

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y
QUIMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**EVALUAR LOS PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONTROL DE
LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD ASOCIADAS A EL
SISTEMA DE RECEPCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS
NATURAL EN LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DEL
COMPLEJO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI.**

Realizado por:

ALILET JOSÉ FERNÁNDEZ LUNAR
WILMER RAFAEL RODRÍGUEZ ESPINOZA
CARLOS JORGE DOSLAKIAN GARCÍA
ESTEBAN JOSÉ BRICEÑO SALAZAR

Puerto la Cruz, Abril de 2008

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**EVALUAR LOS PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONTROL DE
LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD ASOCIADAS AL SISTEMA
DE RECEPCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL EN LA
PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DEL COMPLEJO JOSÉ
ANTONIO ANZOÁTEGUI.**

JURADO

ING. PATIÑO. RAYDA

Jurado Principal

ING. SALAS. YRAIMA

Jurado Principal

ING. AVENDAÑO. ISVELIA

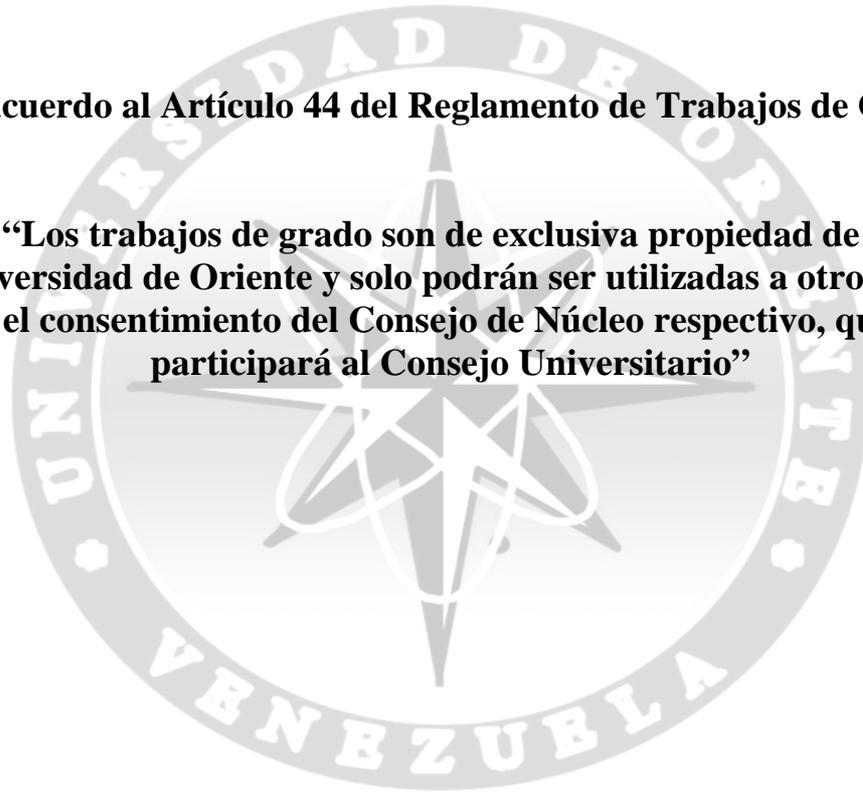
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Abril de 2008

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”



DEDICATORIAS

Primeramente quiero dedicar estas líneas a DIOS TODOPODEROSO por ser mi creador, concederme la fuerza interior cuando más la he necesitado, guiarme para alcanzar este triunfo y sobre todo por estar siempre a mi lado.

A los seres más importantes de mi vida, mis padres Leonel y Alina de Fernández, por darme tanto amor, dedicación, apoyo incondicional, por ser ejemplo de trabajo y constancia, gracias por hacer de mi lo que soy. Las palabras son pocas para expresarles todo mi agradecimiento por eso este triunfo se los dedico de ustedes. Los quiero mucho y que Dios los bendiga siempre.

A mi hermano Leonardo por ser mi compañero durante tantos momentos en mi vida, gracias porque aunque no estemos juntos se que puedo contar contigo.

A mi sobrino Alejandro por ser tan especial, porque cada día iluminas nuestras vidas y las llenas de tanto amor. Espero que este triunfo sirva de guía en tu camino. Te quiero mucho.

A mi tía Leovanis, gracias por regalarme tú cariño, consejos y sobre todo tu confianza. Eres ejemplo de vida y siempre vas a ocupar un lugar muy especial en mi corazón.

A la memoria de mi hermano Alexis Fernández, fuiste y seguirás siendo muy especial en mi vida, y se que donde estés compartes mi alegría. Nunca te olvidaré.

A José Rafael Brito Martínez, te agradezco por tu amor y paciencia, por ser mi amigo y mi compañero de tantos años. Hay gente que llega y sale de nuestras

vidas sin dejar huella y otras que llegan para quedarse como lo hiciste tú. Gracias por hacerme feliz. Te quiero Mucho.

A los señores Maribel y Ángel Echeverría por apoyarme cuando más lo he necesitado, por brindarme tanto amor y en especial por enseñarme que la familia no es un lazo de la sangre si no del corazón. Gracias por ser mi familia. Y aunque ya no estemos tan juntos como antes siempre los tengo presentes y estaré eternamente agradecida.

A mis grandes amigos, Adriana Cabrera, Claudia y Emma Caserta, Darwin López, Víctor Miguel Núñez, Manuel de Jesús González y Daniel Rivas. Por brindarme siempre su apoyo, cariño y por lograr que cada lágrima se convirtiera en sonrisa. Gracias por compartir este camino conmigo.

Alilet José Fernández Lunar

Ante todo quiero dedicarle este logro a mi dios todo poderoso por estar siempre conmigo. En los momentos duros de mi vida y carrera. El nunca me a abandonado.

A mi Mama (Yumelys) por haberme traído a este mundo. Y hacer de mí la persona que soy, gracias Mama por darme siempre tus oraciones en los momentos de tristeza y alegría que he tenido a lo largo de mi vida. Dios me a bendecido por tener una Mama como tu. Gracias Mama Te quiero mucho.

A mi papa (Freddy) por ser un padre con un gran corazón y bellos sentimientos. También por siempre estar hay para ofrecerme su apoyo para seguir adelante y nunca decaer. A lo largo de toda mi vida me has enseñado a ser una persona de afrontar los retos que se presenten. Te quiero mucho papa sin tu apoyo no se si lo hubiera logrado. Por eso Este logro también es tuyo Gracias papa.

A mi abuela (Cirila) y mis tíos (Henry, Guillermo, Agustín, Luís, Rodolfo y Lilian) por siempre estar pendiente de mi ofreciéndome su apoyo. A mi abuelos que ya no están en esta vida conmigo (San Tomo, Martina y Candida), pero están muy adentro de mi corazón nunca los olvidare. Se que desde halla arriba me han de bendecir.

A mi corazoncito bello Elimar por ser una persona muy especial con un corazón muy bello y por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles por apoyarme y tenerme paciencia, sin importar las consecuencias. Juntos hemos aprendido a luchar contra las adversidades, a crecer como personas y a vivir cada momento de la vida. Este logro también es tuyo porque me enseñaste algo más de lo que una Universidad puede enseñarme y es el amor... TE AMO

A mis hermanos (Freddy, Johanna, Maiker, Richard y cristina) por ser los mejores hermanos que dios me pudo dar. Los quiero mucho. A mis sobrinos (Marcelo, Ruth, Valesca y Noemí) por ser el nuevo futuro de mi familia.

Wilmer Rafael Rodríguez Espinoza

En primer lugar quiero dedicarle mi gran logro a mi Dios todo poderoso, mi dios tú sabes por lo que he pasado y siempre has estado ahí para cuidarme y ayudarme a seguir adelante cuando por algún motivo dude en poder realizar esta meta.

Desde que me propuse realizar esta gran meta que por mi esfuerzo y el de muchos veo hoy en día realizada, siempre quise de alguna manera que mis padres (Guadalupe y Kevork) se sintieran orgullosos de mi desde el primer momento que comencé mi carrera; se que muchas veces los decepcione o de repente ustedes esperaban mucho de mi y no supe cubrir su expectativa, pero se que ustedes siempre confiaron que yo sí podía realizar y finalizar mi carrera, por eso les dedico este gran esfuerzo que realice para poder obtener mi soñado titulo de

“ingeniero de petróleo”, quiero que los dos sepan que con su forma de ser particular y sus maneras tan distintas de ver y luchar en la vida, me inculcaron en los mas profundo de mi ser las ganas de vivir y hacer las cosas como es debido, ustedes tienen mucho mas merito en esto de lo que piensan, ustedes dos son los principales escultores de mi carácter y de mi ser. Papa tu para mi eres mi pilar, siempre fuiste y seguirás siendo un ejemplo de las cosas correctas, eres para mi ejemplo de excelencia y perseverancia, eres mi ídolo y quiero que sepas que me siento orgulloso de ti y le doy gracias a dios por tenerte como padre, te quiero con todas mis fuerzas. Mama tu para mi eres mi otro pilar, te agradezco por ser mi punto de espiritualidad, tu siempre me irradiaste confianza, serenidad y amor, me siento orgulloso de ti, de cómo eres, tu eres mi pichurrita, te adoro de aquí a la luna me siento orgulloso de ti y de ser tu hijo, gracias.

A mis hermanos Sarkis Kevor, Juan José y Gregory Kevork, este trabajo se los dedico con todo mi corazón, por que este es un vivo ejemplo del que “quiere puede” y solo les digo con la mejor intención del mundo, esto que yo estoy obteniendo ahora les sirva de ejemplo para ustedes mejorar cada día y ser mejores en cada aspecto de su vida, “el que persevera alcanza”, no importa los obstáculos que se encuentren en el camino, tomen esto de mi para ustedes por que al igual que mis padres tienen que ver mucho en esto. Tu YONNI, que detrás de esa gran pared de piedra que construirte al frente esta el hermano patriota, considerado, humilde, sincero y perseverante que siempre me ha ayudado, a SARKIS por ser sincero en los momentos justos, por ponerle mucho entusiasmo a las pequeñas y grandes metas y por enseñarme que a pesar de las dificultades siempre hay que seguir luchando, gracias por ayudarme, y a mi hermanito KIKO, por ayudarme a rescatar aquella humildad que algún momento creí desaparecida de mi, gracias por ser solidario conmigo sin pensar en el mal que pude haberte hecho en algún momento, te dedico esto especialmente a ti por que tu eres el que queda con el “testigo” y debes llevarlo hasta el final como lo lleve yo hacia tus manos, te toca correr y alcanzar lo que mas deseas, gracias por ser tan profundo e ingenuo en tus sentimientos, te quiero “pata pata”.

A mi tío José Antonio le dedico este gran esfuerzo, por que usted en momentos difíciles y claves en mi vida siempre tenía la palabra mas adecuada, le dedico esto con todo mi corazón, por enseñarme a ver las cosas desde otro punto de vista y por ser para mi un segundo padre, y no me importa lo que los demás piensen de usted, ten siempre presente que tu fuiste el que dio el ultimo toque para ser lo que soy hoy, ahí te lo dejo “POTENAY” ...ruédalo.

A los sobrinos mas bellos y hermosos Jorge Armando y Maria Valeria, les dedico mi triunfo para que tengan de mi el mas grande de los ejemplos, por que siempre he querido lo mejor para ustedes y esto que estoy consiguiendo hoy les sirva a ustedes como un gran consejo de por donde o por cual camino deben transitar para lograr sus futuras metas.

Carlos Jorge Doslakian García

Dedico este trabajo de grado a la memoria de mi padre Teodoro Briceño, quien falleció el 1ro de abril de 2008.

También se lo dedico a mi madre Estebina, mi esposa Carmen, a mis hijas Marian y Ariannys, mi hermano David y a todas aquellas personas que me estiman y me dieron aliento y fuerzas durante todos estos años de estudio

Esteban José Briceño Salazar

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento más profundo a la Universidad de Oriente, por permitirme entrar en sus aulas y forjarme como profesional, espero que por muchos años siga siendo el hogar de miles de estudiantes, y nunca deje de brillar como “La Casa Más Alta”.

Al profesor Rafael Barraeta por toda la confianza y el apoyo brindado. Que Dios lo ilumine para que continúe con todos sus sueños en pro de una mejor Universidad. Siga Adelante.

A las señoras Deuglis Salcedo y Mireya Álvarez quienes me apoyaron tanto a lo largo de la carrera. Siempre les estaré profundamente agradecida.

Agradezco a la Ing. Isvelia Avendaño por su brillante asesoría y dedicación. Mi respeto y cariño para usted.

A mis compañeros Wilmer Rodríguez, Calos Doslakian y Esteban Briceño les doy las gracias por todo su espíritu de compañerismo, colaboración y paciencia. La tarea no fue fácil pero salimos adelante, muchas gracias.

A mi amiga Nathalie Barreto y Maria Gondelles, gracias por regalarme su amistad y compartir conmigo tristezas y alegrías. Espero que la vida les conceda todo lo que deseen porque de verdad son muy especiales.

Al señor Héctor Lárez por toda su colaboración brindada.

Alilet José Fernández Lunar

En primer lugar a DIOS por darme la vida y permitirme alcanzar esta meta que hoy disfruto junto a las personas que AMO....

A mis amigos de Áreas de Grado (Carlos Doslakian, Alilet Fernández y Esteban Briceño) por compartir todos los momentos en esta difícil tarea. Juntos aprendimos nuevas experiencias y vivimos momentos difíciles que nos ayudaron a crecer profesionalmente y a seguir adelante sin mirar atrás.

Mi agradecimiento más profundo a la Universidad de Oriente, “La Casa Más Alta”. Por permitirme entrar en sus aulas y forjarme como profesional, espero que por muchos años siga siendo el hogar de miles de estudiantes.

A mis amigos Jesús La Rotta, Carlos Doslakian (Wini), Franco Bittar (Piri), Crismary Itriago, Eusmary Rodríguez, Pamela Iabichela, Carhen Aparcedo, Rosita, Francelys Contreras (La Fuerte), Iliana Martines(La parmerosa), Jesús (Caracas), Andrés (Clímaco), Armando Marcano, sager Gómez, Gabriel (Gabo), Daniel Gorgones, Amable Marcano, Julio Mata(Julito), Juan Carlos (Palomino) y Rosilvis (La negra), Ahmed Vásquez (la bestia), Omar Brito (el chiliz), Heibri García, Mara Morales, María Villegas, Mariangela, Marisadelis por haber estado conmigo en todos los buenos y malos momentos que vivimos a lo largo de nuestra estadía en la UDO. Gracias por ser mis amigos los quiero mucho, les deseo a todos lo mejor del mundo.

A la señora Amarelis por ser una persona tan especial y por haberme prestado su apoyo cuando lo necesite. A Elier José, Yurimar, David, Carol, Aisbel y Maryori por ser unas muy buenas personas, de buenos sentimientos y muy parranderos.

A la profesora Isvelia Avendaño por su valiosa asesoría en la realización de este proyecto. Gracias por aportar todo su conocimiento para el desarrollo de nuestro aprendizaje...

A todas las personas que contribuyeron de forma directa e indirecta en la culminación de este trabajo...

Wilmer Rafael Rodríguez Espinoza

En primer lugar quiero darle las gracias al ser que me dio la oportunidad de vivir, al ser que siempre ha confiado en mi, al que siempre me ha acompañado en todos mis altos y bajos, al que sin nada a cambio quiere lo mejor para mi, a ti mi Dios todo poderoso, te amo y te agradezco que me hallas ayudado alcanzar esta meta.

A mis compañeros de monografía, Wilmer Rodríguez, Alilet Fernández y Esteban Briceño, les agradezco todo lo que hicieron por la realización de este trabajo a pesar de las indiferencias y dificultades que tuvimos entre nosotros pudimos llevar a cabo la culminación de nuestro trabajo de grado, a ustedes gracias por su paciencia.

A la casa mas alta “La Universidad De Oriente”, por ser mi hogar mañana, tarde y noche durante 7 años, de ti aprendí muchas cosas, aprendí a fraternizar, aprendí a comunicarme, aprendí a relacionarme, aprendí a ver quien es quien, aprendí a que todo no es como lo pintan, aprendí a ser político en ciertas cosas y con ciertas personas, aprendí el valor de la perseverancia, aprendí que algunas veces en la vida existen situaciones que son tan cuesta arriba que parecieran imposibles de alcanzar, pero solo la perseverancia y las ganas de luchar son la única arma para vencer esos obstáculos; de ti aprendí UDO, aprendí a quererte, pero nunca me enseñaste una cosa muy importante, nunca me enseñaste a dejarte, por eso sostengo que soy y seré por siempre tu hijo y siempre te llevare en mi corazón gracias.

A mis mejores amigos de Cumana Gregory Godeliet, José Ignacio Godeliet (Nacho), Ramón Manzella (el Moncho), Anyer Manzella, Paúl (pitufo), Yerily Blanco (mi Negra), mis panas Guicho, Jorgito Reynaldito y Guatalo, que dios los tenga en su gloria, mi compadre Grabiél (el Goo), Saul (el Guity), David (la vara), Daniel (1/4 nariz), y Alexander (4 pepas) por ser como son y por brindarme su sincera amistad, gracias por apoyarme en momentos en que viví cosas feas, gracias por creer en mí en todo momento, los quiero mucho.

Te agradezco Maria Francia por que fuiste mi primer gran paso, te agradezco todo lo que llegaste hacer por mí, tú me impulsaste hacia esto, te quiero mucho, también le agradezco a tu madre por su confianza, y por abrirme las puertas de su casa, la quiero mucho, gracias.

A mis panas de Puerto La Cruz, Rubén (el toro), Álvaro (el sapo) y Anita mis panitas del alma ustedes fueron los primeros, a Francisco, el Gordo Gordo y Jesús (chuo), a Omar (el mojojajo), a Juan Bravo (Maracay), Omar (chiliz), Juan Cedeño (el carupanero), Mionelys y Mariana Salas, mi hermanazo Wilmer (barney), Cahren (la negra diabla), Jesús La Rotta (el diablo), mi hermanazo Jorge Franco (piripicho), Rosita (pitufa), Jesús (Caracas), Armando Villarruel (Armándote), Luís Marcano, Eduardo Salazar, Julio Mata (julito), Andrés (el Clímaco), Amable Marcano, Gabriel (el Gabo), el pana Eduardo “Matajei”, el Pana Erick Millán (erucho), el Pana David (el chonpiras), a mi hermanita Anita González Bottini (la huérfana), el Pana José Luis Marcano (mancha), Ferdussi (fercho), Crismarys Itriago (Cris), ILeana Martínez (la palmeroza), Rud García, Daniel Gorgones, Yupsi (la potra), Adrián, Romesis y Jhon (los cielos), el pana “Perola” y “Nany” por estar conmigo en las buenas y en las malas y por ser como son, además de ayudarme a lo largo de mi carrera, desde aquellos que en algún Parcial me facilitaron un Lápiz o una mina, o un sacapuntas hasta aquellos que me secaron las lagrimas en tiempos difíciles y aquellos que me regañaban por hacer las cosas mal, también aquellos que me brindaron la comodidad de su cama cuando había que estudiar hasta tarde y aquellos que sin pedir nada a cambio me

abrieron las puertas de su casas, a todos ustedes gracias siempre los tendre en mi corazón.

Le agradezco a un ser muy especial para mi, Eusmarys Rodríguez, tu eres mi hermanita del alma yo te quiero de aquí a la luna, te doy las gracias por brindarme esa amistad tan sincera que tenemos, yo contigo para lo que sea, eres un ser muy especial, a pesar de tu carácter fuerte eres un ser con unos sentimientos muy especiales, no cambies nunca que así estas fina y gracias por estar conmigo en los momentos mas apremiantes en mi vida de Universitario.

Le agradezco a una personita muy especial que apareció en mi vida de manera sorpresiva, ella representa la estirpe de una mujer con guáramo, con carácter, una mujer “echa pa lante”, ella es mi Ñeñe, gracias Rosilvis Romero, por tu apoyo incondicional por aguantarme tantas cosas y por ser como eres, te agradezco el gran apoyo que me diste en los momentos mas difíciles en la realización de mi trabajo de grado tu fuiste fundamental, yo I ...Much.

Le agradezco de todo corazón a la familia Valles, especialmente a mi viejita Cruz, y a mi viejo Cesar que en paz descanse, a mi tío Daniel, a la Señora Dianora, Al señor Oscar Febres por abrirme las puertas de sus casas, por brindarme apoyo incondicional y por entenderme y quererme tanto, de verdad muchas gracias, los quiero mucho.

Le agradezco a la familia Diluca de todo corazon por ser mi segunda familia, gracias a cada uno de ustedes, te doy las gracias Mariu por ser tan buena amiga y por ser tan sincera conmigo, te doy las gracias por poner en alto nuestra amistad, a mi segunda Mama, mami Eugenia por hacerme sentir en casa, tu vales mucho mami, a Genarito por recordarme todos los días que tengo un hermano pequeño que tengo que cuidar y apoyar, me recordabas mucho a mi hermano pequeño, a mis primos Angelito y Fernando por brindarme su confianza y hacerme sentir como de la familia, a Mauralis por ser tan especial conmigo y

brindarme su amistad tan sincera y bonita y al señor Angelo por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir en casa, a todos muchas gracias siempre los tendré en el corazón.

Carlos Jorge Doslakian García

Le agradezco ante todo a Dios por permitirme cumplir mi sueño de ir a la universidad y graduarme, solo por medio de él pude alcanzar todas mis metas.

También agradezco a mi madre Estebina por darme todo su apoyo y lamento que mi padre Teodoro ya falleció y no pueda acompañarme físicamente en este momento, pero se que su espíritu me esta guiándome y se siente complacido por todos mis logros.

Agradezco a todos mis familiares por ser tan pacientes y todos los profesores y compañeros de estudios por su gran colaboración.

Esteban José Briceño Salazar

RESUMEN

Este trabajo presenta la descripción del proceso de recepción de líquidos del gas natural (LGN) y los dispositivos que regulan el control de los equipos que se encargan de la recepción, primero se hablará del proceso de extracción de LGN en la planta de san Joaquín, el líquido es enviado luego a través de poliductos a la Planta de Fraccionamiento de JOSE, donde es recibido por el sistema de recepción (balas). Para poder entender el funcionamiento del sistema de recepción es indispensable determinar ciertos parámetros como lo son: especificaciones de diseño del poliducto, además de la presión y temperatura a la cual es transportado el LGN. Otros factores que se tomaron en cuenta para la comprensión del funcionamiento del sistema de recepción son las variables presentes en el LGN que entra a las balas, realizando una simulación con el programa Hysys, el cual permitió crear las envolventes de fases que demostraron que el LGN se mantiene en fase líquida durante todo su transporte. Se analizaron las posibles fallas operacionales y sus consecuencias en el sistema, así como los procesos de control, destacando el funcionamiento del elemento final de control (válvulas). La finalidad de esta evaluación fue determinar el grado de seguridad con que trabajan las balas de almacenamiento, a través del estudio del diseño y control de las válvulas de venteo y de alivio de presión, y por último sugerir el uso de válvulas de alta tecnología que optimicen el sistema de seguridad en estos recipientes.

INDICE

RESOLUCIÓN	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	ix
RESUMEN.....	xv
INDICE	xvi
índice de figuras y gráficos	xxii
índice de tablas.....	xxvi
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.	22
1.3 Objetivos.....	23
1.3.1 Objetivo general	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
CAPITULO II	26
MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Gas Natural.....	26
2.1.1 Líquidos del Gas Natural (LGN)	39
2.1.2 Gas Natural Licuado (GNL).....	40
2.1.3 Gas Licuado del Petróleo (GLP).	40
2.2 Poliductos.	41
2.3 Complejo Criogénico de Oriente (CCO).....	43
2.3.1 Plantas de Extracción de LGN.....	44
2.3.1.1 Métodos utilizados para la obtención de líquidos	45
2.3.2 Planta de Extracción San Joaquín.....	47
2.3.2.1 Procesos de extracción de líquidos del gas natural de la Planta de Extracción San Joaquín.	49
2.3.3 Planta de Fraccionamiento y Despacho de JOSE.....	57

2.3.3.1 Principales componentes de la planta.....	58
2.4 Válvulas.....	72
2.4.1 Tipos de Válvulas.....	72
2.5 Bombas.....	90
2.5.1 Bombas centrífugas.....	91
2.5.2 Bombas de flujo axial.....	92
2.5.3 Bombas reciprocantes.....	92
2.5.4 Bombas rotativas.....	93
2.6 Control Automático de Procesos.....	94
2.6.1 Términos Importantes en el Control Automático de Procesos... 97	
2.6.2. El Sistema de Control General.....	98
2.6.2.1 Aspectos Generales.....	98
2.6.3 Técnicas de Control Avanzado.....	104
2.6.3.1 Control por Realimentación.....	104
2.6.3.2 Control por Adelanto.....	104
2.6.3.3 Control en Cascada.....	106
2.6.4 Características del Sistema de Control.....	108
2.6.4.1 Control Proporcional (P).....	109
2.6.4.2 Control Proporcional Integral.....	109
2.6.4.3 Sistemas Controlados con Tiempo Muerto.....	109
CAPITULO III.....	114
METODOLOGÍA.....	114
3.1. Revisión Bibliográfica.....	114
3.2 Recopilación y Clasificación de la Información.....	115
3.2.1 Descripción del Proceso de Transporte de Líquidos del Gas Natural (LGN) del Complejo Criogénico de Oriente.....	115
3.2.2 Variables de más importancia en el Transporte y Recepción de LGN.....	115
3.2.3 Funcionamiento y Control de las Válvulas que Protegen al Sistema de Recepción.....	116
3.2.4 Sistema de Protección de las Balas en Caso de Emergencia....	116

3.3 Análisis de la Información.....	117
3.3.1 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación del Poliducto.	117
3.3.2 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación de las Balas.	117
3.3.3 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación de las Válvulas.	117
3.4 Redacción del Trabajo de Grado.	118
CAPITULO IV.....	119
DESARROLLO	119
4.1 Descripción del proceso de transporte y almacenamiento de líquidos del gas natural (LGN) del Complejo Criogénico de Oriente.	119
4.1.1 Descripción del sistema de transporte de LGN.	120
4.1.2 Descripción del sistema de recepción del LGN en la planta de fraccionamiento JOSE.....	123
4.2 Variables de proceso asociadas al transporte y recepción de LGN en la Planta de Fraccionamiento de JOSE.	128
4.2.1 Presión	128
4.2.2 Temperatura.....	129
4.2.3 Composición del LGN.....	130
4.2.4 Relación C2/C3.....	133
4.2.5 Variables de Operación de las Balas.	134
4.3 Válvulas de seguridad asociadas al sistema de transporte y recepción de LGN (balas) y su principio de funcionamiento.	135
4.3.1 Válvulas asociadas al sistema PIC-709541 y PIC-709542.....	135
4.3.2 Válvulas XV-402B8 y XSV-140991.....	136
4.3.3 Válvulas XSV-70902/04/06/08 y XSV-70910/12/14/16.....	138
4.3.4 Válvulas PSV-70903/05/07/09 y PSV-70911/13/15/17.....	139
4.3.5 Válvulas PSV-70901 y PSV-70902.....	140
4.4.2 Escenarios de emergencias asociados al sistema de recepción de LGN	141

4.4.2.1 Variables involucradas.	142
4.4.2 Escenarios de emergencia.....	143
4.4.2.1 Alta Relación C2/C3.....	143
4.4.2.2 Incendio en el área 270 (balas).	145
4.4.3 Medidas de protección del sistema de recepción ante posibles fallas (sobrepresión).....	146
4.5 Causas de la sobrepresión en el sistema de recepción de la Planta de Fraccionamiento de JOSE.....	149
4.6 Características de control del sistema de alivio y venteo.	152
4.6.1 Controladores.....	153
4.6.2 Válvulas de seguridad o alivio.....	154
4.8 Mantenimiento del sistema de válvulas de seguridad asociadas al sistema de recepción del LGN en la planta de fraccionamiento JOSE.....	162
4.8.1 Aspectos de seguridad, higiene y ambiente que se toman en consideración para el mantenimiento de las válvulas asociadas al sistema de seguridad.	164
4.8.2 Materiales y equipos a utilizar.....	165
4.8.3 Instrucciones de Trabajo.....	166
4.8.4 Desarmado de válvula de seguridad y alivio.	167
4.8.5 Armado de la válvula de seguridad y alivio.	169
4.9 Mejoras al sistema de Válvulas de seguridad, aplicación de Nuevas tecnologías.	173
4.9.1 Ventajas de las válvulas de acción indirecta o pilotada.....	175
CAPÍTULO V	177
ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
5.1 Generalidades.	177
5.2 Análisis de las variables operacionales del LGN cuando es transportado por los poliductos de san Joaquín y santa Bárbara hacia fraccionamiento JOSE.....	177
5.2.1 Comportamiento de la presión del LGN desde la planta de extracción de San Joaquín hasta fraccionamiento JOSE.....	177

5.2.2 Comportamiento de la temperatura del LGN desde la planta de extracción de San Joaquín hasta fraccionamiento JOSE.....	179
5.2.3 Comportamiento de la presión del LGN desde la planta de extracción de Santa Bárbara hasta fraccionamiento JOSE.	181
5.2.4 Comportamiento de la temperatura del LGN desde la planta de extracción de Santa Bárbara hasta fraccionamiento JOSE.	182
5.3 Análisis de las variables de presión y temperatura cuando el LGN llega a las balas.	183
5.4 Estudio de la composición del LGN y su relación C2/C3.....	185
5.5 Estudio del Funcionamiento de las válvulas de seguridad.	191
5.6 Análisis de los Escenarios de emergencia.	192
5.7 Estudio de las Causas de la Sobrepresión.....	193
5.8 Análisis de las Características del control del sistema de alivio y venteo.	194
5.9 Estudio de las Medidas de Seguridad.....	195
5.10 Estudio de las Rutinas de Mantenimiento de las válvulas de seguridad.....	196
5.11 Análisis de las Nuevas Tecnologías	197
CAPITULO VI.....	198
CONCLUSIONES	198
RECOMENDACIONES	200
BIBLIOGRAFÍA	201
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO A: VALVULA DE ALIVIO UTILIZADA EN EL AREA 270	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B: TABLA DE INSPECCION, CALIBRACION Y MANTENIMIENTO DE LAS VALVULAS PSV INSTALADAS EN LAS BALAS.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C: DIAGRAMA DE LAS BALAS D8- 70901 Y D8-70902	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	204

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

Figura 1.1 Complejo Industrial JOSE. Estado Anzoátegui.....	21
Figura 2.1 Cadena del gas en Venezuela.	31
Figura 2.2 Balancín de producción	31
Figura 2.3 Buque de transporte de gas natural.....	32
Figura 2.4 Estación de distribución y despacho de gas natural.....	32
Figura 2.5 Cilindros presurizados	33
Figura 2.6 Estación de servicio de GNC.....	34
Figura 2.7 Camión Vibroseis, utilizado para la exploración de nuevos Yacimientos.	35
Figura 2.8 Labores de perforación para la extracción de hidrocarburos.....	36
Figura 2.9 Planta de tratamiento del gas natural.....	37
Figura 2.10 Terminal de recepción del Gas natural.	38
Figura 2.11 Fotografía del sistema de poliducto.....	41
Figura 2.12 Ubicación geográfica del Complejo Criogénico de Oriente.....	44
Figura 2.13 Esquema de procesos de una planta de extracción de líquidos.	45
Figura 2.14 Fotografía de la Planta de Extracción San Joaquín	47
Figura 2.15 Fotografía aérea de la Planta de Fraccionamiento y Despacho JOSE.....	57
Figura 2.16 Fotografía del sistema de almacenamiento de LGN (balas).....	58
Figura 2.17 Bomba de alimentación.	59
Figura 2.18 Intercambiadores de calor.....	60
Figura 2.19 Hornos.	61
Figura 2.20 Tren de Fraccionamiento de LGN.	62
Figura 2.21. Torre Despropanizadora	63
Figura 2.22 Torre Desbutanizadora.....	64
Figura 2.23 Torre Separadora de Butanos.....	65
Figura 2.24 Torre Fraccionadora de Gasolina.....	66
Figura 2.25 Tratadores de tamices moleculares.....	67

Figura 2.26 Condensadores aéreos.....	67
Figura 2.27 Acumuladores de Reflujo.	68
Figura 2.28 Bombas de Reflujo.	69
Figura 2.29 Rehervidores	69
Figura 2.30 Termosifón horizontal	70
Figura 2.31 Mechurrios de servicios.....	70
Figura 2.32 Sala de control.	71
Figura 2.33 Válvula de Compuerta.	73
Figura 2.34 Válvula Macho.	74
Figura 2.35 Válvula de Globo.....	74
Figura 2.37 Válvula de Mariposa.....	76
Figura 2.38 Válvula de diafragma.....	76
Figura 2.39 Válvula de Apriete.....	77
Figura 2.40 Válvula de Retención de Elevación.....	78
Figura 2.41 Válvula de Desahogo.....	79
Figura 2.42 Válvula de seguridad de acción o presión directa.	80
Figura 2.43 Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad convencionales o no compensadas.	82
Figura 2.44 Válvula de seguridad de acción indirecta.....	85
Figura 2.45 válvulas de seguridad equilibradas.	86
Figura 2.46 Válvula de seguridad equilibrada o compensada por pistón.	87
Figura 2.47. Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad compensadas	88
Figura 2.48 Válvula de seguridad equilibrada o compensadas por fuelle con pistón auxiliar.	89
Figura 2.49 bomba centrifuga.	92
Figura 2.50 Control por adelanto y realimentación.	99
Figura 2.51 Control por lazo abierto.....	101
Figura 2.52 Sistema de lazo cerrado.	102
Figura 2.53 Configuración de control por adelanto	105
Figura 2.54 Control por cascada	108

Figura 4.1 Poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara, hacia Fraccionamiento JOSE.....	119
Figura 4.2 Estación automática con actuador neumático y accesorios de control.	121
Figura 4.3 Estación de válvula manual.	122
Figura 4.4 Ubicación de las estaciones de válvulas automáticas y manuales en los poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara.	122
Figura 4.5 Balas de almacenamiento en la Planta de Fraccionamiento JOSE....	123
Figura 4.6 Dimensiones de las balas.....	124
Figura 4.7 Distribución del LGN al conjunto de las Balas de Almacenamiento.	125
Figura 4.8 Esquema de alimentación del LGN a los trenes de fraccionamiento.	126
Figura 4.9 Esquema de operación desde las balas hasta los tres de fraccionamiento.....	127
Figura 4.10 Comportamiento de la presión del LGN desde las Plantas de Extracción hasta la Planta de Fraccionamiento JOSE.....	129
Figura 4.11 Comportamiento de la temperatura del LGN desde las plantas de extracción hasta las planta de fraccionamiento JOSE.....	130
Grafico 4.1. Relación C2/C3 de un LGN dentro de las especificaciones que exige la planta de fraccionamiento JOSE.	134
Figura 4.12 Esquema de funcionamiento de la válvula asociada al PIC-709541.	136
Figura 4.13 Esquema de funcionamiento de la válvula asociada al PIC-709542.	136
Figura 4.14 Esquema de funcionamiento de las válvulas XV-402B8 y XSV-140991 en caso de alto nivel en las balas.....	138
Figura 4.15 Esquema de funcionamiento de la válvula XSV-70902 aislando el flujo de la bala D8-70901 hacia los trenes en caso de incendio en el área	139
Figura 4.16 Esquema de funcionamiento de la válvula PSV-70903 que protege a la Bala D8-70901 en caso de fuego en el área.	140
Figura 4.17 Esquema de funcionamiento de las válvulas PSV- 70901/02 asociadas a los poliductos de Santa Bárbara y San Joaquín.....	141

Gráfico 4.2 LGN proveniente de San Joaquín	143
Gráfico 4.3 LGN proveniente de Santa Bárbara.	144
Figura 4.18 Incendio provocado por desperfectos en las bombas de alimentación.	145
Figura 4.19 Incendio provocado durante el mantenimiento del sistema eléctrico.	146
Figura 4.20 Esquema del sistema de seguridad en el área de recepción de LGN.	147
Figura 4.21 Manejo de poco líquido en la torre desetanizadora.	151
Figura 4.22 Alto nivel de líquido dentro de la torre y rehervidor ineficiente.	151
Figura 4.6 Componentes de la Válvula de seguridad.....	163
Figura 4.7 Corte transversal de la válvula de seguridad de acción indirecta o pilotada.....	174
Gráfico 5.1 Condiciones de presión de salida y llegada del LGN de San Joaquín.	179
Gráfico 5.2 Condiciones de temperatura de salida y llegada del LGN de San Joaquín.	180
Gráfico 5.3 Condiciones de presión de salida y llegada del LGN desde Santa Bárbara hasta JOSE.....	182
Gráfico 5.4 Condiciones de temperatura del LGN desde Santa Bárbara hasta JOSE.....	183
Gráfico 5.5 Condiciones del LGN en la entrada a las balas.....	184
Grafica 5.5 Comportamiento de la relación C2/C3 del LGN de las dos plantas de extracción de líquidos.	190

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición del Gas Natural	28
Tabla 2.2 Composición del Gas en Venezuela.....	29
Tabla 2.3 Diversas aplicaciones del gas natural.....	39
Tabla 4.1 Composición de los líquidos del gas natural óptima (San Joaquín). ..	131
Tabla 4.2 Composición de los líquidos del gas natural óptima (Santa Bárbara). 132	
Tabla 4.3 Controladores encargados de la presión de operación de las balas.....	153
Tabla 4.4 Válvulas encargadas del alivio de presión en las balas de almacenamiento.....	154
Tabla 4.5 Tipos de alarmas en casos de fallas operacionales en el área 270.	157
Tabla 4.6 Tipos de alarmas en caso de fallas operacionales en el área 270.....	159
Tabla 4.7 Tipos de alarmas en caso de fallas operacionales en el área 270.....	161
Tabla 4.8 Instrucciones iniciales para realizar el proceso de mantenimiento de las válvulas.	166
Tabla 4.9 Procedimiento para el desarmado de las válvulas de seguridad.	167
Tabla 4.10 Procedimiento para el armado de las válvulas.	169
Tabla 4.11 Programa de inspección, calibración y mantenimiento de las válvulas de seguridad del área 270.....	172
Tabla 5.1 Composición de los líquidos del gas natural fuera de especificación. 186 (San Joaquín).....	186
Tabla 5.2 Composición de los líquidos del gas natural dentro de las especificaciones (San Joaquín)	187
Tabla 5.3 Composición de los líquidos de gas natural fuera de especificaciones (Santa Bárbara)	188
Tabla 5.4 Composición de los líquidos del gas natural dentro de las especificaciones (Santa Bárbara)	189

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Introducción

El gas natural es un recurso energético abundante y de bajo impacto ambiental en comparación con otros combustibles utilizados como carburantes, constituye un recurso muy importante como materia prima para el sector industrial, así como de un producto final de gran utilidad para los sectores doméstico y comercial.

Las reservas de gas natural probadas en Venezuela se consideran como la séptima a nivel mundial, 150.1 Billones de pie cúbicos (BPC) de gas probadas. Nuestro País produce al año unos 37.000 millones de metros cúbicos de gas (MMMCG), de los cuales 10.000 millones se destinan de inmediato a la producción petrolera para acelerar una mayor extracción, mientras que casi la totalidad del resto se procesa en el mercado interno sometiendo el gas a procesos de refinación para mejorar sus condiciones a los niveles requeridos para luego ser enviados a las plantas de extracción de donde son enviados a la Planta de Fraccionamiento a través de Poliductos.

Actualmente se cuenta con el Complejo Criogénico de Oriente (CCO) Figura 1.1 cuyas instalaciones están conformadas por tres plantas de extracción de líquidos de gas natural (San Joaquín, Santa Bárbara y Jusepín), una planta de refrigeración mecánica San Joaquín, una planta fraccionamiento en JOSE, con dos poliductos de interconexión entre plantas de extracción y JOSE (San Joaquín + refrigeración San Joaquín-JOSE/ Santa Bárbara + Jusepín-JOSE) y un terminal marino.

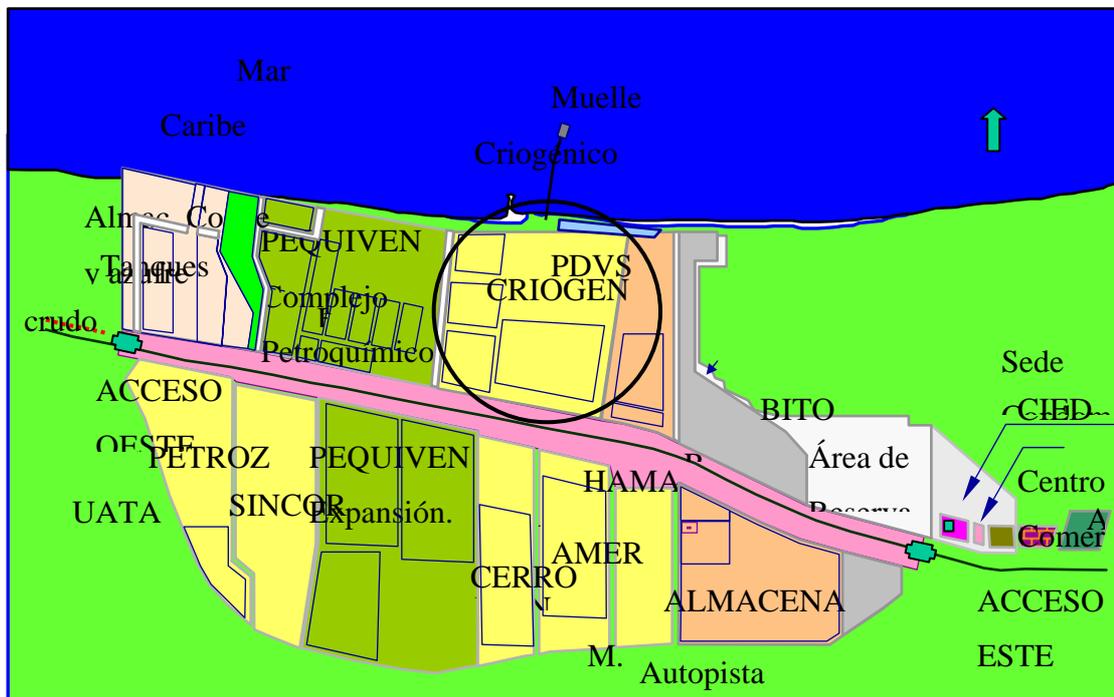


Figura 1.1 Complejo Industrial JOSE. Estado Anzoátegui.

Las plantas de extracción se encargan de separar los líquidos del gas natural (LGN) de la corriente de gas, mediante la condensación de los componentes más pesados (propano y más pesados), para ser enviados a las plantas de fraccionamiento.

Las plantas de fraccionamiento están destinadas para separar el líquido del gas natural en sus componentes químicos, los cuales se comercializan por separado bien sea como materia prima para otros procesos industriales como el petroquímico (etano, propano y butano), para ser utilizados en los procesos de refinación de petróleo como en el caso de la gasolina natural o para utilizarse como energía primaria en procesos de combustión para calentamiento. Para el mejor funcionamiento de la planta es necesario contar con un sistema de control para garantizar la calidad y la eficiencia del proceso. Como parte de este estudio se evaluarán los principios de diseño y control de las válvulas de seguridad

asociadas al sistema de recepción de líquidos del gas natural en la planta de fraccionamiento.

1.2 Planteamiento del Problema.

La planta de fraccionamiento del complejo José Antonio Anzoátegui (fraccionamiento JOSE), recibe líquido de gas natural (LGN) a través de dos poliductos, uno proveniente de la planta de San Joaquín y el otro de la planta de Santa Bárbara, el LGN proveniente de San Joaquín se envía a la planta de JOSE por una tubería de 16" enterrada de 112 Km. de largo y una tubería de 16" y 190 Km. de largo aproximadamente, sirve para transportar líquido a JOSE desde la planta de Extracción de Santa Bárbara.

Para poder comprender el funcionamiento del sistema de recepción de LGN en fraccionamiento JOSE, se deben conocer las especificaciones de diseño del poliducto que lo transporta y las condiciones de flujo (F), presión (P) y temperatura (T) a la cual éste es transportado y con que especificaciones llega al sistema de recepción de la planta de fraccionamiento JOSE. También es importante conocer las variables que se toman en cuenta cuando el LGN entra al sistema de recepción y cuando pasa al tren de fraccionamiento de la planta.

Después de describir el proceso de transporte de LGN y especificar el sistema de almacenamiento y las variables asociadas a este proceso se procederá a establecer cuales son las posibles fallas en el sistema, específicamente las que experimenta la planta que envía el LGN hacia el sistema de recepción que puedan generar la sobrepresión; todo esto lleva a inspeccionar el control de las válvulas de forma que se definan las medidas de seguridad y esto permitirá proponer las posibles mejoras a través de nuevas tecnologías.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el principio de diseño y control de las válvulas de seguridad asociadas al sistema de recepción de líquido de gas natural (LGN) en la Planta de Fraccionamiento del Complejo José Antonio Anzoátegui.

1.3.2 Objetivos Específicos

Describir el proceso de transporte de líquido de gas natural (LGN) desde la Planta San Joaquín y Santa Bárbara hasta la Planta de Fraccionamiento del Complejo José Antonio Anzoátegui.

Explicar el sistema de almacenamiento en la entrada a la Planta de Fraccionamiento del complejo José Antonio Anzoátegui.

Especificar las variables de proceso asociadas al transporte y recepción de LGN en la Planta de Fraccionamiento JOSE.

Interpretar el funcionamiento de las válvulas que protegen al sistema de recepción de LGN en la Planta de Fraccionamiento JOSE.

Mostrar los diferentes escenarios de emergencia asociados al sistema de recepción de LGN en la Planta de Fraccionamiento JOSE y las variables involucradas.

Analizar las medidas de protección del sistema ante posibles fallas (sobre presión).

Enfocar cuales son las causas de la sobrepresión en el sistema de recepción de LGN en la Planta de fraccionamiento JOSE.

Establecer las características de control del sistema de alivio y venteo en el diseño de recipientes de recepción de la Planta de Fraccionamiento José Antonio Anzoátegui.

Inspeccionar que el control de las válvulas del sistema de alivio y venteo estén dentro del rango de mayor de seguridad.

Definir las medidas de seguridad a las que debe responder el sistema de control ante fallas operacionales.

Chequear la rutina de mantenimiento del sistema de válvulas de seguridad.

Determinar las oportunidades de mejoras al sistema de válvulas de acuerdo a nuevas tecnologías.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Gas Natural.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos ligeros compuesto principalmente de metano, etano, propano, butanos y pentanos. Proviene de la degradación de materia orgánica. En muchos casos va asociado a yacimientos de petróleo, aunque en otras ocasiones se descubre aislado. El componente fundamental del gas natural, el metano, también puede producirse artificialmente mediante la fermentación bacteriana de materia orgánica (por ejemplo en una depuradora de aguas residuales). El metano posee una estructura de hidrocarburo simple, compuesto por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno (CH₄); y tiene como propiedades que es un gas altamente inflamable, se quema fácilmente y casi totalmente y emite muy poca contaminación.

El gas natural no es ni corrosivo ni tóxico, su temperatura de combustión es elevada y posee un estrecho intervalo de inflamabilidad, lo que hace de él un combustible fósil seguro en comparación con otras fuentes de energía. Además, por su densidad relativa de 0,60 Kg. /l, inferior a la del aire (1,00), no se acumulan en zonas bajas en estancias evitando intoxicaciones. Es generalmente admitido que el carbono y el hidrógeno contenidos en el gas natural provienen de restos de plantas y de animales que se juntaron en el fondo de los lagos y de los océanos durante millones de años. Después de haber sido cubierto por grandes capas de otros sedimentos, el material orgánico se transformó en petróleo bruto y en gas natural bajo el efecto de la presión ejercida por las capas de sedimentos y el calor emitido por el núcleo terrestre.

El petróleo y el gas son entonces expulsados fuera de los esquistos arcillosos marinos en los cuales se habían depositado y de ahí penetran en las rocas sedimentarias porosas. Posteriormente el petróleo y el gas suben a través de la roca porosa, ya que son menos densos que el agua, y llenan los poros. Existen diferentes tipos de "trampas" de petróleo y gas. El gas natural está presente por todo el mundo, ya sea en los depósitos situados en las profundidades de la superficie terrestre, o en los océanos. Las capas de gas pueden formarse encima de los depósitos de petróleo bruto, o estar atrapadas en el seno de las rocas porosas. El gas es llamado "asociado" cuando se encuentra en presencia de petróleo bruto y "no asociado" cuando se encuentra solo. La composición del gas natural varía según la zona geográfica, la formación o la reserva de la que es extraído. Los diferentes hidrocarburos que forman el gas natural pueden ser separados utilizando sus propiedades físicas respectivas (peso, temperatura de ebullición, presión de vaporización).

En función de su contenido en componentes pesados, el gas es considerado como rico (cinco o seis galones o más de hidrocarburos extraíbles por pie cúbico) o pobre (menos de un galón de hidrocarburo extraíble por pie cúbico). A una presión atmosférica normal, si el gas natural se enfría a una temperatura de 161 °C bajo cero aproximadamente, se condensa bajo la forma de un líquido llamado gas natural licuado (GNL). Un volumen de este líquido ocupa casi 600 veces menos espacio que el gas natural y es dos veces menos pesado que el agua (45% aproximadamente). Cuando se evapora se quema solamente en concentraciones del 10% al 15% mezclado con el aire. Ni el GNL ni su vapor pueden explotar al aire libre. La principal ventaja del gas natural licuado, es el volumen que ocupa, por ello el gas natural se licua para facilitar su transporte y almacenaje.

El gas natural es considerado como un combustible limpio, debido a su bajo porcentaje de emisiones de partículas. Bajo su forma comercializada, casi no contiene azufre y virtualmente no genera dióxidos de azufre (SO₂). Sus emisiones de óxidos de nitrógeno (NO) son menores a las generadas por el petróleo y el

carbón. Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son inferiores a la de otros combustibles fósiles (diversos estudios mantiene que este combustible emite 40 à 50% menos que el carbón y 25 à 30% menos que el petróleo).

a) Composición del gas natural

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos parafínicos que incluyen el metano (CH₄), en mayor proporción, y otros tales como etano, propano, butano y pentano, en proporciones menores y decrecientes. Esta mezcla contiene, generalmente, impurezas tales como vapor de agua, sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono y otros gases inertes (Ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Composición del Gas Natural

Componente	Porcentaje %
Metano	95.9-97,8 %
Etano	0.6-1.6 %
Propano	0-0.2 %
Butano	0
Pentano	0
Dióxido de carbono	0.4-1.2 %
Nitrógeno	0.8-1 %
PCS	42Mj/m³
PCI	90 % del PCS
Peso específico	0.78 Kg. /m³ (cond. Normales)
Densidad relativa	0.6 (valor aproximado)

b) Composición del Gas en Venezuela.

En la Tabla 2.2 se observa la composición del gas en Venezuela

Tabla 2.2 Composición del Gas en Venezuela

componente	Occidente (asociado)	Guarico (libre)	Oriente (libre)	Oriente (asociado)	Costa afuera
C₁	73.1	90.6	76.9	75.1	90.5
C₂	11.0	2.6	5.8	8.0	5.0
C₃	6.0	1.1	2.5	4.6	2.2
I-C₄	1.1	0.4	0.5	0.9	0.4
n-C₄	1.9	0.2	0.6	1.1	0.7
I-C₅	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3
n-C₅	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2
C₆	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
C₇	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2
CO₂	4.4	4.0	12.5	9.0	0.2
N₂	0.5	-----	0.1	0.1	0.1
GE	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6
BTU/PC	1,273	1,057	1,033	1,126	1,136
Kcal./MC	10,948	9,407	9,192	10,020	10,109

c) Clasificación del Gas Natural

En general el gas natural puede clasificarse como:

Gas Dulce

Es aquel que no contiene o contiene muy poco (trazas) de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y dióxido de carbono (CO₂). Los gases de Venezuela sólo contienen pequeñas cantidades de H₂S.

Gas Agrio o Ácido

Es aquel que contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y otros componentes ácidos (COS, mercaptanos, etc.) razón por la cual se vuelve corrosivo en presencia de agua libre.

Gas Rico (Húmedo)

Es aquel del cual se pueden obtener cantidades apreciables de hidrocarburos líquidos, C3+ de aproximadamente 3,0 GPM (galones por 1000 pies cúbicos en condiciones normales). No tiene ninguna relación con el contenido de vapor de agua que pueda contener el gas.

Gas Pobre (Seco)

Es un gas que prácticamente está formado por metano (C1) y etano (C2). Sin embargo, en sistemas de compresión de gas, se habla de gas húmedo, al que contiene vapor y gas seco, al que no contiene vapor de agua.

d) Cadena del Mercado del Gas Natural.

Los eslabones de la cadena de valor del gas natural se esquematizan muy claramente a través de la Figura 2.1

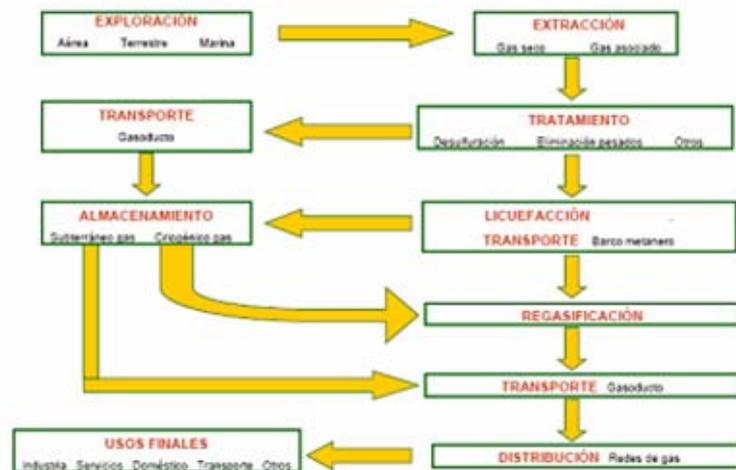


Figura 2.1 Cadena del gas en Venezuela.

El esquema anterior proporciona una idea de cómo funciona la cadena del mercado de gas natural, a continuación definiremos brevemente las principales etapas del sector.

Productor

Realiza la exploración, investigación y explotación de los yacimientos de hidrocarburos (Ver Figura 2.2).



Figura 2.2 Balancín de producción

Transportista

Es el titular de instalaciones de almacenamiento, regasificación o gasoductos y buques de transporte. A continuación puede observar en la Figura 2.3 un Buque de transporte de gas natural.



Figura 2.3 Buque de transporte de gas natural

Distribuidor

Es el titular de instalaciones de distribución de gas natural (con presión menor o igual de 16 bares o que alimenten a un sólo consumidor), ver Figura 2.4.



Figura 2.4 Estación de distribución y despacho de gas natural

Comercializador

Adquiere gas natural (a los productores o a otros comercializadores) y lo vende a sus clientes cualificados o a otros comercializadores en condiciones libremente pactadas. Utiliza las instalaciones de transportistas y distribuidores para el transporte y suministro de gas a sus clientes, a cambio de un peaje. En la figura 2.5 se observan algunos de los cilindros presurizados de gas natural que son comercializados.



Figura 2.5 Cilindros presurizados

Consumidores de Gas

Esta actividad es variada, depende del grado de regulación existente en el país. En un mercado libre, todos los consumidores de gas pueden elegir entre adquirir el gas a su distribuidor, a la tarifa establecida reglamentariamente, o adquirir el gas a cualquier comercializador, en condiciones libremente pactadas. En la figura 2.6 se observa la distribución de GNC para vehículos en una estación de servicio.



Figura 2.6 Estación de servicio de GNC.

e) Producción del Gas Natural

El proceso de producción del gas natural es simple y muy parecido al del petróleo. Se extrae por medio de perforaciones en pozos terrestres o en los océanos, después se transporta por gasoductos (por tierra) o buques (por mar) hasta la planta de depurado y transformado, para ser conducido después hacia una red de gas o a las zonas de almacenamiento.

Exploración

La exploración es una etapa muy importante del proceso. En el transcurso de los primeros años de la industria del gas natural, cuando no se conocía muy bien el producto, los pozos se perforaban de manera intuitiva. Sin embargo, hoy en día, teniendo en cuenta los elevados costos de extracción, las compañías no pueden arriesgarse a hacer excavaciones en cualquier lugar. Los geólogos juegan un papel importante en la identificación de capas de gas. En la Figura 2.7 se observa un método para exploración de nuevos yacimientos, utilizando un camión Vibroseis



Figura 2.7 Camión Vibroseis, utilizado para la exploración de nuevos Yacimientos.

Para encontrar una zona donde es posible descubrir gas natural, analizan la composición del suelo y la comparan a las muestras sacadas de otras zonas donde ya se ha encontrado gas natural. Posteriormente llevan a cabo análisis específicos como el estudio de las formaciones de rocas a nivel del suelo donde se pudieron haber formado capas de gas natural. Las técnicas de prospección han evolucionado a lo largo de los años para proporcionar valiosas informaciones sobre la posible existencia de depósitos de gas natural. Cuanto más precisas sean las técnicas, mayor será la posibilidad de descubrir gas durante una perforación.

Extracción

El gas natural se encuentra en dos tipos de yacimientos:

- Yacimientos de gas individualizado.
- Yacimientos asociados a los de petróleo, en las zonas altas de los mismos, o en disolución en la fase líquida.

Los yacimientos de gas natural están compuestos fundamentalmente por metano, que llega a constituir hasta el 100% de los mismos (gas seco). Además, puede incluir otros hidrocarburos gaseosos, como etano, propano, butano, en proporción decreciente con el número de carbonos. Otros constituyentes,

minoritarios pero frecuentes, son: H₂S, N₂, He, Ar, etc. El gas natural se extrae cavando un hueco en la roca.

La perforación puede efectuarse en tierra o en mar. El equipamiento que se emplea depende de la localización de la capa de gas y de la naturaleza de la roca. Si es una formación poco profunda se puede utilizar perforación de cable. Mediante este sistema una broca de metal pesado sube y baja repetidamente en la superficie de la tierra. Para prospecciones a mayor profundidad, se necesitan plataformas de perforación rotativa. Este método es el más utilizado en la actualidad y consiste en una broca puntiaguda para perforar a través de las capas de tierra y roca. Una vez que se ha encontrado el gas natural, debe ser extraído de forma eficiente. La tasa de recuperación más eficiente representa la máxima cantidad de gas natural que puede ser extraída en un período de tiempo dado sin dañar la formación. En la figura 2.8 se muestra un personal en labores de perforación para la extracción de hidrocarburos.



Figura 2.8 Labores de perforación para la extracción de hidrocarburos.

Varias pruebas deben ser efectuadas en esta etapa del proceso. Lo más común es que el gas natural esté bajo presión y salga de un pozo sin intervención externa. Sin embargo, a veces es necesario utilizar bombas u otros métodos más

complicados para obtener el gas de la tierra. El método de elevación más difundido es el bombeo de barra.

Tratamiento

El tratamiento del gas natural implica el reagrupamiento, acondicionamiento y refinado del gas natural bruto con el fin de transformarlo en energía útil para las diferentes aplicaciones. Este proceso supone primero una extracción de los elementos líquidos del gas natural y después una separación entre los diferentes elementos que componen los líquidos. (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9 Planta de tratamiento del gas natural.

Transporte y almacenamiento

Una vez tratado, el gas natural pasa a un sistema de transmisión para poder ser transportado hacia la zona donde será utilizado. Este apartado tiene tratamiento especial más adelante. (Ver Figura 2.10).



Figura 2.10 Terminal de recepción del Gas natural.

Aplicaciones del Gas natural

El gas natural es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada en ámbitos muy variados. La producción de calefacción y la generación de electricidad son sus principales usos tradicionales. En el futuro, la problemática de la protección del medio ambiente podría conducir a una mayor utilización del gas natural en el sector transporte, aunque actualmente carece de una importancia o peso específico dentro del escenario de demanda del gas natural. Ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Diversas aplicaciones del gas natural.

<i>Uso</i>	<i>Actividad</i>
Industrial	Generación de vapor
	Industria de alimentos
	Secado
	Cocción de productos cerámicos
	Fundición de metales
	Tratamientos térmicos
	Temple y recocido de metales
	Abonos nitrogenados
	Producción de petroquímicos
	Sistemas de calefacción
	Hornos de fusión
Comercio y servicios	Calefacción central y aire acondicionado, Cocción y preparación de alimentos, agua caliente.
Energía	Cogeneración eléctrica y centrales térmicas.
Residencial	Cocina, calefacción, agua caliente y aire acondicionado.
Transporte de pasajeros	Taxi, transporte público y coches privados.

2.1.1 Líquidos del Gas Natural (LGN)

Los líquidos del gas natural son esencialmente los hidrocarburos que se pueden extraer en forma líquida del gas natural tal como se produce. Típicamente, los componentes predominantes son formados por etano, propano, butano y otros componentes hidrocarburos más pesados, son utilizados como combustibles y materia prima.

Se consideran LGN los siguientes hidrocarburos:

Etano (C₂; CH₃-CH₃); Gaseoso en condiciones atmosféricas.

Propano (C₃; CH₃-CH₂-CH₃); Gaseoso en condiciones atmosféricas.

Butanos (C₄; CH₃-CH₂-CH₂-CH₃); Gaseoso en condiciones atmosféricas.

Pentano, Gasolina Natural, Residual (C₅+; CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃); Líquido en condiciones atmosféricas.

2.1.2 Gas Natural Licuado (GNL).

El gas Natural Licuado es simplemente la forma líquida del gas natural, este se obtiene al enfriar el gas a -160 grados Celsius, a presión atmosférica, reduciendo su volumen en 600 veces, lo que hace más económico su transporte. El proceso requiere extraer el gas del yacimiento, licuarlo, cargarlo en barcos especiales que conserven el frío, recibirlo en un terminal especializado, almacenarlo, regasificarlo mediante calor y conectarlo a la red de gasoductos. Este proceso es de menor costo que el transporte por gasoductos directamente desde el yacimiento para distancias superiores a los 3.500 kilómetros de los centros de demanda.

2.1.3 Gas Licuado del Petróleo (GLP).

El Gas Licuado de petróleo (GLP) es un hidrocarburo derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado como lo es la gasolina. Se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión enfriamiento simultáneo de estos vapores, necesiándose 273 litros de aporte para obtener un litro de gas líquido.

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinерías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por auto tanques o recipientes portátiles, donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado en calderas, aparatos domésticos y vehículos. En su composición química predominan hidrocarburos como propano y butanos o sus mezclas y que contienen propileno o butileno o mezclas de estos como impureza principales.

2.2 Poliductos.

Los poliductos son redes de tuberías destinados al transporte de hidrocarburos y productos terminados (Figura 2.11). A diferencia de oleoductos convencionales, que transportan solo petróleo crudo, los poliductos transportan gran variedad de combustibles procesados en las refinерías: gas oil, keroseno, etc. El transporte se realiza en paquetes sucesivos denominados baches. Un poliducto puede tener 4 o 5 Productos diferentes en distintos puntos de su recorrido, que son entregados en los terminales de recepción o en estaciones intermedias ubicadas a lo largo de la ruta.



Figura 2.11 Fotografía del sistema de poliducto

a) Funcionamiento de un poliducto

El flujo que circula por el interior de la tubería gracias al impulso que ejercen las estaciones de bombeo, cuyo número y potencia están en función del volumen que van a transportar, de la viscosidad del producto, del diámetro de la tubería, de la resistencia mecánica y de los obstáculos topográficos a sortear.

En condiciones normales, las estaciones de bombeo se encuentran situadas a 50 kilómetros unas de otras. El crudo parte de los depósitos de almacenamiento, donde por medio de una red de canalizaciones y un sistema de válvulas se pone en marcha la corriente o flujo del producto. Desde un puesto central de control se dirigen las operaciones y los controles situados a todo lo largo de la línea de conducción. El cierre y apertura de las válvulas y el funcionamiento de las bombas se regulan por mando a distancia.

b) Importancia económica del poliducto.

Esta radica, en que abastece de líquido de gas natural (LGN) a las plantas de fraccionamiento, donde son procesados o fraccionados en diversos productos, tales como: propano, normal butano, iso- butano, pentano, gasolina y productos pesados. Dichos productos, una vez fraccionados, son comercializados a nivel de consumo doméstico, materia prima para la industria petroquímica y la exportación de los excedentes. Son productos limpios, atractivos al mercado internacional y sus precios se mantienen más estables que los del crudo.

c) Impactos ambientales

Los impactos ambientales asociados a un poliducto son típicos en este tipo de obra, entre estos tenemos:

Procesos erosivos del terreno (laminar y regresivo) que podrían producir derrumbes o socavaduras y ponen en peligro a la tubería.

Derrames o fugas ocasionadas por ruptura de la tubería, la cual podría alterar la calidad de los suelos y/o agua.

Incendios originados por ignición de los gases asociados a una fuga, que pudiera ocasionar daños a la vegetación, suelos y situación de peligro para los animales y personas. Los poliductos cuentan con un sistema automatizado, de válvulas ubicado a todo lo largo del corredor de tuberías, lo cual permite que en caso de fuga o derrame, se cierre automáticamente las válvulas, comprendidas en el tramo afectado disminuyendo de esta manera el volumen del producto derramado.

2.3 Complejo Criogénico de Oriente (CCO).

El Complejo Criogénico de Oriente (CCO) constituye unas las obras con mayor trascendencia para la industrialización del gas natural. Su operación se inicio a finales del año 1985 para extraer líquidos del gas natural (LGN) y acondicionarlos para su utilización como insumo o como combustible industrial, petroquímico, comercial y doméstico.

Las instalaciones están conformadas por tres plantas de extracción de líquidos de gas natural (San Joaquín, Santa Bárbara y Jusepín), una planta de refrigeración mecánica en San Joaquín, una planta fraccionamiento en JOSE, con dos poliductos de interconexión entre plantas de extracción y JOSE (San Joaquín + refrigeración San Joaquín-JOSE/ Santa Bárbara + Jusepín-JOSE) y un terminal marino. (Ver Figura 2.12).

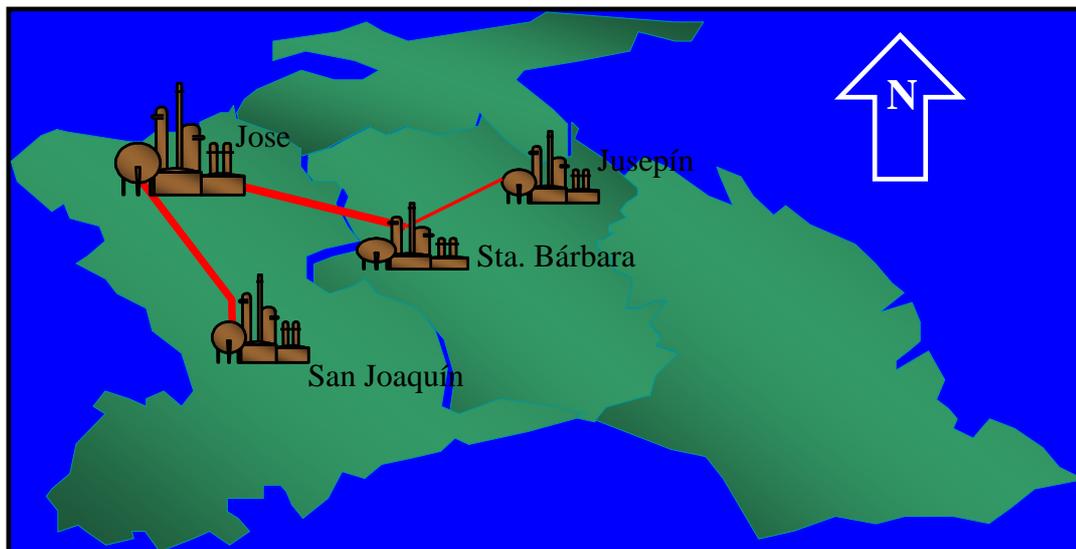


Figura 2.12 Ubicación geográfica del Complejo Criogénico de Oriente.

La venta de productos se realiza a través de camiones, se maneja fundamentalmente propano. Por tuberías se suplen los requerimientos de butanos a las plantas petroquímicas y la gasolina natural que requiere la refinería de Puerto La Cruz. Por muelle, se suplen productos al mercado nacional en el occidente y centro del país. El muelle tiene facilidad para recibir buques de hasta 45000 tons. y ofrecer un caudal de carga de hasta 16 MPHP.

2.3.1 Plantas de Extracción de LGN

Las plantas de extracción se encargan de separar los líquidos de la corriente de gas, mediante la condensación de los componentes más pesados (propano y más pesados), para ser enviados a las plantas de fraccionamiento.

El principio termodinámico, en el cual se basan las diferentes tecnologías de extracción de líquidos, es llevar el gas natural a condiciones de temperatura y presión tal, que se aseguren la condensación de los componentes más pesados.

Esto se puede lograr, ya sea, con una refrigeración directa (refrigeración mecánica), mediante transferencia de masa (absorción) o a través de una

expansión (turbo expansión y/o expansión Joule-Thompson), todo esto manteniendo un control riguroso del punto de rocío del gas. La selección del proceso, su complejidad y el costo dependen del grado de recobro de líquidos que se desea obtener. El factor más importante a la hora de la selección del proceso de extracción es la composición del gas. (Ver Figura 2.13).

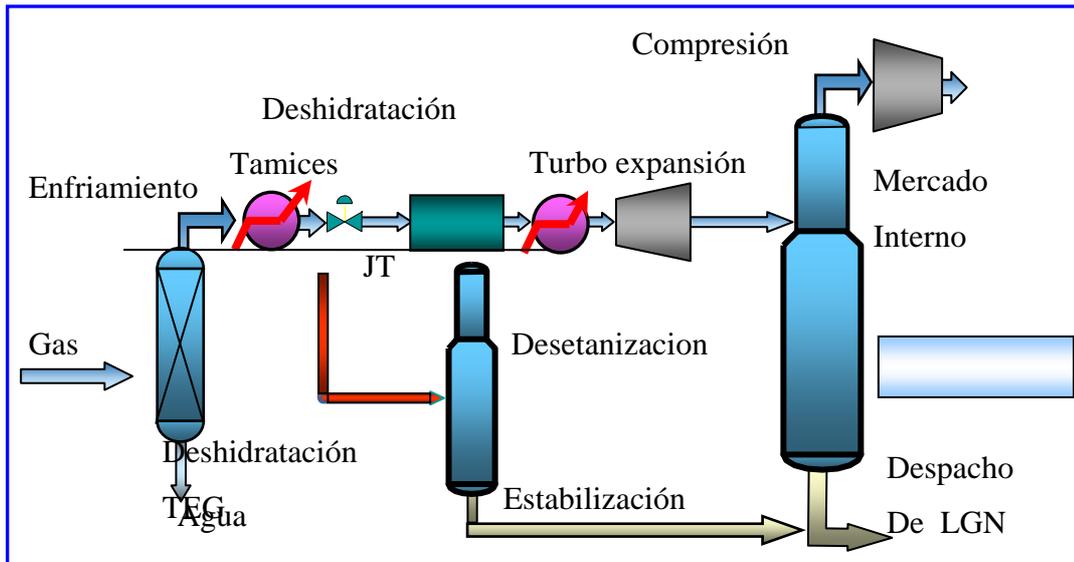


Figura 2.13 Esquema de procesos de una planta de extracción de líquidos.

En general, un gas rico requiere mayores gastos de energía a la hora de realizar la refrigeración, mientras que un gas pobre requiere condiciones de proceso más severas (menores temperaturas) para alcanzar un recobro alto.

2.3.1.1 Métodos utilizados para la obtención de líquidos

Los métodos más utilizados para la obtención de líquidos son la refrigeración mecánica, la absorción refrigerada, turbo expansión y expansión Joule-Thompson (J-T).

La refrigeración mecánica se produce mediante la disminución de temperatura, basada en el intercambio de calor con un fluido refrigerante a través de un sistema de refrigeración utilizando evaporadores de enfriamiento. La extracción de líquidos por medio de refrigeración mecánica, se realiza a presión constante, disminuyendo la temperatura del gas hasta llegar a la fase de líquido-vapor, donde ocurre la condensación de los componentes más pesados. Este proceso tiene la ventaja de mantener la presión del sistema, pero representa un alto costo en equipos de refrigeración.

La absorción de gases es una operación, en la cual, las corriente de gas natural se pone en contacto con un solvente líquido, a fin de separar de manera selectiva los componentes más pesados del gas (propano y más pesados) y obtener una solución de estos en el líquidos. Este proceso ocurre a ciertas condiciones de presión y temperatura, por esto existe un método denominado absorción refrigerada que consiste en el enfriamiento previo del disolvente, lo que mejora la capacidad de disolución del gas en el solvente.

En el proceso de extracción de líquidos empleando la tecnología de turbo-expansión, el gas se enfría en forma similar al proceso de refrigeración mecánica y posteriormente se hace fluir a través de una turbina de expansión, hasta alcanzar temperaturas muy bajas con el propósito de condensar una mayor cantidad de componentes. En estas turbinas, la presión cae bruscamente y el gas se enfría sensiblemente alcanzando bajas temperaturas de hasta $-126\text{ }^{\circ}\text{F}$.

La expansión en válvulas Joule-Thompson es muy similar a la turbo-expansión, debido a que consiste en disminuir la presión para lograr la licuefacción de los componentes del gas natural, pero con la diferencia que esta se realiza de manera isoentalpica. La disminución de la presión y la temperatura lograda en las válvulas Joule-Thompson es menor a la de los turbo-expansores, por lo tanto, la recuperación de LGN es menor.

Mediante la expansión Joule-Thompson, aunque se llega a la misma presión de salida que con la turbo-expansión, ocurre una menor disminución en la temperatura. Esto se debe a que la pendiente de la línea de operación presión-temperatura, para expansión J-T tiende a ser vertical lo que indica que es un proceso isoentálpico, mientras que para el proceso de turbo-expansión la curva se encuentra más desplazada, característico de un proceso isentrópico, logrando una temperatura de salida más baja, lo que trae como consecuencia que, para una misma caída de presión, la fracción de líquido es mayor para un proceso de turbo-expansión.

2.3.2 Planta de Extracción San Joaquín.

La planta de extracción San Joaquín se encuentra situada a 12 Km. de la ciudad de Anaco y a 100 Km. de Barcelona, en el estado Anzoátegui, (oriente Venezolano); recibe gas natural enriquecido a una presión de 900 Psig a través de gasoductos desde 4 facilidades de entrada: Santa Rosa, Santa Ana, El Toco y San Joaquín, ubicadas en la región Oriental de Venezuela. La composición de este gas enriquecido es de: dióxido de carbono, etano, metano, propano, iso-butano, n-butano, iso-pentano, n-pentano, hexano, heptano y más pesados, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, sulfuro de carbonilo y agua. (Figura 2.14).



Figura 2.14 Fotografía de la Planta de Extracción San Joaquín

La planta esta diseñada para procesar 1000 MMPCND (mil millones de pies cúbicos normales por día) de gas natural enriquecido produciendo 50.000 BPD (barriles por día) de LGN (C3+) y 920 MMPCND (millones de pies cúbicos normales por día) de gas natural residual. El LGN es enviado a través de un poliducto hacia la planta de fraccionamiento JOSE, para su posterior comercialización.

Para extraer los componentes más importantes es necesario llevarlo a temperaturas criogénicas (menores a -110°F). De esta manera la planta de extracción San Joaquín extrae del gas natural sus componentes livianos, metano y etano (gas residual), para consumo doméstico e industrial, además de hidrocarburos más pesados (LGN, líquidos del gas natural). La planta está diseñada para recuperar el 95% del propano contenido en las corrientes de alimentación.

Para lograr su objetivo a cabalidad la planta de extracción San Joaquín está compuesta por las siguientes unidades básicas:

- Instalaciones de alimentación.
- Deshidratación con TEG.
- Pre-enfriamiento del gas de entrada.
- Deshidratación con tamices moleculares.
- Enfriamiento y turbó expansión.
- Deetanizadora.
- Compresión del gas residual.
- Estabilizadora.
- Sistema de aceite para calentamiento.
- Sistema de venteo.
- Sistema de gas combustible.

Tratamiento de agua de desecho.
Almacenaje de productos químicos.
Sistema de agua contra incendios y agua potable.
Sistema de aires para instrumentos.
Generación de energía eléctrica.
Sala de control.

2.3.2.1 Procesos de extracción de líquidos del gas natural de la Planta de Extracción San Joaquín.

En la figura 2.13 se muestra el diagrama general del proceso de la planta de extracción. La alimentación a la planta consiste de una combinación de cuatro líneas de alimentación de gas natural provenientes de las áreas de Santa Rosa, San Joaquín, Santa Ana y El Toco. En las instalaciones de extracción se procesa un caudal nominal de 1000 MMSCF/D. La planta de extracción consiste de dos trenes idénticos, cada uno dimensionado para procesar 50% de la alimentación, con instalaciones de entrada y áreas de servicios comunes.

A fin de simplificar la descripción del proceso, el esquema es dividido en varias secciones. Por razones prácticas la explicación siguiente está referida a un solo tren de proceso.

➤ Instalaciones de gas de entrada

El gas de entrada proveniente de los gasoductos es recibido por los preparadores (slugcatchers) fuera de los límites de batería. El gas luego entra a flujo controlado

Hacia cinco depuradores para separar cualquier líquido que haya sido arrastrado desde los slugcatchers. Entre estos tenemos el depurador de entrada de San Joaquín, el depurador de entrada de Santa Rosa (Línea de 14"), el depurador

de entrada de El Toco - Santa Ana, el depurador de entrada de Santa Rosa (Línea de 20") y el depurador de entrada común, operan a 110 °F y 985 psig. Estos son separadores de tres fases, de manera que cualquier agua libre pueda ser separada y drenada mediante las botas. Los vapores provenientes de los depuradores se combinan en un cabezal común de 30" y luego se separan hacia los dos trenes. El caudal que pasa por cada tren se determina por la velocidad de los compresores de gas residual. Todo líquido condensado proveniente de los slugcatchers fluye a través del coalescedor de entrada de condensado para retirar cualquier cantidad de agua atrapada, y luego se combina con el líquido (si existe) proveniente de los depuradores de entrada, y se divide hacia los dos trenes.

➤ Deshidratación con glicol del gas de entrada.

El gas de entrada proveniente de los depuradores de entrada a un caudal de 500 MMSCF/D es combinado con 3,5 MMSCF/D de vapor proveniente del depurador de descarga del compresor superior del estabilizador. Esta corriente luego fluye a través de dos filtros/separadores de alta eficiencia (filtros/separadores de gas de entrada) operando en paralelo a fin de extraer pequeñas partículas líquidas y sólidas.

El bypass original del filtro/separador permanece en pie, pero debería solamente ser utilizado después de cuidadosamente revisar las consecuencias potenciales de permitir la entrada de contaminantes a la corriente de alimentación hacia tuberías y equipos que se encuentren corriente abajo. A continuación el gas ingresa al fondo del contactor de TEG de alta temperatura, donde el gas es deshidratado hasta obtener un contenido de agua con un punto de residuo de 26 °F a 980 psig. El contactor de TEG de alta temperatura opera a 980 psig y contiene un packing estructurado. Un TEG pobre, con una concentración por peso de 99,1% es alimentado a la parte superior del contactor a razón de 131 GPM, y fluye hacia abajo por la columna. Un TEG rico proveniente del contactor es regenerado en un reconcentrador a fuego directo a una temperatura de 375°F a 400°F. Se introduce un gas de despojo (stripping gas) a fin de reducir el punto de

ebullición del TEG y puede ser utilizado para lograr mayores concentraciones de TEG si se desea obtener un punto de rocío más bajo en el gas.

Se proporciona una línea de desvío o bypass partiendo de la salida del contactor de TEG de alta temperatura hasta el cabezal de descarga de gas residual con el fin de enviar el gas deshidratado por el gasoducto cuando las instalaciones de extracción no se encuentren en operación. La presión del gasoducto deberá ser reducida a 15-25 psi por debajo de la presión del contactor, a fin de proporcionar un diferencial de presión para fluir el gas.

➤ Enfriamiento del gas de entrada y válvula J-T de alta presión.

El gas deshidratado que sale del contactor de TEG se divide en cuatro corrientes que se enfrían hasta los 64 °F en cuatro intercambiadores de calor que operan en paralelo. Una corriente se enfría hasta los 73 °F mediante intercambio de calor en el Intercambiador de Gas caliente/gas de alta presión. Otra corriente se enfría hasta los 64 °F mediante intercambiador de calor líquido condensado en el calentador de condensado del separador de entrada del expansor de alta presión. La tercera corriente es enfriada hasta los 55 °F mediante intercambio de calor con líquido condensado en el calentador de condensado del separador de salida del expansor de alta presión. La cuarta corriente es enfriada hasta los 64 °F proporcionando calor de ebullición al rehervidor lateral del deetanizador para la modalidad de rechazo de etano o mediante intercambio de calor con el producto de los fondos del demetanizador en el intercambiador de producto del demetanizador para la modalidad de recuperación de etano.

Las corrientes son luego combinadas y fluidas hacia el separador de entrada del expansor de alta presión donde el líquido condensado se separa del vapor. Este separador opera a 64 °F y 960 psig. El líquido condensado sale del separador bajo control de nivel y es calentado a 90°F mediante la refrigeración del gas de entrada tal como se mencionó anteriormente. Este líquido se calienta ya que la parafina puede ser disuelta con el líquido a temperaturas mayores.

Después del calentamiento, la presión de esa corriente es reducida a 410 psig y la mezcla resultante de vapor-líquido es enviada al tanque de alimentación del estabilizador. El vapor proveniente del separador de entrada del expansor de alta presión pasa a través de la válvula J-T de alta presión, donde la presión se reduce a 760 psig con una reducción consecuente de temperatura a 51 °F. Se proporciona una válvula J-T de repuesto a causa de las condiciones severas de letdown.

La corriente de dos fases provenientes de la válvula J-T entra al separador de salida del expansor de alta presión. Este separador opera a 51 °F y a 760 psig. El líquido corre desde el separador y es calentado a 85 °F mediante la proporción de refrigeración al gas de entrada. Esta corriente es luego alimentada al tanque de alimentación del estabilizador. El vapor proveniente del separador se dirige hacia la sección de deshidratación con tamices moleculares.

➤ **Deshidratación con tamices moleculares.**

El gas proveniente del separador de salida del expansor de alta presión pasa a través de dos filtros separadores de alta eficiencia (filtros/separadores de entrada del deshidratador) operando en paralelo, a fin de extraer pequeñas partículas líquidas y sólidas. Después de filtrado, el gas fluye a través de dos lechos de gel de sílice. Estos lechos han sido agregados al proceso como una medida de protección de seguridad para extraer cualquier parafina contenida en el gas, protegiendo así a los lechos del tamiz molecular. El gas luego fluye a través de un sistema de deshidratación automático donde el contenido de agua es reducido a menos de 0,1 ppm por volumen. El sistema consiste de cuatro torres de absorción; tres de ellas siempre están en operación mientras la cuarta es regenerada.

Para la regeneración del tamiz molecular, 11,0 MMSCF/D (14,8 MMSCF/D máximos) de gas residual seco provenientes del depurador de interetapas del compresor de gas residual, y es tamizado a 600 °F en un calentador

a fuego directo. Luego, el gas fluye hacia arriba por el lecho extrayendo el agua absorbida. El gas caliente que sale del lecho se enfría a 120 °F en el enfriador de gas de regeneración. La mayor parte del agua reextraída del lecho es condensada en el enfriador y separada del gas en el depurador de gas de regeneración. Partiendo del depurador, el gas enfriado sale al sistema de gas combustible. Todo gas combustible excedente se envía al depurador de succión del compresor superior del estabilizador.

El enfriamiento del lecho regenerado se logra en dos partes. Primero el lecho es enfriado a 120 °F. Esto se logra calentando el calentador de gas de regeneración e inyectando gas de enfriamiento a 120 °F a través del lecho del deshidratador. Luego una pequeña corriente de gas de entrada corriendo hacia el deshidratador a razón de 11,0 MMSCF/D se utiliza para enfriar aún más el lecho. Este segundo paso es necesario para evitar golpes de temperatura al gas de proceso corriente abajo de los deshidratadores cuando el deshidratador regenerado es puesto en operación. El gas deshidratado proveniente de los lechos fluye a través de dos filtros de salida del deshidratador operando en paralelo, donde se extrae el polvo fino del tamiz molecular.

➤ Enfriamiento del gas de entrada y expansores de baja presión.

Para la modalidad de rechazo de etano, el gas proveniente del área de deshidratación del tamiz molecular es enfriado a -27 °F en tres intercambiadores de calor operando en paralelo. Una corriente es enfriada a -16 °F mediante el intercambio de calor con gas residual frío en el intercambiador de gas frío/gas de baja presión. La segunda corriente se enfría hasta -44 °F mediante intercambio de calor con líquidos condensados en el precalentador de alimentación de alta presión de deetanizador. La tercera corriente se enfría hasta -58 °F mediante intercambio de calor con líquidos condensados en el precalentador de alimentación de baja presión del deetanizador. Las corrientes son luego combinadas y el líquido condensado es separado del vapor en el separador de entrada del expansor de baja presión. Este separador opera a -27 °F y 690 psig. El proveniente del separador

fluye a través de una válvula de control de nivel a la presión de operación del deetanizador de 190 psig. Luego se calienta a 7 °F mediante la refrigeración del gas deshidratado y luego sedimenta al deetanizador en la bandeja No. 12.

Para la modalidad de recuperación de etano, el gas proveniente de la sección de deshidratación con tamiz molecular se enfría a -26 °F mediante intercambio de calor con solamente gas frío residual en el intercambiador de gas frío/gas de baja presión. El flujo de gas hacia el precalentador de alimentación de alta presión del demetanizador y el precalentador de alimentación de baja presión del demetanizador, se bloquea. El líquido condensado se separa del vapor en el separador de entrada del expansor de baja presión. Este separador opera a -26 °F y 690 psig. El líquido proveniente del separador fluye a través de una válvula de control de nivel y el precalentador de alimentación de alta presión del demetanizador, y se alimenta al demetanizador con la bandeja No. 12. No hay intercambio de calor en el precalentador de alimentación de alta presión del demetanizador, ya que el flujo de gas en el otro lado del intercambiador está bloqueado.

El vapor proveniente del separador fluye a través de dos expansores de baja presión operando en paralelo, donde la presión es reducida a 195 psig con una consecuente reducción de temperatura a -105 °F. La energía extraída del expansor; aproximadamente 9540 bhp, se utiliza para aumentar la presión del gas residual. Dos desvíos de expansor son proporcionados, a fin de que la planta pueda ser operada cuando uno, o ambos, expansores estén inoperativos. El líquido condensado en los expansores se separa del vapor en el separador de salida del expansor de baja presión. Este separador opera a -105 °F y 195 psig.

Para la modalidad de rechazo de etano, el vapor proveniente del separador proporciona refrigeración al condensador de reflujo del deetanizador. El líquido es bombeado a través del precalentador de alimentación de baja presión del deetanizador, donde se calienta hasta -9 °F mediante la refrigeración del gas

deshidratado, tal como se mencionó anteriormente. Luego fluye al Deetanizador por la bandeja No. 5.

Para la modalidad de recuperación de etano, el vapor proveniente del separador fluye hacia el condensador de reflujo del demetanizador. Este no proporciona refrigeración ya que el condensador es saltado por el lado superior del demetanizador. El líquido proveniente del separador es bombeado a través del precalentador de alimentación de baja presión del demetanizador y es alimentado al demetanizador en la bandeja No. 5. No hay intercambio de calor en el precalentador de alimentación de baja presión del demetanizador, ya que el flujo de gas en el otro lado del intercambiador está bloqueado.

➤ Deetanizador/demetanizador.

El deetanizador/demetanizador opera a 190 psig y contiene 28 bandejas de válvulas. La columna posee un rehervidor lateral y un rehervidor de fondo. El calor de ebullición para el rehervidor lateral se proporciona con el gas de entrada o el gas deshidratado. El gas residual proveniente de la descarga del compresor de gas residual se utiliza para proporcionar calor al rehervidor de fondo.

Para la modalidad de rechazo de etano, un condensador parcial se utiliza para proporcionar un reflujo a la columna. El vapor frío proveniente del separador de salida del expansor de baja presión se utiliza para proporcionar refrigeración al condensador, y luego se mezcla con el producto superior del deetanizador. El gas residual combinado proporciona refrigeración al gas de entrada.

Para la modalidad de recuperación de etano el demetanizador opera como un absorbedor rehervido. El condensador de reflujo del demetanizador es saltado con un bypass. El vapor frío proveniente del separador de salida del expansor de baja presión se mezcla con el producto superior del demetanizador. El gas residual combinado proporciona refrigeración al gas de entrada, tal como fue mencionado en secciones anteriores. En el fondo de la columna se ha instalado un tanque

pulmón de líquido (tanque pulmón del deetanizador), el tiempo de residencia normal es de aproximadamente 15 minutos.

Para la modalidad de rechazo de etano, el producto líquido de fondo proveniente del Deetanizador es bombeado a través del enfriador de aire de producto del deetanizador y combinado con el producto líquido del estabilizador y con el producto del segundo tren. Para la modalidad de recuperación de etano, el producto líquido de fondo del demetanizador es bombeado a través del intercambiador de producto del demetanizador y calentado hasta 90 °F refrigerando mediante la refrigeración del gas de entrada. El producto líquido es combinado con el producto líquido del estabilizador de condensado y con el producto proveniente del segundo tren. El producto combinado de LGN es enviado al poliducto que lo transporta hasta las instalaciones de fraccionamiento de JOSE.

➤ Compresión de gas residual.

La presión del gas residual se aumenta hasta 226 psig mediante el uso de dos expansores/compresores de baja presión operando en paralelo. El gas luego se enfría hasta 120 °F en el enfriador de descarga del expansor/compresor. El gas residual se comprime hasta 1030 psig en dos compresores centrífugos impulsados por turbinas a gas operando en paralelo. Para cada compresor, se proporcionan depuradores de sección, enfriadores entre-etapas y depuradores entre-etapas. El gas residual de descarga se enfría hasta 121 °F en los enfriadores de descarga del compresor de gas residual antes de ser combinado con el gas residual proveniente del segundo tren.

➤ Estabilizador de condensado.

Los condensados provenientes de los separadores de entrada y los separadores de salida de la válvula J-T de alta presión son alimentados al denominado sistema de estabilización el cual se encarga de extraer agua e hidrocarburos livianos de los líquidos condensados. El sistema consta de un

tanque flash de alimentación al estabilizador y una torre estabilizadora. El primero es un separador trifásico, cuya función principal es retirar el agua de los vapores y el condensado, el mismo opera a 69 °F y 410 psig. La columna de estabilizadora consta de 21 platos y opera a 389 psig y emplea como fluido de calentamiento en el rehervidor de fondo aceite caliente a una temperatura aproximada de 380 °F.

2.3.3 Planta de Fraccionamiento y Despacho de JOSE.

La planta de fraccionamiento JOSE (ver figura 2.15), se encuentra ubicada cerca de Barcelona, tiene capacidad de fraccionamiento en componentes puros de 150MBPD de LGN. Los productos separados son propano, iso y normal butano, pentano y gasolina, estos son enviados al área de almacenamiento donde se dispone de una capacidad de 2 MMBLS entre almacenamiento refrigerado y presurizado. (Figura 2.15).



Figura 2.15 Fotografía aérea de la Planta de Fraccionamiento y Despacho JOSE.

2.3.3.1 Principales componentes de la planta.

➤ Tanques de almacenamiento de LGN (Balas).

Son tanques utilizados para almacenar líquido de gas natural y disponer de una reserva de trabajo suficiente a fin de hacer frente a las variaciones de envío, la industria esta sometido a riesgos de toda especie, cuyo origen puede ser técnico, por deficiencias o averías de las máquinas en la refinería, en los buques o en los oleoductos, por causas naturales imprevisibles, como las tormentas en el mar y en la tierra los incendios; también pueden ser por problemas políticos, económico y comerciales entre países productores y consumidores.

Las balas son recipientes horizontales de 128 pulgadas de diámetro interno y 56 pies de longitud, sus condiciones de diseño son de 500 psig y 150 °F, la cantidad de balas con que cuenta la Planta de Fraccionamiento JOSE es de 8 y operan en conjunto suministrando LGN a los 3 trenes de fraccionamiento, el LGN se espera que venga deshidratado, pero como casi siempre no es así, las balas están provistas de botas para permitir retirar el agua libre, estas tienen 24 pulgadas de diámetro interno por 4 pies de altura. Una línea de igualación de agua conecta las botas para asegurar que el agua se distribuya uniformemente en el almacenamiento de la alimentación. Ver Figura 2.16 Tanques de recepción y almacenamiento (Balas).



Figura 2.16 Fotografía del sistema de almacenamiento de LGN (balas).

La alimentación de hidrocarburos se bombea desde las balsas de almacenamiento pasando por un sistema de precalentamiento compuesto de intercambiadores de calor en paralelo y finalmente llega a la despropanizadora.

➤ Bombas de alimentación

Son las encargadas de aumentar la presión de entrada de LGN proveniente de los tanques de almacenamiento (Balsas) a la planta con la finalidad de vencer las caídas de presión que se presentan por los distintos equipos y válvulas de control antes de la entrada a las torres de fraccionamiento. Las bombas de alimentación de la planta de fraccionamiento son de doble succión, partidas axialmente y de doble voluta. (Figura 2.17). El caudal de diseño es de 1620 GPM, a presión diferencial de 334 psi, un NPSH de 14 pies y el motor tiene una potencia de 500 HP a 1800 rpm.



Figura 2.17 Bomba de alimentación.

➤ Intercambiadores de calor.

Son recipientes en los cuales los líquidos salientes, procesados y calientes transfieren parte de su calor a otro frío que está a punto de procesar. La planta de fraccionamiento tiene un tren de precalentamiento de LGN que consta de 4 intercambiadores de tubos y carcasa que funcionan como enfriadores de productos. (Figura 2.18).

El primero es calentado por n-butano, con una capacidad térmica de diseño de 1,34 MMBTU/Hr, el fluido pasa por la carcaza a 190 psig y 220 °F y por los tubos a 575 psig y 180 °F, y su diámetro interno es de 2 y ½ pulgadas. El segundo es calentado por pentano y tiene una capacidad térmica de diseño de 0,27MMBTU/Hr, el fluido pasa por la carcaza a 210 psig y 200 °F y por los tubos a 575 psig y 180 °F. El tercero es calentado por propano, tiene una capacidad térmica de diseño de 2,61 MMBTU/Hr, el fluido pasa por la carcaza a 385 psig y 200 °F y por los tubos a 575 psig y 200 °F.

El último es calentado por iso-butano tiene una capacidad de diseño de 0,614 MMBTU/HR, el fluido pasa por la carcaza a 190 psig y 200 °F y por los tubos a 575 psig y 180 °F



Figura 2.18 Intercambiadores de calor.

➤ Hornos

Son equipos destinados a producir el calor necesario para elevar la temperatura de alimentación hasta el punto ideal. Los hornos se emplean en la planta para calentar el aceite, el cual es usado para el intercambio de calor en varios procesos. (Figura 2.19)

El aceite es expuesto a la radiación por fuego directo, los hornos son de tipo vertical, poseen 3 ensamblajes de quemadores y están provistos de instrumentación que permite un arranque manual de operador con encendido eléctrico de los pilotos y arranque manual de los quemadores. Los pilotos y los quemadores están provistos de un aparato de monitoreo automático de llama, la temperatura del aceite se controla regulando el gas combustible hacia los quemadores a través de una válvula de control de temperatura, manteniéndola en un valor de 490 °F.



Figura 2.19 Hornos.

➤ Trenes de fraccionamiento del LGN.

El proceso de fraccionamiento de LGN consiste en una destilación en serie a través de 4 torres por tren (ver figura 2.20), basado en las diferencias de los puntos de ebullición de los componentes. El fraccionamiento tiene como objetivo separar el propano, iso-butano, normal-butano, pentano, gasolina natural y más pesados de la corriente de LGN que entra a la planta.



Figura 2.20 Tren de Fraccionamiento de LGN.

➤ Torre despropanizadora

Es la primera torre de fraccionamiento (Ver figura 2.21). Desde el punto de vista de diseño y operación, esta es la torre más sencilla de la planta, consta de 50 platos. La alimentación entra en la torre en la bandeja 23 y la recibe desde las instalaciones de precalentamiento, es importante que ya venga desetanizada. La torre tiene una altura de 115 pies y un diámetro interno de 150 pulgadas. Cada uno de sus platos consta de 2 pasos en la sección superior y 4 pasos en la sección inferior y son de tipo tamiz con agujeros con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgadas, cada bandeja posee 5826 agujeros en arreglo triangular de $\frac{1}{2}$ pulgada.

La inundación de los platos varía desde un 65% en la sección inferior y hasta un 62% en la sección superior. Las condiciones de operación de la torre son en el tope iguales a 255 psig y 129 °F y en el fondo la presión y la temperatura llegan a ser 260 psig y 257 °F.



Figura 2.21. Torre Despropanizadora

➤ Torre desbutanizadora.

El producto de fondo de la torre despropanizadora entra a la torre desbutanizadora en donde todos los butanos se separan y salen por el tope de la torre, la cual consta de 50 bandejas (Ver figura 2.22). La alimentación sale a una temperatura de 256 °F y pasa por una válvula de control de flujo para vaporizarse un 18% en peso y alimentar al precalentador de alimentación de la desbutanizadora y entra a la torre en la bandeja 19.

Todos los butanos se separarán en el tope de esta torre y alimentaran luego a la separadora de butanos. La presión de operación de la torre es 145 psig y la presión de diseño se ha fijado en un valor de ajuste de 210 psig para permitir un leve aumento de la presión de operación. De una corriente lateral de la bandeja 35 se obtiene un producto pentano, quien sale con una pureza mínima de 80% por volumen de líquido y se envía directamente a los tanques de almacenamiento de productos.



Figura 2.22 Torre Desbutanizadora.

➤ Torre separadora de butanos.

La alimentación a la separadora de butanos proviene del producto del acumulador de reflujo de la torre desbutanizadora. Esta torre consta de 80 bandejas y es la más alta de la planta ya que separa isómeros con parecidos punto de ebullición. Debido a que esta torre es la que cuenta con mayor número de platos se adoptó un espaciamiento entre bandejas de 21 pulgadas con el fin de reducir la altura total de la torre. (Ver Figura 2.23 Torre Separadora de Butanos)

La separadora de butanos se ha diseñado para obtener producto Isobutano con 96% de pureza por volumen de líquido. El nivel en el acumulador de reflujo reajusta el caudal de este producto, el cual se entrega a almacenamiento luego de subenfriarse con al alimentación de la planta. El Normal Butano tendrá un 99% de pureza por volumen de líquido. Se envía bajo control de nivel desde el fondo de la torre y de allí al patio de tanques luego de haber enfriado el producto de fondo por intercambio con la alimentación de la planta a aproximadamente 104 °F.



Figura 2.23 Torre Separadora de Butanos

➤ Torre Fraccionadora de gasolina.

El producto de fondo de la desbutanizadora alimenta a la fraccionadora de gasolina esta es la última y más pequeña de las columnas de plantas de fraccionamiento, consta de 18 bandejas. Su objetivo es obtener gasolina minimizando la producción del corte de los componentes pesados. La alimentación entra en la bandeja 13 y el producto que se obtiene de esta torre tiene una composición de N-Hexano de 53,05% y N-Heptano de 30,48%, esta corriente es enviada directamente por poliducto a la Refinería de Puerto La Cruz. (Ver Figura 2.24 Torre Fraccionadora de Gasolina).



Figura 2.24 Torre Fraccionadora de Gasolina.

➤ Tratadores de tamices moleculares.

Se utiliza para remover el sulfuro de hidrogeno, el sulfuro de carbonilo, mercaptanos y el agua presente en el producto propano que sale por la torre despropanizadora. La extracción del azufre es necesaria para reducir la corrosividad del producto propano, la extracción de agua se requiere para evitar congelamientos en el área de almacenamiento refrigerado, donde la temperatura de las líneas de líquido puede llegar hasta $-58\text{ }^{\circ}\text{F}$. El tratamiento se lleva a cabo en dos lechos de tamices moleculares por tren (uno operando y el otro en regeneración). El tipo de tamiz molecular es Z5-01 y el proceso comienza cuando el propano sale del subenfriador y entra al tratador de tamices moleculares por el fondo, sube a través del lecho, sale por el tope de la torre y pasa por unos filtros que previenen cualquier arrastre de adsorbente. Después del tratamiento el propano es enviado al área de refrigeración. (Ver Figura 2.25).



Figura 2.25 Tratadores de tamices moleculares.

➤ Condensadores aéreos

Son equipos que tienen como objetivo enfriar las corrientes de trabajo para luego enviarlas hacia el área de almacenamiento. En el caso específico de la torre despropanizadora, esta cuenta con un condensador de reflujo que tiene una capacidad térmica normal de 70.334.000 BTU/Hr, cuenta con un enfriador por aire de 12 celdas con un área de transferencia de 41.250 pies². Las condiciones de diseño son de 290 psig y 200 °F y la ventilación se realiza por medio de 24 motores de 30 Hp cada uno. (Ver Fig. 2.26).



Figura 2.26 Condensadores aéreos.

➤ Acumuladores de reflujo.

Son recipientes que reciben el líquido condensado proveniente de los condensadores para separar los vapores que no son condensables a temperaturas normales y salen del acumulador por la parte superior como gases, el agua se separa por gravedad, ya que es más pesada que los hidrocarburos. (Ver Figura 2.27).

De este acumulador sale el reflujo que es regresado al tope de la torre de fraccionamiento y el producto de tope. En el caso de la despropanizadora, el acumulador de reflujo o tambor de destilado con que esta cuenta, es un recipiente horizontal de 102 pulgadas de diámetro interno y 28 pies de longitud. Las condiciones de diseño son 290 psig y 124 °F y está provisto de una bota de 24 pulgadas de diámetro interno y 4 pies de altura que sirve para el libre decantamiento del agua.



Figura 2.27 Acumuladores de Reflujo.

➤ Bombas de reflujo.

Aumentan la presión del producto proveniente de los acumuladores de reflujo. Estas en general son de etapa simple, partida radialmente y de voluta doble con un caudal de diseño que supera los 1500 gpm. (Ver figura 2.28).



Figura 2.28 Bombas de Reflujo.

➤ Rehervidores.

Son fuentes de calor externas a las torres de fraccionamiento, hierven parte del líquido que sale por el fondo de las torres. Usualmente se utilizan cuando la alimentación es relativamente liviana. La fracción de producto que no se evapora en el rehervidor controla la pureza del líquido de fondo. (Ver Figura 2.29).



Figura 2.29 Rehervidores

Termosifón horizontal.

Son recipientes en donde se almacena el combustible utilizado por los rehevidores, en el caso del rehervidor de la despropanizadora, este se define como un intercambiador de calor tipo termosifón de tubos y carcaza que utiliza aceite para el calentamiento, el cual pasa por los tubos a 150 psig y 550 °F y por la carcaza pasa el producto de fondo de la despropanizadora. El área de

transferencia de calor es de 6.084 pies² y tiene una capacidad térmica normal de 60.820.000 BTU/Hr. (Ver Figura 2.30).



Figura 2.30 Termosifón horizontal

➤ Mechurrios de servicios.

Están diseñados para quemar sin humos en forma rutinaria, todos los pequeños volúmenes de vapor venteados por las torres de fraccionamiento. Para ello, se mezcla aire con los vapores venteados antes de su combustión y se dirigen al cabezal del mechurrio, en donde gran parte de estos vapores se condensan por la expansión de los gases y se separan de la corriente gaseosa.



Figura 2.31 Mechurrios de servicios.

El líquido es bombeado hacia la fosa de incineración y los vapores no condensables se dirigen hacia la chimenea del mechurrio para ser quemados (ver Figura 2.31), la ubicación del mechurrio asegura que la cantidad de calor por radiación a nivel del piso no llegue a niveles más peligrosos para el personal de operación, excepto una pequeña área muy cercana a las chimeneas.

➤ Sala de control.

Usualmente está construida a prueba de explosión; y el suministro de energía para el aire acondicionado, iluminación y el UPS (suministro de energía no interrumpible) es desde la barra del generador de emergencia.

En la sala de control están las estaciones de operación y cada una de ellas esta capacitada para controlar todo el proceso pero normalmente cada una se utilizará para controlar su área asignada. (Ver Figura 2.32).

Las estaciones serán las herramientas para controlar el proceso, el operador tendrá un esquema o dibujo del proceso y el sistema digital le proveerá información inmediata permitiendo que las decisiones del operador se lleven a cabo más rápido y en forma más segura.



Figura 2.32 Sala de control.

Todas las estaciones de operación están configuradas para proveer fácil acceso de todas las variables del proceso. Se puede tener información en la pantalla sobre.

Revisión general de la planta.

Grupos de operación.

Grupos de alarmas.

Presentación de información específica.

Gráficos.

También realiza un análisis de las corrientes de LGN con cromatógrafos de gas basados en un microprocesador. El análisis incluye las concentraciones de etano, propano, iso -butano, normal-butano, iso pentano, normal pentano y más pesados (c6+), además de las impurezas. Los componentes principales de cada corriente se muestran en gráficos en las pantallas de las consolas.

2.4 Válvulas.

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de fluidos mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir, cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras; las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

2.4.1 Tipos de Válvulas.

Válvulas de control.

La válvula automática de control constituye generalmente el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Válvulas de compuerta.

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en el caudal se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento. (Ver Figura 2.33).

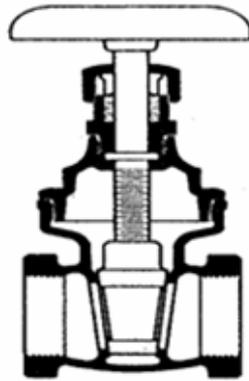


Figura 2.33 Válvula de Compuerta.

Recomendada para:

Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.

Para uso poco frecuente.

Para resistencia mínima a la circulación.

Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Aplicaciones.

Servicio general, aceite y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

Válvula de macho.

La válvula de macho es de $\frac{1}{4}$ de vuelta (Ver Figura 2.34), que controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico que tiene un agujero en el centro, se puede mover de la posición abierta a la cerrada mediante un giro de 90° .

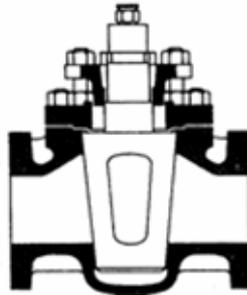


Figura 2.34 Válvula Macho.

Recomendada para:

Servicio con apertura total o cierre total.

Para accionamiento frecuente.

Para baja caída de presión a través de la válvula.

Para resistencia mínima a la circulación.

Para cantidad mínima de fluido atrapado en la tubería.

Válvulas de globo.

Una válvula de globo es de vueltas múltiples (figura 2.35) en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso de fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería.

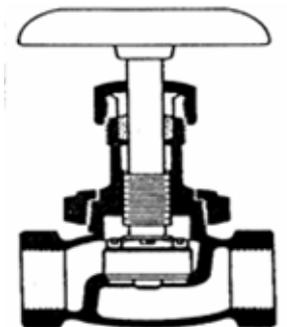


Figura 2.35 Válvula de Globo.

Recomendada para:

Estrangulación o regulación de circulación.

Para accionamiento frecuente.

Para corte positivo de gases o aire.

Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

Válvulas de bola.

Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta (Figura 2.36), en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

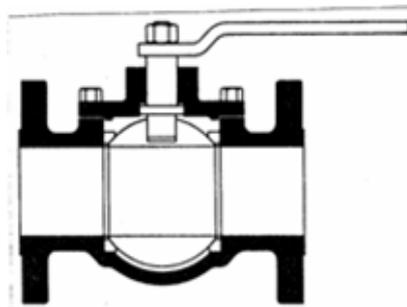


Figura 2.36 Válvula de Bola.

Recomendada para:

Para servicio de conducción y corte, sin estrangulación.

Cuando se requiere apertura rápida.

Para temperaturas moderadas.

Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.

Válvulas de mariposa.

La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación. (Ver Figura 2.37).



Figura 2.37 Válvula de Mariposa.

Recomendada para:

Servicio con apertura total o cierre total.

Servicio con estrangulación.

Para accionamiento frecuente.

Cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos.

Cuando sólo se permite un mínimo de fluidos atrapados en la tubería.

Para baja caída de presión a través de la válvula.

Válvulas de diafragma.

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación. (Ver Figura 2.38).

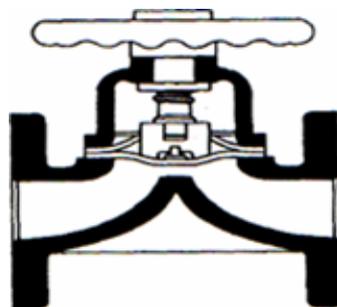


Figura 2.38 Válvula de diafragma.

Recomendada para:

Servicio con apertura total o cierre total.

Para servicio de estrangulación.

Para servicio con bajas presiones de operación.

Válvulas de apriete.

La válvula de apriete es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de uno o más elementos flexibles, como diafragmas o tubos de caucho que se pueden apretar u oprimir entre si para cortar la circulación. (Ver Figura 2.39).

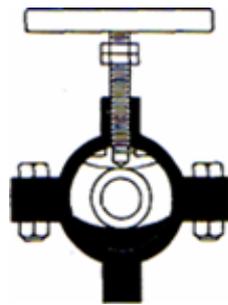


Figura 2.39 Válvula de Apriete.

Recomendada para:

Servicio de apertura y cierre.

Servicio de estrangulación.

Para temperaturas moderadas.

Cuando hay bajas caídas de presión a través de la válvula.

Para servicios que requieren poco mantenimiento.

Válvulas de retención (check) y desahogo (alivio).

Hay dos categorías de válvulas y son para uso específico, más bien que para servicio general. Al contrario de los otros tipos descritos, son válvulas de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su

funcionamiento de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería. Como ambos tipos se utilizan en combinación con válvulas de control de circulación, la selección de la válvula, con frecuencia, se hace sobre las bases de las condiciones para seleccionar la válvula de control de circulación.

Válvulas de retención (check).

La válvula de retención está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Hay tres tipos básicos de válvulas de retención:

Válvulas de retención de columpios.

Válvulas de retención de elevación.

Válvulas de retención de mariposa.

Válvulas de retención de elevación.

Una válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo (figura 2.40), excepto que el disco se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

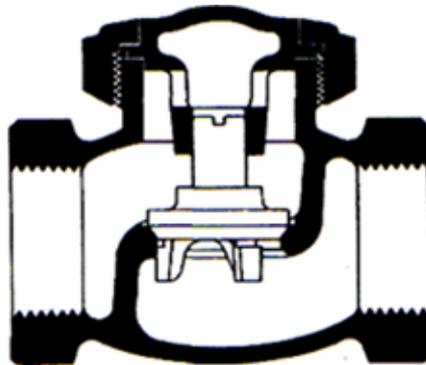


Figura 2.40 Válvula de Retención de Elevación.

Recomendada para:

Cuando hay cambios frecuentes de circulación en la tubería.

Para uso con válvulas de globo y angulares.

Para uso cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema.

Válvulas de desahogo (alivio).

Una válvula de desahogo es de acción automática para tener regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio no comprimible y se abre con lentitud conforme aumenta la presión, para regularla. (Ver Figura 2.41)

La válvula de seguridad es similar a la válvula de desahogo y se abre con rapidez con un “salto” para descargar la presión excesiva ocasionada por gases o líquidos comprimibles.

El tamaño de las válvulas de desahogo es muy importante y se determina mediante formulas específicas.

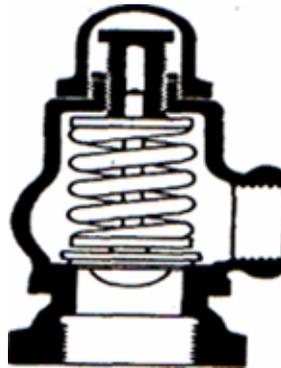


Figura 2.41 Válvula de Desahogo.

Válvulas de seguridad convencional.

Las válvulas de seguridad de acción directa son válvulas cargadas axialmente que al alcanzarse una presión prefijada de tarado se abren automáticamente debido a la acción del fluido o presión sobre el disco de cierre de la válvula. (Ver figura 2.42). La carga debida a la presión del fluido por debajo del disco de cierre de la válvula está contrarrestada sólo por una carga mecánica directa tal como un resorte, un peso o una palanca y un peso. Es el tipo más sencillo y de uso común sin características especiales para mejorar sus prestaciones. Normalmente alcanzan su capacidad de descarga certificada a una

sobre presión del 10% para gases y vapores y del 10 al 25% para líquidos. Es una válvula de seguridad del tipo de presión directa en la que la presión de tarado está afectada por cambios en la contrapresión superpuesta.

Esta válvula de seguridad es la más común en la industria química de procesos (Ver Figura 2.42). Es una válvula mantenida cerrada por la acción de un muelle o resorte con una boquilla de abertura total debajo del asiento, con sombrerete o bonete abierto o cerrado rodeando el resorte y unos anillos de ajuste para variar el margen o intervalo entre la presión de tarado y la presión de reasiento o cierre después de la descarga de alivio de presión. Se fabrican en distintos diámetros nominales.

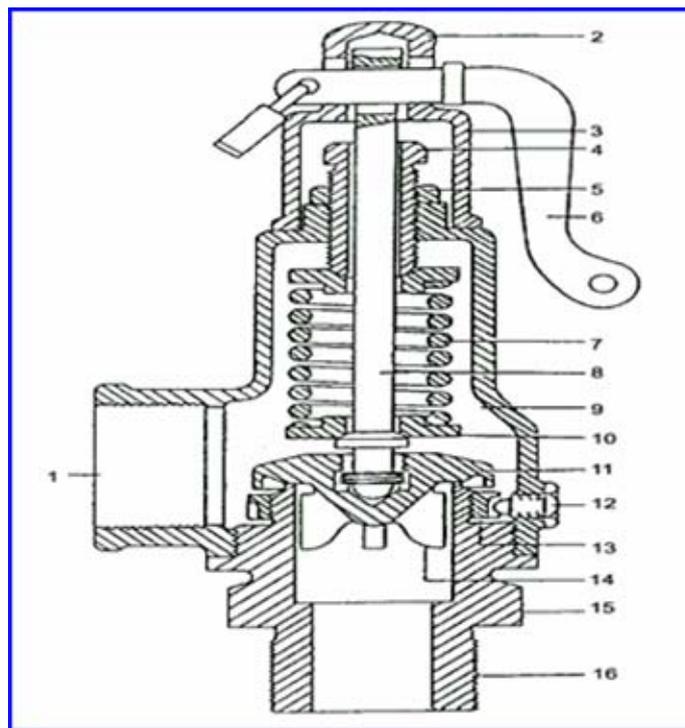


Figura 2.42 Válvula de seguridad de acción o presión directa.

Boca de salida lateral.

2. Caperuza.
3. Sombrerete o bonete.

4. Tornillo de ajuste.
5. Tuerca de fijación del ajuste.
6. Palanca de apertura manual.
7. Resorte.
8. Husillo o vástago.
9. Cuerpo.
10. Placa del extremo del resorte.
11. Disco de cierre de la válvula.
12. Tornillo de fijación del anillo de ajuste.
13. Anillo de ajuste del escape.
14. Elemento de guiado en parte inferior.
15. Asiento.
16. Conexión roscada al recipiente.

La parte exterior del disco de cierre de la válvula (parte que no está en contacto con el fluido del recipiente a presión) está sometida a la contrapresión existente a la salida de la válvula, por lo que la fuerza aplicada por el muelle debe equilibrarse con las fuerzas ocasionadas por la presión de tarado y la contrapresión. Si la contrapresión varía, también lo hará la presión de tarado y esto puede ser un inconveniente por lo que el empleo de válvulas de seguridad convencionales se reserva para aplicaciones en que la contrapresión no supera el 10% de la presión de tarado. El efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo varía según que el sombrerete ventee a la atmósfera o a la boca de descarga de la propia válvula.

Adoptando la simbología

FS = Fuerza del resorte

P1 = Presión interna del lado del equipo protegido

P2 = Contrapresión en el lado de descarga

AN = Área de la boquilla

AD = Área del disco

$AP =$ Área de la sección del pistón en contacto con el disco

Y estableciendo el equilibrio de fuerzas en el momento en que abre la válvula (desaparecen las fuerzas de reacción en el asiento) según puede verse de forma esquemática en la figura 2.43 se tiene para los dos subtipos de válvulas siguientes:

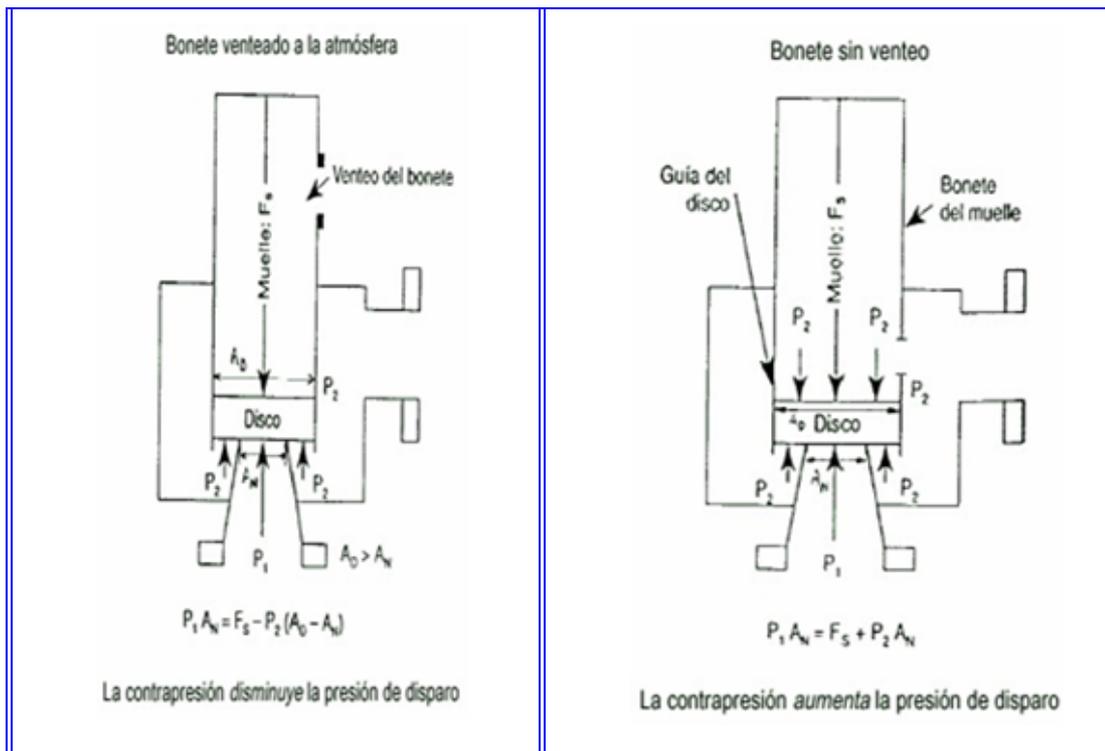


Figura 2.43 Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad convencionales o no compensadas.

Válvulas con venteo del sombrerete a la atmósfera.

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_s \quad P_1 A_N = F_s - P_2 (A_D - A_N) \quad (E-1)$$

En el momento en que abre, P_1 pasa a ser la presión de disparo y queda la relación

$$P_1 = F_s / A_N - (A_D - A_N) \cdot P_2 / A_N \quad (E-2)$$

La contrapresión hace disminuir la presión de disparo por debajo de la presión de tarado prevista FS / AN en la magnitud $P2 (AD - AN)/AN$ con riesgo de disparo prematuro.

Válvulas con venteo del sombrerete a la boca de descarga.

$$P1AN + P2 (AD - AN) = FS + P2AD \quad P1AN = FS + P2AN \quad (E-3)$$

$$P1 = FS / AN + P2 \quad (E-4)$$

En este caso la contrapresión incrementa la presión de disparo por encima de la presión de tarado prevista FS / AN en la magnitud $P2$ con riesgo de no abrir cuando se requiera. Abre con retardo.

Cuando la contrapresión excede el 10%, se recomienda utilizar válvulas de seguridad equilibradas que permiten contrapresiones hasta el 50% de la presión absoluta de tarado. A partir de ese valor la capacidad de descarga de esas válvulas decrece notablemente. Los límites en casos particulares dependerán del fabricante y de la proporción relativa entre la contrapresión fija y variable.

Válvula de seguridad de carga o presión suplementaria.

Es una válvula de seguridad que tiene aplicada una fuerza adicional (la presión suplementaria) en la parte superior del disco de cierre de la válvula para aumentar la fuerza de sellado y mejorar la hermeticidad (o estanqueidad) del asiento de la válvula hasta que se alcanza la presión de tarado. La carga suplementaria deberá ser fácilmente eliminable al alcanzar la presión máxima admisible.

La fuerza adicional es proporcionada por una fuente de potencia externa (neumática, hidráulica o solenoide eléctrico) que se libera de forma fiable al alcanzar la presión de tarado permitiendo que abra la válvula y alivie el exceso de presión. Esta fuerza adicional vuelve a quedar aplicada para ayudar al reasiento de la válvula de seguridad, cuando la presión desciende por debajo de la presión de tarado.

La presión suplementaria está limitada de forma que si por mal funcionamiento no se libera esa presión cuando se llega a la presión de tarado la capacidad de descarga certificada de la válvula se consigue a una sobre presión del 15% (para gases o vapores). Este requisito significa que la presión de tarado será frecuentemente menor que la presión de diseño, de forma que la presión de alivio no exceda la presión acumulada máxima permitida.

En el Código Español de Recipientes a presión (CERAP), se indica que la suma de las fuerzas de cierre, incluida la carga suplementaria, no puede ser superior a 1,2 veces la fuerza de apertura de la válvula a la máxima presión admisible.

Válvulas de seguridad de acción indirecta.

Las válvulas de seguridad de acción indirecta son aquellas en las que el soplado de la válvula principal se efectúa únicamente por la acción de una o varias válvulas de seguridad piloto. (Ver Figura 2.44.)

Válvula de seguridad accionada por piloto o presión indirecta.

Es una válvula de seguridad accionada por el movimiento de una válvula piloto que es por sí misma una válvula de presión directa como la descrita en primer lugar. La válvula piloto debe actuar debidamente sin ayuda de ninguna fuente exterior de energía.

En una disposición típica la presión de cierre del asiento de la válvula principal es proporcionada por la propia presión del fluido que actúa sobre una superficie de área mayor que la situada por debajo del disco de la válvula.

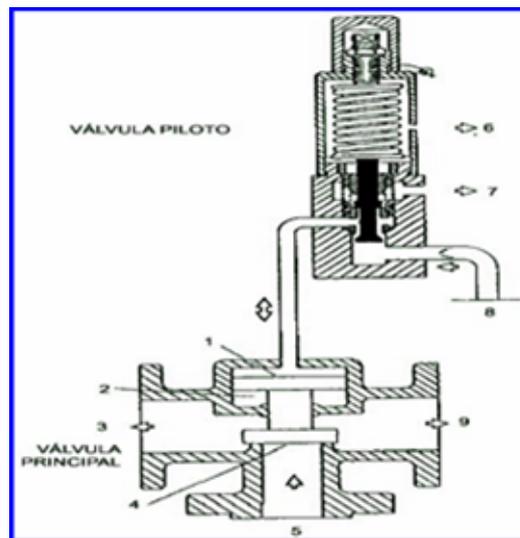


Figura 2.44 Válvula de seguridad de acción indirecta.

1. Área mayor
2. A igual presión que el conducto de alivio
3. Descarga al conducto de alivio
4. Área menor
5. Orificio de entrada desde el proceso
6. Venteo a la atmósfera
7. Escape a la atmósfera
8. Conexión al recipiente de proceso
9. Descarga al conducto de alivio

Cuando se alcanza la presión de tarado, la válvula piloto se abre, liberando la presión del fluido que actuaba sobre el área mayor del disco de cierre de la válvula principal y permitiendo que se abra la válvula principal para la descarga de alivio.

Válvulas de seguridad equilibradas.

Son aquellas en las que se consigue equilibrar el efecto de la contrapresión mediante un fuelle o pistón según se describe en los siguientes tipos:

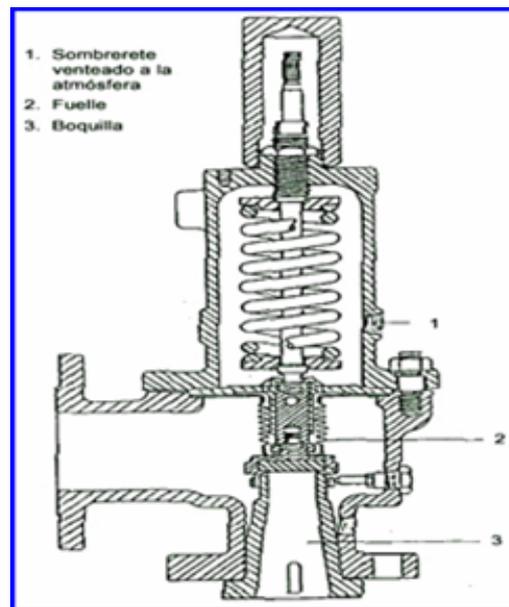


Figura 2.45 válvulas de seguridad equilibradas.

Válvula de seguridad equilibrada o compensada de fuelle.

Este tipo de válvula incorpora un cierre con fuelle lo cual evita que la descarga de fluido entre en el espacio del sombrero. El fuelle tiene un área efectiva igual al área del asiento de la válvula por lo cual el efecto de la contrapresión sobre la presión de tarado queda eliminado. Están diseñadas para que se igualen las fuerzas ocasionadas por la contrapresión a ambos lados del disco de cierre de la válvula.

El equilibrio de fuerzas se puede ver esquemáticamente en la figura 2.46, adoptando la simbología anterior y siendo

$AB = \text{Área del fuelle}$

Estableciendo el equilibrio de fuerzas

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S + P_2 (A_D - AB) \quad (E-5)$$

Como $AB = A_N$ se tiene

$$P_1 A_N = F_S \quad P_1 = F_S / A_N \quad (E-6)$$

La contrapresión P_2 no influye en la presión de disparo P_1 .

El sombrero tiene un orificio en comunicación con la atmósfera, el cual no debe taponarse ya que en ese caso alteraría la presión de tarado, debido al

aumento de la presión en el interior del sombrerete durante la ascensión del vástago, por lo cual la válvula no funcionaría como válvula de seguridad equilibrada. El fuelle también tiene un venteo para no acumular presión en su interior.

Estas válvulas se recomiendan para servicio con productos corrosivos, que lleven suciedad o que den lugar a incrustaciones.

En el caso de fallo o avería del fuelle, el fluido puede entrar en el espacio del sombrerete y escapar por el orificio de venteo. Es esencial que se detecte cualquier escape a través del orificio del sombrerete ya que afectaría a la presión de tarado de la válvula. Si no se puede aceptar tal fallo, en especial si es súbito, se debe utilizar una válvula de seguridad equilibrada de pistón o de fuelle con pistón auxiliar.

Válvula de seguridad equilibrada o compensada de pistón.

Es una válvula de seguridad que incorpora un pistón entre el disco de la válvula y el resorte. (Ver figura 2.46)

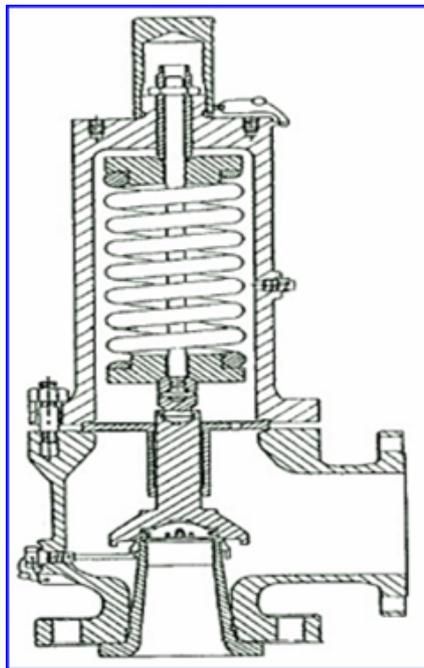


Figura 2.46 Válvula de seguridad equilibrada o compensada por pistón.

El pistón tiene un área efectiva igual al área del asiento de la válvula de forma que queda eliminado el efecto de la contrapresión sobre la presión de tarado de la misma manera que en la válvula anterior. El equilibrio de fuerzas (Ver fig. 2.47) daría:

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S + P_2 (A_D - A_P) \quad (E-7)$$

Siendo $A_P = \text{Área del pistón}$; como $A_P = A_N$ se tiene

$$P_1 A_N = F_S \quad P_1 = F_S / A_N \quad (E-8)$$

Igual que en la válvula compensada de fuelle la presión de disparo P_1 no depende de la contrapresión P_2 o dicho de otra forma, la fuerza de apertura (presión de disparo por área de la superficie de contacto del disco con el recipiente) es igual a la fuerza del resorte y sin dependencia de la contrapresión P_2 .

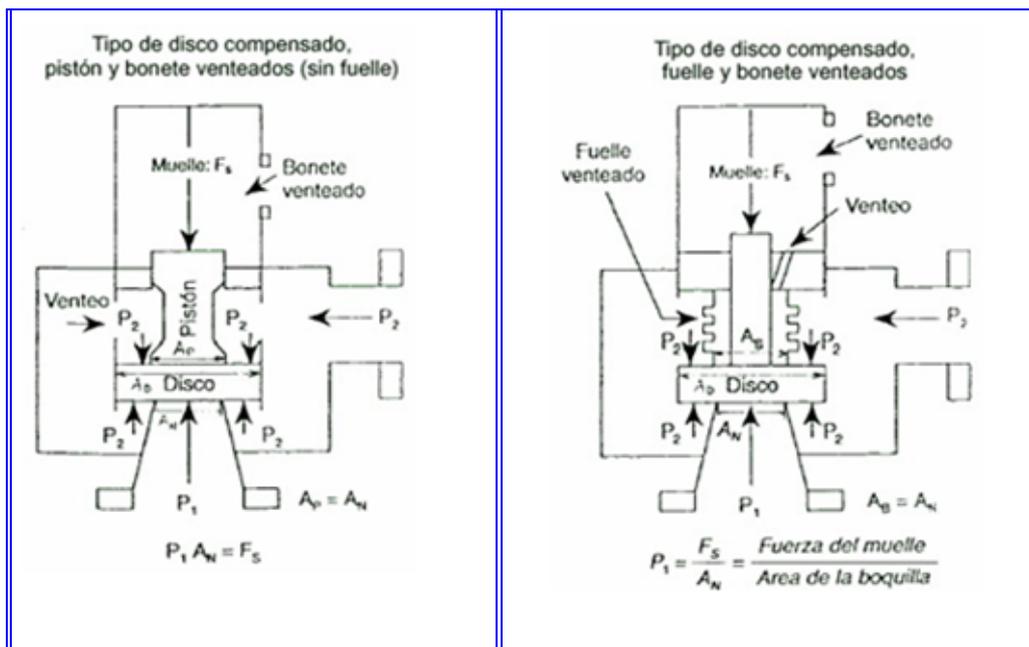


Figura 2.47. Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad compensadas

Estas válvulas tienen las siguientes características:

La cara superior del pistón tiene igual área que el asiento de la boquilla (superficie de contacto con el fluido del recipiente).

La guía del pistón está venteadada de forma que se equilibran las contrapresiones en las caras opuestas del disco.

El sombrerete debe estar venteadado a un lugar seguro a presión atmosférica para operar con productos peligrosos, ya que con este tipo de válvula es inevitable un flujo reducido continuo que pasa desde el pistón al sombrerete.

Válvula de seguridad equilibrada o compensada de fuelle con pistón auxiliar.

Esta válvula incorpora un pistón auxiliar el cual se puede ver en la figura 2.48 que tiene un área efectiva igual a la del asiento de la propia válvula. En caso de fallo del fuelle la válvula funcionaría como una válvula de seguridad equilibrada de pistón, evitando así el inconveniente indicado en las válvulas de seguridad equilibradas de fuelle que se ven afectadas por un escape de fluido al interior del sombrerete. El sombrerete también debe ser venteadado a un lugar seguro.

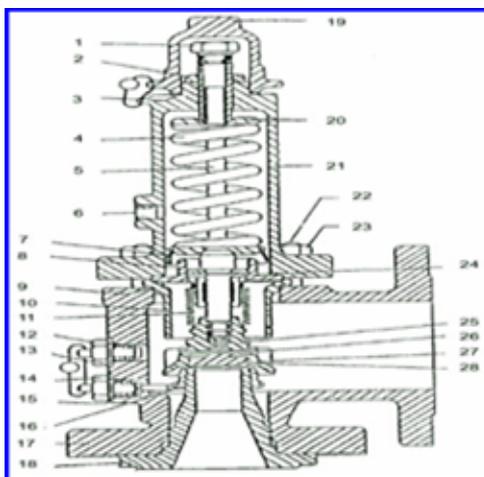


Figura 2.48 Válvula de seguridad equilibrada o compensadas por fuelle con pistón auxiliar.

1. Tornillo de ajuste	16. Junta del tornillo de ajuste
2. Tuerca de bloqueo del tornillo de ajuste	17. Anillo de la boquilla
	18. Cuerpo

3.Junta de la caperuza	19.Boquilla
4.Resorte	20.Caperuza
5.Vástago	21.Arandela
6.El sombrerete debe estar venteado a la atmósfera	22.Sombrerete
7.Guardapolvo	23.Espárrago de sombrerete
8.Guía del vástago	24.Tuerca del espárrago del sombrerete
9.Junta protectora	25.Pistón auxiliar equilibrado
10.Protector del fuelle	26.Soporte del disco
11.Fuelle	27.Pasador
12.Tapón	28.Anillo del disco
13.Junta del tapón	29.Separador
15.Tornillo de ajuste del anillo de la boquilla	

2.5 Bombas

En casi todos los procesos, se transfiere un líquido de un recipiente o equipo a otro mediante el uso de una bomba. Estas juegan un papel muy importante dentro de una industria de procesos químicos, y su selección adecuada para un proceso en particular, se puede lograr mediante una evaluación de los requisitos hidráulicos del sistema de bombeo junto con el conocimiento del comportamiento y las características de funcionamiento de diferentes tipos de bombas.

El tipo de bomba comúnmente usado en las aplicaciones de plantas de proceso entra en las siguientes categorías: centrífuga, axial, tipo turbina regenerativa, reciprocante, dosificadora, diafragma y rotativa.

Las bombas se pueden clasificar en dos tipos generales: dinámicas y de desplazamiento positivo. Las bombas dinámicas-centrífugas y axiales operan desarrollando una velocidad de líquido alta y convirtiendo la velocidad en presión

en un pasaje de difusión de flujo. Tienden a tener una eficiencia menor que las bombas de desplazamiento positivo, pero operan a una velocidad relativamente alta para permitir un caudal de flujo alto en relación con el tamaño físico de la bomba. Las bombas dinámicas tienden a tener requerimientos mucho menores de mantenimiento que las bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas de desplazamiento positivo operan forzando a un volumen fijo de líquido a ir desde la zona de presión de entrada de la bomba hacia la zona de descarga. Esto se lleva a cabo intermitentemente en el caso de las bombas reciprocantes y continuamente, en el caso de las bombas rotativas de tornillo y engranaje. Las bombas de desplazamiento positivo operan a una velocidad rotativa menor que las bombas dinámicas y tienden a ser físicamente más grandes que las bombas dinámicas de igual capacidad.

2.5.1 Bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas comprenden una clase muy amplia de bombas en las que la generación de presión se logra con la conversión del cabezal de velocidad en cabezal estático. El cual se puede ver en la figura 2.49. El movimiento rotativo de uno o más impulsores comunica energía al fluido en la forma de un incremento de velocidad que se convierte en cabezal estático útil en la sección de difusión del cuerpo. No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de pulsaciones de baja frecuencia. Como este tipo de bomba opera convirtiendo el cabezal de velocidad en cabezal estático, una bomba que opera a velocidad fija desarrollará el mismo cabezal teórico en metros (pies) de fluido bombeado, independientemente de su densidad. Sin embargo, la presión en kPa (psi) (correspondiente al cabezal desarrollado) depende de la densidad del fluido.



Figura 2.49 bomba centrífuga.

2.5.2 Bombas de flujo axial

Las bombas de flujo axial se aplican para caudales muy altos, y bajos cabezales en servicios con agua y sustancias químicas. Algunos servicios típicos con agua son: irrigación, control de inundación, bombas/turbinas para bombeo a almacenaje en plantas de generación de potencia, y bombas de circulación para condensadores barométricos, etc. Algunos servicios típicos de plantas químicas son el de circulación para el reactor de propileno, y los servicios de circulación asociados con evaporadores y cristalizadores en la producción de sulfato de amonio, ácido fosfórico, potasio, soda cáustica y productos de azúcar.

2.5.3 Bombas reciprocantes

Son aquellas en las cuales se agrega energía periódicamente mediante la aplicación de fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contienen un fluido, lo que resulta en un incremento directo en presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido a través de valores o aberturas en las líneas de descarga.

Las bombas de tipo reciprocante son especificadas con poca frecuencia en los diseños nuevos. Se prefiere el uso de bombas centrífugas y deberían usarse excepto en las pocas situaciones donde sea necesario otro tipo. Circunstancias

especiales que pueden favorecer a las bombas reciprocantes, incluyen las siguientes:

Fluidos de alta viscosidad.

Capacidades relativamente bajas (de 0,2 a 1,3 l/s (3 a 20 gpm)) a cabezales altos.

Servicios intermitentes, como bombeo externo o separador de lodo y residuo, donde se debe manejar un rango de fluidos y hay disponible un NPSH suficiente, los costos de equipos son favorables.

Servicio de lodo y suspensiones.

Servicios de bombeo simple con un rango amplio de presiones de descarga o caudales de flujo.

Las bombas reciprocantes producen un flujo pulsante, desarrollan una presión de parada alta, tienen una capacidad constante cuando son accionados por un motor, y están sujetas a atrapar vapor a condiciones de NPSH bajas. Las fugas a través del empaque deben ser consideradas, ya que los sellos de tipo mecánico no son aplicables a rodillos o émbolos.

2.5.4 Bombas rotativas.

Las bombas rotativas, como clase, normalmente se refieren a las bombas de desplazamiento positivo con elementos de bombeo rotativos tales como engranajes, tornillos, alabes y lóbulos. Sólo los tipos de engranaje y de tornillo se usan en un número significativo de servicios de refinería.

Todas las bombas rotativas tienen estrechos espacios entre las partes móviles, lo cual posiblemente produciría la obstrucción del movimiento de las partes en servicios de altas temperaturas o desgaste cuando se requieren aleaciones por corrosión.

Las bombas rotativas para aplicaciones de refinería están disponibles en rangos de 0.06 a 315 dm³/s (1 a 5000 gpm) y para presiones diferenciales de hasta 21000 kPa (3000 psig). Normalmente están limitadas a servicios con fluidos demasiado viscosos para ser manejados económicamente por bombas centrífugas o de otro tipo, tales como aceites combustibles pesados, lubricantes, grasas y asfalto. Las bombas rotativas que manejan líquidos por debajo de 21 mm²/s (100 SSU) pueden tener un desgaste excesivo y fugas internas. Este desgaste, debido a las propiedades lubricantes inadecuadas del líquido, es particularmente serio en aquellos diseños que tienen cojinetes internos, engranajes de cebado internos, o donde un elemento interno acciona otros elementos de bombeo. Las bombas rotativas no son aptas para manejar fluidos con cantidades apreciables de sólidos duros o abrasivos. Cuerpos con camisas de vapor están disponibles para servicios de alta viscosidad, tales como el de asfalto.

Las bombas rotativas se usan en los dispensadores de gasolina, bombas de descarga de camiones (incluyendo GLP), etc., donde el requerimiento de factor de servicio es bajo, el diferencial de presión es bajo, se requiere auto-cebado ocasionalmente, y el mantenimiento usualmente consiste en la sustitución rápida de la bomba.

2.6 Control Automático de Procesos.

El aparato más primitivo que emplea el principio de control por realimentación fue desarrollado por un griego llamado Ktsibios aproximadamente 300 años A.C. Se trataba de un reloj de agua, el cual medía el pasaje del tiempo por medio de un pequeño chorro de agua que fluía a velocidad constante dentro de un recipiente.

El mismo poseía un flotante que subía a medida que el tiempo transcurría. Ktsibios resolvió el problema del mantenimiento del caudal constante de agua inventando un aparato semejante al usado en los carburadores de los motores

modernos. Entre el suministro de agua y el tanque colector había una regulación de caudal de agua por medio de una válvula flotante que mantenía el nivel constante. Si el nivel se elevaba (como resultado de un incremento en la presión de suministro por ejemplo), el flotante se elevaba restringiendo el caudal de agua en el recipiente regulador hasta que el flotante volvía al nivel específico. El primer uso del control automático en la industria parece haber sido el regulador centrífugo de la máquina de vapor de Watt en el año 1775 aproximadamente. Este aparato fue utilizado para regular la velocidad de la máquina manipulando el caudal de vapor por medio de una válvula. Por lo tanto, están presentes todos los elementos de realimentación. Aún cuando el principio de control por realimentación desde muchos años en la antigüedad, su estudio teórico aparece muy tarde en el desarrollo de la tecnología y la ciencia. El primer análisis de control automático es la explicación matemática del regulador centrífugo por James Clerk Maxwell en 1868.

Más tarde la técnica del regulador se adjudicó a otras máquinas y turbinas y a principio del siglo XX comenzó la aplicación de reguladores y servomecanismos en reguladores de energía térmica al gobierno de buques. La primera teoría general sobre control automático, pertenece a Nyquist en el famoso artículo "Teoría de la regeneración". Este estudio sentó las bases para la determinación de la estabilidad de sistemas sin necesidad de resolver totalmente las ecuaciones diferenciales.

Otros desarrollos en servomecanismos y amplificadores eléctricos dieron origen a muchas técnicas de frecuencia y lugar geométrico que se usan hoy en día. Las aplicaciones generales al control de procesos no comenzaron hasta la década del 30. Durante la década de los cuarenta, los métodos de la respuesta en frecuencia hicieron posible que los ingenieros diseñaran sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran con los requerimientos de desempeño. A finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, se desarrolló por completo el método del lugar geométrico de las raíces propuesto por Evans. Las

técnicas de control se consagraron rápidamente, tal es así que ya en los años 40 funcionaban redes de control relativamente complejas. Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones. La teoría del control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su solidez ante sistemas con entradas y salidas múltiples. Desde alrededor de 1960, debido a que la disponibilidad de las computadoras digitales hizo posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos, la teoría de control moderna, basada en el análisis en el dominio del tiempo y la síntesis a partir de variables de estados, se ha desarrollado para enfrentar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requerimientos limitativos respecto de la precisión, el peso y el costo en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

En casi todas las fases de procesos industriales se utilizan aparatos de control Automático. Se usan corrientemente en:

1- Industrias de procesamiento como la del petróleo, química, acero, energía y alimentación para el control de la temperatura, presión, caudal y variables similares.

2- Manufactura de artículos como repuestos o partes de automóviles, heladeras y radio, para el control del ensamble, producción, tratamiento térmico y operaciones similares.

3- Sistemas de transporte, como ferrocarriles, aviones, proyectiles y buques.

4- Máquinas herramientas, compresores y bombas, máquinas generadoras de energía eléctrica para el control de posición, velocidad y potencia.

El control automático de proceso como una manera de mantener la variable controlada en el punto de control, a pesar de las perturbaciones. Algunas de las “razones” por las cuales esto es importante, estas razones son producto de la experiencia industrial, tal vez no sean las únicas, pero sí las más importantes.

Evitar lesiones al personal de la planta' o daño al equipo. La seguridad siempre debe estar en la mente de todos, ésta es la consideración más importante.

Mantener la calidad del producto, (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un costo mínimo 3. Mantener la, tasa de producción de la planta al costo mínimo.

Por tanto, se puede decir que las razones de la automatización de las plantas de proceso son proporcionar .un entorno seguro y a la vez mantener la calidad deseada del producto y alta eficiencia de la planta con reducción de la demanda de trabajo humano.

2.6.1 Términos Importantes en el Control Automático de Procesos.

Existen diferentes definiciones que deben ser conocidas para poder comprender los sistemas de control. El primer término es variable controlada, ésta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. El segundo término es punto de control, el valor que se desea tenga la variable controlada. La variable manipulada es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o de régimen). Cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control se define como perturbación o trastorno, estas perturbaciones son la causa mas común de que se requiera el control automático de proceso; si no hubiera alteraciones prevalecerían las condiciones de operación del diseño y no se necesitaría supervisar continuamente el proceso. Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y es una entrada.

Sistemas: Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es

físico. El concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

Lazo: Combinación de uno o más instrumentos o funciones de control que señalan el paso de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar las variables de un proceso.

Controlador: Dispositivo con una salida que varía para regular una variable de control de una manera específica. Un controlador manual varía su salida automáticamente en respuesta a una entrada directa o indirecta de un proceso variable. Un controlador manual es una estación manual de carga y su salida no depende de una medida de un proceso variable pero puede variarse solamente por medio de un procedimiento manual.

Elemento final de control: Dispositivo que controla directamente los valores de la variable manipulada en un lazo de control. Generalmente el elemento final de control es una válvula de control.

2.6.2. El Sistema de Control General.

2.6.2.1 Aspectos Generales

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

En la figura 2.50 se muestra un proceso con una entrada manipulada M , una entrada de carga L y una salida controlada C , que podría ser caudal, presión, nivel

de líquido, temperatura, composición o cualquier otra variable de balance, medio ambiente o calidad que se quiere mantener en un punto de consigna R . la carga puede ser una variable única o un conjunto de variables que actúan independientemente o se manipulan para otros propósitos, que afectan a la variable controlada tanto como lo hace la variable manipulada. Los cambios en la carga pueden suceder aleatoriamente como los causados por los cambios del tiempo, diariamente con la temperatura ambiente, manualmente cuando los operadores cambian el nivel de producción, en forma de escalón cuando un equipo entra o sale de servicio, o cíclicamente como resultado de otros lazos de control. Las variaciones en la carga alejaran a la variable controlada de su punto de consigna requiriendo del correspondiente cambio de la variable manipulada para hacerla regresar. La variable manipulada también debe cambiar para mover la variable controlada desde un punto de consigna hasta otro.

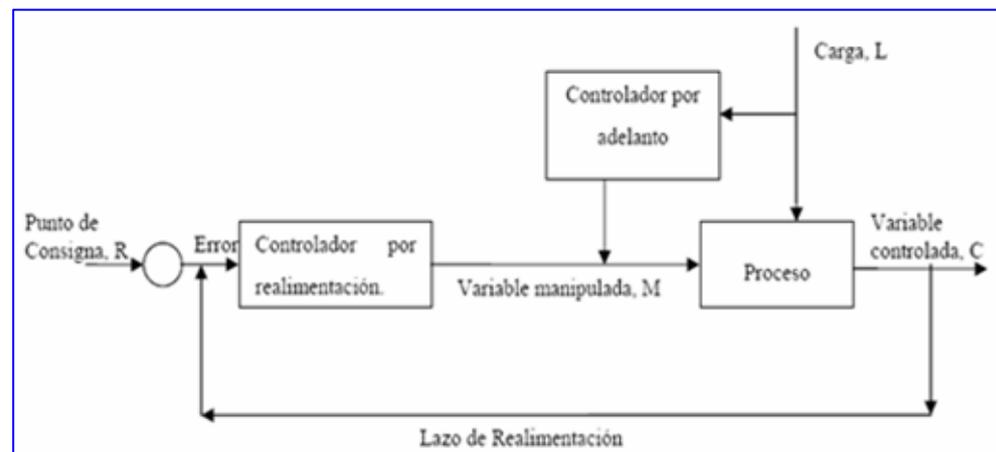


Figura 2.50 Control por adelantado y realimentación.

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y a lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida. Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.

a) Control por Lazo Abierto.

Los sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control de lazo abierto, la cual se ilustra en la figura 2.51. Este sistema mueve la variable manipulada tanto manualmente como en base de una programación, sin utilizar ninguna medida del proceso. En otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se retroalimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control de lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fija. Así, la precisión del sistema depende de la calibración. En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no cumple su función asignada. En la práctica el control de lazo abierto sólo se puede utilizar si la relación entre la entrada y la salida es conocida, y si no se presentan perturbaciones tanto internas como externas. Esta operación es aceptable en procesos perfectamente definidos y sin perturbaciones. Desde luego, tales sistemas no son sistemas de control retroalimentado. Nótese que cualquier sistema de control que funciona sobre una base de tiempos, es un sistema de lazo abierto. Los elementos de un sistema de control de lazo abierto se pueden dividir en dos partes: el controlador y el proceso controlado. Debido a su simplicidad y economía los sistemas de control de lazo abierto se les encuentran en muchas aplicaciones no críticas.

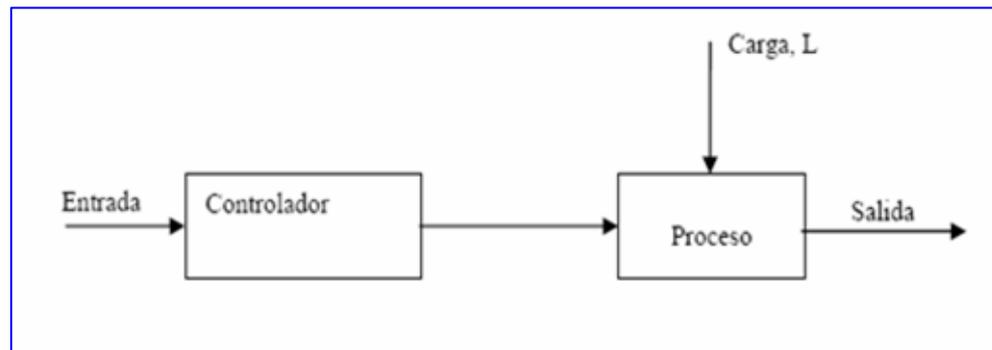


Figura 2.51 Control por lazo abierto

Los sistemas de control a lazo abierto tienen dos rasgos sobresalientes:

1) La habilidad que éstos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

2) Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, que presentan los de lazo cerrado.

b) Lazo de Control Cerrado:

Lo que hace falta en el sistema de control de lazo abierto para que sea más exacto y más adaptable es una conexión o retroalimentación desde la salida hacia la entrada del sistema. Para obtener un control más exacto, la señal controlada debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y la salida a través del sistema para corregir el error. Un sistema con una o más trayectorias como la que se acaba de describir se denomina sistema en lazo cerrado. (Ver Fig. 2.52).

Un sistema de lazo cerrado utiliza la medida de un o más variables de proceso para mover la variable manipulada y logra el control. Los sistemas en lazo cerrado pueden incluir adelanto, retroalimentación o ambos. En un sistema de lazo de control cerrado, la variable a ser controlada es continuamente medida y

así comparada con un valor predeterminado (Variable de referencia). Si existe una diferencia entre estas dos variables (error e o desviación del sistema), realizan ajustes hasta que la diferencia cuantificada es eliminada y la variable controlada iguala la variable de referencia.

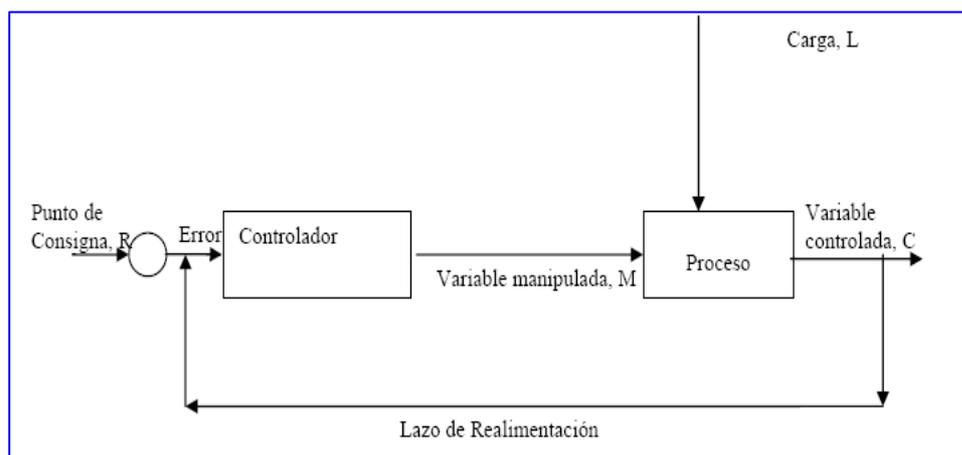


Figura 2.52 Sistema de lazo cerrado.

Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (la temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura, de la habitación se conserve en un nivel cómodo sin considerar las condiciones externas.

2.6.2.1.3 Sistemas de control en lazo cerrado en comparación con los sistemas en lazo abierto.

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto. Desde el punto de vista de la

estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante

Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante. Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema. Observe que la valoración de la energía de salida determina en forma parcial el costo, el peso y el tamaño de un sistema de control. La cantidad de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes. Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y en lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema general.

a) Controlando el Proceso.

Al llevar a cabo la función de control, el controlador automático usa la diferencia entre el valor de consigna y las señales de medición para obtener la señal de salida hacia la válvula. La precisión y capacidad de respuesta de estas señales es la limitación básica en la habilidad del controlador para controlar correctamente la medición. Si el transmisor no envía una señal precisa, o si existe un retraso en la medición de la señal, la habilidad del controlador para manipular el proceso será degradada. Al mismo tiempo, el controlador debe recibir una señal de valor de consigna precisa (set-point).

El objetivo del sistema de control automático de proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

2.6.3 Técnicas de Control Avanzado.

Existen una serie de técnicas de control avanzado que mejoran el comportamiento de l control básico. Estas se pueden definir como un conjunto de técnicas y herramienta que permiten adaptarse a las condiciones cambiantes del proceso. Entre las técnicas para realizar control avanzado se pueden encontrar las siguientes: Control por realimentación, control por adelanto, control en cascada, entre otras.

2.6.3.1 Control por Realimentación.

En un lazo de control por realimentación se compara la variable controlada con el punto de consigna, con la diferencia, desviación, o error se fuerza al controlador a mover la variable manipulada M de modo que el error se minimice. Esta acción es específicamente la realimentación inversa, en la cual un incremento de la desviación mueve M de tal modo que la desviación se reduzca. El controlador tiene parámetros de sintonización relacionados con funciones proporcional, integral, derivada, retraso, tiempo muerto y periodo de muestreo. Los parámetros del controlador deben estar perfectamente relacionados con los parámetros del proceso para asegurar la estabilidad en lazo cerrado a la vez que un control efectivo. Esto se consigue primero con la selección de los modos de control apropiados para satisfacer las necesidades del proceso y en segundo lugar con la sintonía perfecta de estos modos.

2.6.3.2 Control por Adelanto.

Un control por adelanto utiliza las medidas de las variables de perturbación para situar la variable manipulada en la posición en la cual minimice cualquier

desviación resultante. Las variables de perturbación pueden ser tanto variables medidas como el punto de consigna, siendo las primeras las más comunes. Si el proceso demuestra una respuesta dinámica lenta, puede ser ventajosa la dinámica de control por adelantado. El control por adelantado (FF) se diferencia del control por realimentación (FB) en que la perturbación principal o carga (L) se mide gracias a un sensor y la variable manipulada (m) se ajusta para que las desviaciones con respecto al punto de consigna en la variable controlada sean minimizadas o eliminadas.

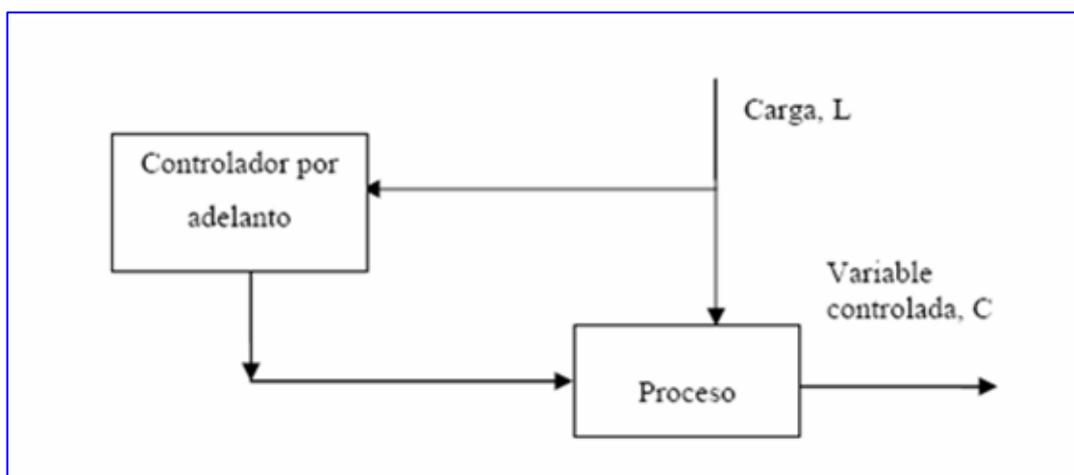


Figura 2.53 Configuración de control por adelantado

Al tomar la acción de control basándose en las perturbaciones medidas en vez de en el error de la variable controlada, el controlador puede rechazar las perturbaciones antes de que afecten la variable controlada c . Con el fin de determinar los ajustes apropiados de la variable manipulada, se deben construir modelos matemáticos que relacionen:

- El efecto de la variable manipulada en la variable controlada.
- El efecto de la perturbación en la variable controlada.

Estos modelos pueden basarse en el análisis dinámico o de estado estacionario. El rendimiento del controlador por adelantado depende de la precisión

de ambos modelos. Sin embargo, como la mayoría de los modelos matemáticos son solamente aproximados y como no todas las perturbaciones se pueden medir, es una práctica habitual utilizar el control por adelanto simultáneamente con el de realimentación. Al combinar los dos métodos de control, se pueden utilizar los puntos fuertes de ambos esquemas. El control por adelanto, por tanto, trata de eliminar los efectos de las perturbaciones medidas, mientras que el control por realimentación corregirá las perturbaciones no medidas. Esto a menudo se conoce como compensación de realimentación. Estos controladores han sido aceptados mayoritariamente en la industria de procesos químicos desde la década de los sesenta.

2.6.3.3 Control en Cascada.

Una de las desventajas de la utilización del control por realimentación convencional para procesos con grandes retrasos dinámicos o tiempos muertos es que las perturbaciones no se reconocen hasta que la variable controlada se desvía de su punto de consigna. En estos procesos, la corrección del control por realimentación es generalmente lenta y da lugar a desviaciones prolongadas del punto de consigna. Una forma de mejorar la respuesta dinámica a cambios en la carga consiste en utilizar un punto de medida secundario y un controlador secundario: el punto de medida secundario se localiza de tal forma que advierta la condición cambiante antes de que afecte la variable controlada primaria. (Se ilustra en la Fig. 2.54).

Este tipo de solución se le denomina control en cascada, que se utiliza de forma ordinaria en la mayoría de los sistemas modernos de control por ordenador. El control en cascada es una estructura alternativa al control en avance para rechazar perturbaciones parcialmente medibles. La idea básica es realimentar variables intermedias entre el punto donde entra la perturbación y la salida.

Esta estructura tiene dos lazos:

- Un lazo primario con un controlador primario.
- Un lazo secundario con un controlador secundario.

El control secundario se diseña para atenuar el efecto de la perturbación antes de que alcance a afectar significativamente la salida.

Básicamente el esquema de control en cascada es un lazo de realimentación dentro de otro lazo de realimentación, donde el lazo interno debe ser más rápido que el externo para hacer al sistema lo más insensible posible a las perturbaciones. Como características generaba para sistemas de control en cascada pueden indicarse las siguientes:

- El modo de control para el lazo interior debe ser el más simple compatible con las necesidades del proceso (generalmente proporcional).

- El lazo de control interior (esclavo) se ajusta para lograr una respuesta enérgica en la variable manipulada, por ejemplo para el control proporcional se deberá utilizar una elevada ganancia.

- Los retardos de medición del lazo interior provocan una suerte de acción derivativa para el lazo principal. Por esta consecuencia, los retardos de medición mencionados, no son necesariamente nocivos en este sistema, siempre que los mismos no adquieran valores muy grandes.

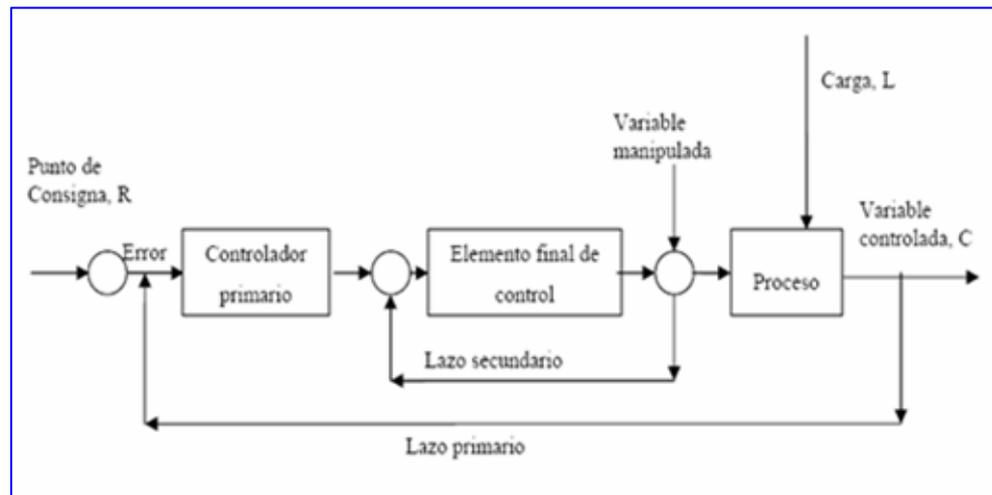


Figura 2.54 Control por cascada

2.6.4 Características del Sistema de Control.

En ingeniería de control, un sistema controlado es caracterizado primeramente por su comportamiento dinámico el cual también determina el campo de acción y la calidad requerida para salvar el control asignado. Frecuentemente, el así llamado paso de respuesta del sistema controlado es usado para reflejar este comportamiento dinámico. El paso de respuesta revela como la variable controlada reacciona como un cambio en la variable manipulada. Esta es determinada por la medición de la variable controlada después de un paso de cambio en la variable manipulada. Dependiendo del resultado del comportamiento dinámico, el sistema controlado puede ser clasificado de la siguiente manera:

1. Control de acción proporcional.
2. Control de acción proporcional integral
3. Sistema controlado con tiempo muerto.

Se debe diferenciar entre sistemas controlados en los cuales un nuevo equilibrio es establecido después de una perturbación o cambio en la variable manipulada y sistemas con una variable de cambio continuado:

- Sistema con autorregulación únicamente cambian hasta un nuevo valor de salida estable es alcanzado.
- Sistema sin autorregulación no alcanzan un nuevo estado de equilibrio.
- Sistemas sin autorregulación requieren un lazo de control cerrado, porque la variable manipulada debe llegar a ser cero tan pronto la variable controlada alcanza el valor de equilibrio requerida. La experiencia muestra que un sistema con autorregulación es mas fácil de controlar que un sistema sin autorregulación, porque este ultimo tiene una tendencia a oscilar.

2.6.4.1 Control Proporcional (P).

En sistemas controlados con acción proporcional, la variable controlada cambia proporcionalmente a la variable manipulada. La variable controlada sigue la variable manipulada sin ningún retraso. Dado que algo de energía se transfiere en una cantidad finita de tiempo, control P sin ningún tiempo de retraso no ocurre en la práctica. Cuando el tiempo de retraso entre la variable manipulada y la variable controlada es muy pequeño, no importa este no tiene ningún efecto sobre el sistema, este comportamiento es llamado control de acción proporcional de un sistema o sistema controlado P.

2.6.4.2 Control Proporcional Integral.

Sistema controlado I son sistemas sin auto regulación: si la variable manipulada no es igual a cero, el sistema proporcional integral responderá con un continuo cambio (Continuo incremento o decremento) de la variable controlada. Un nuevo equilibrio no es alcanzado.

2.6.4.3 Sistemas Controlados con Tiempo Muerto.

En sistemas con tiempo muerto no hay una respuesta dinámica hasta una cierta característica de tiempo transcurrido. Tiempos muertos son los factores más difíciles de controlar en los procesos, ocasionando una dilatación de la respuesta

en la variable manipulada. Este tipo de sistemas con tiempos muertos hacen oscilar el proceso.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Para el siguiente trabajo de investigación se partió de una metodología regida por una secuencia de pasos para lograr resultados relevantes. La primera fase para realizar un trabajo de investigación es una revisión bibliográfica; aspecto fundamental y principal para el desarrollo de ésta monografía.

Posteriormente, se continuó con la fase de recolección de la información para formar el cuerpo del proyecto en estudio y para la descripción del proceso de transporte de líquidos del gas natural (LGN), desde los poliductos que van desde la Planta San Joaquín y Santa Bárbara hasta Fraccionamiento JOSE, posteriormente se procedió a analizar el funcionamiento del sistema de recepción en la planta de fraccionamiento (balas), partiendo de la información básica necesaria como el criterio de diseño, operación y parámetros de seguridad de dichas balas, así como las condiciones y variables que rigen el líquido del gas natural que llega a través de los poliductos hasta las balas. A continuación, se describirá las consideraciones metodológicas, y la manera de obtención de los datos, así como el desarrollo de cada objetivo de esta investigación, teniéndose lo siguiente:

3.1. Revisión Bibliográfica.

Es la fase inicial del proyecto y comprende la consulta de material bibliográfico relacionado con el tema en estudio: texto, tesis de grado, informes técnicos, normas, manuales, etc.; con la finalidad de conocer los conceptos fundamentales que contribuirán con el desarrollo de los objetivos planteados. La revisión del material bibliográfico fue indispensable para llevar a cabo este estudio, para ello fue necesario recopilar la máxima información que fue requerida para la comprensión del tema planteado.

Finalmente, fue necesario la recopilación y clasificación de toda ésta información, la cual se explica en las etapas siguientes.

3.2 Recopilación y Clasificación de la Información.

En esta fase del proyecto comprende todo lo relacionado a la recolección de la información correspondiente a los poliductos que van desde La Planta de Extracción de San Joaquín y Santa Bárbara hasta la Planta de Fraccionamiento de JOSE, donde se llevaron a cabo distintas visitas a la Planta de Fraccionamiento y Despacho de JOSE, realizándose entrevistas al personal encargado de la operación y control del poliducto, además se contó con la colaboración del personal para la obtención de manuales y evaluaciones realizadas al poliducto.

3.2.1 Descripción del Proceso de Transporte de Líquidos del Gas Natural (LGN) del Complejo Criogénico de Oriente

Continuando con el desarrollo, se describió el proceso de transporte de líquidos del gas natural (LGN) del complejo criogénico de oriente

El LGN es un producto terminal de las Plantas de Extracción de San Joaquín y Santa Bárbara y es enviado a la Planta de Fraccionamiento de JOSE a través de Poliductos que están diseñados para el transporte de hidrocarburos condensados.

En ésta fase, el objetivo principal es describir las características existentes entre cada poliducto partiendo fundamentalmente de sus características o ventajas en cuanto a operación y diseño.

3.2.2 Variables de más importancia en el Transporte y Recepción de LGN.

En esta parte del proyecto se consideraron las variables de proceso más importantes:

Presión.
Temperatura.
Relación C2 /C3.
Composición del LGN.

3.2.3 Funcionamiento y Control de las Válvulas que Protegen al Sistema de Recepción.

Cuando existe un alto nivel en las balas actúa un sistema en el cual un indicador de nivel envía una señal a un controlador que pone en funcionamiento las válvulas XSV. Cada poliducto cuenta con una de estas válvulas que son las encargadas de cerrar completamente el flujo de entrada de LGN a las balas impidiendo que se llenen por encima de su nivel de operación (50% de su volumen de diseño).

Una vez que se estabiliza el nivel en las balas, es decir, que llegan a un nivel de 25% del volumen del diseño, el sistema hace que estas válvulas vuelvan a su posición normal, que debe ser abierta en todo momento de operaciones normales de la planta.

3.2.4 Sistema de Protección de las Balas en Caso de Emergencia

Los escenarios de emergencia asociados al sistema de recepción tienen relación con la composición del LGN (Relación C2 / C3) que viene de las plantas de extracción el cual puede estar contaminado con compuestos livianos, pesados o agua o que puede tener presente una pequeña parte de su volumen en fase gaseosa.

El sistema de protección de las balas en caso de elevación de la presión (sobre presión) cuenta con un indicador de presión (IP) y controladores de presión

(PC). Cuando la falla por Sobre presión es muy grave entonces, actúan las de válvulas de seguridad de presión (PSV).

3.3 Análisis de la Información.

En esta fase se llevó a cabo el estudio de la información recopilada efectuándose un análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones, donde por medio de las envolventes de fase, se permitió comprender y verificar el comportamiento del sistema de control de las balas de almacenamiento que recibe el líquido del gas natural proveniente de la planta de extracción de San Joaquín

3.3.1 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación del Poliducto.

Esta fase consistió en analizar e interpretar la información suministrada por el reporte promedio de las características y composición del producto del laboratorio de control de calidad del gas de JOSE, el cual mostraba claramente el producto fuera y dentro de las especificaciones. Además, se realizaron envolventes de fase a través del simulador HYSYS.

3.3.2 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación de las Balas.

Esta fase consistió en analizar e interpretar la información acerca de las condiciones de operación de las balas, determinándose que su funcionamiento está dentro de los parámetros normales de operación.

3.3.3 Análisis de las Condiciones Actuales de Operación de las Válvulas.

En el estudio de las condiciones actuales de las válvulas, se determinó a través de información suministrada por el personal de instrumentación y de taller mecánico que éstas operan en condiciones óptimas, siempre y cuando se le realicen la rutina de mantenimiento respectiva.

3.4 Redacción del Trabajo de Grado.

Esta etapa comprende el ordenamiento y transcripción de toda la información recopilada y obtenida, análisis, conclusiones y recomendaciones

CAPITULO IV

DESARROLLO

4.1 Descripción del proceso de transporte y almacenamiento de líquidos del gas natural (LGN) del Complejo Criogénico de Oriente.

Para la descripción del proceso de transporte se empezará hablando del poliducto que va desde la Planta San Joaquín a Fraccionamiento JOSE (poliducto Anaco-JOSE), y se complementará con algunos datos del poliducto que conecta a la Planta de Santa Bárbara con Fraccionamiento JOSE, (ver figura 4.1) ambos poliductos transportan el mismo producto y poseen características semejantes. El LGN es un producto terminal de las Plantas de Extracción de San Joaquín y Santa Bárbara y es enviado a la Planta de Fraccionamiento de JOSE a través de Poliductos que están diseñados para el transporte de hidrocarburos condensados.

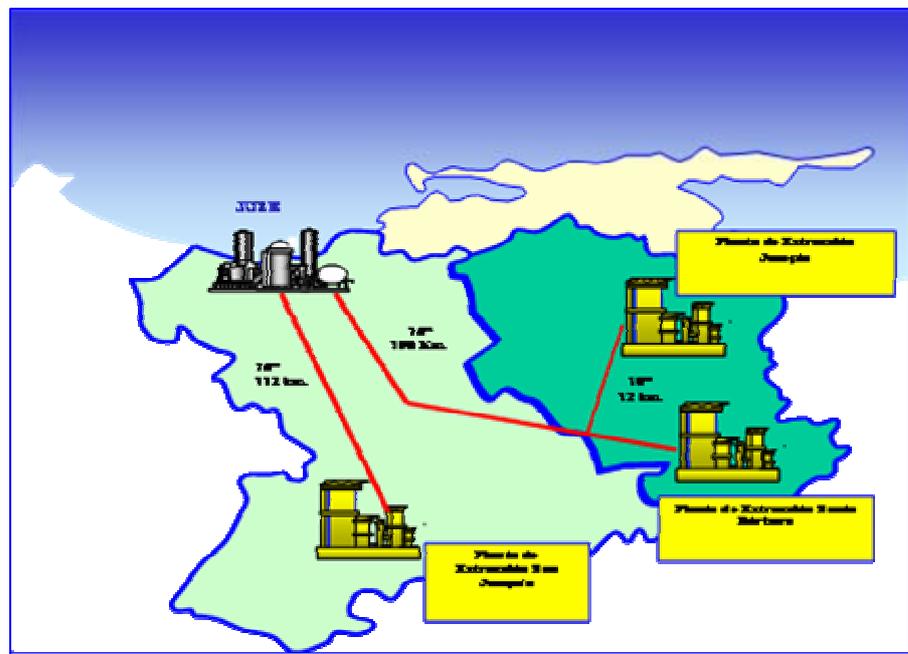


Figura 4.1 Poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara, hacia Fraccionamiento JOSE.

4.1.1 Descripción del sistema de transporte de LGN.

En el caso del transporte de LGN de la planta de San Joaquín, se realiza por medio de una tubería de 16 pulgadas de diámetro nominal y 111,4 Km. de largo (en el caso de Santa Bárbara la tubería es de 16 pulgadas y 190 Km. de largo) que se encuentra bajo el subsuelo, exceptuando 8 estaciones de válvulas tanto automáticas como manuales (expuestas al medio ambiente) instaladas a lo largo de éste para el control del proceso y posibles fugas (9 estaciones de válvulas automáticas y 7 estaciones manuales para el tramo Santa Bárbara-JOSE). El Poliducto Anaco-JOSE fue diseñado para una capacidad de 109 mil barriles (MBD) y actualmente esta manejando 68 mil barriles diarios (MBD); esta compuesto en tres segmentos:

Línea de 16" del tramo San Joaquín/ Unión Anaco (Km. 0 a Km. 13).

Línea de 16" Unión Anaco / San Mateo (Km.13 a Km. 83).

Línea de 16" del tramo Barbacoa / JOSE (Km. 83 a Km. 111,4).

Estos tramos coinciden con la ubicación exacta de las estaciones automáticas principales de este poliducto, las cuales son Anaco, San Mateo y Barbacoa.

Por otra parte, el poliducto Santa Bárbara esta compuesto igualmente por 5 tramos o uniones principales (para efecto de entendimiento se consideran como el mismo poliducto los tramos de Jusepín y Muscar), las cuales son:

Línea de 10" del tramo Jusepín/Muscar (Km. 0 a Km. 13).

Línea de 10" del tramo Muscar/ Santa Bárbara (Km. 13 a Km. 30).

Línea de 16" del tramo santa Bárbara/Río Queregua (Km. 30 a Km. 5).

Línea de 16" del tramo Río Queregua/La Ceiba (Km. 5 a Km. 70).

Línea de 16" del tramo La Ceiba/JOSE (Km. 70 a Km. 152).

Estos tramos representan las líneas del poliducto que se extiende de Jusepín a Santa Bárbara, que comprende una tubería de 10" y 30 Km. de largo y los tramos de las líneas del poliducto que se extiende de Santa Bárbara a JOSE que comprenden una tubería de 16" y 164 Km. de largo hasta las adyacencias de la Planta de Fraccionamiento JOSE.

Las estaciones de válvulas automáticas son los principales puntos de control de estos poliductos, cada estación consta de una Válvula con un actuador de apertura y cierre y la instrumentación asociada a cada estación como se visualiza en la figura 4.2. Tanto para el poliducto San Joaquín como para el poliducto Santa Bárbara, en cada una de estas estaciones se encuentran unos transmisores de presión (dos PT por cada estación), un transmisor de temperatura (TT) y detectores de gas. Los PT se encuentran ubicados aguas arriba y aguas abajo de válvula en cada estación.



Figura 4.2 Estación automática con actuador neumático y accesorios de control.

También están instaladas a lo largo de estos dos poliductos estaciones de válvulas manuales, (figura 4.3) estas cuentan con una válvula con actuador de apertura y cierre, también están instalados dos manómetros indicadores de presión local, los cuales permiten el monitoreo de la presión en cada estación. En la figura 4.4 se puede apreciar la ubicación geográfica de las estaciones manuales y automáticas para los poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara.



Figura 4.3 Estación de válvula manual.

Estas válvulas manuales están instaladas para ofrecer un control más seguro en el poliducto, unas de sus funciones es actuar como soporte cuando las estaciones de válvulas automáticas no responden o presentan fallas ante contingencias generadas en los poliductos; y el personal a cargo puede manipularlas para restablecer el control y la seguridad en el tramo donde se este presentando el problema.

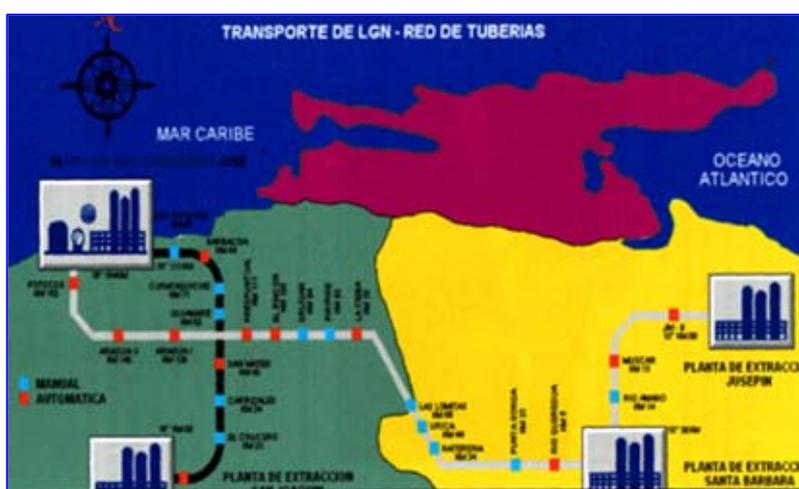


Figura 4.4 Ubicación de las estaciones de válvulas automáticas y manuales en los poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara.

4.1.2 Descripción del sistema de recepción del LGN en la planta de fraccionamiento JOSE.

Una vez que el LGN llega de los poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara, este entra a la planta de fraccionamiento JOSE y se dirige a unos tanques de recepción y almacenamiento llamados balas (ver figura 4.5), que se utilizan para disponer de una reserva de trabajo suficiente que pudieran hacer frente a las variaciones de envío, y además servir como un sistema de seguridad para impedir que las operaciones en los trenes sea afectada por cualquier alteración en la composición del LGN.



Figura 4.5 Balas de almacenamiento en la Planta de Fraccionamiento JOSE.

Estos recipientes horizontales (Fig. 4.6) tienen las siguientes dimensiones: diámetro interno 128 pulgadas ($D_i=128''$) y longitud de costura a costura de 56 pies ($L_{ss}=56'$) y constan de una bota de 24'' de diámetro interno y 4 pies de largo, y fueron construidas para almacenar aproximadamente 1008 (barriles) pero su volumen de almacenamiento permisible es de 58 % del volumen de diseño (583 barriles). El número de balas con que cuenta la planta es igual a 8 y se dividen a la hora del funcionamiento en 2 grupos de 4 cada uno. La alimentación se divide simétricamente para entrar en las balas por medio de válvulas de bloqueo manuales en cada tubería para distribuirla entre uno o ambos conjuntos de balas.

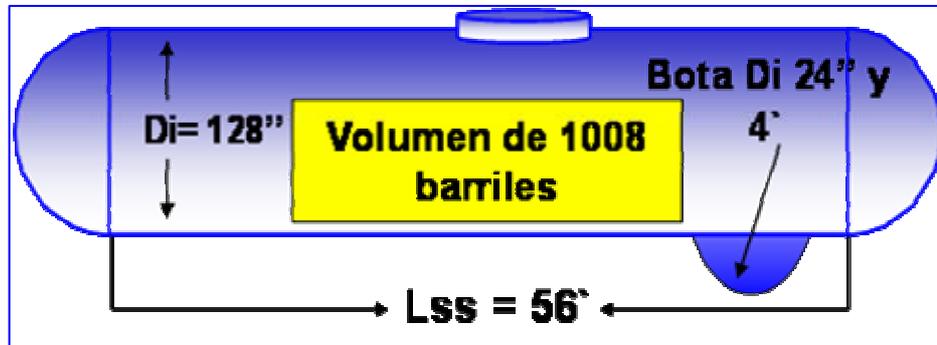


Figura 4.6 Dimensiones de las balas.

Estas divisiones se hacen en 2 cabezales de 12", una para las primeras 4 balas y el segundo para las 4 restantes, estos cabezales se dividen posteriormente en 10" y después en 8", todo esto con la finalidad de que cada una de las balas reciba líquido al mismo caudal y que cualquier residuo de agua se distribuya equitativamente en las balas y así reducir las probabilidades de que entre agua a los trenes de fraccionamiento. (Ver Fig. 4.7).

La configuración de las balas de alimentación permite operar con una sola alimentación o con todas las balas conectadas mediante un cabezal de igualación de vapor, líquido o agua.

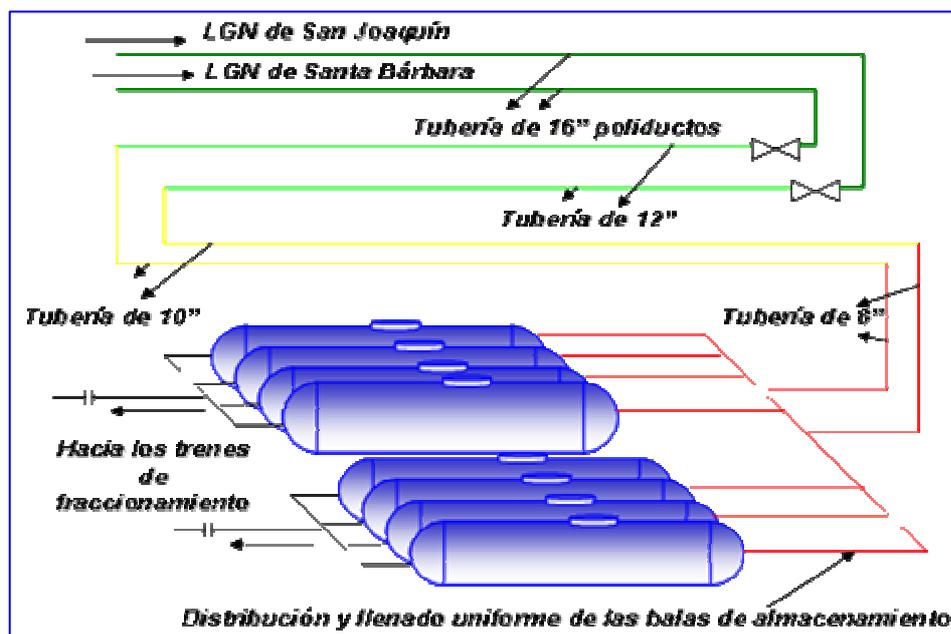


Figura 4.7 Distribución del LGN al conjunto de las Balas de Almacenamiento.

Las válvulas de aislamiento en los cabezales permiten que las cuatro primeras balas (D8.70901/02/03/04) suministren alimentación al tren A, mientras que el segundo grupo de balas (D8.70905/06/07/08) suministran alimentación a los otros trenes. En la actualidad las balas están configuradas para que las 8 suministren alimentación en forma equitativa a los 3 trenes de fraccionamiento. (Ver Fig. 4.8) En el sistema de almacenamiento se encuentran un conjunto de bombas de servicio que regularizan el flujo a cada tren. Las balas de almacenamiento y las bombas de alimentación se encuentran alineadas según las siguientes pautas:

• Todos los cabezales de igualación están abiertos entre los trenes.

• Todas las válvulas de bloqueo de entradas a las tuberías están abiertas a los tres trenes para la distribución simétrica de la alimentación.

• Los desvíos por flujos mínimo comunes a las bombas se dirigen a cada tren.

• Los enlaces por bajo nivel comunes a las bombas se cambian a cualquier tren.

El flujo total de alimentación de LGN (ver figura 4.8) se bombea desde las balas hacia una serie de intercambiadores de calor (4 intercambiadores de calor en paralelo), en donde se le eleva la temperatura hasta 116 °F y luego pasa por un intercambiador de calor complementario, este intercambiador de calor es importante, ya que servirá como colchón para asegurar que la alimentación alcance la temperatura requerida de 186 °F, para entrar a la torre despropanizadora.

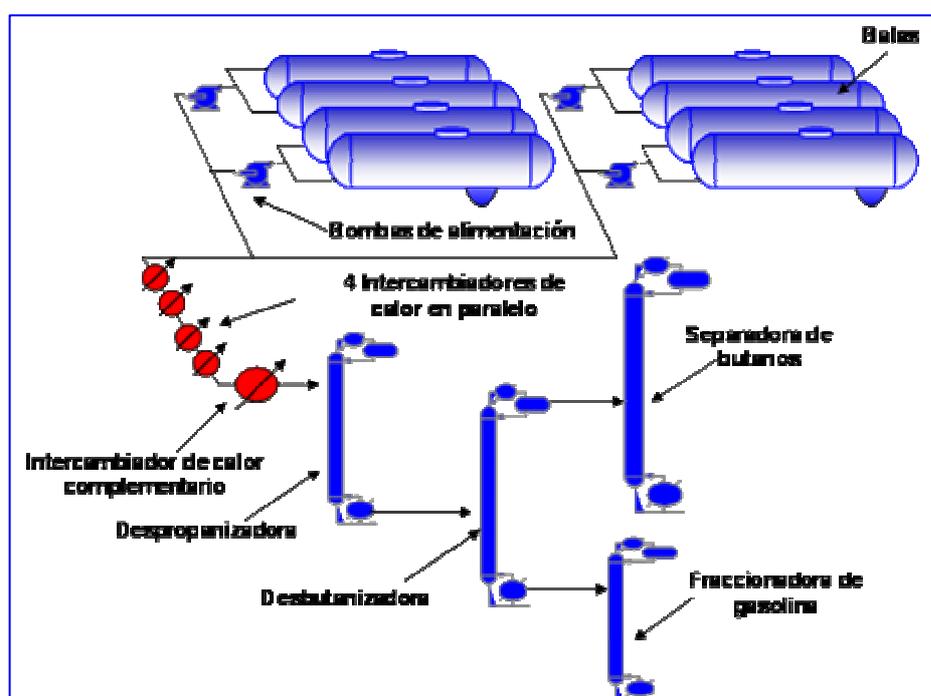


Figura 4.8 Esquema de alimentación del LGN a los trenes de fraccionamiento.

El sistema de alimentación de LGN también consta de otros equipos, entre estos se pueden mencionar el filtro coalescedor que se encarga de remover el agua que se halle presente en la alimentación; unas bombas Booster usadas para incrementar la presión de la corriente de LGN a la planta en caso que fuese necesario (las mismas pueden ser desviadas). Existe también un intercambiador de calor que se encuentra asociado al sistema de refrigeración entre otros.

El calor de alimentación es suministrado principalmente por aceite caliente (bajo control de temperatura en un intercambiador-precalentador); esto es para asegurar que la alimentación a la despropanizadora entre a la temperatura requerida, también se cuenta con un Paquete o Patín de Medición de LGN que es usado como medición fiscal del LGN alimentado a la planta.

La planta de fraccionamiento JOSE ubicada cerca de Barcelona tiene una capacidad de dividir o fraccionar en componentes puros (ver figura 4.9) como propano (C3), butano (C4) y otros, a la cantidad de 150 MBD de LGN, pero en condiciones de operación normal sólo se procesan 120 MBD y los productos que se fraccionan son almacenados en un área con una capacidad de 2 millones de barriles (MB). El almacenamiento se hace en dos formas: una parte refrigerada que son aquellos productos que se mantienen en fase líquida, y otra parte presurizada para los productos en fase gaseosa. La planta de fraccionamiento opera a través de 3 trenes de fraccionamiento (ver figura 4.9) y cada uno esta compuesto de una torre despropanizadora, una torre desbutanizadora, una torre de separación de butanos y una fraccionadora de gasolina. Los trenes se denominan A, B y C y operan al mismo caudal de 50 MBD cada uno.

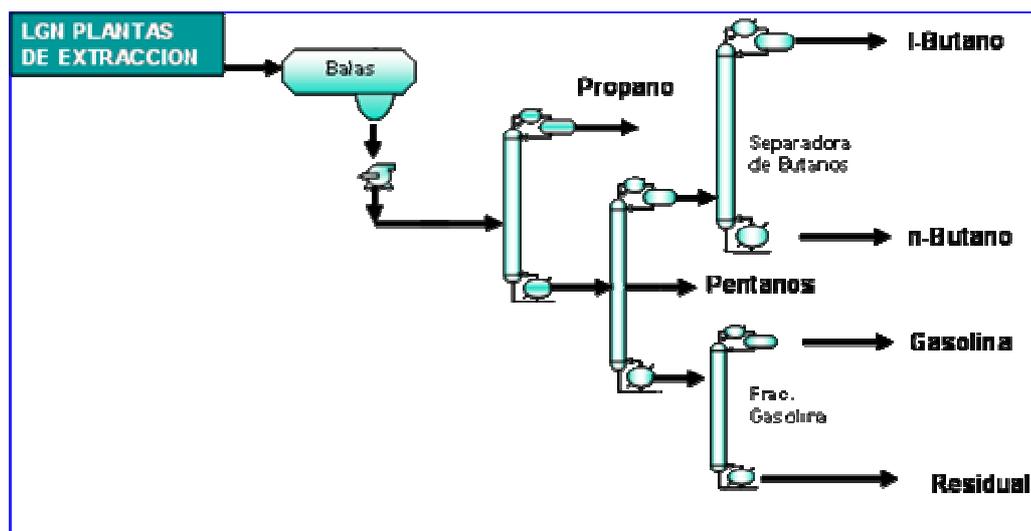


Figura 4.9 Esquema de operación desde las balas hasta los tres de fraccionamiento.

4.2 Variables de proceso asociadas al transporte y recepción de LGN en la Planta de Fraccionamiento de JOSE.

4.2.1 Presión

Con respecto a la presión en la salida de Planta de Extracción San Joaquín, donde comienza a ser transportado el LGN actualmente sale a 427 Psig (de Santa Bárbara sale a 614 psig) que esta dentro del valor permisible en el poliducto que es de 600 Psig, estos valores de despacho de LGN hacia JOSE pueden variar; la presión de salida depende de muchos factores asociados a las operaciones en las plantas de extracción y de los procesos llevados a cabo en ellas. En el recorrido el LGN tiene caídas y ganancias de presión pronunciadas a lo largo de la tubería por las diferencias acentuadas de altura en la topografía del terreno. Cuando el LGN proveniente de San Joaquín llega a la planta de Fraccionamiento JOSE, su presión es igual 340 Psig (410 psig en el caso de Santa Bárbara) las presiones de llegada del LGN provenientes de las dos plantas de extracción no sobrepasan la presión crítica de la composición del LGN, garantizando que el flujo se mantiene monofásico a lo largo de todo el poliducto. Las variables de diseño en la alimentación de la planta son de 1480 -1530 gpm a 95 °F y 305-315 psig de presión. (Ver Fig. 4.10).

Las presiones de salidas de los poliductos y entrada del LGN a la planta de fraccionamiento es muy importante controlarlas y evitar que se salgan de los rangos óptimos de funcionamiento si llegase a ocurrir un desbalance en la presión de salida y llegada del LGN. En la planta de fraccionamiento existen sistemas que permiten generar una caída de presión brusca para que el LGN entre en condiciones óptimas a las balas, estos sistemas están conformados por unas válvulas instaladas en las tuberías que transportan el LGN por la planta hasta las balas de almacenamiento, provocándole una caída de presión brusca obteniendo una presión de 100 PSIG cuando llega a las balas.

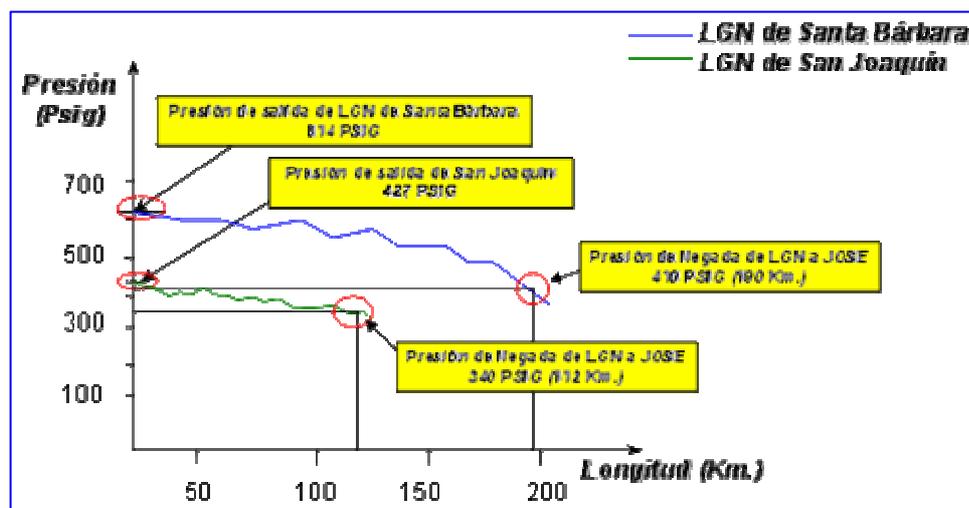


Figura 4.10 Comportamiento de la presión del LGN desde las Plantas de Extracción hasta la Planta de Fraccionamiento JOSE.

4.2.2 Temperatura

En el caso de la temperatura el líquido sale de San Joaquín a 147 °F (de Santa Bárbara sale a 126 °F) y llega a la planta de fraccionamiento de JOSE a 97°F (la temperatura de llegada de Santa Bárbara es la misma) observándose una disminución progresiva, lo cual es acentuado en los primeros 60 Km. y después disminuye a un rango muy bajo hasta que llega a la planta de fraccionamiento de JOSE. La temperatura es importante manejarla dentro de las condiciones de operación óptimas, para así evitar una expansión térmica del LGN y provocar una presurización del poliducto. Además, si llegase a ocurrir tal problema en el poliducto lo más probable sería que afecte al sistema de recepción de la planta de fraccionamiento JOSE, activando los sistemas de válvulas de control y seguridad de las balas, poniendo en contingencia a toda la planta de fraccionamiento. (Ver Fig. 4.11).

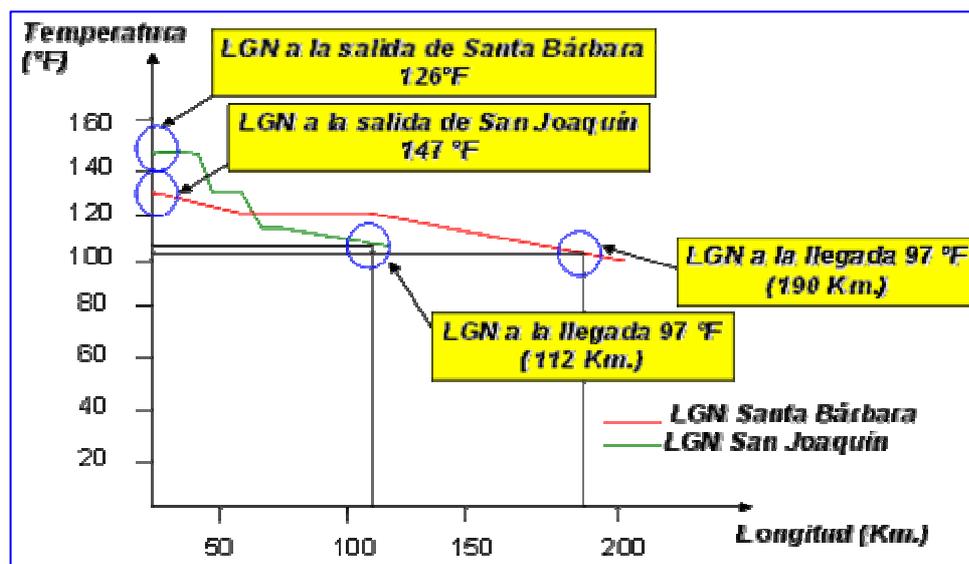


Figura 4.11 Comportamiento de la temperatura del LGN desde las plantas de extracción hasta las planta de fraccionamiento JOSE.

4.2.3 Composición del LGN.

La composición del LGN puede variar, es decir los porcentajes molares de los compuestos pueden aumentar o disminuir, esta variación depende de los procesos de extracción de líquidos en las plantas de San Joaquín y Santa Bárbara, además, la planta de fraccionamiento JOSE exige que la composición del LGN tenga una relación óptima de C2/C3 de 0.016, para lograr que los procesos llevados a cabo en la planta de fraccionamiento se realicen sin ninguna contingencia. Por otro lado si la composición del LGN llegase a presentar desbalances en su porcentaje de etano y propano, es decir, que la relación de estos dos componentes no sea óptima o no este en el valor que exige la planta de fraccionamiento JOSE, pudieran ocurrir o presentarse problemas en los procesos llevados a cabo en los trenes de fraccionamiento. En ocasiones la composición del LGN viene contaminada con CO₂ o puede contener porcentajes importantes de C1 que ocasionaría graves problemas a la planta de fraccionamiento JOSE, si no se llegase a tratar o controlar adecuadamente.

El C1 es un componente muy volátil y cantidades considerables de este compuesto presente en la composición del LGN puede ocasionar sobrepresión en

el sistema de almacenamiento del líquido de gas natural. Por otro lado, si se presenta CO₂ en la composición del LGN que se recibe en la planta de fraccionamiento JOSE, este puede ocasionar grandes desajustes y daños a los procesos llevados a cabo en los tres trenes de fraccionamiento. De llegar a ocurrir estos escenarios, las balas presentan un sistema de válvulas de control y seguridad que protegerán y mantendrán las operaciones estables tanto en las balas como en los trenes de fraccionamiento. Cabe destacar que las plantas de San Joaquín y Santa Bárbara envían diariamente un reporte cromatográfico, donde indican la composición real del LGN despachado hasta JOSE, además de su relación C₂/C₃ para mantener un monitoreo constante del LGN que se envía a JOSE y así prevenir posibles contingencias. A continuación (tabla 4.1), se presenta la composición de LGN, representada en un reporte cromatográfico realizado al LGN que sale de San Joaquín, el figura el porcentaje molar de cada compuesto y la relación C₂/C₃. Vale destacar que este reporte cromatográfico se encuentra dentro de especificaciones (es decir, con una relación etano/propano= 0,016).

Tabla 4.1 Composición de los líquidos del gas natural óptima (San Joaquín).

COMPOSICION	% MOLAR
CO ₂	0,000
Metano	0,000
Etano	0,719
Propano	44,473
I-Butano	14,543
N-Butano	16,984
I-Pentano	7,139
N-Pentano	4,869
N-C ₆	4,769
N-C ₇	3,892
N-C ₈	2,260
N-C ₉	0,273

N-C10	0,029
N-C11	0,030
Relación C2/C3	0,016

Como se describió anteriormente, al igual que San Joaquín a continuación se presenta un reporte cromatográfico del LGN (tabla 4.2) que sale de Santa Bárbara este indica la composición del LGN en porcentaje molar y la relación C2/C3 respectiva. Este reporte cromatográfico se encuentra también dentro de las especificaciones de operaciones óptimas, el cual es el siguiente:

Tabla 4.2 Composición de los líquidos del gas natural óptima (Santa Bárbara).

COMPOSICION	% MOLAR
CO2	0,000
Metano	0,000
Etano	0,746
Propano	46,747
I-Butano	11,649
N-Butano	18,564
I-Pentano	7,056
N-Pentano	5,548
N-C6	4,815
N-C7	2,952
N-C8	1,434
N-C9	0,369
N-C10	0,109
N-C11	0,011
Relación C2/C3	0,016

Las dos composiciones mostradas anteriormente en las tablas 4.1 Y 4.2 representan las composiciones óptimas con las que debe ser despachado el LGN de las plantas de extracción de líquidos, es decir, el porcentaje de C2 y C3.

4.2.4 Relación C2/C3.

La composición del LGN que es enviado de las dos estaciones de extracción líquidos que surten a la Planta de Fraccionamiento JOSE (Santa Bárbara y San Joaquín), debe cumplir con unas especificaciones ideales y operacionalmente acordes con los requerimientos en los procesos que se llevan a cabo en la Planta de Fraccionamiento JOSE, para de esta manera operar con la mayor seguridad y eficiencia posible en los procesos de fraccionamiento que se llevan a cabo. Como se visualiza en el grafico 4.1, la relación C2/C3 óptima con que el complejo de fraccionamiento JOSE requiere trabajar es 0.016 y debe mantenerse para operar más eficientemente, las plantas de extracción deben velar por que este valor se mantenga aproximadamente constante, sin embargo, siempre existen problemas en los procesos de extracción de líquidos del gas natural, por lo que las plantas no pueden cumplir con las exigencias de la planta de fraccionamiento, enviando LGN fuera de las especificaciones óptimas de operación, afectando los procesos en el sistema de recepción y en los trenes de fraccionamiento.

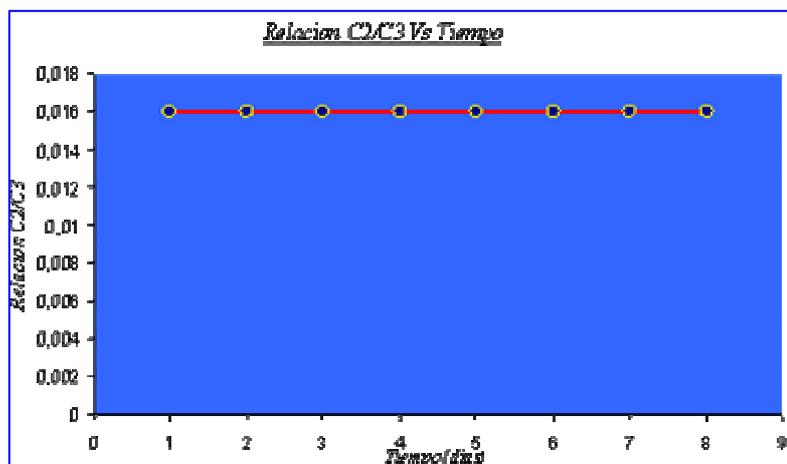


Grafico 4.1. Relación C2/C3 de un LGN dentro de las especificaciones que exige la planta de fraccionamiento JOSE.

4.2.5 Variables de Operación de las Balas.

Con respecto al sistema de recepción de LGN en fraccionamiento JOSE, el caudal total de entrada llegará a los 150 MBD, una vez que los líquidos se encuentran dentro de los límites de batería de la planta se divide simétricamente para entrar a los trenes. La planta JOSE cuenta con tres (3) trenes de fraccionamiento, antes de entrar a ellos existen válvulas de bloqueo manuales en cada poliducto que distribuyen la alimentación por uno de los dos o por ambos conjuntos de balas. Las 8 balas operan actualmente a una capacidad de 25%, es decir, que el LGN que está llegando constantemente a las balas sólo ocupa una cuarta parte del volumen total de capacidad de las balas. Al salir del filtro de entrada, el LGN es enviado a la succión de las Bombas booster de alimentación (03-17-0710A/B). Cada bomba esta diseñada para manejar 1647 gpm a 76 psig, es accionada por un motor eléctrico de 125 hp y está equipada con un filtro de succión de 30 mesh. Para propósitos de mantenimiento, cada bomba puede ser despresurizada al sistema de drenaje cerrado. En operación normal se tiene una bomba en servicio y otra en reserva.

Desde la descarga de las bombas de alimentación (03-17-0710A/B), el LGN fluye por el paquete o patín de medición de LGN de alimentación (03-10-0301), el cual está diseñado para 475 psig a 180°F. Con el paquete se suministran conexiones para el probador. Aguas abajo del paquete o patín de medición, el LGN si es necesario es enviado directamente al calentador de alimentación (04-15-9401X), el LGN enviado al 04-15-9401X calentador de LGN de entrada, regresa al cabezal de alimentación aguas abajo del paquete de medición de alimentación de LGN (03-10-0301). Este es un intercambiador de tubo y carcaza que se está diseñado para 475 psig a 250/60°F en el lado de la carcaza y 150 psig a 550/60°F en el lado de los tubos, opera con aceite caliente a una temperatura de

339°F y un flujo de 1235 gpm es usado por el lado de los tubos como medio de Calentamiento.

4.3 Válvulas de seguridad asociadas al sistema de transporte y recepción de LGN (balas) y su principio de funcionamiento.

4.3.1 Válvulas asociadas al sistema PIC-709541 y PIC-709542.

Estas válvulas, están instaladas en las balas, mas específicamente una por cada 4 balas, es decir el sistema de almacenamiento de las balas dispone de estas dos válvulas para el venteo de vapores. Estas válvulas permiten controlar la presión máxima de operación en las balas de LGN y las protege de la sobrepresión venteando los vapores en el sistema del flare o mechurrio X-73301. (Ver Fig. 4.12 y 4.13).

Cada válvula esta ajustada a 100 psig y están asociada a un controlador de presión que envía una señal a cada válvula para que estas se abran y logren ventear los vapores. Estas válvulas de control de presión están ajustadas a 400 psig por debajo de las válvulas de seguridad que actúan en el sistema de alivio de las balas, en operaciones normales de planta ellas permanecen cerradas y cuando reciben la señal del indicador de presión PIC -709541 y el PIC-709542 se abren gradualmente liberando la presión, descargando los vapores de LGN y luego se cierran cuando la presión en las balas alcanza la presión optima de operación, la cual esta por debajo del set point de la válvula.

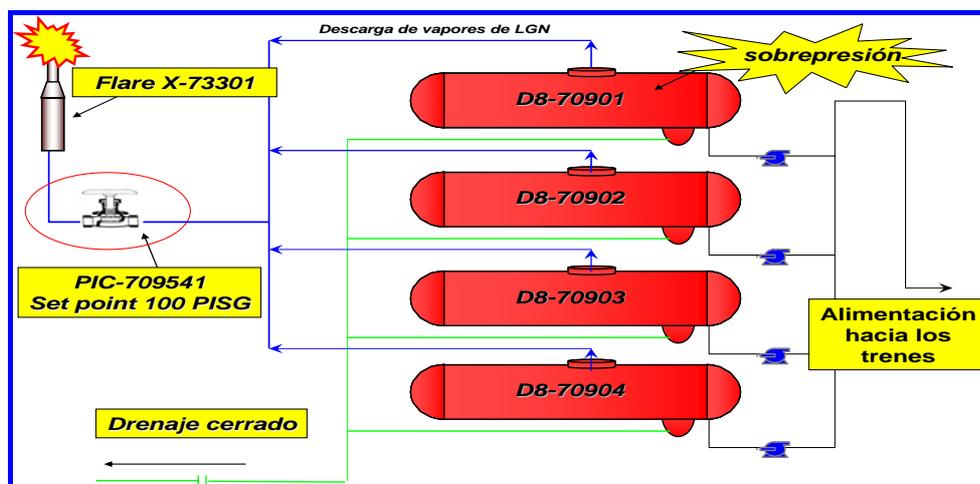


Figura 4.12 Esquema de funcionamiento de la válvula asociada al PIC-709541.

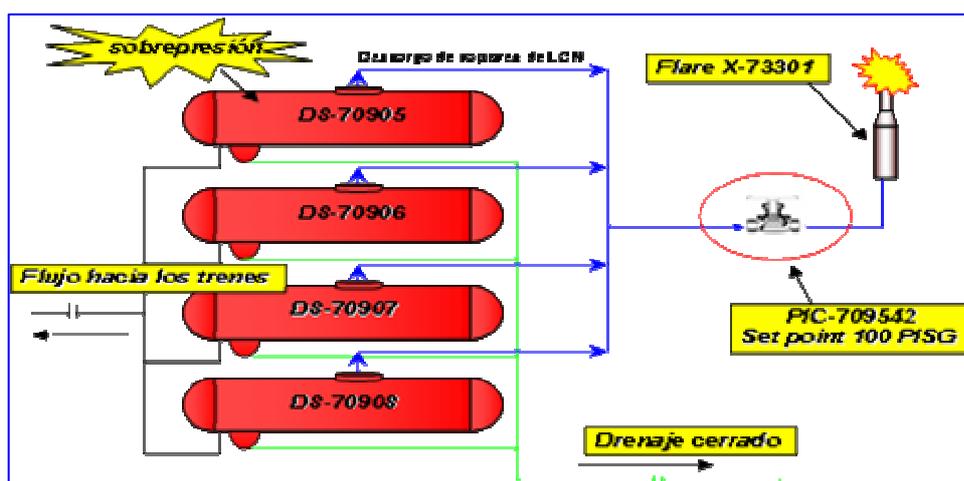


Figura 4.13 Esquema de funcionamiento de la válvula asociada al PIC-709542.

4.3.2 Válvulas XV-402B8 y XSV-140991.

Las válvulas que controlan al sistema de almacenamiento de LGN son las encargadas de mantener variables como nivel de las balas y el caudal del LGN, su funcionamiento es por medio de controladores de alto nivel (LSDH-70901/02/03/04/07/13/19) que están dedicados al conjunto de las cuatro primeras balas y los (LSDH-70925/31/37/47 Y D8.70905/06/07/08) están dedicados al conjunto de las cuatro últimas balas. Actualmente, una condición de alto nivel en

cualquiera de las ocho balsas de LGN provoca que se cierre la alimentación desde la tubería de LGN de San Joaquín activándose la válvula de aislamiento (XV-402B8). Una válvula de aislamiento similar (XSV-14.0991) en la tubería de Santa Bárbara debe también cerrarse cuando existe alto nivel en la balsas de almacenamiento de LGN.

Estas válvulas permiten aislar y controlar de manera automática el flujo de LGN a las balsas en caso de que se sobrepase al máximo nivel permisible de operación (50% de su volumen de diseño o 583 barriles), para así evitar que ocurra la presurización de las balsas y por ende se active el otro sistema de seguridad (activación de la válvulas de venteo) y se tenga que ventear LGN en exceso (ver figura 4.14). Estas válvulas son de tipo ON-OFF, ellas en operaciones normales de planta se mantienen abiertas (ON) para dejar pasar el flujo de alimentación de LGN de los poliductos de San Joaquín y Santa Bárbara hacia las balsas, pero cuando reciben la señal de alto nivel en las balsas, se cierran automáticamente (OFF), también pueden cerrarse si se presenta fuego en la tubería de alimentación o descarga, para evitar que el frente de fuego avance por la tubería y así protegerla.

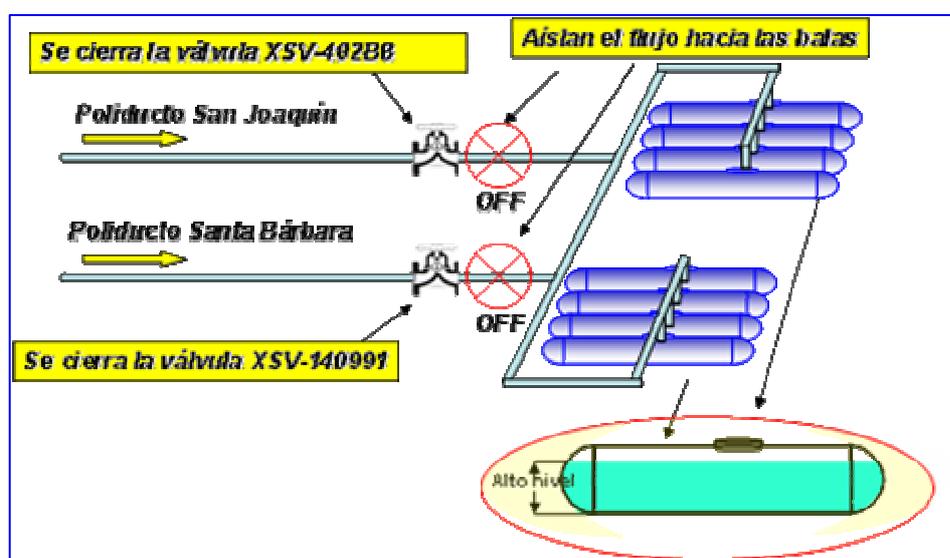


Figura 4.14 Esquema de funcionamiento de las válvulas XV-402B8 y XSV-140991 en caso de alto nivel en las balas.

4.3.3 Válvulas XSV-70902/04/06/08 y XSV-70910/12/14/16

Las balas de almacenamiento de LGN pueden aislarse de los trenes de fraccionamiento mediante las siguientes válvulas (XSV-70902/04/06/08) dedicadas al conjunto de las cuatro primeras balas que suministran LGN al tren “A” y (XSV-70910/12/14/16) a las otras cuatro balas situadas en la línea de salida del líquido de cada bala que suministran LGN a los trenes “B” y “C”. Estas válvulas aíslan las balas de alimentación en caso de incendio pudiendo cerrarse desde el panel de control sólo en caso de parada total de la planta. Las bombas de alimentación a los trenes de fraccionamiento de LGN poseen desvíos individuales por flujo mínimo a fin de protegerlas de descargas bloqueadas. Estas válvulas pueden aislar las balas en caso de que ocurra un incendio en el área (área 270), permitiendo interrumpir el flujo de LGN hacia los trenes de fraccionamiento (ver figura 4.15), para evitar que se pueda intensificar el fuego y ocasionar una explosión en el área. Las válvulas se cierran con la señal del sistema de parada de emergencia (ESD) o del sistema de detección de incendios. Al igual que las XSV-402B8 y XSV-140991, estas son válvulas ON-OFF (retención), ellas en operaciones normales en los trenes permanecen constantemente abiertas (ON) para mantener la alimentación de LGN de las balas de almacenamiento hacia los trenes “A”, “B” y “C” de fraccionamiento, en caso de incendio, ellas reciben una señal de sensores de radiación y emisión ultravioleta (sistema de detención de incendios), cerrándose de manera instantánea (OFF) bloqueando el flujo de LGN provenientes de las balas hacia los tres trenes de fraccionamiento.

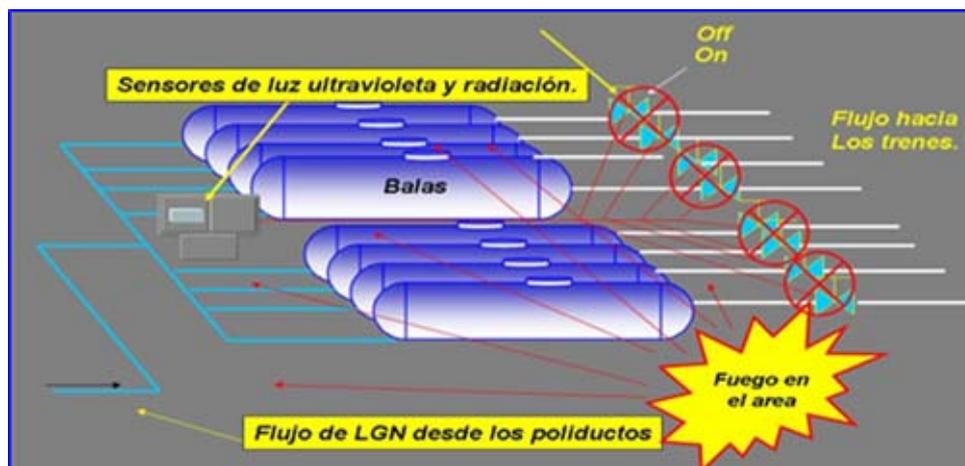


Figura 4.15 Esquema de funcionamiento de la válvula XSV-70902 aislando el flujo de la bala D8-70901 hacia los trenes en caso de incendio en el área

Todo este conjunto de válvulas protegen al sistema de incendio en el área y mantienen un nivel actual constante de llenado en las balas igual a un 25% de su volumen de diseño.

4.3.4 Válvulas PSV-70903/05/07/09 y PSV-70911/13/15/17.

Estas válvulas están distribuidas de manera que estén protegiendo a cada Bala de almacenamiento de LNG individualmente, se utilizan en caso de sobrepresión en las balas producto de alta relación C2/C3 o de una expansión térmica del LNG contenido en las Balas, producto de un incendio en el área (ver figura 4.16). Cada una de estas válvulas PSV están ajustadas a una presión de 500 PSIG (set point), permitiendo dispararse o actuar cuando la presión en las balas es igual a la presión de ajuste de ellas. Vale destacar que el alivio de los vapores y líquidos de todas estas válvulas PSV se descargan en el flare X-73301. Las PSV instaladas en el área son válvulas de seguridad de acción directa que trabajan automáticamente con la energía del fluido (presión del LNG), estas descargan los vapores de LNG para evitar que en las balas se exceda la presión máxima de operación, estas en operación normal de la planta se mantienen cerradas por la acción de un muelle o resorte ajustado en el interior de las mismas, cuando la

presión de las balas alcanza o sobrepasa la presión de ajuste de estas válvulas ellas se disparan o saltan para aliviar la presión del recipiente, y una vez restablecida la presión la válvula tiene la capacidad de cerrarse y mantenerse en su set point hasta que otra alternancia en el sistema la activen.

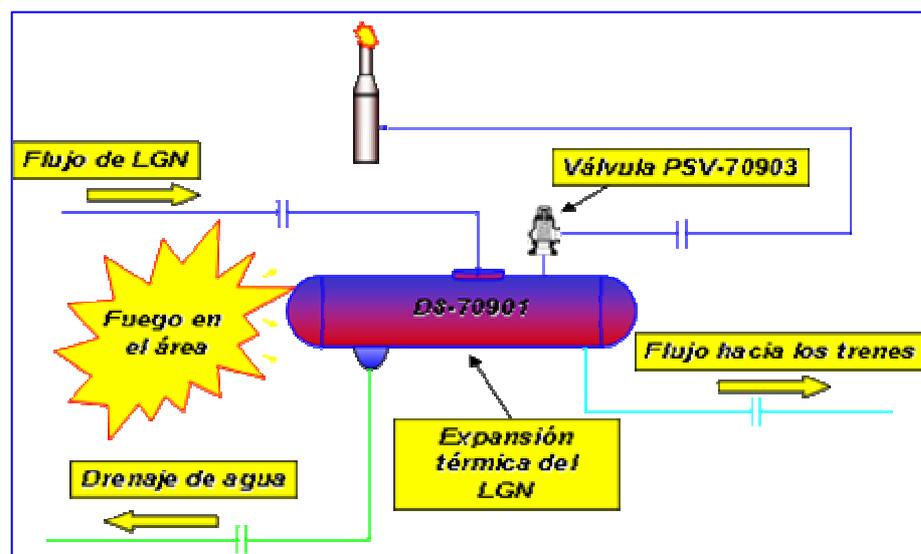


Figura 4.16 Esquema de funcionamiento de la válvula PSV-70903 que protege a la Bala D8-70901 en caso de fuego en el área.

4.3.5 Válvulas PSV-70901 y PSV-70902.

Estas válvulas PSV están colocadas individualmente en el poliducto de San Joaquín y en el poliducto de Santa Bárbara, estas se utilizan en caso de que el LGN transportado en los poliductos presente una expansión térmica, por lo que necesitan aliviar la presión interna de ellos para evitar que el poliducto ceda estructuralmente y ocurra una fuga o explosión en los mismos (ver figura 4.17). Estas PSV instaladas en cada poliducto cuentan con una presión de ajuste de 680 PSIG, permitiendo actuar o dispararse cuando la presión en el poliducto exceda la

presión de ajuste de estas. Al igual que las PSV-70903/05/07/09 y las PSV-70911/13/15/17 todo el fluido de alivio por estas válvulas es descargado al flare X-73301. Estas válvulas presentan el mismo principio de funcionamiento de las instaladas en las balas, pero son válvulas de seguridad de apertura y cierre proporcional, es decir que estas se disparan y abren a medida que la presión de los vapores de LGN aumenta y cuando esta presión comienza a disminuir la válvula comienza a cerrarse hasta que la presión llega a la presión normal de operación del Poliducto.

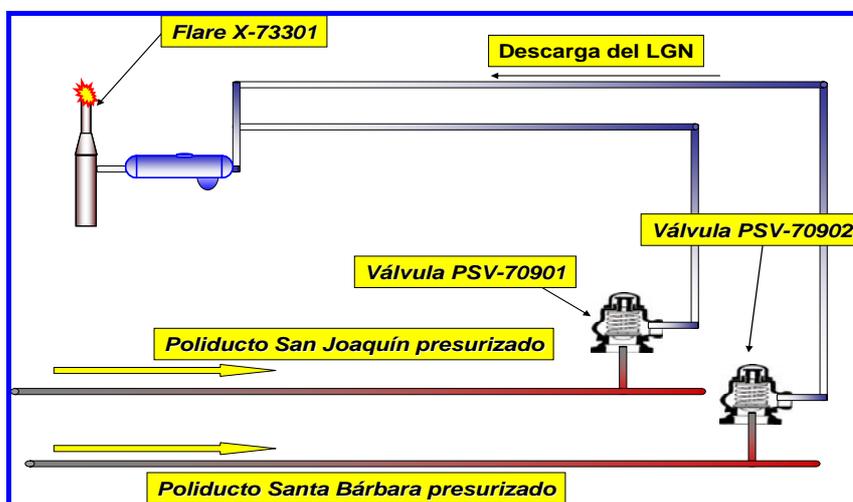


Figura 4.17 Esquema de funcionamiento de las válvulas PSV- 70901/02 asociadas a los poliductos de Santa Bárbara y San Joaquín.

También existen controladores de nivel (LIC-70912/24) que emite una señal de salida que efectuará el valor de ajuste del controlador de flujo de alimentación (FIC-50501) normalmente asignados al tren “A” y controles iguales para los demás trenes, estos regulan por medio de válvulas tipo globo y disminuyen la presión del LGN haciendo que entre en las balas a 100 psig.

4.4.2 Escenarios de emergencias asociados al sistema de recepción de LGN.

4.4.2.1 Variables involucradas.

Los escenarios de emergencia asociados al sistema de recepción tienen relación con las variables de presión, temperatura y con la composición del LGN que viene de las plantas de extracción el cual puede estar contaminado con compuestos livianos, pesados o agua. También se puede presentar problemas con la fase en que el LGN sale del poliducto, este debería llegar a las balas en fase líquida completamente, pero en ocasiones se encuentra una porción pequeña de su volumen (alrededor del 2%) en fase gaseosa.

Los problemas de agua e hidrocarburos pesados en el LGN no ocasionan fallas de mucha relevancia y son resueltos mediante procedimientos de drenaje en las botas en las balas, para el caso del agua, y los hidrocarburos pesados continúan hasta el final del proceso de fraccionamiento y se van junto a la gasolina natural hacia las plantas de refinación.

El sistema de seguridad se activa principalmente por problemas con la variable presión debido a la presencia de etano, quien tiene una presión de vapor superior a los demás componentes del LGN y es el causante de que la alimentación no llegue a las balas en estado completamente líquida.

La sobrepresión puede afectar tanto a los poliductos como a las balas de alimentación de LGN, la temperatura también afecta de manera importante la composición del LGN y su comportamiento en el poliducto y en las balas, un aumento repentino puede ocasionar un problema de expansión térmica del LGN lo cual puede ocasionar una contingencia en el área y comprometer la integridad mecánica del tubo.

4.4.2 Escenarios de emergencia.

4.4.2.1 Alta Relación C2/C3.

Las plantas de extracción de líquidos de San Joaquín y Santa Bárbara envían el LGN por poliductos hacia Fraccionamiento JOSE, estas plantas extraen los líquidos del gas natural por diferentes procesos, ya sea por Turboexpansores o por válvula JT, depende de estos procesos la composición del LGN que se despacha a JOSE, como se refirió anteriormente, la composición del LGN recibido en JOSE debe estar en el rango óptimo de operación que exige la planta de fraccionamiento, es decir, que la relación C2/C3 sea de 0.016, sin embargo puede ocurrir que la composición del LGN no cumpla con esta condición; cuando se presenta este escenario la relación de C2/C3 de la composición del LGN puede estar por debajo o por encima del valor de 0.016. Cuando la relación de C2/C3 es baja (ver Gráfico 4.3), esta no representa ningún problema en los procesos y menos en los sistemas de transporte y almacenamiento de LGN.

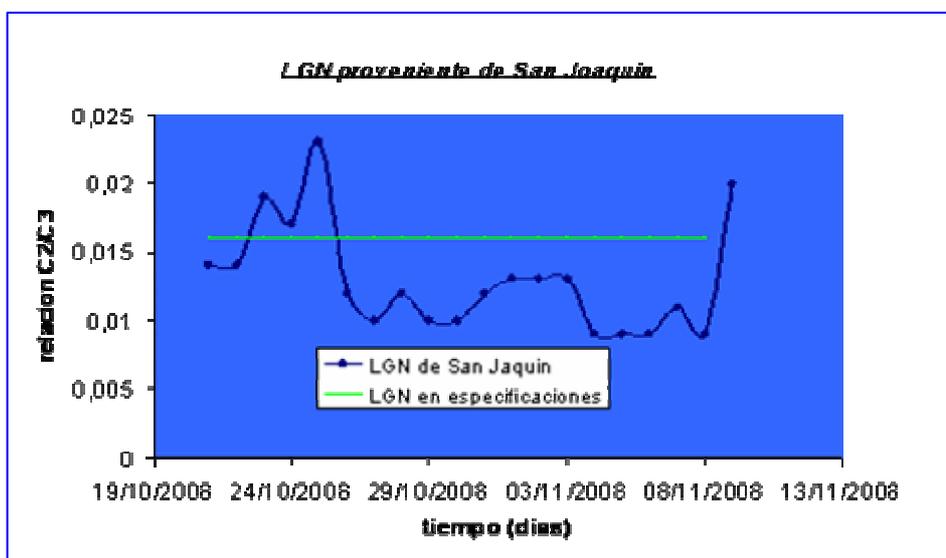


Gráfico 4.2 LGN proveniente de San Joaquín

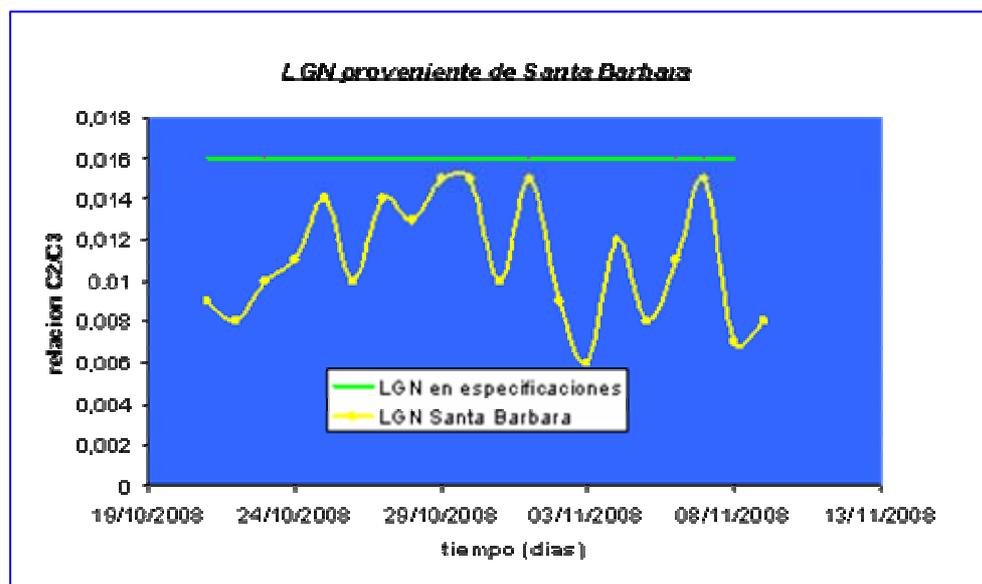


Gráfico 4.3 LGN proveniente de Santa Bárbara.

Por otro lado, cuando la relación C2/C3 de la composición del LGN presenta un valor mayor a 0.016 (ver gráfico 4.3), esta comienza a provocar un aumento gradual de la presión en el sistema, es decir, que la proporción o el porcentaje de etano (C2) es mayor, este componente presenta una presión de vapor mas baja en comparación con el C3 por lo que es más volátil, y por ende provocará una sobrepresión en el sistema de transporte y almacenamiento de LGN. Esta sobrepresión provocada por la alta relación C2/C3 puede activar los sistemas de seguridad de los poliductos, activando las válvulas PSV instaladas en cada tubería, y también puede activar al conjunto de válvulas de seguridad que protegen a las balsas de almacenamiento de LGN. La causa más común de sobrepresión es por la alta relación C2/C3, pero sin embargo, esta puede ser ocasionada también por porcentajes importantes de metano (C1), este componente es mucho mas volátil que el C2. En ocasiones la composición del LGN presenta alta relación C2/C3 sumada a altos porcentajes de C1, esta puede provocar mayor sobrepresión en el sistema de transporte y almacenamiento de LGN.

4.4.2.2 Incendio en el área 270 (balas).

En el área 270 (área de recepción y almacenamiento de LGN), se encuentran una serie de equipos y sistemas que pudieran presentar desperfectos por falta de mantenimiento o por alguna otra alteración externa que los afecte. Los equipos más delicados y que pueden presentar desperfectos son las bombas de alimentación o descarga del LGN; estas bombas pueden experimentar roce en sus componentes internos, es decir que estos componentes giratorios y móviles pueden presentar desperfectos y ocasionar roce entre ellos o con la carcasa de la bomba; también, el sistema de potencia de la bomba puede presentar rozamiento por desgaste o fatiga de algunos componentes internos, el roce de estos equipos puede ocasionar una chispa y por consiguiente un incendio en el área. Este incendio producto del roce, se convierte en un evento de mucha peligrosidad, por que puede elevar la temperatura del LGN contenido en las balas y provocar una expansión térmica del líquido aumentando la presión de las balas y activando al sistema de seguridad asociado a ellas.

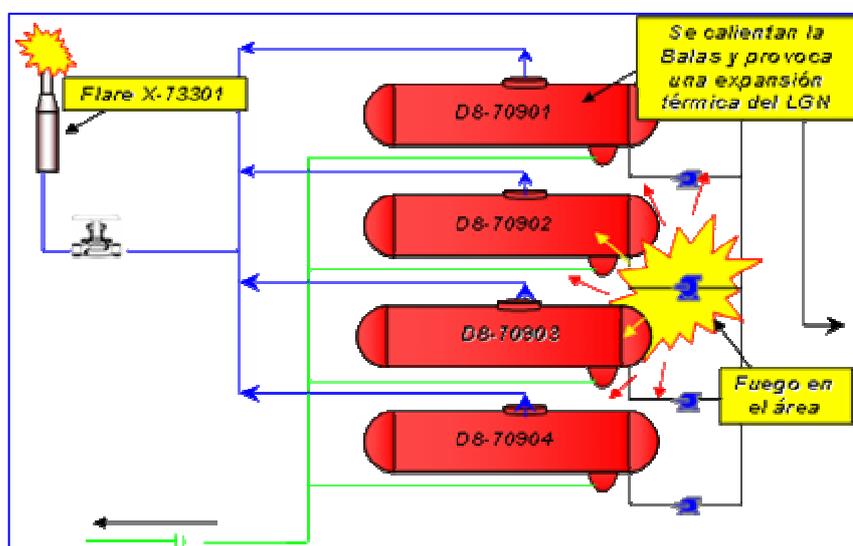


Figura 4.18 Incendio provocado por desperfectos en las bombas de alimentación.

Otro evento que puede ocasionar un incendio es el sistema de electricidad instalado en el área 270; a pesar de estar diseñados a prueba de explosión, si se presentan desperfectos por falta de mantenimiento o en el momento que se realiza

un mantenimiento puede generarse un punto de ignición y ocasionar un incendio alterando las variables de presión y temperatura del LGN contenido en las balas y provocando una expansión térmica, la cual se traduce en una presurización del sistema de almacenamiento activando de igual manera al sistema de seguridad asociado.

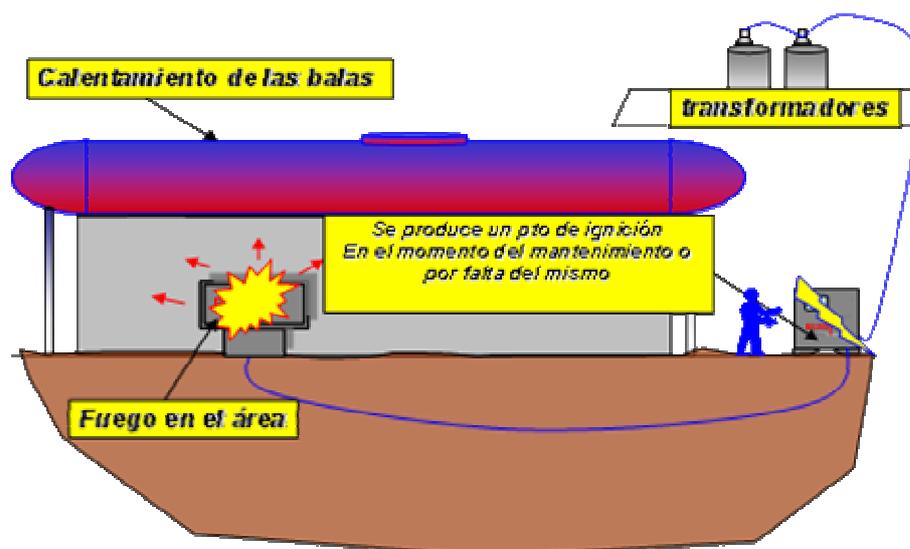


Figura 4.19 Incendio provocado durante el mantenimiento del sistema eléctrico.

4.4.3 Medidas de protección del sistema de recepción ante posibles fallas (sobrepresión).

La presión de diseño de las tuberías de entrada existentes en JOSE es menor que la presión máxima de operación de la tubería San Joaquín-JOSE. Las válvulas de alivio de las balas de almacenamiento de LGN tienen la suficiente capacidad para proteger la tubería interna en caso de la descarga bloqueada de las balas. A fin de garantizar que esta protección esté disponible, las válvulas de aislamiento existentes en la división de la tubería de entrada de los trenes se encuentran aseguradas en posición abierta. También existe una válvula de alivio térmico en la tubería de alimentación de LGN que previene el exceso de presión debido a expansión térmica.

El sistema de protección inicial (válvulas de venteo asociadas al sistema PIC-709541 y PIC-709542) de las balas registra la elevación de la presión (sobrepresión) por medio de un indicador de presión (IP) y activa el sistema de venteo, el cual cuenta con dos controladores de presión (PC) que activan 2 válvulas de apertura y cierre proporcional, estas válvulas de control ventean en caso de que las balas se presuricen por encima de 450 psig y se distribuyen en una para cada cuatro balas. De manera general las válvulas de venteo tienen un mecanismo interno que permiten el control de la presión mediante un tapón con apertura rápida (característica inherente en la cual se obtiene la máxima abertura con la mínima carrera de la válvula), sus materiales internos son de acero inoxidable y las empaaduras de grafito. Este tipo de válvula cuenta con un adaptador neumático de resorte-diafragma que recibe su señal del controlador de presión. Vale destacar que estas válvulas son la primera respuesta del sistema de seguridad en el área de almacenamiento ante una sobrepresión excesiva por alta relación C2/C3 o por presencia de C1.

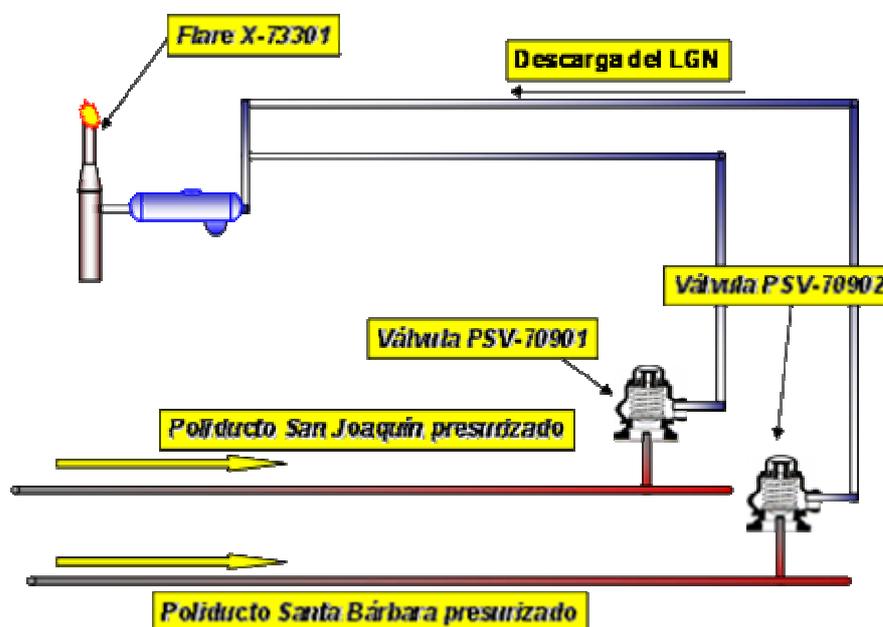


Figura 4.20 Esquema del sistema de seguridad en el área de recepción de LGN.

El procedimiento de venteo ocasiona pérdidas a la planta debido a que por cada galón de etano que se ventea se pierden 7 galones de propano. Todo lo que es venteado pasa a través de un sistema de tubería que dirige estos vapores al flare de emergencia X-73301, más conocido como mechurrio en el cual se incineran estos gases, ya que las leyes del ambiente impiden que sean expulsados directamente a la atmósfera y, como medida de seguridad para el control de la mezcla explosiva (nube de expansión).

Cuando la falla por sobrepresión es muy grave y el sistema inicial de venteo no puede restablecer las condiciones de operación normales existe otro sistema de seguridad que son un grupo de válvulas de seguridad de presión (PSV), estas válvulas de seguridad son las PSV-70903/05/07/09 y las PSV-70911/13/15/17, son de acción directa y están distribuidas de manera que haya una por cada bala. Su funcionamiento se produce cuando el sistema de venteo inicial no es suficiente para disminuir la presión y esta hace que se activen la válvulas PSV. Las válvulas de seguridad de acción directa instaladas en las balas son el dispositivo más empleado para el alivio de presión y están ajustadas a una presión 50 PSIG por encima del sistema de venteo inicial (500 PSIG), es decir estas válvulas se disparan de manera muy rápida cuando existe una sobrepresión excesiva en el sistema como resultado de recibir el producto fuera de especificaciones o que este presentadote un incendio en el área provocando una expansión térmica en el LGN contenido en las balas. Se puede definir como un dispositivo que automáticamente sin otra asistencia de energía que la del vapor del LGN, descarga este vapor para evitar que se exceda a la presión predeterminada y está diseñada para que vuelva a cerrar y se evite el escape adicional de vapores de LGN después de haberse restablecido las condiciones normales de presión en las balas. Al igual que en el caso del venteo, los vapores expulsados por las PSV son dirigidos al mechurrio o flare X-73301 en donde se incineran. En tercer orden existen las válvulas XSV-70902/04/06/08 y XSV-0910/12/14/16, en las balas de almacenamiento de LGN están instaladas estas válvulas de manera individual por cada recipiente, es decir existen 8 válvulas de este tipo en el área distribuyéndose una por cada bala; estas

válvulas se utilizan para aislar el flujo en caso de incendio en el área, cuando se presenta fuego en la instalación las balas se presurizan producto de la expansión térmica del LGN.

Cuando los sensores de radiación y emisión ultravioleta perciben una alteración (sistema de detección de incendios), estos envían una señal a estas válvulas y ellas de manera automática se cierran para impedir el flujo de LGN hacia los trenes y evitar una explosión en el área.

A pesar que este sistema de válvulas no ventea o alivia la presión, estas protegen los equipos instalados aguas arriba y aguas abajo del sistema de recepción de LGN en caso de fuego evitando una reacción en cadena si se agrava el evento.

4.5 Causas de la sobrepresión en el sistema de recepción de la Planta de Fraccionamiento de JOSE.

Para conocer las causas de la sobrepresión de la Planta de Fraccionamiento de JOSE se debe remontar al lugar de donde proviene el LGN, es decir, La Planta de Extracción de San Joaquín; en esta planta llega una alimentación que consiste en la combinación de productos de cuatro líneas de gas provenientes de las áreas de Santa Rosa, San Joaquín, Santa Ana y El Toco.

La Alimentación una vez que pasa por los separadores es sometida a un proceso de Deshidratación y luego es enfriada en procesos criogénicos con válvula de Joule-Thomson de alta presión para luego ser sometida a un proceso de deshidratación con tamices moleculares.

El enfriamiento del gas se continúa por medio de expansores de baja presión y el condensado pasa al proceso de estabilización donde se le extrae el agua y los hidrocarburos más pesados (C6+).

El producto que se extrae del fondo de la Torre de Estabilización se mezcla con el de la Torre Desetanzadora y son enviados a la Planta de Fraccionamiento de JOSE. El Producto de La Torre Desetanzadora es controlado por un Cromatógrafo (AF) para que la relación Etano/Propano (C2/C3) sea igual o menor a 0.016, si esta relación es mayor indica que el producto esta fuera de especificaciones.

El Etano es un Hidrocarburo liviano, cuya volatilidad es alta, por lo tanto puede ocasionar que el LGN que es enviado a la Planta de Fraccionamiento de JOSE no llegue en fase líquida, provocando una sobrepresión tanto en el poliducto como en las Balas de Alimentación.

La razón por la cual la relación etano-propano se encuentre fuera de especificaciones al salir de la torre desetanzadora se pueden resumir como las siguientes:

Se destacan dos razones muy definidas por las cuales la relación C2/C3 pueda estar fuera de especificación en el fondo de la columna. Uno de esos problemas es que por el tope salga mucha cantidad de propano, esto se debe a que se está manejando poco líquido dentro de la torre, provocando que el vapor proveniente de los rehervidores evapore mayores cantidades de propano y butanos hacia el tope de la columna (alto perfil de temperatura en la torre), quedando el fondo de la misma con menor cantidad de propano; la otra razón es que por el fondo salga mucha cantidad de etano, esto indica que se esta manejando mucho líquido dentro de la columna o que los rehervidores lateral y de fondo no están suministrando la suficiente energía para evaporar el etano(bajo perfil de temperatura en la torre) y este cae al fondo de la torre con los pesados, trayendo como consecuencia una relación alta, igual que en el caso anterior.

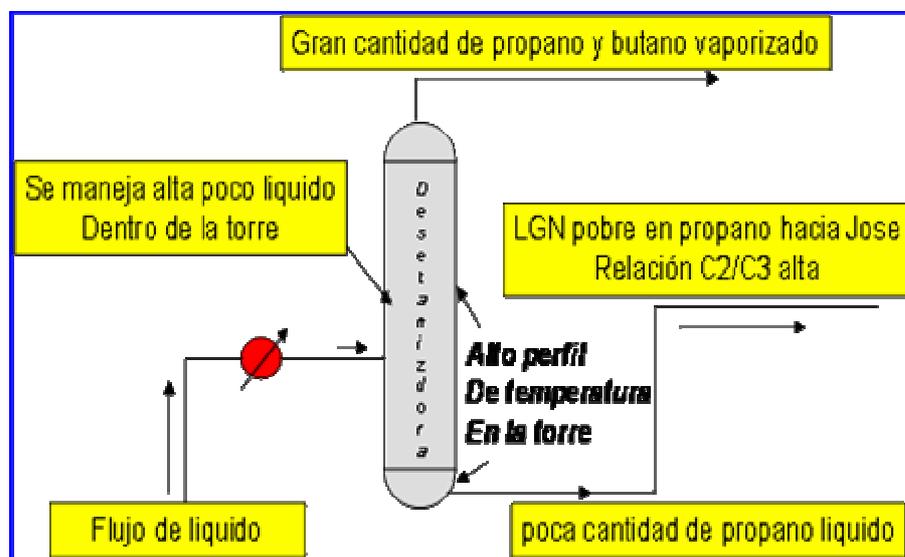


Figura 4.21 Manejo de poco líquido en la torre desetanizadora.

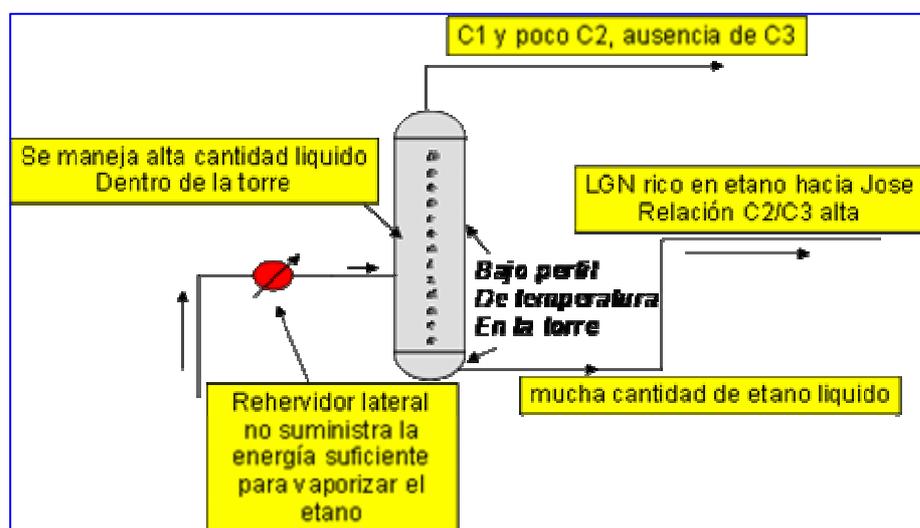


Figura 4.22 Alto nivel de líquido dentro de la torre y rehervidor ineficiente.

Como posible solución, para el primer caso es aumentar los flujos tanto de alimentación como de reflujo para evitar pobreza de líquido dentro de la torre y monitorearlos constantemente, para que en el momento en que la situación se normalice llevarlos de nuevo a sus valores especificados, eso implica incrementar un poco la carga a los expansores, así como también incrementar el gas de

intercambio en el intercambiador de calor que esta ubicado antes del separador de alta y así producir más líquido.

En el caso de los rehervidores, se le debe aumentar el flujo de gas utilizado para el intercambio de calor y de esta manera calentar más los líquidos que se extraen de la columnas, para luego ser retornados a rectificar. Cabe destacar que algunas veces cuando el producto no sale bajo especificación y las variables están bien controladas, el problema puede estar dentro de la torre, es decir que es posible un daño mecánico por caída de platos y por ello no ocurrió la transferencia de masa entre los líquidos y el vapor, es decir no se cumplió el tiempo de residencia o de contacto íntimo necesario.

4.6 Características de control del sistema de alivio y venteo.

Como hemos referido anteriormente, el sistema de alivio y venteo de las balas de almacenamiento consta de 8 válvulas PSV (PSV-70903/05/07/09 y PSV-70911/13/15/17) las cuales se encuentran instaladas individualmente por cada bala y 2 válvulas de venteo asociadas a los controladores PIC-709541 y PIC-709542, las primeras alivian la presión de manera rápida y su descarga va al mechurrio o flare X-73301, las segundas actúan de manera proporcional al aumento de presión en el sistema e igualmente que las PSV están descargan los fluidos al flare X-73301.

4.6.1 Controladores.

Tabla 4.3 Controladores encargados de la presión de operación de las balas.

Controlador	Valor de ajuste	Función principal
PIC-70954.1	100 PSIG	Controla la presión máxima de operación en las balas de LGN y las protege de sobrepresión al descargar los vapores en el sistema de mecurrio. Esta normalmente asignado al tren A.
PIC-70954.2	100 PSIG	Controla la presión máxima de operación en las balas de LGN y las protege de sobrepresión al descargar los vapores en el sistema de mecurrio. Esta normalmente asignado al tren B y C.

4.6.2 Válvulas de seguridad o alivio.

Tabla 4.4 Válvulas encargadas del alivio de presión en las balas de almacenamiento.

Válvula	Presión de ajuste	Función principal
PSV -70903/05/07/09	500 PSIG	Protege a las balas del tren A de sobrepresiones debido al fuego en el área de tanque de almacenamiento.
PSV-70911/13/15/17	500PSIG	Protege las balas del tren B y C de sobrepresiones debido al fuego en el área de tanques de almacenamiento.
PSV-709101	680PSIG	Protege al poliducto de San Joaquín de sobrepresiones debido a expansiones térmicas mientras este en funcionamiento
PSV-70902	680PSIG	Protege al poliducto de Santa Bárbara de sobrepresiones debido a expansiones térmicas mientras este en funcionamiento.

Además de estos dispositivos, el sistema de control incluye un transmisor de presión común (PT-70954) para el venteo por separado desde las balas si la presión en el cabezal común de vapor excede 450 psig. Además la incorporación de un segundo transmisor (PT-709542) que permite que los otros trenes operen en forma independiente, en un modo de operación distinto y una presión diferente.

Los controladores de presión PIC-709541 y PIC-709542 permiten operar de manera automática para ventear cualquier vapor durante condiciones de falla y para minimizar la posibilidad de que se disparen las válvulas de alivio o seguridad (PSV-70903/05/07/09 y PSV-70911/13/15/17). La condición de alivio de estas válvulas es la sobrepresión producto del fuego o almacenamiento de un producto fuera de especificación.

4.7 Medidas de seguridad a la que debe responder el sistema de control ante fallas operacionales en la planta de fraccionamiento JOSE.

Las medidas de respuesta a la que debe obedecer el sistema de control ante fallas activan una serie de alarmas que indican el problema que está ocurriendo en tiempo real en el área 270, estas alarmas aparecen registradas en sala de control, mediante indicadores de luz, color y ruido en la pantalla de control de los procesos de los trenes A, B y C en la sala de control.

Las medidas de seguridad se pueden activar por alarmas que obedezcan a altos y bajos niveles de LGN en las balas, a altos y bajos niveles de agua en las botas de las balas, también aquellas alarmas que indican que las bombas trabajan en las condiciones de flujo mínimas, se incluyen las que se disparan cuando ocurre alto flujo de agua al drenaje cerrado y unas de las más importantes, las que indican alta tasa de vapores venteados al mechurrio; son manipuladas por el panelista de sala de control y el según su criterio y experiencia toma las medidas de seguridad más óptima para la operación continua de los procesos llevados a cabo en la planta.

Las medidas de seguridad en estos casos dependen mucho de las condiciones de operación de los procesos y el panelista actúa sobre estas condiciones ajustando las variables asociadas a cada sistema, para corregir cualquier perturbación que este ocurriendo. Un ejemplo claro de las medidas adoptadas en sala de control, puede ser cuando ocurre bajos niveles de líquidos en las balas; en sala de control se dispara una alarma (LAL-70906/12/18/24), el operador debe distribuir el flujo de LGN y ecualizarlo de manera que el llenado sea constante en todas las balas y su nivel se mantenga para evitar la activación de estos tipos de alarma.

Las medidas de seguridad aplicadas en estos casos son muy flexibles y dependen mucho de las condiciones y las variables de operación que se este manipulando, sin embargo estas medidas de seguridad pueden ser tomadas inclusive si se presentan casos en que el sistema de indicadores o controladores falle en algún equipo o este arrojando datos erróneos, por lo que en sala de control se deben identificar estas incongruencias para mantener un nivel operacional óptimo.

Por otro lado existen una serie de alarmas con la que el sistema de control responde de manera diferente, estas alarmas obedecen a problemas como: nivel de líquido muy alto o muy bajo en las balas Automáticamente el sistema de control cierra la entrada de alimentación de las balas activando las válvulas XV-402B8 y la XSV-140991 para el primer caso y en segundo caso el sistema de control detiene las bombas de alimentación a los trenes de fraccionamiento D3-70901/02/03/04.

En las tablas anexas a continuación se visualiza de manera más específica la causa de activación de las alarmas, el valor de ajuste de la variable operacional para corregir el problema y la descripción de la acción que toma el sistema de control.

Tabla 4.5 Tipos de alarmas en casos de fallas operacionales en el área 270.

Alarma- parada	Causa de activación	Ajuste aproximado	Descripción de la acción
LAL- 70906/12/18/24	Nivel de líquidos bajo en las balas del tren A.	3`-9` 5.7 %	Alarma en sala de control.
LAL- 70930/36/42/48	Nivel de líquidos bajo en las balas del tren B y C.	3`-9` 5.7 %	Alarma en sala de control.
LAH- 70906/12/18/24	Nivel de líquidos alto en las balas del tren A	8`- 0` 90.7%	Alarma en sala de control.
LAH- 70930/36/42/48	Nivel de líquidos alto en las balas del tren B y C.	8`- 0` 90.7%	Alarma en sala de control.
LSDH- 70901/07/13/19	Nivel de líquidos muy alto en las balas del tren A.	9`-6`	Cierra la entrada a las válvulas de alimentación al almacenamiento de LGN (XV-402B8 y XSV-140991)
LSDH- 70925/31/37/43	Nivel de líquidos muy alto en las balas del tren B y C.	9`-6`	Cierra la entrada a las válvulas de alimentación al almacenamiento de LGN (XV-402B8 y

			XSV-140991)
LSDL- 70902/08/14/20	Nivel de líquidos muy bajos en las balas del tren A.	1`-6”	Detiene la bomba (D3-70901) y la bomba (D3-70904) cuando están alineadas con el tren A.
LSDL- 70926/32/38/44	Nivel de líquidos muy bajos en las balas del tren B y C.	1`-6”	Detiene la bomba (D3-70902) y la bomba (D3-70903) cuando están alineadas con el tren B y C.
LAH- 70903/09/15/21	Alto nivel de agua en las botas de las balas del tren A.	2`-0” 83%	Alarma en sala de control.

Tabla 4.6 Tipos de alarmas en caso de fallas operacionales en el área 270.

Alarma- parada	Causa de activación	Ajuste aproximado	Descripción de la acción
LAH-70927/33/39/45	Alto nivel de agua en las botas de las balas del tren A.	2`-0” 83%	Alarma en sala de control.
LAL-70921	Bajo nivel de agua en las botas de las balas del tren A.	12 3/8” 0%	Alarma en sala de control
LAL-70927	Bajo nivel de agua en las botas de las balas del tren A.	12 3/8” 0%	Alarma en sala de control
LSL-70983	Nivel muy bajo de agua en las botas del tren A.	12 3/8” 0%	Cierra XV-70917 para suprimir el drenaje de agua
LSL-70984	Nivel muy bajo de agua en las botas del tren B y C.	12 3/8” 0%	Cierra XV-70915 para suprimir el drenaje de agua
LAL-70983	Nivel muy bajo de agua en las botas del tren A.	12 3/8” 0%	Alarma en sala de control
LAL-70984	Nivel muy bajo de agua en las botas del tren B y C.	12 3/8” 0%	Alarma en sala de control

FAL-70945	La bomba de alimentación del tren A ha alcanzado las condiciones mínimas de flujo.	800 GPM	Alarma en sala de control. La bomba D3-70901 comienza a recircular caudal a través de la derivación
-----------	--	---------	---

Tabla 4.7 Tipos de alarmas en caso de fallas operacionales en el área 270.

Alarma- parada	Causa de activación	Ajuste aproximado	Descripción de la acción
FAL-70952	La bomba de alimentación del tren B ha alcanzado las condiciones mínimas de flujo.	800 GPM	Alarma en sala de control. La bomba D3-70902 comienza a recircular caudal a través de la derivación
FAL-70949	La bomba de alimentación al tren C ha alcanzado las condiciones mínimas de flujo.	800 GPM	Alarma en sala de control. La bomba D3-70903 comienza a recircular caudal a través de la derivación
FAL-70955	La bomba de alimentación de los trenes A y B o C ha alcanzado las condiciones mínimas de flujo.	800 GPM	Alarma en sala de control. La bomba D3-70904 comienza a recircular caudal a través de la derivación
FAH-70948	Alto flujo de agua de las balas del tren A al CD	150 GPM	Alarma en sala de control
FAH-70951	Alto flujo de agua de las balas del	150 GPM	Alarma en sala de control

	tren B y C al CD		
FAH-70947	Alta tasa de vapores se ventean al flare de las balas del tren A.	750 MSCFH	Alarma en sala de control
FAH-70950	Alta tasa de vapores se ventean al flare de las balas del tren B y C.	750 MSCFH	Alarma en sala de control

Este tipo de instalaciones, presentan procesos muy riesgosos y de alta peligrosidad por lo que se requieren de grandes inversiones en sistemas de controles avanzados, muy eficientes y versátiles; para mantener estos procesos en los rangos de operación normal y eficiente. Por otro lado, el control de los procesos llevados a cabo en la planta de fraccionamiento, dependen mucho de la pericia de los operadores y de su larga experiencia en el manejo de controladores y sistemas de seguridad en los procesos. Estos dos aspectos, son la base fundamental de una operación segura y eficiente en la planta, porque abarca todas las variables involucradas en los procesos llevados a cabo.

4.8 Mantenimiento del sistema de válvulas de seguridad asociadas al sistema de recepción del LGN en la planta de fraccionamiento JOSE.

Es importante realizar un adecuado mantenimiento preventivo de las válvulas de seguridad de los equipos, ya que supone la reducción del número de paradas de emergencia o de accidentes que puedan suceder por deficiente

funcionamiento de estos elementos y la consiguiente rentabilidad y seguridad de la instalación.

Las válvulas deben ser inspeccionadas con regularidad para comprobar que están trabajando correctamente, y periódicamente deben ser desmontadas totalmente para verificar que sus distintos elementos no presentan anomalías, así como que su interior este limpio de acumulaciones de moho, incrustaciones o sustancias extrañas.

Posteriormente deben montarse y probarse con el equipo en funcionamiento, verificándose el disparo a la presión del precinto.

Previamente al desmontado o reparación de una válvula, se deberá comprobar que el equipo ha quedado sin presión y que está en adecuadas condiciones para realizar el trabajo.

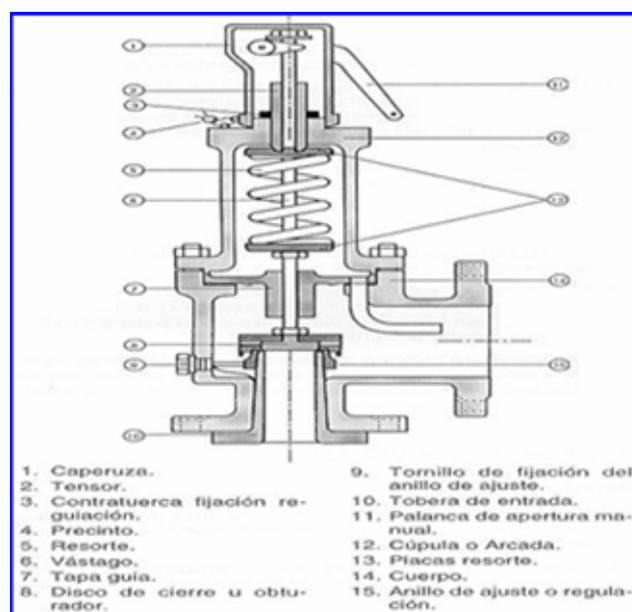


Figura 4.6 Componentes de la Válvula de seguridad

Si en alguna de las inspecciones se detecta que la válvula tiene fugas, debe ser desmontada a la primera oportunidad, teniendo la precaución de que no exista

presión en el interior de la válvula. Tras desmontar la válvula quedarían accesibles los componentes interiores y las superficies del asiento para poder realizar la inspección y el mantenimiento, rectificando estas superficies en caso de que estén defectuosas. A continuación se debe comprobar que el interior de la válvula está limpio y montarse de nuevo.

Antes de desmontar las válvulas es práctico medir la altura del tornillo de regulación, con el fin de que en el montaje sea más fácil el ajuste de la presión de tarado que se afinará con un manómetro calibrado. Es recomendable actuar sobre el sistema de disparo de las válvulas de seguridad periódicamente, observando su correcto funcionamiento, y así asegurar su adecuado comportamiento en condiciones de operación. La rutina de mantenimiento se efectúa cada 2 meses y en ella se procede a desmontar una por una las válvulas de seguridad PSV de la tubería de 4 pulgada que la conecta a la bala correspondiente y se trasladan al taller de mantenimiento, en este sitio se les lubrica y mediante un ajuste en el resorte se les gradúa el punto de ajuste (set-point), el cual debe estar en 500 psig. Con respecto a las válvulas de venteo, se les realiza una limpieza al sistema interno, y los instrumentistas realizan chequeo al controlador-indicador, ajustándolo a 450 psig.

A continuación se presentan todos los procedimientos llevados a cabo para realizar el mantenimiento respectivo a cada válvula de seguridad.

4.8.1 Aspectos de seguridad, higiene y ambiente que se toman en consideración para el mantenimiento de las válvulas asociadas al sistema de seguridad.

Equipos de protección personal, botas, casco guantes.

Mantener limpio y ordenado el área de trabajo.

Matriz de riesgo, A.R.E.T.E.

Permiso de trabajo y prácticas de trabajo seguro (P.T.S.)

Para realizar esta actividad se deben tomar en cuenta los aspectos ambientales.

Los desechos generados durante esta actividad de inspección serán dispuestos en contenedores, debidamente identificados por el tipo de desechos, en las áreas de proceso y/o talleres. Las unidades de mantenimiento y/o operaciones serán las encargadas del manejo temporal de los desechos, al igual que el área de logística y servicio con la asesora de SHA en cuanto a la disposición final del mismo.

En caso de ser reemplazadas las válvulas existentes, se debe desarrollar un H.A.Z.O.P. del sistema modificado.

4.8.2 Materiales y equipos a utilizar.

Banco de pruebas.

Puente grúa.

Gancho de sujeción

Manómetro.

Solvente.

Torno.

Líquido penetrante.

Sandblasting.

Pintura.

4.8.3 Instrucciones de Trabajo.

Tabla 4.8 Instrucciones iniciales para realizar el proceso de mantenimiento de las válvulas.

Responsables	paso	Actividad
Técnico Mecánico	1	Elaborar “matriz de riesgo”, según procedimientos GPG-SHA-MN 5.24 del manual de normas SHA.
	2	Elabora y firmar el A.R.E.T.E.
Supervisor de Unidad	3	Firmar el A.R.E.T.E en señal de aprobación.
Técnico Mecánico	4	Solicitar la emisión del “permiso de trabajo” a Operaciones, según procedimiento GPG-SHA-MN 5.3 del manual de normas SHA.

4.8.4 Desarmado de válvula de seguridad y alivio.

Tabla 4.9 Procedimiento para el desarmado de las válvulas de seguridad.

Responsables	paso	Actividad
Técnico Mecánico.	1	Energizar el compresor de aire para mantener la presión en el sistema.
	2	Colocar la válvula de seguridad sobre el banco de pruebas, manualmente o con puente grúa, y fijarla con los ganchos de sujeción con la presión de 2000 PSI.
	3	Seleccionar el manómetro de un rango adecuado según la presión dada para la realización de la prueba.
	4	Verificar que todos los demás manómetros del banco de pruebas estén cerrados.
	5	Cerrar las válvulas de alivio.
	6	Abrir la válvula de suministro de aire lentamente.
	7	Verificar la presión de apertura de la válvula compararla con la presión original de calibración.
	8	Despresurizar el sistema de banco de pruebas (0 PSI).
	9	Retirar los precintos de seguridad y desenroscar el cap. o protector, y retirar la empacadura.
	10	Aflojar la contratuerca y desenroscar el tornillo de ajuste para eliminar la compresión del resorte (anotar la posición de esta y contar el número de vueltas).
	11	Aflojar los tornillos del bonete y retirar el mismo junto con la empacadura.
	12	Retirar el conjunto de resorte con arandelas.

	13	Desmontar el vástago con el disco fuelle y la porta-asiento.
Responsables	paso	Actividad
Técnico Mecánico.	14	Limpiar todas las partes internas con un solvente adecuado, que nos permita inspeccionar cada una de ellas para determinar sus condiciones.
	15	Retirar (desenroscar) el vástago del disco para inspección de la concentricidad. Esto debe realizarse en un torno y la concentricidad no debe exceder de 0.007", en caso contrario reemplazarlo.
	16	Inspeccionar el fuelle visualmente y/o con un líquido penetrante, en caso de presentar grietas o rajaduras reemplazarlos.
	17	Retirar el disco del sujetador o porta-asiento.
	18	Retirar el pasador o pin de ajuste del anillo (flora). Anote el número de vueltas del anillo, y retírelo.
	19	Desenroscar y retirar la boquilla del cuerpo de la válvula.
	20	Inspeccionar la superficie de los sellos (anillo y boquilla), si esta dañados se deben maquinar o lapear.
	21	Inspeccionar las carcaza de la válvula, en caso de presentar daño en la pintura o en el punto de corrosión, se recomienda la aplicación de sandblasting.

4.8.5 Armado de la válvula de seguridad y alivio.

Tabla 4.10 Procedimiento para el armado de las válvulas.

Responsables	paso	actividad
Técnico Mecánico	1	Verificar que todas las partes de las válvulas estén limpias. El armado de la válvula se efectuara en forma invertida al proceso de desarmado.
	2	Roscar la boquilla en el cuerpo de la válvula (utilizar la llave de tubo o llave especial para dar ajuste).
	3	Colocar el anillo o flora del blowdown, según posición inicial.
	4	Colocar pasador o pin de ajuste de la flora.
	5	Colocar el disco en el soporte o sujetador (el retenedor del disco debe ajustar a la cavidad) presionando suavemente con la mano y con un destornillador, previendo no rallar la cara del asiento o roscarlo en caso contrario.
	6	Roscar el vástago en el soporte del disco, aplicar una película de grasa o aceite en la punta esférica del vástago para evitar que se atasque.
	7	Colocar la empacadura en medio del cuerpo de la válvula y el bonete.
	8	Colocar el conjunto del vástago (disco y fuelle) sobre el medio cuerpo de la válvula.
	9	Instalar el bonete, asegurándose que el mismo sea instalado en su posición original.
	10	Atornillar el bonete a medio cuerpo de la válvula.
	11	Roscar el tornillo de ajuste, considerando las medidas tomadas inicialmente.

	12	Sujetar la válvula de seguridad con ganchos de succión y accionar el gato hidráulico a una presión de 2000 PSI.
Responsables	paso	actividad
Técnica mecánico	13	Verificar la presión de calibración en la placa de identificación de la válvula o la suministrada por operaciones, en caso contrario verificar en el manual PSV.
	14	Seleccionar el manómetro de un rango adecuado según la presión dada para la realización de la prueba.
	15	Verificar que todos los demás manómetros del banco de pruebas se encuentren cerrados.
	16	Cerrar las válvulas de alivio.
	17	Abrir la válvula de suministro de aire lentamente.
	18	Verificar en el manómetro la presión de apertura de la válvula, en el caso de no ser lo deseado aflojar o ajustar el tornillo de ajuste hasta lograr la presión deseada.
	19	Sujetar el tornillo de ajuste y apretar la contratuerca para evitar la posible descalibración del equipo.
	20	Realizar nuevamente la prueba para verificar la presión de apertura y cierre (ver norma API RP-527).
	21	Luego de calibrada la válvula, verificar la hermeticidad de los asientos conjuntamente con el personal de ingeniería y operaciones o bomberos.
	22	Prueba de hermeticidad: se debe colocar un papel o toalla húmeda para verificar si hay filtración en la descarga de la válvula, en caso de filtración se procede al desarme de la válvula para lapiado de los asientos o el reemplazo de estos; y se repiten nuevamente los pasos anteriores hasta que la válvula selle.

Responsables	paso	actividad
Técnico Mecánico	22	Colocar el CAP. o protector.
	23	Se debe testificar la prueba de calibración de la válvula y reportar los resultados en el registro respectivo.
	24	Colocar los precintos de seguridad en el CAP. o protector y en el pin de ajuste de la flora o donde lo amerite.
	25	Colocar una placa de identificación nueva.
Jefe de Guardia	26	Verificar el funcionamiento del sistema y cerrar “el permiso de trabajo”.
Técnico Mecánico	27	Informar la culminación del trabajo al superviso de la unidad.
Supervisor de Unidad	28	Notificar RPROGM-002.ORDENES DE MANTENIMIENTO en el sistema SAP-PM para que “programación y control de mantenimiento” la procese.

El mantenimiento es muy importante en estos equipos, el mantenerlos operativos 100 % es primordial, por que a pesar de que hace más de 20 años no se han registrados contingencias mayores que hayan activado estas válvulas, estas pueden responder muy bien ante cualquier situación que se presente en las balas si se le realiza un mantenimiento constante. Además su periodo de calibración es importante, por que permite operar con mayor seguridad y eficiencia. A continuación se presenta una tabla que indica el programa de inspección y calibración de cada válvula de seguridad asociada a las balas.

Tabla 4.11 Programa de inspección, calibración y mantenimiento de las válvulas de seguridad del área 270.

N°	TAG PSV	Equipo o línea que protege	Set point (PSIG)	Diámetro IN (INCH x #)	Diámetro OUT (INCH x #)	Frecuencia de calibración años	Fecha Ultima calibración	Requerimiento operacional			
								P	T	S	E
13	70903	Recibidor de LGN D8-70901	500	4x300	6x150	3	05/11/05	X			
14	70905	Recibidor de LGN D8-70902	500	4x300	6x150	3	14/12/04	X			
15	70907	Recibidor de LGN D8-70903	500	4x300	6x150	3	26/10/04	X			
16	70909	Recibidor de LGN D8-70904	500	4x300	6x150	3	15/03/06	X			
17	70911	Recibidor de LGN D8-70905	500	4x300	6x150	3	15/03/06	X			
18	70913	Recibidor de LGN D8-70906	500	4x300	6x150	3	18/08/05	X			
19	70915	Recibidor de LGN D8-70907	500	4x300	6x150	3	16/04/05	X			
20	70917	Recibidor de LGN D8-70908	500	4x300	6x150	3	12/04/06	X			

4.9 Mejoras al sistema de Válvulas de seguridad, aplicación de Nuevas tecnologías.

Actualmente el sistema de válvulas de seguridad que está instalado en el área 270 (balas), consta de una serie de válvulas de accionamiento convencional, estas válvulas se caracterizan por dispararse cuando la presión a que es sometido el sistema que protegen es excesiva, esta apertura rápida de la válvula depende de una mecanismo de resorte o muelle que se ajusta a una presión predeterminada en caso de que se exceda esta, se dispare rápidamente y alivie la presión.

Vale destacar, que desde la construcción y puesta en funcionamiento de la planta de fraccionamiento JOSE, no se tiene registro de alguna contingencia presentada en el área 270 que pudieran haber activado las válvulas de seguridad instaladas en el área de recepción de LGN, nunca han tenido la necesidad de dispararse, estos equipos son muy viejos y la mayoría cumplió con su vida útil (más de 20 años).

Actualmente en el área de fraccionamiento se esta preparando un proyecto que contempla el reemplazo total de estas válvulas de seguridad convencional, por sistemas de válvulas mucho mas modernos, se está realizando un estudio sobre la tecnología que debe ser aplicada para el reemplazo de las válvulas de accionamiento convencional.

Se esta empezando a reemplazar las válvulas convencionales por unas válvulas mas eficientes y de mayor rango de seguridad, estas válvulas son válvulas de seguridad accionadas por válvulas pilotos o de acción indirecta, estas válvulas son mas sensibles que las actualmente en funcionamiento. Este tipo de válvulas son la tecnología mas reciente en tipos de válvulas de seguridad, muchas industrias del

mundo, están utilizando este tipo de tecnología en sus procesos, por la gran ventaja que presentan en el resguardo y seguridad de equipos e instalaciones.

Las válvulas de seguridad asistida por válvulas pilotos o de acción indirecta, se caracterizan por que el soplado de la válvula principal, se efectúa únicamente por la acción de unas o varias válvulas de seguridad pilotos. La válvula piloto debe actuar debidamente sin ayuda de ninguna fuente exterior de energía, cuando se alcanza la presión de ajuste de la válvula, la válvula piloto se abre, liberando la presión del fluido que actuaba sobre el área mayor del disco de cierre de la válvula principal y permitiendo que se abra la válvula principal para la descarga de alivio. Si son necesarios conductos tubulares de control, éstos serán cortos y de trazo sencillo.

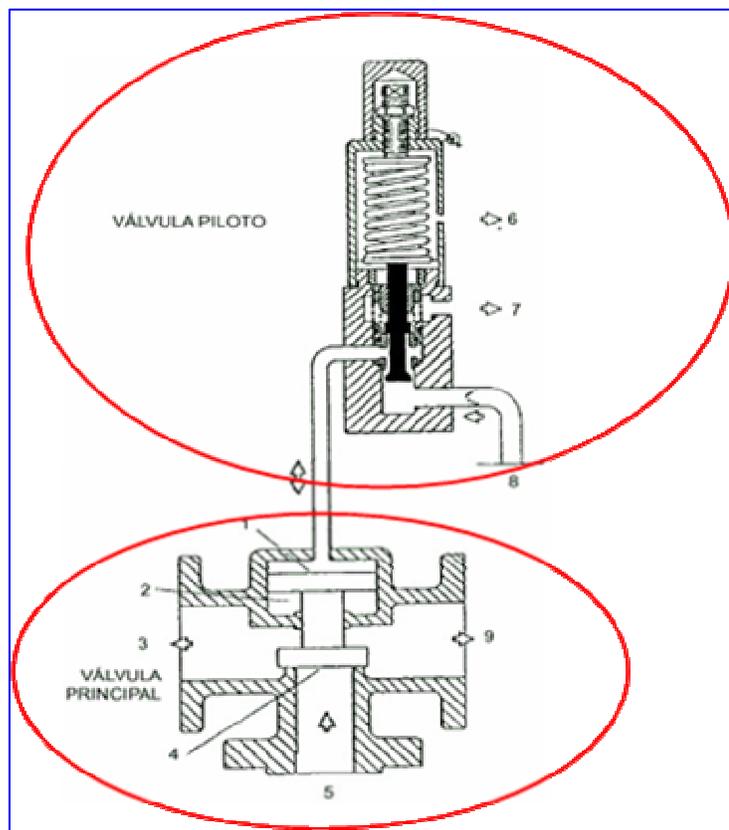


Figura 4.7 Corte transversal de la válvula de seguridad de acción indirecta o pilotada.

4.9.1 Ventajas de las válvulas de acción indirecta o pilotada.

La ventaja principal es la reducción del margen entre la presión de servicio y la de ajuste, y poder funcionar a presiones de ajuste bajas.

Para un tamaño dado del orificio de la válvula, queda reducida la altura y el peso.

Diseñadas para permanecer herméticamente cerradas hasta que se alcanza la presión de ajuste. Adecuadas cuando la presión de servicio supera el 90% de la presión de ajuste.

La vibración o castañeteo (chattering) de la válvula debido a la contrapresión no es posible.

La presión de ajuste no se ve afectada por la contrapresión.

Se pueden utilizar en servicio de vapor o líquido con contrapresiones superiores al 50% de la presión de ajuste (sujeto a la verificación del suministrador).

La presión de la válvula piloto y de reasiento se puede verificar con la válvula en servicio.

El escape se puede especificar a valores tan bajos como el 2% de la presión de ajuste.

Se pueden especificar para acción modulante, es decir, abrir sólo en proporción a la necesidad de alivio. De esta forma reduce el problema en la unidad de proceso y la cantidad de producto perdido hacia el flare cada vez que ocurra una ligera sobrepresión. Una válvula de acción modulante tiene un valor del escape igual a cero. Está diseñada para cerrar de nuevo a su presión de ajuste.

Su costo puede ser menor que las válvulas de resorte por acción directa a partir de un tamaño superior a 3".

Se puede aumentar la fiabilidad y la posibilidad de verificación mediante la duplicación de estas válvulas, pero aún así no se puede garantizar la fiabilidad si la presión sobre la válvula está proporcionada totalmente por el fluido.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Generalidades.

Nuestro análisis de resultados estará basado en los fundamentos teóricos como resultado de un trabajo investigativo basado en el método de recopilación de datos y revisión bibliográfica, estos aspectos se analizarán para estudiar las variables reales que fundamentan los procesos llevados a cabo en el transporte y recepción del LGN, y como se logra controlar y asegurar las instalaciones y sistemas que se utilizan para el manejo del LGN.

5.2 Análisis de las variables operacionales del LGN cuando es transportado por los poliductos de san Joaquín y santa Bárbara hacia fraccionamiento JOSE.

La estructuración del trabajo nos permitió inicialmente estudiar las variables de composición (C2/C3), presión (P), temperatura (T) del LGN que es transportado hacia JOSE por los poliductos de Santa Bárbara y San Joaquín. Luego de realizar varias visitas al área de fraccionamiento del complejo Criogénico de Oriente, se obtuvo información de las condiciones en la que actualmente es transportado el LGN desde las plantas de extracción de líquidos hacia JOSE.

5.2.1 Comportamiento de la presión del LGN desde la planta de extracción de San Joaquín hasta fraccionamiento JOSE.

En primer lugar, la presión actual con que es despachado el LGN desde la planta de San Joaquín es de 427 psig, este valor de presión depende mucho de los procesos llevados a cabo en la planta de extracción, y no logra sobrepasar el valor de diseño del poliducto que es de 600 psig por lo que operacionalmente el transporte del LGN a través de este poliducto no representa ninguna alarma por sobrepresión. A lo largo de los 112 Km. de tubería que conforma el poliducto de San Joaquín, el LGN experimenta una serie de caídas y ganancias de presión, producto en primer lugar de la característica topográfica de la zona que atraviesa el poliducto y en segundo lugar por las caídas de presión adicional que provocan las 8 estaciones de válvulas manuales y automáticas instaladas a lo largo de la tubería, es decir, el LGN pierde presión debido a que existen diferencias en los niveles topográficos presentes a lo largo del recorrido hasta la planta de fraccionamiento y por la caída que experimenta el LGN en los accesorios instalados en las estaciones de monitoreo. Sin embargo, esta caída de presión se debe casi en su totalidad a la ocasionada por la topografía de la zona.

Una vez que el producto llega a la planta de fraccionamiento este se encuentra a una presión aproximada de 340 psig, se evidencia que el LGN experimenta una caída de presión total de 87 psig al momento de la llegada logrando estar por encima de la presión saturación del LGN como se observa en la figura 5.1, gobernando la presión de flujo monofásico garantizando que el producto se transporte 100% en fase líquida a través del poliducto.

La figura 5.1; representa una envolvente realizada por el simulador HYSYS a una cromatografía realizada el 14/01/08 al LGN que se despacha de San Joaquín, en esta se observa que desde las condiciones de presión de salida hasta la presión de llegada nunca el producto entrará en la región de dos fases garantizando la operación normal desde la planta de extracción hasta JOSE

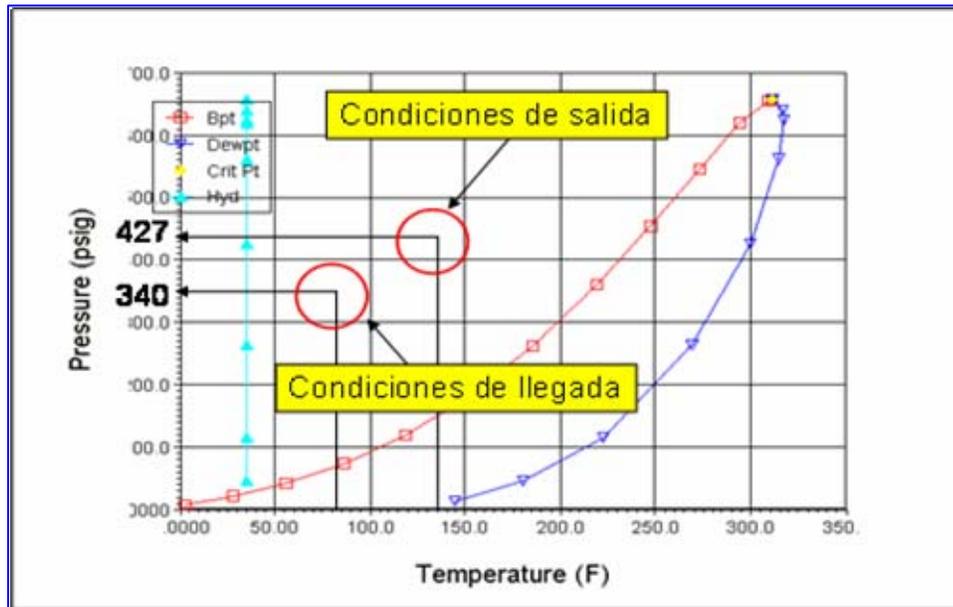


Gráfico 5.1 Condiciones de presión de salida y llegada del LGN de San Joaquín.

5.2.2 Comportamiento de la temperatura del LGN desde la planta de extracción de San Joaquín hasta fraccionamiento JOSE.

La temperatura con que se despacha actualmente el LGN desde la planta de San Joaquín es de aproximadamente de 147 °F, esta temperatura disminuye paulatinamente a lo largo del poliducto, esta disminución lenta de la temperatura se debe a que el poliducto se encuentra enterrado en toda su extensión y el suelo se comporta como un buen aislante térmico, por lo cual el producto transportado no sufre calentamiento ni enfriamiento por parte del ambiente externo, solo sufre un breve contacto con el ambiente externo en las estaciones de monitoreo manuales y automáticas ya que estas se encuentran en superficie.

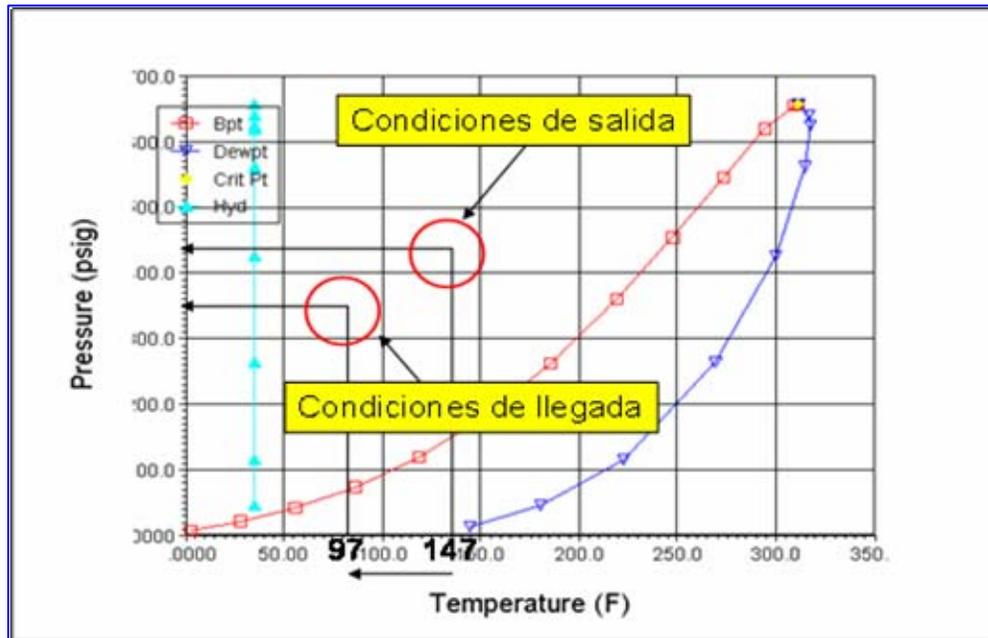


Gráfico 5.2 Condiciones de temperatura de salida y llegada del LGN de San Joaquín.

En la figura 5.2 se visualiza la envolvente realizada a un perfil cromatográfico realizado al LGN el 14/01/08, donde se representa la disminución progresiva de la temperatura del líquido, desde 147 °F hasta 97 °F en la llegada de la planta de fraccionamiento. Se puede visualizar que a pesar de la caída paulatina de temperatura que sufre el LGN desde la planta de extracción hasta la planta de fraccionamiento este nunca entrará en la región de dos fases, es decir, que a estas condiciones el LGN no alcanzará la temperatura de saturación garantizando que se mantenga en fase líquida durante su transporte hasta la planta de fraccionamiento.

5.2.3 Comportamiento de la presión del LGN desde la planta de extracción de Santa Bárbara hasta fraccionamiento JOSE.

La presión de despacho del LGN de Santa Bárbara es de aproximadamente 614 psig, esta presión es mucho mayor que la presión de despacho del LGN de San Joaquín (427 psig), esto se debe a que la planta de extracción de Santa Bárbara se encuentra a una distancia mayor de la planta de fraccionamiento, por lo cual el poliducto que transporta LGN desde esta planta tiene mayor longitud que el poliducto de San Joaquín y se necesita aplicar mayor presión al LGN que sale para que llegue dentro de las especificaciones que exige la planta de fraccionamiento JOSE.

A lo largo de este poliducto se producen ganancias y pérdidas de la presión, al igual que en San Joaquín, producto de las grandes diferencias en la altitud de la zona, es decir, en la zona de Santa Bárbara hasta JOSE existen diferencias en los niveles topográficos lo cual por acción de la gravedad se producen grandes pérdidas y ganancias graduales de presión del LGN hasta que este llega a JOSE. La presión con que el LGN llega a la planta de fraccionamiento JOSE es de 410 psig, representando una caída de presión de 204 psig, esta caída de presión es mucho mayor que la registrada desde San Joaquín a JOSE, esto es producto de la gran longitud que presenta esta tubería y de lo accidentado del terreno por donde se extiende la tubería.

En la figura 5.3 se presenta una envolvente de fases realizada en HYSYS al informe cromatográfico del LGN que se despacha desde Santa Bárbara, de fecha 18/01/08, en ella se visualiza las condiciones de presión de salida y llegada del LGN a JOSE, también se visualiza que tanto para las condiciones de salida y llegada el LGN nunca entrará en la región de dos fases, es decir que la presión no disminuirá por debajo de la presión de saturación, garantizando el flujo monofásico en el poliducto.

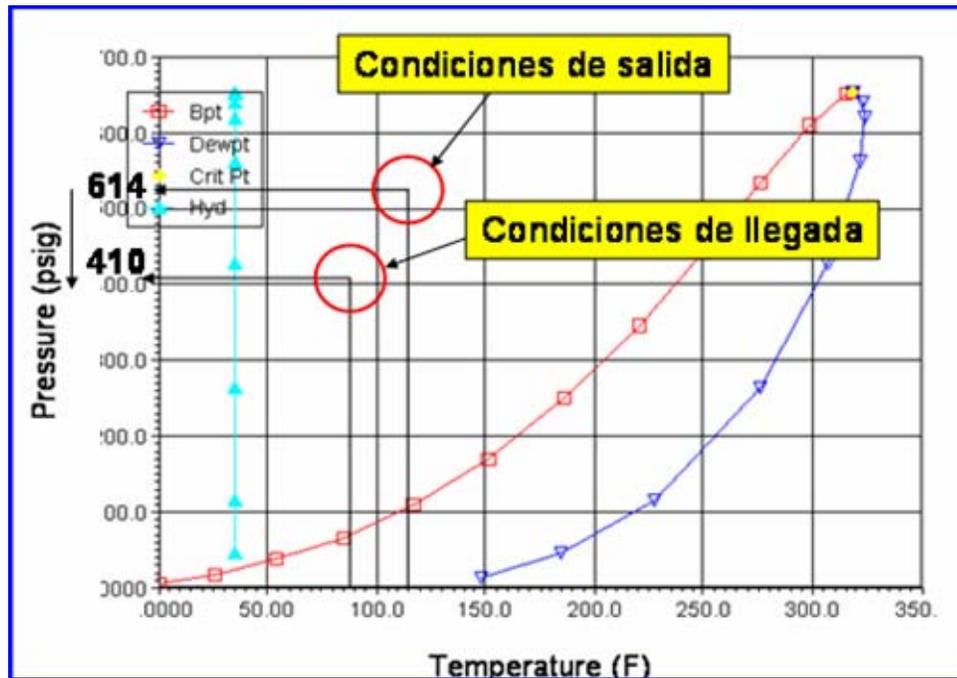


Gráfico 5.3 Condiciones de presión de salida y llegada del LGN desde Santa Bárbara hasta JOSE.

5.2.4 Comportamiento de la temperatura del LGN desde la planta de extracción de Santa Bárbara hasta fraccionamiento JOSE.

La temperatura de salida del LGN desde Santa Bárbara es aproximadamente 126 °F, esta temperatura disminuye gradualmente a lo largo de todo el poliducto, pero no se presentan grandes caídas de temperatura, debido a que este se encuentra enterrado y el suelo actúa como un aislante logrando que la temperatura disminuya poco a poco. Solo en las estaciones de válvulas se puede registrar un aumento y disminución de la temperatura por estar expuestas al ambiente exterior.

La figura 5.4 representa la envolvente realizada a un análisis cromatográfico de fecha 18/01/08, en ella se visualiza el comportamiento de la temperatura desde la salida hasta la llegada a JOSE, desde 126 °F hasta aproximadamente 97 °F. A pesar

de existe esta disminución progresiva de la temperatura, se observa que el LGN no experimentara vaporización de sus componentes, es decir que el LGN no entrará en la región de dos fases.

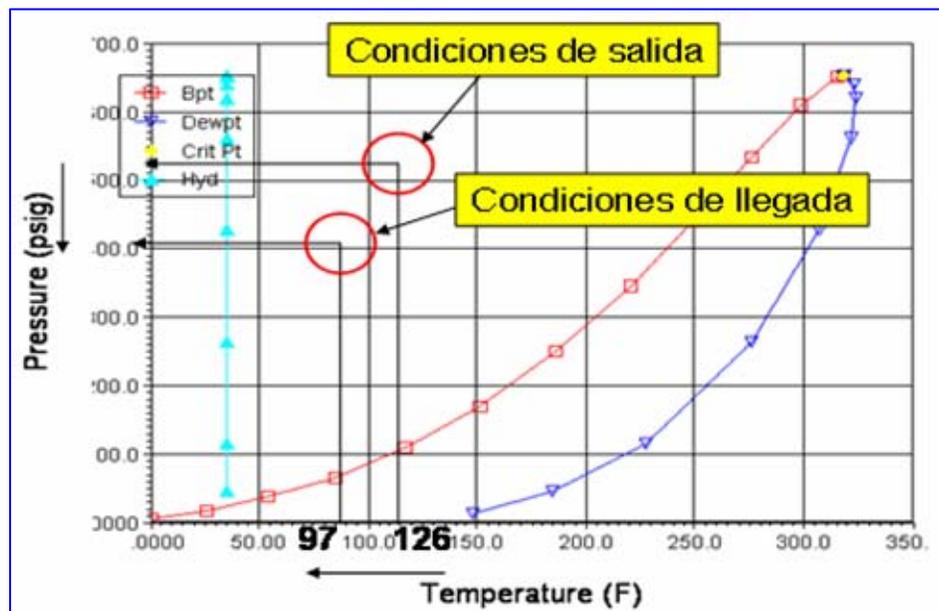


Gráfico 5.4 Condiciones de temperatura del LGN desde Santa Bárbara hasta JOSE.

5.3 Análisis de las variables de presión y temperatura cuando el LGN llega a las balas.

Después de que el LGN llega a la planta de fraccionamiento proveniente de San Joaquín y Santa Bárbara, experimenta una caída de presión adicional provocada por unas válvulas de control de presión, que permiten llevar la presión del poliducto de San Joaquín de 340 psig a la condición de presión óptima de operación de las balas que es de aproximadamente 100 psig. Lo mismo ocurre cuando el LGN proveniente de Santa Bárbara entra a la planta de fraccionamiento y se logra disminuir la presión de 410 psig hasta 100 psig aproximadamente. A pesar de que el LGN experimenta

una gran caída de presión antes de ingresar a las balas, este no experimentará vaporización de sus componentes.

El gráfico 5.5 representa una envolvente de fases de un análisis cromatográfico realizado al LGN el 29/01/08, en esta envolvente se visualiza que a pesar de la gran disminución de la presión del LGN, este no logra entrar en la región de dos fases. El estudio del LGN durante su transporte por los poliductos y luego su recepción en la planta de fraccionamiento JOSE, indica que el LGN no logrará evaporizar por lo que se garantiza que permanecerá en estado líquido durante su traslado y recepción.

Cabe destacar que esta caída de presión representa la mayor disminución que experimenta el LGN desde las plantas de extracción hasta el área de fraccionamiento.

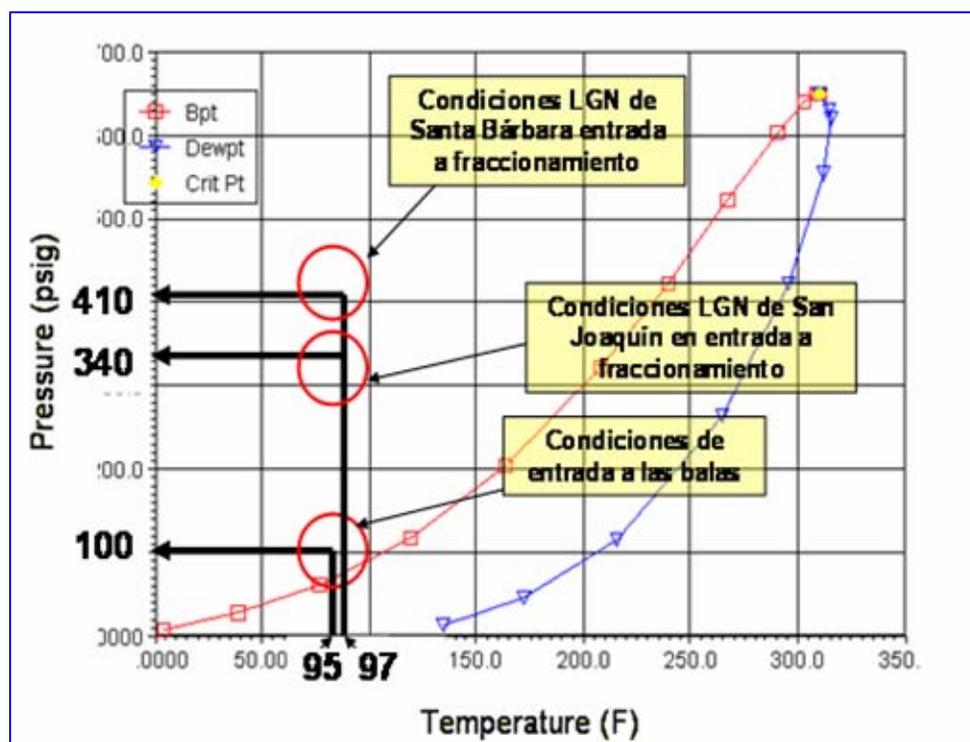


Gráfico 5.5 Condiciones del LGN en la entrada a las balas.

Por otro lado, en cuánto a la temperatura del LGN, este experimenta una variación muy pequeña, desde 97 °F en el cual llega el LGN desde las plantas de extracción hasta 95 °F en el cual se encuentra al momento de la entrada a las balas, sin embargo, esta variación no permite que el LGN entre en la región de dos fases como se visualiza en el gráfico 5.5.

5.4 Estudio de la composición del LGN y su relación C2/C3.

La composición del LGN que se envía a JOSE depende mucho de los procesos llevados a cabo en las plantas de extracción, constantemente se presentan cambios en los porcentajes molares de cada compuesto lo que afecta la composición total del LGN despachado a JOSE. Esta variación determina el comportamiento del LGN desde su transporte hasta su recepción. La planta de fraccionamiento exige que se entregue el LGN en la composición óptima de operación, esto indica que el LGN debe cumplir con la relación C2/C3 de 0.016, para que se realicen los procesos dentro del mayor rango de seguridad posible en la planta. Sin embargo, en ocasiones se recibe en la planta de fraccionamiento LGN fuera de especificaciones, es decir, que su relación C2/C3 esta por encima del valor permisible, cuando esto ocurre en el sistema de recepción experimenta una sobrepresión debido a la gran cantidad de C2 presente en la composición. Este componente presenta menor presión de vapor, que los demás componentes lo que indica que este es muy volátil y en ocasiones presuriza la tubería y las balas de almacenamiento.

A continuación se presentan de análisis cromatográfico efectuados al LGN proveniente de San Joaquín y Santa Bárbara donde se visualiza su composición y su relación C2/C3.

En primer lugar, en la tabla 5.1 se presenta un análisis cromatográfico del LGN enviado desde San Joaquín donde se visualiza la presencia de contaminantes como CO₂, este compuesto presenta problemas en los procesos de fraccionamiento realizados en la planta, sin embargo, el porcentaje que presenta el CO₂ en esta cromatografía (0.007) no representa problema alguno. Por otro lado, se tiene presencia de metano (C1), la presencia de este componente pudo haber ocasionado problemas en la recepción del LGN, debido a que este componente es muy volátil y puede ocasionar problemas en los procesos llevados a cabo en la planta de fraccionamiento. En segundo lugar, se visualiza que la relación C₂/C₃ esta fuera de especificaciones arrojando un valor mayor (0.058) al exigido por la planta de fraccionamiento, es decir que el porcentaje de C₂ es mucho mayor que el porcentaje de C₃ pudiendo haber provocado sobrepresión en el sistema.

Tabla 5.1 Composición de los líquidos del gas natural fuera de especificación
(San Joaquín)

COMPOSICION	% MOLAR
CO ₂	0,007
Metano	0,042
Etano	2,507
Propano	42,892
I-Butano	14,465
N-Butano	17,085
I-Pentano	7,135
N-Pentano	4,866
N-C ₆	4,615
N-C ₇	3,705
N-C ₈	2,160

N-C9	0,300
N-C10	0,039
N-C11	0,182
Relación C2/C3	0,058 (Alta)

En el análisis cromatográfico presentado a continuación (Tabla 5.2), se visualiza que la composición del LGN enviado desde la planta de San Joaquín no presenta porcentaje alguno de contaminantes (no existe presencia de CO₂ y C1), además se puede visualizar que la relación C2 /C3 se encuentra dentro de las especificaciones lo cual refiere un porcentaje de C2 y C3 aceptable. Vale destacar que este reporte cromatográfico representa la composición del LGN que debería ser enviada a JOSE por las plantas de extracción de líquido.

Tabla 5.2 Composición de los líquidos del gas natural dentro de las especificaciones (San Joaquín)

COMPOSICION	% MOLAR
CO ₂	0,000
Metano	0,000
Etano	0,703
Propano	42,782
I-Butano	14,651
N-Butano	17,471
I-Pentano	7,279
N-Pentano	4,995
N-C6	4,894
N-C7	4,149
N-C8	2,540

N-C9	0,450
N-C10	0,052
N-C11	0,000
Relación C2/C3	0,016 (Normal)

En la tabla 5.3 se presenta una cromatografía realizada al LGN el día 08/01/08, en ella se presenta la composición de los líquidos del gas natural despachados desde Santa Bárbara, se visualiza en primer lugar contaminantes como CO₂ y C1, como hemos referido anteriormente, estos componentes ocasionan problemas en los procesos de fraccionamiento. Por otro lado el producto se encuentra fuera de las especificaciones teniendo una relación C2/C3 de 0.045, lo que indica un alto porcentaje de C2 con respecto al porcentaje de C3.

Tabla 5.3 Composición de los líquidos de gas natural fuera de especificaciones (Santa Bárbara)

COMPOSICION	% MOLAR
CO ₂	0.023
Metano	0.011
Etano	1.801
Propano	39.745
I-Butano	14.559
N-Butano	17.911
I-Pentano	7.704
N-Pentano	5.288
N-C6	5.257
N-C7	4.442
N-C8	2.727

N-C9	0.482
N-C10	0.048
N-C11	0.002
Relación C2/C3	0.045 (Alta)

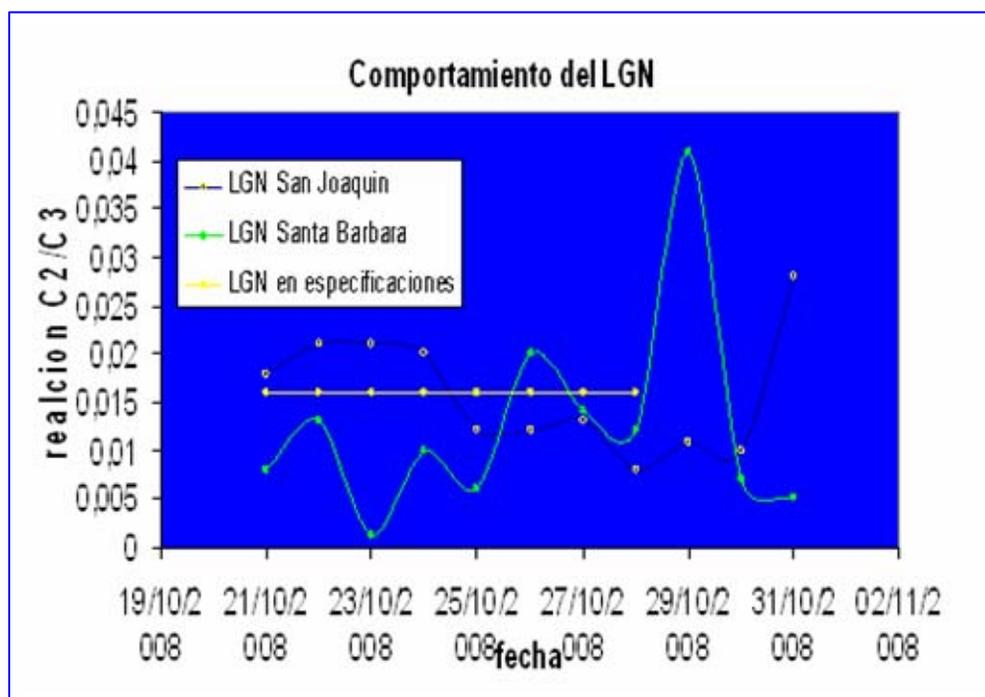
En la tabla 5.4 se observa que no existe presencia de contaminantes como el CO₂ y el C1, además su relación C2/C3 esta dentro de las especificaciones, es decir, que presenta un valor de 0.016, lo que indica que el porcentaje de C2 Y C3 es aceptable.

Tabla 5.4 Composición de los líquidos del gas natural dentro de las especificaciones
(Santa Bárbara)

COMPOSICION	% MOLAR
CO ₂	0,000
Metano	0,000
Etano	0,703
Propano	42,816
I-Butano	14,651
N-Butano	16,419
I-Pentano	7.111
N-Pentano	5,276
N-C6	5,676
N-C7	4,149
N-C8	2,540
N-C9	0.450
N-C10	0,052
N-C11	0,000

Relación C2/C3	0.016 (Normal)
----------------	----------------

En la grafica 5.5 se visualiza el comportamiento de la relación C2/C3 diariamente para el LGN enviado desde las dos plantas de extracción, se observa que el LGN enviado desde Santa Bárbara (línea verde) presenta un comportamiento fuera de las especificaciones y por debajo del comportamiento óptimo (línea amarilla). Con respecto al LGN enviado desde San Joaquín (línea azul), el comportamiento de la relación C2/C3 al igual que la que presenta Santa Bárbara tiene altos y bajos, decir que el LGN se encuentra fuera de especificaciones y por debajo del valor óptimo de la relación C2/C3 (línea amarilla).



Grafica 5.5 Comportamiento de la relación C2/C3 del LGN de las dos plantas de extracción de líquidos.

Esta grafica representa el comportamiento real de la relación C2/C3 de los líquidos de gas natural que salen de las dos plantas de extracción. A pesar de que

LGN enviado diariamente desde las dos plantas de extracción en promedio no entran dentro de las especificaciones, este no representa un gran problema a la planta, cabe destacar que la planta de fraccionamiento de JOSE puede soportar un valor máximo entre 1.5 y 2 en la relación C2/C3 por lo que estos cambios continuos que se presentan en la relación C2/C3 no representan gran problema lo cual el sistema de válvulas de seguridad del área 270 no se activa con regularidad como seria lógico pensar.

5.5 Estudio del Funcionamiento de las válvulas de seguridad.

En general el sistema de recepción de LGN cuenta con un gran número de válvulas tanto de control como de seguridad, se cuenta con 8 válvulas PSV las cuales están distribuidas en una por cada bala, luego se tienen dos válvulas de venteo las cuáles representan la primera respuesta del sistema de seguridad ante cualquier problema con la presión, todas estas válvulas fueron inspeccionadas encontrando que su funcionamiento se reportaba en los rangos de operación adecuados, esto se corroboró cuando asistimos a las instalaciones de mantenimiento. Las balas cuentan con válvulas que mantienen la seguridad con respecto a la presión en dos etapas que son el venteo y el alivio.

El venteo se realiza cuando la presión de las balas supera los 100 psig se activa unas válvulas conectadas a un controlador de presión PIC, las cuales descargan los vapores hacia el mecurio y así mantienen la presión de operación adecuada. El alivio se efectúa cuando la presión supera los 500 psig, abriendo automáticamente las válvulas de seguridad de presión PSV, las cuales no son controladas por ningún operador sino que están calibradas o ajustadas para dispararse a la presión predeterminada, liberando los vapores hacia el mecurio. También existe una PSV para cada poliducto que operan de la misma forma que las PSV instaladas en las balas

y se disparan a una presión de 680 psig cuando existe principalmente una expansión térmica del LGN que es transportado por el poliducto.

Además de este sistema de venteo y alivio las balas cuentan con un conjunto de válvulas selenoides que son de tipo on/off y deben estar abiertas completamente durante las operaciones normales de la planta y sirve para aislar las balas en caso de alto nivel o de incendio en la zona. La ubicación de estas válvulas le permite al operador cerrar en las balas y así bloquear el flujo de LGN hacia los trenes de fraccionamiento.

Las balas de almacenamiento no reciben el flujo directamente a la presión de salida de los poliductos sino que por medio de unas válvulas de control de presión regulan el flujo de entrada y salida de las balas manteniendo a estas en un nivel de 25% de su capacidad, es decir, disminuyen la presión del poliducto de un rango de 300 a 400 psig y la descargan dentro de las balas a una presión de 90 a 100 psig.

Todo este conjunto de válvulas funcionan conjuntamente haciendo que la presión del sistema de recepción se mantenga en condiciones de operación seguras.

5.6 Análisis de los Escenarios de emergencia.

El área 270 de la Planta de Fraccionamiento esta expuesta a 2 grandes razones que pueden declararse como escenarios de emergencia y son:

Alta relación C2 /C3: Cuando llegan contaminantes en el LGN, sobretodo Etano que tiene una presión de vapor muy baja con respecto a los demás componentes del LGN, éste se volatiliza y presuriza las balas en rangos muy altos.

Para que se considere la relación $C2/C3$ alta esta debe ser mayor a 2 y esta condición trae serias consecuencia sobre la ejecución del proceso.

Fuego en la zona externa de las balas: este puede ser ocasionado tanto por fallas internas de equipos como las bombas que impulsan el LGN como por fallas en sistema eléctrico cuando esta expuesto a mantenimiento. Las altas temperaturas de las llamas ocasionarían un calentamiento en el exterior de las balas y esto produciría una expansión térmica en el LGN y por ende una sobrepresión en el interior de las mismas.

El sistema de recepción de LGN se protege en caso de alta relación $C2/C3$ venteando los vapores al mecurio y en el caso de incendio aislando las balas por medio de las válvulas XSV.

5.7 Estudio de las Causas de la Sobrepresión.

Después de estudiar el proceso de extracción y fraccionamiento del LGN se encontró que el principal causante de la sobrepresión en las balas es la alta relación de $C2/C3$ y su origen es en las plantas de extracción, más específicamente en el área de deetanización de estas plantas. Los problemas en esta área se deben generalmente a que la torre deetanizadora este manejando mucho o poco liquido dentro de ella, Esto es debido a que los equipos asociados a la torre no están operando a las condiciones optimas. Se debe mantener una equidad en el manejo de líquidos para que no ocurra un desbalance en la planta y pueda ocurrir un flujo excesivo de liquido que me provoque mucha cantidad de etano en el fondo de la torre deetanizadora o por otro lado, que este manejando muy poco liquido dentro de la torre y esto provoque una mayor vaporización del propano y se obtenga mayor cantidad del mismo en el tope de la torre. Actualmente estos desequilibrios ocurren muy frecuentemente, lo que

ocasiona en gran manera que el producto recibido regularmente en JOSE se encuentre fuera de las especificaciones.

5.8 Análisis de las Características del control del sistema de alivio y venteo.

El control de la presión dentro de las balas es efectuado como se explico anteriormente por medio de dos procedimientos que son el venteo y el alivio. El venteo es un proceso efectuado por medio de instrumentos como los indicadores que monitorean la presión dentro de las balas y envían la señal hacía sala de control, cuando la presión supera los rangos de seguridad, que en este caso son los 100 psig, deben actuar equipos como los controladores que se encargan de abrir estas válvulas y estas permiten la salida de los vapores que ocasionan la presurización de las balas.

En el caso de la Planta de Fraccionamiento JOSE el venteo de las balas se realiza por medio de dos válvulas de venteo proporcional, una para cada grupo de cuatro balas, en caso de que alguna bala se este presurizando o este superando la presión optima de operación esta válvula se activa, moviendo el resorte y liberando la presión hasta que esta vuelve al valor normal de operación y la válvula se cierra. Este procedimiento minimiza las posibilidades de que se active el otro sistema de control de presión que es el de alivio por las válvulas PSV. El Alivio se realiza por medio de las PSV, estas válvulas están distribuidas como se menciono anteriormente, en una por cada bala, estas son válvulas con un funcionamiento que no depende de sala de control, ellas misma actúan cuando la presión de las balas supera la presión de ajuste (set point) la cual es 500 psig y descargan los vapores en el mecurio. Cada válvula actúa individualmente, es decir, que si ocurre un problema de sobrepresión en alguna de las 8 balas, la válvula PSV asociada a esa bala se dispara para poder mantener la presión de esa bala en el rango óptimo. Actualmente las válvulas de seguridad de las

balas, presentan poco uso, se sabe por información suministrada por el personal que labora en el área 270 del complejo José Antonio Anzoátegui, que estas válvulas desde hace mucho tiempo no se disparan, esto se puede deber a que actualmente las balas están trabajando con un nivel de líquidos de 25% del volumen total de almacenamiento, el personal de Gerencia Técnica de la planta de fraccionamiento JOSE estableció este valor bajo para el nivel de las balas, por que este representa un colchón operacional en caso de que ocurra cualquier eventualidad en la planta, es decir, en caso de que alguno de los tres trenes tenga que salir de servicio o paralizar su operación por algún problema o en un caso mas extremo, se tenga que paralizar las operaciones de los tres trenes, el flujo de LGN hacia las balas es igual pero ya que no hay alimentación hacia los trenes las balas comienzan a llenarse y su nivel comienza a subir, pero como se mantiene un nivel de llenado de 25% este permite que el personal tenga mas tiempo para poder resolver el problema que esta afectando los trenes sin tener que pedirle a las plantas de extracción que cesen el envío de LGN a la planta, evitando de igual manera que se active el sistema de seguridad asociado a las balas.

5.9 Estudio de las Medidas de Seguridad

Las medidas de seguridad a las que responde el sistema de control funcionan activando una serie de alarmas que indican el problema que esta ocurriendo en tiempo real en el área 270, estas alarmas aparecen registradas en sala de control, mediante indicadores de luz, color y ruido en la pantalla de control de los procesos de toda la planta en la sala de control.

Las medidas de seguridad en estos casos dependen mucho de las condiciones de operación de los procesos y el panelista actúa sobre estas condiciones ajustando las

variables asociadas a cada sistema, para corregir cualquier perturbación que este ocurriendo.

5.10 Estudio de las Rutinas de Mantenimiento de las válvulas de seguridad

El Mantenimiento del sistema de válvulas de seguridad se efectúa de manera continua en área de la balas de almacenamiento, el operador detecta si las válvulas están fugando e informa al taller mecánico, los cuales son responsables del desmontaje, desarmado y calibrado de las válvulas.

Todas estas actividades se realizan en la planta cumpliendo con las normativas establecidas en el Manual de Mantenimiento Mecánico, donde se le provee instrucciones de trabajo al personal que se encarga de las válvulas de seguridad. Generalmente, el mantenimiento que se le hace a las válvulas de seguridad se realiza generalmente cuando se programa una parada de planta, esto permite trabajar con el mayor cuidado posible y permite realizarle una inspección más exhaustiva a las válvulas. Estas paradas de planta se realizan regularmente cada 5 años, lo que el mantenimiento de las mismas se realiza en el mismo periodo de tiempo. Por otro lado su calibración se realiza cada 3 años, esto permite reducir la probabilidad de que alguna válvula se descalibre por la acción de la sobrepresión.

El mantenimiento de las válvulas de seguridad consiste principalmente en el desmontaje de la misma en el área donde se encuentra instalada, luego es trasladada a el taller de mantenimiento y allí se le hace la inspección y reemplazo de los componentes que presenten deterioro, luego esta es calibrada a la presión de activación o presión de apertura, ajustando un resorte que logra mantener la válvula cerrada y cuando la sobrepresión actúa sobre la válvula el resorte se comprime liberando los vapores contenidos en las balas. Luego de ser calibrada se lleva al área

donde estaba instalada y se procede al montaje de la misma para ponerla en operación nuevamente. Cabe destacar que cada aspecto del mantenimiento de las válvulas comprende una metodología y una serie de pasos a seguir, es decir, que para cada aspecto hay un procedimiento operacional que permite realizar el mantenimiento de la manera más eficiente y segura posible.

5.11 Análisis de las Nuevas Tecnologías

Después de haber comprendido el funcionamiento y control de las válvulas de seguridad y de constatar el grado de deterioro de estas válvulas, ocasionado por las condiciones ambientales y tomando en cuenta que algunas válvulas del actual modelo instalado (válvulas de seguridad convencionales) no han sido reemplazadas desde la planta comenzó a funcionar, se tomo en consideración la sustitución de las mismas por válvulas de seguridad pilotadas. A pesar de que estas válvulas no representa lo mas reciente en las tecnologías de válvulas, estas para el área donde se pretende aplicarlas, son lo mas eficiente y recomendado, además de que son las que mejores resultados han arrojados en las plantas de este tipo en muchos países del mundo.

Estas válvulas presentan una serie de ventajas entre las cuales se pueden destacar su precisión, están diseñadas para permanecer herméticamente cerradas hasta que la sobrepresión alcanza la presión de ajuste de las mismas, cabe destacar que esta presión de ajuste no se ve afectada por la contrapresión.

Por estas y muchas otras razones la gerencia de mantenimiento conjuntamente con el departamento de gerencia técnica, estudian la necesidad reemplazar las válvulas de alivio existente en el área 270 de la Planta de Fraccionamiento JOSE por estas válvulas de alivio pilotadas.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- 1) Las balas de almacenamiento operan a un 25 % de sus condiciones de operación.
- 2) La variable de presión es la que gobierna el sistema de seguridad de las balas de almacenamiento.
- 3) Las válvulas que protegen al sistema operan en el nivel deseable de seguridad.
- 4) El escenario de emergencia más importante es el que representa la relación C2/C3 cuando esta fuera de especificación y con alto contenido de C2.
- 5) El sistema de alivio y venteo es el encargado de reducir y estabilizar la presión dentro de las balas.
- 6) El análisis cromatográfico indica que la alta relación C2/C3 proveniente de las Plantas de Extracción es el factor con mayor potencial para presurizar las balas.
- 7) El valor máximo de relación C2/C3 esta comprendido entre 1.5 y 2. para evitar presurización en las balas.

- 8) El control del sistema de alivio y venteo cuenta con suficientes instrumentos para detectar y corregir las fallas operacionales.
- 9) El rango de los puntos de ajuste en las válvulas se considera dentro de las condiciones seguras.
- 10) El sistema de control actúa efectivamente regulando la presión dentro de las válvulas.
- 11) La rutina de inspección de las válvulas se realiza cada 2 meses y las de mantenimiento mayor cada 3 años.
- 12) Las válvulas deben ser inspeccionadas con regularidad para comprobar que están trabajando correctamente,
- 13) Las válvulas de seguridad accionadas por válvulas pilotos o de acción indirecta son más sensibles, eficientes y de mayor rango de seguridad que las convencionales.
- 14) Las válvulas pilotos son la tecnología más reciente en tipos de válvulas de seguridad.

RECOMENDACIONES

- 1) Realizar estudios para la modernización de las válvulas y demás instrumento que protegen a las balsas de almacenamiento, de manera que el proceso se actualice con las exigencias adecuadas por cambios en las especificaciones del producto recibido.
- 2) Realizar el reemplazo de los equipos de las válvulas. Para alcanzar el 100 % de operatividad.
- 3) Evaluar la posibilidad de realizar cambios en algunas estaciones manuales a estaciones automáticas en el poliducto, considerando las áreas en las cuales la necesidad del control automático sea más representativa.
- 4) Es importante realizar un adecuado mantenimiento preventivo de las válvulas de seguridad de los equipos, ya que supone la reducción del número de paradas de emergencia o de accidentes que puedan suceder por deficiente funcionamiento de estos elementos y la consiguiente rentabilidad y seguridad de la instalación.
- 5) Sobre las necesidades de actualizar periódicamente el conocimiento y nivel de respuesta de los panelistas de control y los operadores involucrados en estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

1) MENDEZ TORRES, GABRIELA. “Análisis del Funcionamiento del Sistema de Control de las Válvulas de Proceso en el Poliducto Anaco-Fraccionamiento JOSE”. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela (2007).

2) AGUILAR BASTARDO, MARYELIT JOSE, “Evaluación de la Filosofía Operacional del Sistema de Control de una Torre Estabilizadora en una Planta de Extracción de Líquidos del Gas Natural”. Universidad de Oriente, Barcelona, (2007).

3) NORIEGA, MARISELL. “Evaluación de la Filosofía Operacional del Sistema de Control de una Torre Desetanizadora en una Planta de extracción de Líquidos del Gas Natural”. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela (2007).

4) AGUILERA, LUIS. “Evaluación de la Filosofía de Operación del Sistema de Control de una Torre Fraccionadora de Propano”. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela (2007)

5) PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DE JOSE/ DEPARTAMENTO DE OPERACIONES. “Manual de Operaciones”. PDVSA, Barcelona, Venezuela (2004).

- 6) FISHER-ROSEMOUNT. "Managing The Process Better, Instrucción Manual". Mayo 1998.

- 7) PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DE JOSE/ DEPARTAMENTO DE OPERACIONES. "Manual de Operaciones.Volumen I". PDVSA, Barcelona, Venezuela (1997).

- 8) PDVSA-CIED, "Manual de Operaciones, Ingeniería de Producción. Nivel III. Métodos de Producción". Caracas; Venezuela. (1997).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	EVALUAR LOS PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONTROL DE LAS VALVULAS DE SEGURIDAD ASOCIADAS AL SISTEMA DE RECEPCIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL EN LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DEL COMPLEJO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Rodríguez E. Wilmer R.	CVLAC: 14.029.095 E MAIL: wilmer2806@hotmail.com
Doslakian G. Carlos J.	CVLAC: 15.575.561 EMAIL:carlosdoslakian@hotmail.com
Fernández L. Alilet J.	CVLAC: 13.053.174 E MAIL: alilet28@hotmail.com
Briceno S. Esteban J.	CVLAC: 13.163.233 EMAIL:estebanjbriceno@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

POLIDUCTO

VALVULAS, BOMBAS

SISTEMA DE RECEPCION (BALAS)

COMPOSICION, SEGURIDAD

DISEÑO

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Petróleo
	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Este trabajo presenta la descripción del proceso de recepción de líquidos del gas natural (LGN) y los dispositivos que regulan el control de los equipos que se encargan de la recepción, primero se hablará del proceso de extracción de LGN en la planta de san Joaquín, el líquido es enviado luego a través de poliductos a la Planta de Fraccionamiento de JOSE, donde es recibido por el sistema de recepción (balas). Para poder entender el funcionamiento del sistema de recepción es indispensable determinar ciertos parámetros como lo son: especificaciones de diseño del poliducto, además de las presiones y temperaturas a las cual es transportado el LGN. Otros factores que se tomaron en cuenta para la comprensión del funcionamiento del sistema de recepción son las variables presentes en el LGN que entra a las balas, realizando una simulación con el programa Hysys, el cual permitió crear las envolventes de fases que demostraron que el LGN se mantiene en fase líquida durante todo su transporte. Se analizaron las posibles fallas operacionales y sus consecuencias en el sistema, así como los procesos de control, destacando el funcionamiento del elemento final de control (válvulas). La finalidad de esta evaluación fue determinar el grado de seguridad con que trabajan las balas de almacenamiento, a través del estudio del diseño y control de las válvulas de venteo y de alivio de presión, y por último sugerir el uso de válvulas de alta tecnología que optimicen el sistema de seguridad en estos recipientes.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Avendaño P. Isvelia C.	ROL	CA	AS x	TU	JU
	CVLAC:	8.024.255			
	E_MAIL	Isvelia2006@yahoo.com.mx			
	E_MAIL				
Ing. Patiño C. Rayda M.	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	11.833.699			
	E_MAIL	raydapatíñohotmail.com			
	E_MAIL				
Ing. Salas M Yraima D.	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	8.478.649			
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO	MES	DÍA
2008	04	07

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. DISEÑO Y CONTROL.DOC	Aplicación/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
 I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y
 z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Planta de Fraccionamiento JOSE, Área 270 (OPCIONAL)

TEMPORAL: 5 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero de Petróleo/ Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre - Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Petróleo/ Departamento de Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario”.

Rodríguez E. Wilmer R.

AUTOR

Briceño S. Esteban J.

AUTOR

Ing. Salas M. Yraima D.

JURADO

Doslakian G. Carlos J.

AUTOR

Fernández L. Alilet J

AUTOR

Ing. Patiño C. Rayda M.

JURADO

Ing. Avendaño P. Isvelia C.

ASESOR

POR LA SUBCOMISION DE TESIS