontal de llama.

El sistema de automatización de encendido presenta en su implementación los dispositivos eléctricos detallados en la tabla 4.15.

Dispositivo	Descripción	Potencia [W]
Transformador de ignición	Transformador de salida unipolar Honeywell, 120/6000 VAC a 60 HZ, utilizado para realizar la chispa en la bujía de encendido.	150
Electroválvula Piloto	Válvula solenoide Genebre, 120VAC a 60hz, utilizado para abrir o cerrar el paso de gas hacia la tubería de 1”.	14
Electroválvula Principal 1	Válvula solenoide ASCO 8111B078, 120VAC a 60HZ, utilizado para abrir o cerrar el paso de gas hacia la tubería de 1 ½”.	16,7
Electroválvula Principal 2	Válvula solenoide ASCO 8111B078, 120VAC a 60HZ, utilizado para abrir o cerrar el paso de gas hacia la tubería de 2”.	16,7
Actuador Rotativo	Actuador Honeywell MN6105A1011, 24 VDC, utilizado para abrir o cerrar el paso de gas desde el tanque bullet hacia los quemadores principales.	2

Dispositivo	Descripción	Potencia [W]
PLC	TSX NANO, 120 VAC a 60HZ, utilizado como controlador de todo el sistema de encendido de la tea de incineración.	30
Fuente DC	Fuente de alimentación Array Electronic de 24 VDC, 120 VAC a 60hz, utilizado para energizar los componentes eléctricos de corriente continua como sensores.	72
Sensor de llama	Det-Tronic sensor de llama, 24 VDC, utilizado para la verificación de existencia de llama en los quemadores principales y piloto.	4,5
Foco Verde	Luz indicadora Schneider, 24 VDC.	0,432
Foco Rojo	Luz indicadora Schneider, 24 VDC.	0,432

Tabla 4. 15. Cargas de cada dispositivo eléctrico.

Para determinar la potencia total se toma en cuenta los dispositivos que están siendo alimentados por el suministro eléctrico:

$$\text{Potencia}_{\text{TOTAL}} = P_T + P_{ep} + 2 * P_e + P_{\text{PLC}} + P_{\text{DC}}$$

Dónde:

P_{PT} : Potencia del transformador.

P_{ep} : Potencia de la electroválvula piloto.

P_e : Potencia de la electroválvula principal.

P_{PLC} : Potencia del PLC.

P_{DC} : Potencia de la fuente DC.

$$Potencia_{TOTAL} = (150 + 14 + 2 * 16.7 + 30 + 72) [W] = 299,4 [W]$$

Entonces, las potencias restantes se atribuyen a la fuente de alimentación DC, la cual tendrá un consumo de trabajo nominal de:

$$Potencia_{Fuente} = Potencia_{Actuador} + Potencia_{Sensor} + 2 * Potencia_{Luz}$$

$$Potencia_{Fuente} = (2 + 4.5 + 2 * 0.432) [W] = 7,36 [W]$$

4.7.2. Dimensionamiento de la instalación eléctrica.

Para la determinación del dimensionamiento de las instalaciones eléctricas, se tomó a consideración el calibre del cable y la dimensión de la tubería adecuada para la instalación de cada uno de los componentes que forman parte de la automatización de la TEA de incineración de gases.

Para la selección del cable se toma en cuenta la tabla 4.16 de calibres AWG para saber el grosor necesario de acuerdo a la corriente máxima que circula por los diferentes dispositivos.

Código AWG	Diámetro del conductor (mm)	Amperaje Distancias cortas (A)	Amperaje Distancias largas (A)
10	2,58	55	15
11	2,30	47	12
12	2,05	41	9,3
13	1,82	35	7,4
14	1,62	32	5,9
15	1,45	28	4,7

Código AWG	Diámetro del conductor (mm)	Amperaje Distancias cortas (A)	Amperaje Distancias largas (A)
16	1,29	22	3,7
17	1,15	19	2,9
18	1,02	16	2,3
19	0,91	14	1,8
20	0,81	11	1,5
21	0,72	9	1,2
22	0,64	7	0,92
23	0,57	4,7	0,729
24	0,51	3,5	0,577
25	0,45	2,7	0,457
26	0,40	2,2	0,361
27	0,36	1,7	0,288
28	0,32	1,4	0,226
29	0,28	1,2	0,182
30	0,25	0,86	0,142
31	0,22	0,7	0,113
32	0,20	0,53	0,091

Tabla 4. 16. Calibres AWG.

En la tabla 4.17 se presenta los dispositivos que conforman el sistema de automatización de la TEA de incineración con sus corrientes de consumo.

Dispositivo	Corriente	Calibre mínimo (AWG)
Transformador de ignición	$I = \frac{P}{V} = \frac{150}{120} = 1,25 \text{ [A]}$	20
Electroválvula Piloto	$I = \frac{P}{V} = \frac{14}{120} = 0,11 \text{ [A]}$	29
Electroválvula Principal 1	$I = \frac{P}{V} = \frac{16,7}{120} = 0,13 \text{ [A]}$	29

Dispositivo	Corriente	Calibre mínimo (AWG)
Electroválvula Principal 2	$I = \frac{P}{V} = \frac{16.7}{120} = 0,13 \text{ [A]}$	29
Actuador Rotativo	$I = \frac{P}{V} = \frac{2}{24} = 0,08 \text{ [A]}$	32
PLC	$I = \frac{P}{V} = \frac{30}{120} = 0,25 \text{ [A]}$	27
Fuente DC	$I = \frac{P}{V} = \frac{72}{24} = 3 \text{ [A]}$	16
Sensor de llama	$I = \frac{P}{V} = \frac{4.5}{24} = 0,18 \text{ [A]}$	28
Foco Verde	$I = \frac{P}{V} = \frac{0.432}{24} = 0,01 \text{ [A]}$	32
Foco Rojo	$I = \frac{P}{V} = \frac{0.432}{24} = 0,01 \text{ [A]}$	32

Tabla 4. 17. Calibres AWG para dispositivos eléctricos.

Los calibres AWG presentados en la tabla, son los calibres mínimos que deben tener los cables para la instalación eléctrica, para una buena instalación eléctrica, se debe sumar un porcentaje a los calibres dados en la tabla por seguridad.

La bodega de la estación Osayacu del Poliducto Shushufindi-Quito, cuenta con cable THHW calibre 14 para la instalación de dispositivos de esta clase, cubre holgadamente los requerimientos especificados para instalar los dispositivos del sistema, con la excepción que para el sensor de llama se utiliza un cable siliconado calibre 12 AWG que soporta alta tensión y temperaturas altas y para las comunicaciones, se debe contar con un cable especial multipar con revestimiento para poder alcanzar largas distancias y evitar interferencias del ruido, por lo cual le estación posee un cable multifilar de 4 hilos con apantallado calibre 20, el cual se adapta a las condiciones del diseño.

Para la instalación de la canalización mediante tubería conduit, se procede a definir el número de cables que van desde la caja de control hacia la tubería, lo cual es representado gráficamente a través de la figura 4.23.

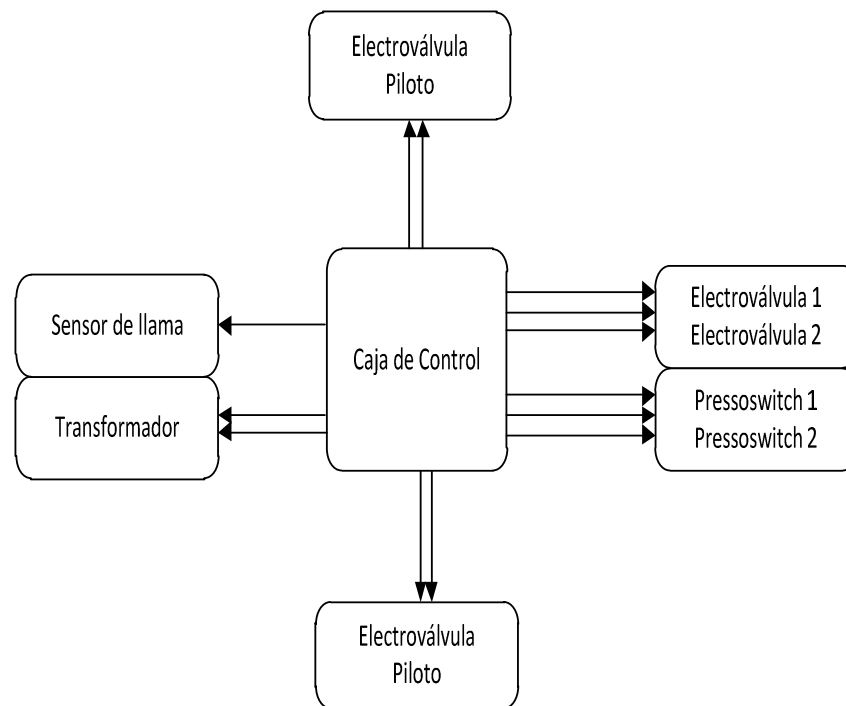


Figura 4.23. Diagrama de Bloques de número de conductores por elemento eléctrico.

Entonces se tiene que desde la caja de control hacia la zona donde se encuentran instalados las electroválvulas principales y sensores de presión, se debe llevar un total de 6 conductores de calibres 14 AWG, mientras que para la zona donde se encuentra instalado el sensor de llama y el transformador, se necesita llevar 2 conductores calibre 14 AWG y un cable apantallado de cuatro hilos, además de 2 zonas las solo se deben llevar 2 conductores calibre 14 AWG.

Siguiendo la Norma NFPA 70E, Anexo C, Tabla C8 Máximo número de conductores en una tubería rígida conduit, se procede a definir el espesor de la tubería por medio de la tabla 4.18.

		Diámetro de tubería (Tamaño Comercial)								
Tipo	Conductor (AWG)	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"
TW	14	9	15	25	44	59	98	140	216	288
THHW	12	7	12	19	33	45	75	107	165	221
THW	10	5	9	14	25	34	56	80	123	164
THW-2	8	3	5	8	14	19	31	44	68	91

Tabla 4. 18. Máximo número de conductores en una tubería rígida conduit.

Como se puede apreciar en la tabla 4.18, para un cable tipo THHW calibre 14, puede haber un máximo de siete conductores en una tubería de 3/4", lo cual satisface el número de conductores máximo descrito en el caso de seis conductores, a excepción de la zona donde se debe transportar dos conductores y el cable apantallado de cuatro hilos, el cual se debe llevar este cable por medio de una tubería de 1" conduit.

El número de conductores que se debe llevar a cada zona donde se encuentran los diferentes dispositivos para la automatización del quemador, está ilustrado en el diagrama de bloques de la figura 4.24.

4.7.3. Protección de los elementos electrónicos en la caja de control.

Para la protección de los elementos electrónicos de la caja de control hay que tomar en cuenta los siguientes tipos de protección:

- a) Protección contra cortocircuitos.
- b) Protección contra sobrecargas.
- c) Protección contra electrocución.

Para la protección de cortocircuitos se coloca un interruptor automático magneto-térmico, que es un dispositivo muy común para la protección de cortocircuitos.

En el caso de la protección de sobrecargas, se considera la corriente máxima de consumo del sistema de automatización calculada anteriormente para la instalación de un fusible que permita la protección de sobrecargas y de sobre corrientes.

La corriente de consumo es el resultado de la siguiente operación:

$$I_{\text{consumo}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{TOTAL}}}{\text{Voltaje}} = \frac{299,4}{120} = 2,5 \text{ [A]}$$

Entonces, como consecuencia del cálculo de corriente máxima de consumo del sistema, un fusible de 2.5 amperios, es suficiente para la protección de sobrecarga de la caja de control.

Y por último, para la protección contra electrocución se asegura la puesta a tierra de los elementos electrónicos que forman parte de la automatización del quemador y generador frontal de llama.

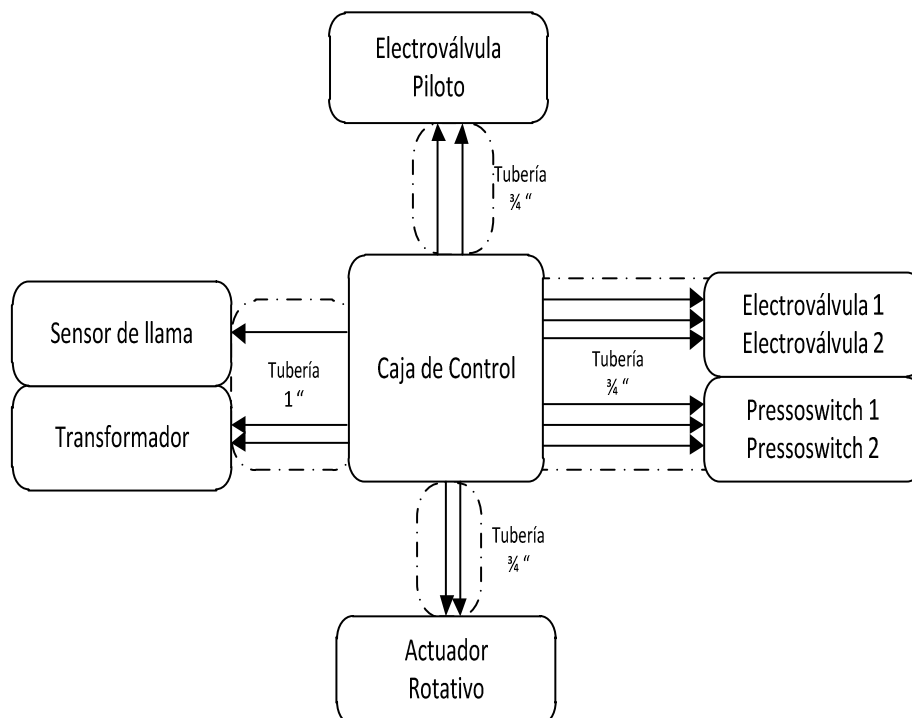


Figura 4.24. Diagrama de Bloques de número de conductores por elemento eléctrico con tubería.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN.

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL PILOTO DE IGNICIÓN DE LLAMA.

Para la implementación del piloto de ignición de llama, se trabajó por distintas secciones, estas son:

5.1.1. Sección Mecánica.

En esta sección se detalla la instalación de los componentes relacionados con el encendido del quemador piloto, para lo cual se realizó las conexiones descritas en la figura 5.1:

Dónde:

1. Direccionador de llama.
2. Punta de encendido.
3. Codo de cobre con neplos de ¼”.
4. Acople de ¼” a ½” de cobre.
5. Neplo de 5 cm a ½”.
6. Codo de alta presión de ½”.
7. Neplo de 10 cm a ½”.
8. Acople de ½” a 1” de alta presión.

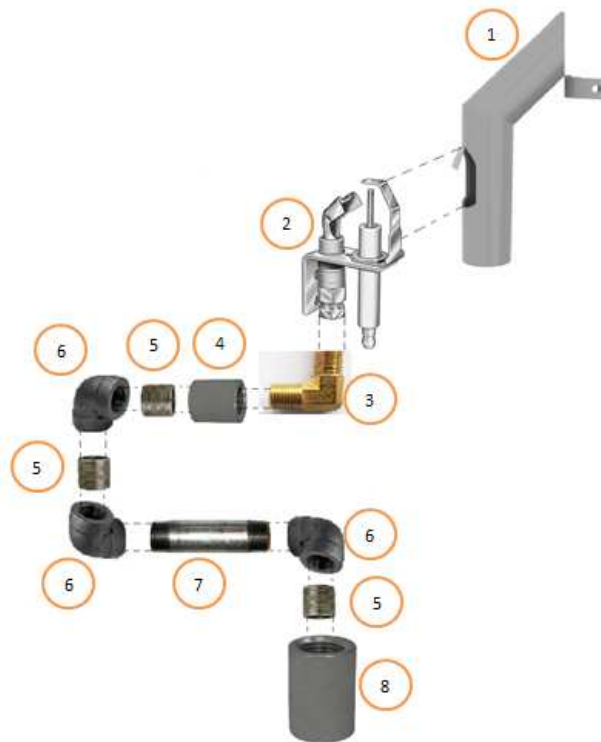


Figura 5.1. Conexiones para la implementación en la sección de ignición.

Una vez ensamblado todos los componentes, la sección de ignición quedó de la siguiente forma:



Figura 5.2. Ensamblado final de la sección de ignición.

El ensamblado final de la sección de ignición fue conectado en la tubería de 1½” e instalado en la tea de incineración de gases como se representa a continuación:



Figura 5.3. Instalación del componente de Ignición de la TEA de incineración.

Además de las modificaciones en la estructura de la torre de quemado, es necesario instalar la toma de gas, la válvula reguladora de presión y el bypass conformado por la válvula solenoide y la válvula de cierre rápido tal como se especifica en el diagrama esquemático de la Figura 4.1.

Todos estos componentes ensamblados en la línea piloto quedan instalados como se presenta en la Figura 5.4:



Figura 5.4. Componentes del sistema de ignición piloto instalados.

5.1.2. Sección Eléctrica.

En esta sección se detalla la instalación de los componentes eléctricos de sistema de ignición piloto de la siguiente forma:

El cable siliconado de alta temperatura se instaló dentro de tubería conduit de ½” que va desde la caja que contiene el transformador hasta la punta de encendido. En el extremo de la punta de encendido es necesario instalar el terminal del cable de manera que realice un sello en la tubería conduit para evitar el ingreso de agua a la misma, este terminal quedó de la siguiente forma:



Figura 5.5. Terminal del cable de la punta de encendido.

El transformador se instaló dentro de una caja con seguridad antiexplosiva, a la cual ingresa el cableado desde la caja de control a través de una tubería conduit de ¾” y también el cable siliconado, este último se conecta mediante un terminal directo a la salida del transformador, mientras que los cables que alimentan el transformador, son conectados a borneras, toda esta conexión se muestra en la Figura 5.6:



Figura 5.6. Caja de seguridad con transformador instalado.

Para la alimentación de la válvula solenoide piloto, hay se instaló dos cables de calibre 14 AWG que van desde la caja de control hacia los terminales del dispositivo. La tubería que lleva este cable debe estar compuesta por dos cajas de revisión y un sello antideflagrante ubicado antes de la caja de control.



Figura 5.7. Válvula solenoide piloto instalado.

5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ENCENDIDO DEL QUEMADOR Y GENERADOR FRONTAL DE LLAMA.

Para automatizar el Quemador y Generador Frontal de Llama de la estación Osayacu ha, se abordó el tema por tres secciones fundamentales, mecánica, eléctrica y de comunicaciones.

5.2.1. Sección Mecánica.

En concordancia con los diagramas diseñados en el capítulo 4.2, se realizaron cambios al sistema original, de manera que se eliminó secciones obsoletas del sistema que no entran en el diseño final, y se aumentó los elementos que se consideran en el diagrama esquemático de la Figura 4.2.

De este modo el antiguo juego de válvulas de las líneas principales 1 y 2, se eliminaron y quedaron remplazadas como se muestra en la Figura 5.8.b:



Figura 5.8.a. Tren de válvulas antes.



Figura 5.8.b. Tren de válvulas después.

Para la instalación de los elementos nuevos del sistema, se realizó cortes en la tubería de las líneas principales 1 y 2 para el posterior ensamble de los nuevos componentes como se presenta a continuación:

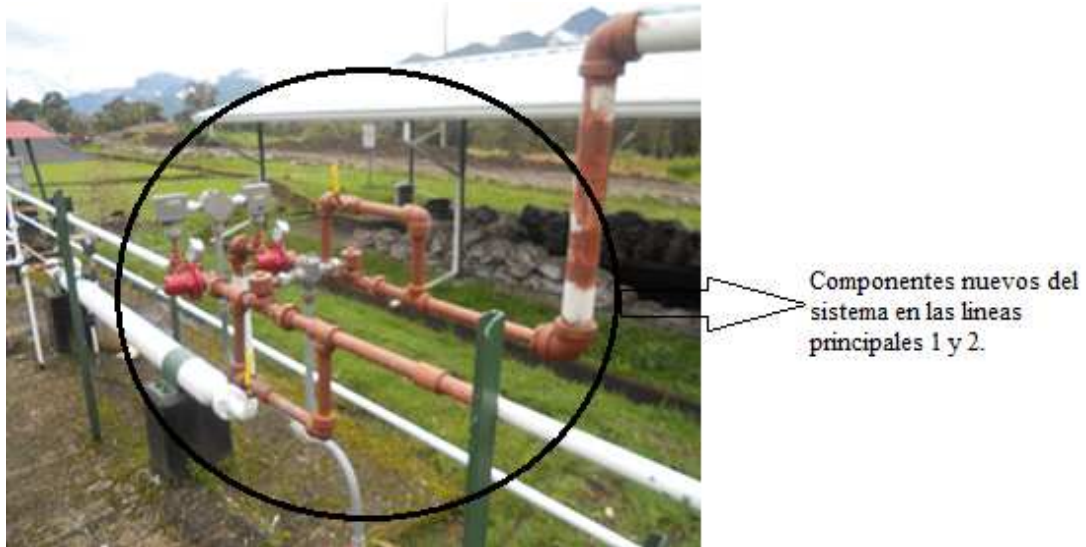


Figura 5.9. Componentes nuevos del sistema instalados en las líneas principales 1 y 2.

Para el direccionamiento del flujo de las líneas manifold y de la entrada del tanque Bullet hacia la torre de quemado, se realizó la instalación de válvulas anti retorno como se presentan en las siguientes figuras:

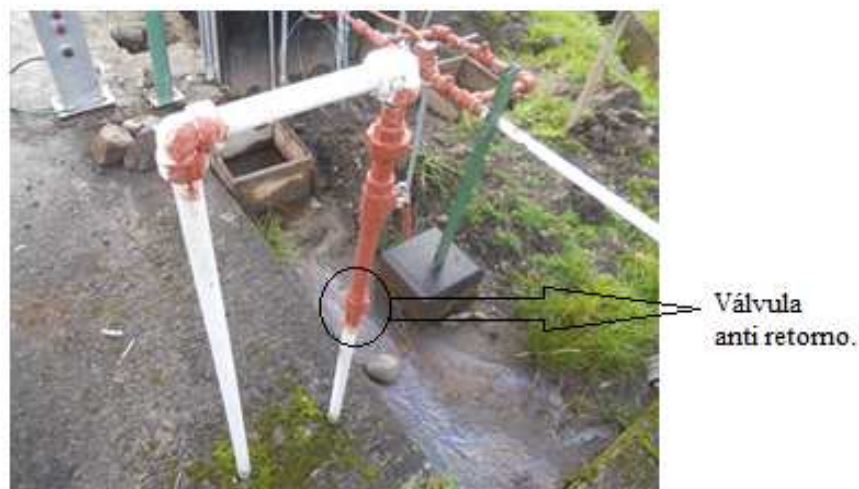


Figura 5.10. Válvula anti retorno de la línea de entrada del tanque Bullet instalada.



Figura 5.11. Válvula anti retorno de la línea del manifold de válvulas instalada.

Posterior al mantenimiento de la válvula de salida del tanque Bullet, se ejecutó el montaje del actuador rotativo de accionamiento eléctrico de la siguiente forma:



Figura 5.12. Actuador rotativo de la válvula de salida del Bullet instalado.

5.2.2. Sección Eléctrica.

Las conexiones eléctricas de los sensores y actuadores que forman parte del sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama, fueron instaladas como se detalla a continuación.

La instalación eléctrica de las válvulas solenoides, como las de los interruptores de presión de las líneas principales 1 y 2, se realizaron mediante cable de calibre 14 AWG en tubería conduit de $\frac{3}{4}$ ”; tres cables para los contactos de los interruptores de presión y tres cables para la alimentación de las válvulas solenoides de las líneas principales 1 y 2 como se detalla en los diagramas eléctricos en el Anexo A.

La instalación de la tubería cuenta con dos sellos antideflagrantes y cuatro cajas de revisión, un sello a la altura de la caja y otro sello a la altura de los instrumentos; así como, una caja de revisión a la altura de la caja y las tres cajas restantes como se observa en la figura 5.13:



Figura 5.13. Instalación eléctrica de las válvulas solenoides y de los interruptores de presión de las líneas principales 1 y 2.

El actuador rotativo, es alimentado mediante el cable LAKE E171202 de calibre 20 AWG de 4 hilos, que va desde la caja de control hasta a válvula de salida del Bullet, dentro de una tubería conduit de ½” con sellos antideflagrantes al inicio y al final de la misma acompañados con cajas de revisión como se presenta en la Figura 5.14:



Figura 5.14. Instalación eléctrica del actuador rotativo en la zona del tanque Bullet.

El sensor de llama es alimentado mediante el cable LAKE E171202 de calibre 20 AWG de 4 hilos, dos hilos para la alimentación y dos hilos para los contactos como se especifica en los diagramas eléctricos en el Anexo A mediante tubería conduit de ¾” que va desde la caja de control hasta la tea de incineración, y debe ser instalado según se detalla en el manual del mismo, como se muestra en la Figura 5.15.a y 5.15.b.

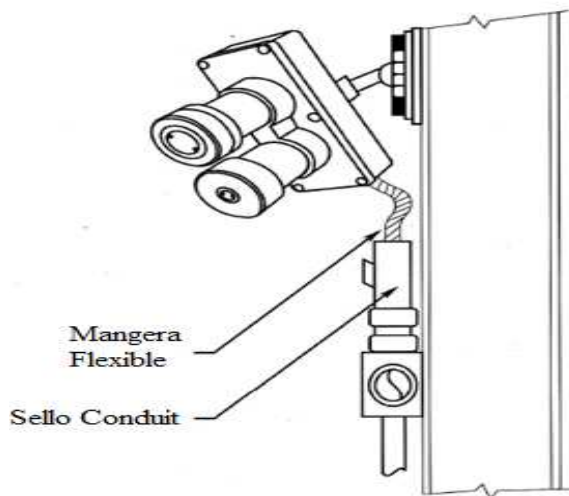


Figura 5.15.a. Instalación eléctrica del sensor de llama del manual.



Figura 5.15.b. Instalación eléctrica del sensor de llama.

Los elementos que conforman la caja de control, deben ser instalados según los diagramas eléctricos del Anexo A, considerando el reducido espacio dentro de la caja de control, de manera que todos los elementos queden correctamente distribuidos para una fácil instalación y mantenimiento. Los componentes como el PLC, la fuente de alimentación DC, las protecciones eléctricas y las borneras deben ir montados sobre rieles DIN. Todos los elementos montados deben ser situados como se muestran a en la figuras 5.16.a y 5.16.b.

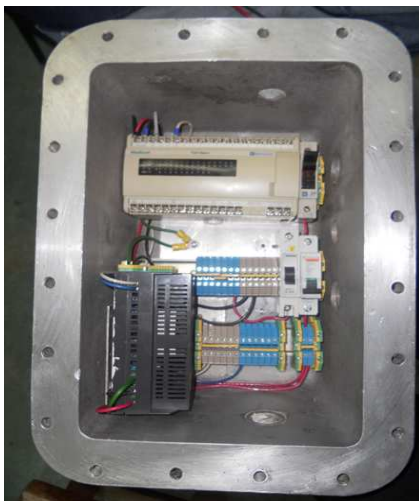


Figura 5.16.a. Elementos de la caja de control instalados.



Figura 5.16.b. Elementos de la caja de control instalados en el campo.

5.2.3. Sección de Comunicaciones.

En la presente sección se va a detallar como se realizó la instalación y construcción del cable de comunicaciones que permitirá el monitoreo del PLC y su programación desde la sala de operaciones ubicada a 60 metros de la caja de control donde se encuentra instalado el PLC.

El cable se lo elaboró según especificaciones de TELEMECANIQUE en su diagrama para el cable XBT-Z9688, cuya conexión se detalla en la Figura 5.17:

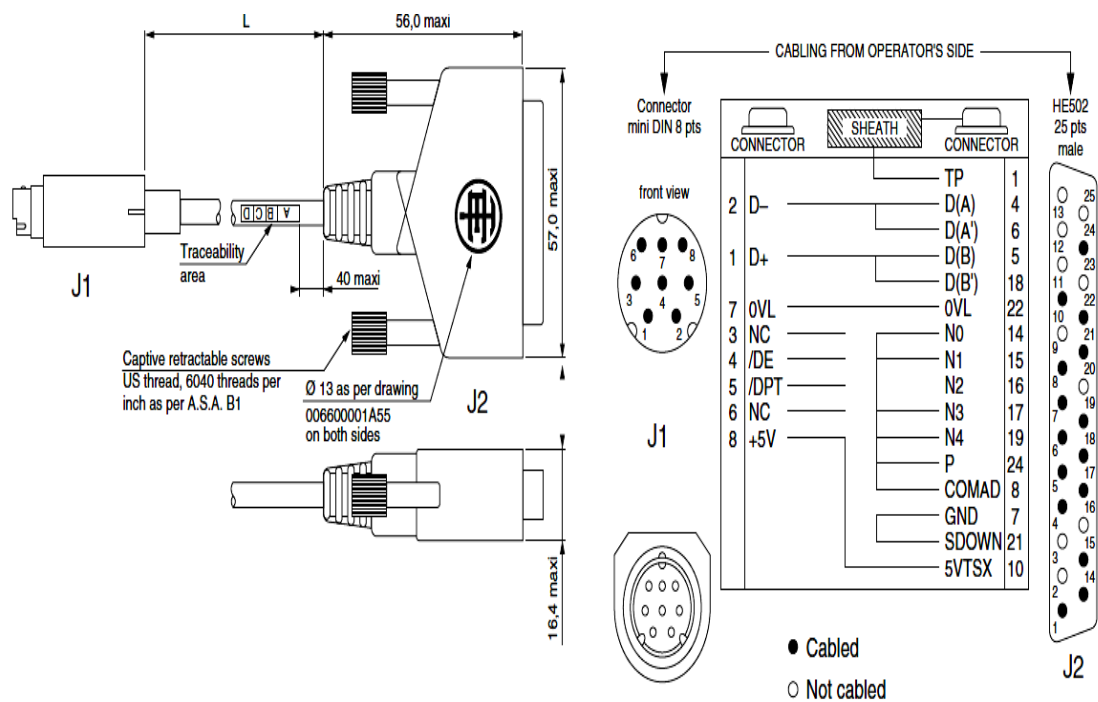


Figura 5.17. Diagrama de construcción del cable XBT-Z9688.

El cable utilizado para el tendido de las comunicaciones es el Belden 9940 de 4 hilos de calibre 20 AWG apantallado, el mismo que va dentro de tubería conduit de 3/4", desde la caja de control donde el cable tiene un terminal DIN 8; hasta la sala de control donde culmina con un terminal DB-25 el cual permite la conexión a la pantalla táctil Magelis o al cable de programación TSX PCU 1030.

El cable TSX PCU 1030 es modificado en el terminal que se une al PLC para que pueda ser conectado al cable de comunicaciones ya tendido sin la necesidad de programar al PLC en la caja de control, de este modo el terminal DIN 8 es remplazado en su extremo por un DB-25 hembra como se muestra en la Figura 5.18:

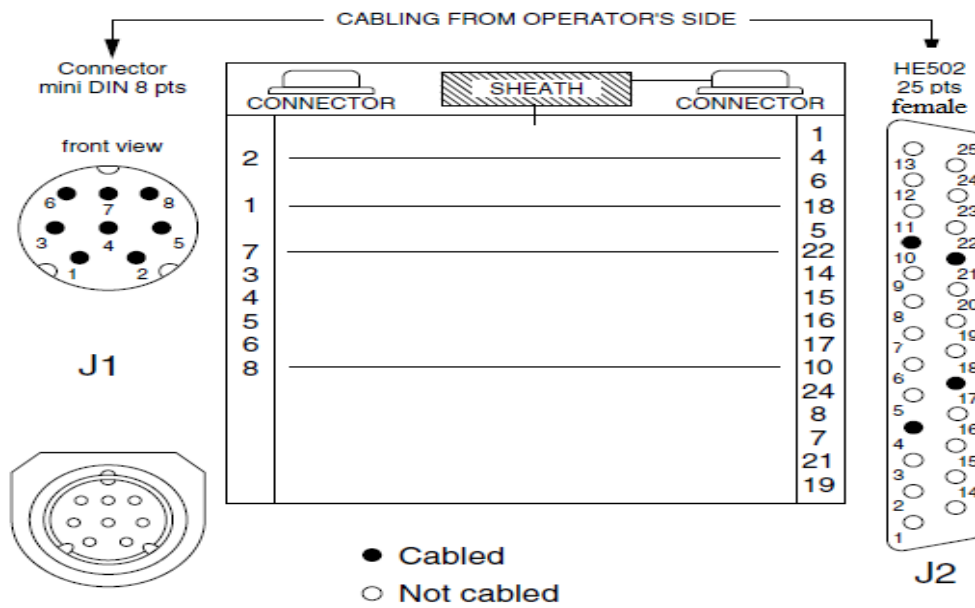


Figura 5.18. Diagrama de construcción para el remplazo del terminal DIN 8 del cable TSX PCU 1030.

La conexión se realizó con los diferentes dispositivos como se presenta en la figura 5.19:



Figura 5.19. Conexión del PLC con la PC para su programación.



Figura 5.20. Conexión del PLC con la pantalla táctil Magelis para monitoreo.



Figura 5.21. Conexión del cable de comunicaciones con el PLC en la caja de control.

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS.

6.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se detalla las pruebas realizadas al sistema de automatización del Quemador y Generador frontal de Llama de la estación Osayacu del Poliducto Shushufindi-Quito, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento, o como de comprobar la efectividad y eficiencia del sistema.

6.2. PRUEBAS Y RESULTADOS.

Una vez culminada toda la automatización del sistema, fue necesario someter al mismo a una serie de pruebas que brinden información del funcionamiento del sistema, estas pruebas se detallan a continuación:

1. Prueba de encendido.
2. Prueba de reencendido.
3. Prueba de apagado.
4. Prueba de alivio de presión del tanque Bullet.

6.2.1. Prueba de encendido.

Esta prueba hace mención a la secuencia y los tiempos de encendido tanto de la llama piloto como de la llama de las líneas principales 1 y 2.

Para llevar a cabo la prueba de encendido, hay que iniciar el sistema de quemado de gases previo a su correspondiente activación desde la interfaz humano maquina ubicada en la sala de operaciones.

Las pruebas de la secuencia de encendido buscan verificar que los pasos para el encendido, son los correctos de acuerdo al diagrama de flujo para una combustión segura que se estipula del capítulo 4.3 en la Figura 4.11 (Diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama). En esta prueba se hace especial énfasis en la activación secuencia de los actuadores dependiendo de los estados de los respectivos sensores.

El tiempo de encendido de la llama piloto es tomado a partir del instante en que la luz piloto verde se queda prendida, hasta el instante en que el sensor de llama detecta fuego en la punta de la tea.

El tiempo de encendido de las líneas principales es tomado en cuenta desde el momento en que se detecta la llama en la punta de la TEA hasta que se nota un incremento sustancial en la energía de combustión en la punta de la antorcha.

6.2.2. Resultado de la prueba de encendido.

De la prueba de encendido se observa que el sistema cumple la siguiente secuencia para la combustión de GLP en la TEA:

La secuencia presentada en las pruebas de encendido como se observa en la figura 6.1 cumple con lo establecido en el diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama de la figura 4.11, por lo cual se aprueban los pasos que sigue el sistema ya que están de acuerdo al diseño y por lo tanto garantizan una ignición segura y controlada.

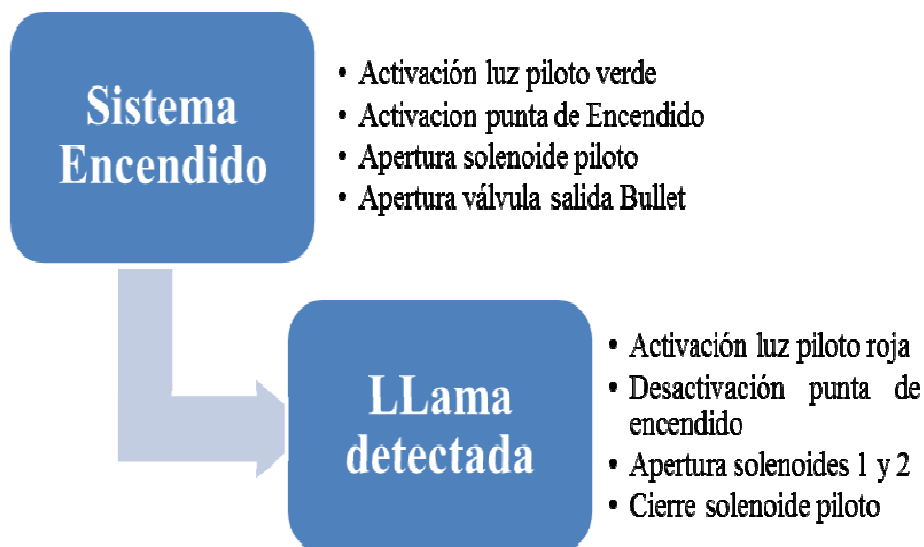


Figura 6.1. Resultado de la prueba de secuencia de encendido.

Los datos de los tiempos de encendido de la llama piloto en las pruebas, son los siguientes:

Número de prueba	Tiempo de encendido llama Piloto (s)	Tiempo de encendido líneas principales (s)
1	13	25
2	12	30
3	14	28
4	15	32
5	13	37
Promedio	13,4	30,4

Tabla 6.1. Resultados de la prueba de los tiempos de encendido de la llama piloto y de las líneas 1 y 2.

Los datos recolectados en las pruebas para obtener los tiempos de encendido de las líneas piloto, 1 y 2; muestran un tiempo promedio para el encendido de la llama piloto y de las líneas principales, de aproximadamente 13,4 segundos y de 30,4 segundos respectivamente, lo cual es un claro indicador de que el sistema se enciende de forma rápida ya que lo hace en menos de un minuto de manera progresiva.

6.2.3. Prueba de reencendido.

Esta prueba se realiza para comprobar el tiempo de reencendido de la llama piloto toda vez que esta se ha apagado por algún motivo, para realizar la prueba se enciende la llama piloto en modo manual durante un tiempo aproximado de 5 segundos, luego de lo cual se corta el suministro de gas y se espera que la llama se apague, en ese instante se empieza a tomar el tiempo mientras se reinicia el suministro de gas hacia la torre de quemado hasta el instante en que la llama se vuelve a reencender en el quemador piloto.

6.2.4. Resultado de la prueba de reencendido.

Los tiempos de reencendido de la llama piloto obtenidos de las pruebas realizadas se muestran en la tabla a continuación.

Número de prueba	Tiempo de reencendido llama Piloto (s)
1	1
2	1,1
3	0,7
4	0,5
5	0,8
Promedio	0,82

Tabla 6.2. Resultados de la prueba de los tiempos de reencendido de la llama piloto.

Con un tiempo promedio de reencendido de 0,82 segundos se puede afirmar que la respuesta del sistema ante una extinción de llama durante el proceso de combustión de GLP en la TEA, es eficaz ya que se lo hace de forma instantánea para asegurar que el sistema culmine su proceso de alivio de gases de forma confiable.

6.2.5. Prueba de apagado.

Los datos que serán obtenidos en esta prueba son necesarios para el análisis de los tiempos de apagado de las llamas de las líneas piloto y principales, además para comprobar la correcta consecución de pasos que el controlador debe seguir para un apagado seguro según se describe en el diagrama de flujo del capítulo 4.3 en la Figura 4.11 (Diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama).

Para medir el tiempo de apagado de la llama de la línea piloto es necesario trabajar en modo manual, ya que de otra forma no sería posible apreciar el apagado de esta llama. Una vez encendida la llama en modo manual, se corta el suministro de gas y se empieza a tomar el tiempo hasta el momento en que ya no se detecte fuego en la punta de la antorcha.

Para obtener los tiempos de apagado de las líneas principales 1 y 2 se procede a encender el sistema en modo automático, esperar la combustión del gas proveniente de las líneas 1 y 2 y en ese momento presionar el botón de parada, es a partir de este momento que se debe empezar a tomar el tiempo que le lleva a la llama a apagarse.

Para la prueba de la secuencia de apagado, hay tres condiciones que se deben tomar en cuenta:

- **Caso I.**

El sistema se encuentra encendido en modo automático y se ha presionado por más de 5 segundos el botón de parada.

- **Caso II.**

El sistema se encuentra encendido en modo automático y se ha presionado el botón de emergencia.

- **Caso III.**

El sistema se encuentra encendido en modo automático, la presión dentro del tanque Bullet ha llegado al nivel deseado, y la presión dentro de las líneas 1 y 2 es menor que 4 PSI.

Para todos estos casos la secuencia de apagado que debe seguir el controlador debe ser la que está considerada en el diagrama de flujo del capítulo 4.3 en la Figura 4.11 (Diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama).

6.2.6. Resultado de la prueba de apagado.

En la siguiente tabla se muestran los tiempos de apagado de las líneas piloto y principales 1 y 2, que se obtuvieron de las pruebas realizadas.

Número de prueba	Tiempo de apagado llama Piloto (s)	Tiempo de apagado líneas principales (s)
1	51	119
2	58	142
3	50	138
4	55	120
5	60	127
Promedio	54,8	129,2

Tabla 6.3. Resultados de la prueba de los tiempos de apagado de la llama piloto y de las líneas 1 y 2.

Como se muestra en la tabla 6.3 los tiempos promedio de apagado de las líneas piloto y principales son de 54,8 y 129,2 segundos correspondientemente, lo que indica que la combustión se extinguirá por completo en un tiempo reducido lo cual minimiza el riesgo de errores en la operación del sistema.

Las secuencias de parada del sistema, obtenidas de las pruebas realizadas para los tres casos por los cuales se puede detener el proceso descritos en la sección 6.2.3, se detallan en la figura 6.2.

Se comprueba a través de los resultados presentados en la figura 6.2 de las pruebas de apagado de los distintos casos que el controlador cumple con lo establecido en el diagrama de flujo del quemador y generador frontal de llama de la figura 4.11 del capítulo 4, razón por la cual se afirma que el sistema cumple con su diseño.

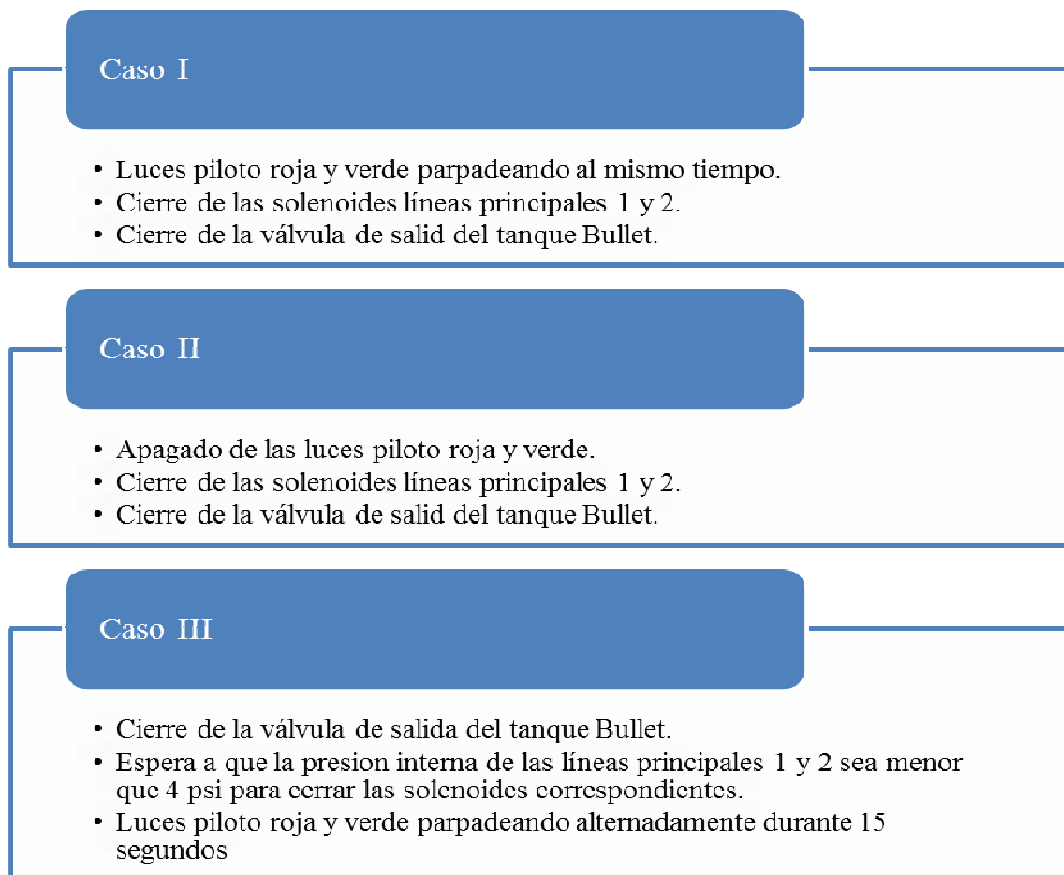


Figura 6.2. Resultado de las pruebas de secuencias de apagado.

6.2.7. Resultado de la prueba de alivio de presión del tanque Bullet.

Los datos obtenidos en las pruebas de alivio de la presión en el tanque Bullet, se presentan a continuación:

TIEMPO (S)	PRESIÓN (PSI)	$\Delta t (t_n - t_{n-1})$	$\Delta P (P_n - P_{n-1})$	$\Delta t / \Delta P$
0,00	11,50	25,00	0,06	416,67
25,00	11,44	8,00	0,07	114,28
33,00	11,37	8,00	0,06	133,33
41,00	11,31	19,00	0,06	316,67
60,00	11,25	11,00	0,06	183,33
71,00	11,19	10,00	0,07	142,85
81,00	11,12	62,00	0,18	344,44
143,00	10,94	18,00	0,07	257,14
161,00	10,87	20,00	0,06	333,33
181,00	10,81	18,00	0,06	300,00
199,00	10,75	108,00	0,31	348,38
307,00	10,44	6,00	0,06	100,00
313,00	10,38	20,00	0,07	285,71
333,00	10,31	16,00	0,06	266,66
349,00	10,25	24,00	0,06	400,00
373,00	10,19	22,00	0,07	314,28
395,00	10,12	30,00	0,06	500,00
425,00	10,06	34,00	0,06	566,66
459,00	10,00			
SUMA				5323,78
PROMEDIO				280,19

Tabla 6.4. Datos obtenidos de la prueba de los tiempos de alivio del tanque Bullet.

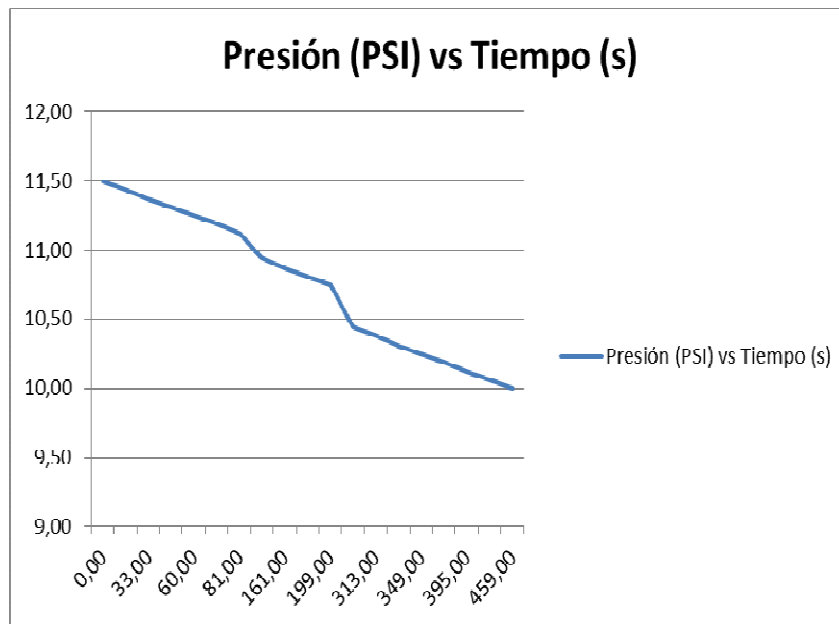


Figura 6.3. Gráfica de la prueba de los tiempos de alivio del tanque Bullet.

La tabla 6.4 muestra los datos adquiridos de las pruebas realizadas para la obtención de los tiempos de alivio del tanque Bullet, con estos datos se estima un tiempo promedio de 280,19 segundos por cada unidad de presión en PSI quemado. La figura 6.3 muestra la tendencia de reducción de presión en el tanque Bullet a través del tiempo en donde se aprecia que la variable de presión dentro del tanque es afectada por la temperatura del medio ambiente.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES.

- Una vez culminado el diseño e implementación del proyecto dentro de los plazos establecidos, se han cumplido todos los objetivos planteados, cubriendo todas las necesidades inherentes al sistema del Quemador y Generador Frontal de Llama de La Estación Osayacu Del Poliducto Shushufindi-Quito.
- Previo a la automatización de la TEA de incineración de gases, fue necesario realizar un levantamiento del proceso con la finalidad de conocer la situación real del sistema, establecer la necesidad de rediseño del mismo, determinar cuáles serán las mejores alternativas para automatizarlo y analizar la factibilidad del desarrollo del proyecto.
- Para el desarrollo de un proyecto es fundamental realizar el diseño y la implementación del mismo siguiendo los lineamientos que proporcionan las distintas normas nacionales e internacionales, con la finalidad de realizar un trabajo estandarizado y seguro, lo cual es posible solo si se ha investigado y analizado todas las normas relacionadas al proyecto.

- Se determinó que no es necesario utilizar oxígeno para la generación de una llama estable con el poder calorífico necesario para encender el sistema, ya que resulta costoso mantener el suministro del mismo, además, las pruebas de la llama piloto sin este elemento demostraron que es suficiente el oxígeno que existe en el ambiente.
- Para la adquisición e instalación de equipos eléctricos y electrónicos dentro de la industria petroquímica, donde el ambiente es considerado inflamable, es necesario realizar todas las adecuaciones necesarias con la finalidad de garantizar que las instalaciones cumplan con las seguridades pertinentes para este caso.
- En el sistema de automatización de la torre de quemado de gases es necesario contar con un mecanismo de detección de llama, que cumpla con las características de seguridad, confiabilidad y rápida reacción, además de estar construido para ambientes peligrosos ya que este elemento es parte fundamental del funcionamiento íntegro del sistema.
- Para la selección de actuadores es necesario realizar un sobre dimensionamiento de las capacidades y características de los mismos con la finalidad de garantizar un correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.
- Debido al riesgo que representa el proceso de incineración de gases en la TEA, es preciso dotar al sistema de un procedimiento de confirmación de activación en busca de prevenir encendidos erróneos que pongan en peligro la integridad de la Estación.
- El monitoreo local de un proceso tan riesgoso es imperativo, y hace obligatorio la dotación de un tablero de control ubicado a una distancia que permita supervisar el sistema de forma correcta y segura.

- Para garantizar una correcta comunicación entre el autómata programable ubicado en la caja de control y la pantalla táctil instalada en la sala de operaciones, y también para dotar al protocolo UNI_Telway de una distancia mayor a la cual fue diseñado, atenuando el ruido que se presenta en ambientes industriales, es necesario utilizar un cable apantallado dentro de tubería conduit rígida.
- Pese a la antigüedad del autómata TSX Nano, se pudo establecer comunicación entre este y la red de control de la estación a través de la pantalla táctil Magelis XGBT 4330, gracias a la estandarización de los protocolos, lo cual facilitó el acceso a variables necesarias para el funcionamiento del sistema.
- Para el desarrollo de la interfaz gráfica fue necesario adecuar el diseño de la misma, a los esquemas del resto de interfaces que se encontraban previamente implementadas en la pantalla táctil Magelis XGBT 4330, con la finalidad de facilitar la familiarización del operador con la nueva pantalla que monitoreará el proceso de incineración de gases en el quemador y generador frontal de llama de la estación Osayacu.
- Para mejorar la eficiencia, disminuir costos y facilitar la automatización del proceso de quemado de gases fue necesario rediseñar el sistema original, direccionando el flujo del combustible hacia la punta de la TEA, mediante la instalación de válvulas anti retorno, lo cual permite encaminar el flujo y eliminar válvulas solenoides que hubieran sido necesarias si se utilizaba el esquema original.
- Tras treinta años de un quemado de gases de forma rudimentaria e insegura, la implementación del sistema de automatización de la TEA, le brindan a la estación Osayacu del Poliducto Shushufindi-Quito, un proceso de quemado de

gases totalmente rediseñado y rehabilitado que funciona bajo normas de seguridad y minimiza el riesgo para el operador y para la planta.

7.2. RECOMENDACIONES.

- Para minimizar el impacto de la quema de hidrocarburos líquidos en la TEA, se recomienda instalar un pulverizador en la punta de la misma para que se quemé de mejor manera este tipo de combustible.
- Para evitar el ingreso de material extraño a las tuberías de las líneas principales a través de la punta de la antorcha, es recomendable colocar una tapa a las mismas, que permita el flujo del combustible cuando la TEA sea activada y obstruya el ingreso de sedimentos cuando ésta se encuentre inactiva.
- Se recomienda instalar luminaria en las cercanías de la caja de control de la TEA, para facilitar la operación del sistema en la noche cuando la iluminación en esta zona es baja.
- Es recomendable cubrir el dique de contención de la TEA con geomembrana con la finalidad de reducir el riesgo de contaminación del suelo por causa de derrame al quemar combustible líquido.
- Para tener el sistema operativo y realiza la quema de gases sin inconvenientes, es recomendable realizar mantenimiento preventivo de cada uno de los componentes eléctricos y mecánicos que conforman el sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Gilbert W. Castellan, FISICOQUÍMICA, Propiedades empíricas de los gases, Segunda edición (México: 1998). p. 8-28.

[2] Johnson, T.W.; Berwald, W.B.; Flow of Natural Gas Through High-Pressure.

Transmission Lines, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Monograph 6, A Joint Report.

[3] Walker, W.H.; Lewis, W.K.; McAdams, W.H., Principles of Chemical Engineering; 2a Ed., pág. 112, New York, 1927.

[4] Reynolds, Osborne; An Experimental Investigation of the Circumstances; Phil. Trans. Royal Soc. London, vol 174, pág. 935-982, 1883.

[5] Prandtl, L., Essentials of Fluid Dynamics, Hafner Publishing Company, New York, 1952.

[6] DAILY, James W.; HARLEMAN, Donald R.F. fluid dynamics. Dinámica de los Fluidos, México. F. Trillas, S.A., 1969, 511 p.

[7] Robert L. Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada, Cuarta Edición, (México 1996), p. 145-189 .

[8] José Emilio López Sopeña, Manual de instalaciones de GLP, CEPSA ELF GAS S.A., 2001, p 21-32.

[9] Ecopetrol,

<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoysumundo/refinacion3.htm>.

[10] Storch de Gracia J.M., Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras, Volumen II, Mc Graw Hill, España, 1998, p. 442.

[11] http://www.combustionindustrial.com/img/GLP_propano_o_butano.pdf [En línea]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de bloques del sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama.	5
Figura 2.1. Tetraedro del fuego.	18
Figura 2.2. Sistema de desfogue de una refinería [9].	21
Figura 2.3. Componentes de un quemador y generador frontal de llama. [10].	26
Figura 2.4. Presión de Vapor del butano y propano	29
Figura 4.1. Diagrama esquemático original del quemador y generador frontal de llama.	40
Figura 4.2. Diagrama de bloques del sistema de automatización del quemador y generador frontal de llama.	41
Figura 4.3. Diagrama esquemático del piloto de ignición de llama	44
Figura 4.4. Diagrama esquemático del quemador y generador frontal de llama.	49
Figura 4.5. PLC Modicon TSX Nano.	60
Figura 4.6. Interruptores de Presión líneas principales.	62
Figura 4.7. Sensor de Fuego	62
Figura 4.8. Punta de encendido.	63
Figura 4.9. Transformador.	64
Figura 4.10.a Solenoide Piloto	64
Figura 4.10.b Solenoide líneas Principales	64
Figura 4.11.a Reguladora Piloto.	65
Figura 4.11.b Reguladora líneas Principales	65
Figura 4.12. Actuador Honeywell de válvula de salida Bullet.	65
Figura 4.13. Diagrama de flujo del Quemador y Generador frontal de llama.	69
Figura 4.14. Diagrama Grafcet del Quemador y Generador frontal de llama.	71
Figura 4.15.a. Diagrama P&ID del quemador y generador frontal de llama	72
Figura 4.15.b. Diagrama P&ID del piloto del quemador y generador frontal de llama.	73
Figura 4.16. Caja de control	74
Figura 4.17. Arquitectura de Red.	76

Figura 4.18. Pantalla Táctil Maguelis XBTG 4330.....	77
Figura 4.19.a. Pantalla Principal	82
Figura 4.19.b. Pantalla Principal con créditos.....	82
Figura 4.20. HMI de la TEA de Incineración.....	83
Figura 4.21.a. Pantalla emergente de confirmación de activación desactivada	84
Figura 4.21.b. Pantalla emergente de confirmación de activación activada.	84
Figura 4.22. Pantalla emergente de configuración	85
Figura 4.23. Diagrama de Bloques de número de conductores por elemento eléctrico.....	92
Figura 4.24. Diagrama de Bloques de número de conductores por elemento eléctrico con tubería.....	94
Figura 5.1. Conexiones para la implementación en la sección de ignición.....	96
Figura 5.2. Ensamblado final de la sección de ignición	96
Figura 5.3. Instalación del componente de Ignición de la TEA de incineración.....	97
Figura 5.4. Componentes del sistema de ignición piloto instalados.....	97
Figura 5.5. Terminal del cable de la punta de encendido	98
Figura 5.6. Caja de seguridad con transformador instalado	99
Figura 5.7. Válvula solenoide piloto instalado.....	99
Figura 5.8.a. Tren de válvulas antes.....	100
Figura 5.8.b. Tren de válvulas después	100
Figura 5.9. Componentes nuevos del sistema instalados en las líneas principales 1 y 2.....	101
Figura 5.10. Válvula anti retorno de la línea de entrada del tanque Bullet instalada	101
Figura 5.11. Válvula anti retorno de la línea del manifold de válvulas instalada	102
Figura 5.12. Actuador rotativo de la válvula de salida del Bullet instalado.....	102
Figura 5.13. Instalación eléctrica de las válvulas solenoides y de los interruptores de presión de las líneas principales 1 y 2	103
Figura 5.14. Instalación eléctrica del actuador rotativo en la zona del tanque Bullet.....	104
Figura 5.15.a. Instalación eléctrica del sensor de llama del manual.	105

Figura 5.15.b. Instalación eléctrica del sensor de llama.....	105
Figura 5.16.a. Elementos de la caja de control instalados.....	105
Figura 5.16.b. Elementos de la caja de control instalados en el campo.	105
Figura 5.17. Diagrama de construcción del cable XBT-Z9688.....	106
Figura 5.18. Diagrama de construcción para el remplazo del terminal DIN 8 del cable TSX PCU 1030.....	107
Figura 5.19. Conexión del PLC con la PC para su programación.....	107
Figura 5.20. Conexión del PLC con la pantalla táctil Magelis para monitoreo	108
Figura 5.21. Conexión del cable de comunicaciones con el PLC en la caja de control.	108
Figura 6.1. Resultado de la prueba de secuencia de encendido.....	111
Figura 6.2. Resultado de las pruebas de secuencias de apagado	115
Figura 6.3. Gráfica de la prueba de los tiempos de alivio del tanque Bullet.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Poder calorífico de combustibles (en estado gaseoso a las condiciones de una atmósfera de presión y una temperatura de 20° C)	15
Tabla 2. 2. Poder calorífico del Propano y Butano en estado Líquido	15
Tabla 2. 3. Valores característicos básicos de los GLP comerciales	17
Tabla 2. 4. Límites de inflamabilidad.	18
Tabla 2. 5. Equivalencias del GLP en estado líquido y estado de vapor.	19
Tabla 2. 6. Promedio de la composición en aire ambiente.	20
Tabla 4. 1. Consumo en BTU/H de aparatos comunes.	49
Tabla 4. 2. Características de la Válvula Reguladora de Presión para el piloto de ignición.	50
Tabla 4. 3. Características de la válvula solenoide para el piloto de ignición.	50
Tabla 4. 4. Presiones en el quemador y generador frontal de llama.	53
Tabla 4. 5. Características de la Válvula Reguladora de Presión para los quemadores principales.	53
Tabla 4. 6. Características de la válvula solenoide para los quemadores principales... ..	55
Tabla 4. 7. Descripción de variables del proceso.	63
Tabla 4. 8. Características básicas PLC Modicon TSX Nano.	66
Tabla 4. 9. Características de sensores y actuadores.	73
Tabla 4. 10. Acciones y relaciones de las etapas del proceso.	74
Tabla 4. 11. Tabla de protocolos de comunicación de cada dispositivo.	81
Tabla 4. 12. Tabla de características básicas de la Pantalla Táctil.	84
Tabla 4. 13. Tabla de los elementos que componen la HMI.	88
Tabla 4. 14. Tabla representaciones.	94

Tabla 4. 15. Cargas de cada dispositivo eléctrico.....	96
Tabla 4. 16. Calibres AWG.	98
Tabla 4. 17. Calibres AWG para dispositivos eléctricos.....	99
Tabla 4. 18. Máximo número de conductores en una tubería rígida conduit.	101

REFERENCIAS DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

EP: Empresa Pública.

CEPE: Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana.

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

EP: Empresa Pública.

P: Presión final.

P_0 : Presión inicial.

M: Masa molecular.

g: Aceleración de la gravedad.

$h - h_0$: Diferencia de alturas

R_u : Constante universal de los gases.

T: Temperatura absoluta.

ρ : Densidad de flujo.

v : Velocidad promedio de flujo

A: Área de la sección transversal.

°C: Grados Centígrados.

Kcal: Kilocalorías.

Kg: Kilogramos.

m³: Metros cúbicos.

BTU (en inglés): Unidad Térmica Británica.

lb: Libras.

BAR: Unidad de presión aproximadamente igual a una atmosfera.

ABS: Absoluto.

KWh: Kilovatio hora.

N₂: Nitrógeno.

O₂: Oxígeno.

A: Argón.

CO₂: Dióxido de Carbono.

PSI (en inglés): Libras por Pulgada Cuadrada.

API: American Petroleum Institute.

IEC: International Electrotechnical Commission.

OSHA: Occupational Safety & Health Administration.

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health.

NFPA: National Fire Protection Association.

NESC: National Electrical Safety Code.

NETA: InterNational Electrical Testing Association.

NAG: Norma Argentina.

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTP: National Pipe Thread.

W: Vatios.

PLC (en inglés): Controlador Lógico Programable.

HMI (en inglés): Interfaz Humano Máquina.

VDC (en inglés): Voltaje de Corriente Directa.

Hz: Hertz.

VA: Voltamperio.

A: Amperios.

Nm: Newton.

S: Segundos.

TCP (en inglés): Protocolo de Control de Transmisión.

IP (en inglés): Protocolo Industrial.

RS: Recommended Standard.

RJ: Registered Jack.

EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory.

SRAM: Static Random Access Memory.

VA: Valor Actual.

SP: Set Point.

AWG (en inglés): Calibre de Alambre Estadounidense.

mm: Milímetros.

FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando, en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, de..... del 2012.

Ing. Víctor Proaño

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

Los Autores:

Galo David Andrade Terán

Luis Fernando Idrovo Cajas