

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTROL QUE SE DEBEN  
CONSIDERAR EN EL PROCESO DE LLENADO DE UN BUQUE CON  
PROPANO REFRIGERADO

Realizado por:  
Eliana Milagro Valdez Rivas  
Marielquis del Valle Quami Sotillo

Monografía presentada ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial para  
Optar al Título de INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, Abril de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTROL QUE SE DEBEN  
CONSIDERAR EN EL PROCESO DE LLENADO DE UN BUQUE CON  
PROPANO REFRIGERADO

---

Isvelia Avendaño

**Asesor Académico**

Monografía presentada ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial para  
Optar al Título de INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, Abril de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTROL QUE SE DEBEN  
CONSIDERAR EN EL PROCESO DE LLENADO DE UN BUQUE CON  
PROPANO REFRIGERADO

---

**Ing. Isvelia Avendaño**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Yraima Salas**  
**Jurado Principal**

---

**Ing. Oly Guerra**  
**Jurado Principal**

**BARCELONA, ABRIL DE 2010**

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo con el artículo 57 del Reglamento de Trabajos de Grado: “Para la aprobación definitiva de los cursos especiales de grado, como modalidad de trabajo de grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador de una monografía en la cual se profundiza en uno o más temas relacionados con el área de concentración.”

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen del Valle, por iluminar y guiar mis pasos hacia el logro de ésta meta tan anhelada.

A mis padres Angel y Milza, por todo su sacrificio y esfuerzo para ayudar a alcanzar éste sueño. Por estar allí cuando más los he necesitado brindándome su confianza, su amor y su apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Los quiero mucho.

A mi hermana Milzangela, por haberme ayudado durante todo éste tiempo, por formar parte de mi vida y de éste logro.

E especial a mi sobrino Dorian, por ser mi mayor alegría y mi tesoro más valioso. Que éste logro de toda la familia sea para ti un ejemplo a seguir y una razón para ser cada día mejor. Te amo mi bello.

**Eliana Valdez**

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen por iluminarme siempre el camino, por no dejarme sola en los momentos que pensé no poder más.

A mi madre Migdalia Sotillo por ser tan especial, maravillosa y comprensiva, por siempre apoyarme y ayudarme a alcanzar una de las metas que me he trazado en la vida. La quiero mucho.

A mi padre Humberto Quami, que aunque por designios de Dios ya no estás a mi lado por haber ayudado en lo que pudo a mis hermanas y así ellas poder ayudar a mis hermanos y a mí, se que desde donde esté está orgulloso de mi.

A mis hermanas Mairén y Magdelys por ser unas personas dedicadas y responsables en todas las etapas de su vida y servirme de ejemplo.

A mis hermanos Jesús y Maruannys por todo su cariño espero que este triunfo les sirva de ejemplo y motivación a seguir hacia el logro de sus metas.

A mis sobrinos bellísimos Melvin José, Mariannys Nazareth y Leonardo Antonio por ser mi más grande orgullo porque con sus muestras de cariño transformaban momentos difíciles en momentos de alegría. Pórtense bien!!!!

**Marielquis Quami**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen, porque me han dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi papá y a mi mamá, gracias por haberme dado la vida, por toda su colaboración, paciencia y comprensión y gracias por ser ustedes quienes me han alentado a superarme. Sin ustedes no habría dado ni un solo paso de éste largo camino.

A mi hermana, por brindarme su cariño, su apoyo y su ayuda siempre que la necesité. Éste logro también es tuyo hermana.

A mi sobrino hermoso, por llenar de luz mi vida y hacerme querer ser una mejor persona cada día.

A mi novio Carlos Soto, gracias por darme tu comprensión, apoyo y toda la ayuda que necesité, sobre todo en la última fase de mi carrera. Gracias por quererme. Te quiero mucho.

A mi prima, amiga y compañera de clases Angela Agreda, gracias por estar allí siempre. Recorrimos un largo y difícil camino juntas pero valió la pena. Este triunfo también es tuyo.

A mi amiga y compañera de áreas Marielquis Quami, sin tí esto no habría sido posible. Gracias por estar a mi lado a lo largo de toda mi carrera ayudándome y apoyándome en las buenas y en las malas. Gracias amiga.

A mis amigos y compañeros de clases Yetzenia, Kelly y Jorge, Por darme su linda amistad. Gracias por su comprensión, colaboración y paciencia en todo momento.

A la familia Guarache Millán, gracias por toda su colaboración y por haberme dado su apoyo en los momentos en que lo necesité. Gracias.

A mi cuñado Osmir D'llan y a mí amigo Manuel Ramírez, porque de una u otra forma han formado parte de éste triunfo.

A mis compadres Yamili y Wilman y a sus hijos Wilmen y Wilmarys, por estar siempre pendiente de mí y ser mis verdaderos amigos en todas las dificultades.

A mis amigos Alexander Serrano y Eduardo Espinoza, por brindarme su cariño y por ser de alguna manera parte de éste logro.

A la familia Guzmán Peñalver, gracias por estar siempre pendiente de mí a lo largo de mi carrera.

A la profesora Ivelia Avendaño, por su asesoría y su valiosa colaboración.

Al profesor Hernán Raven, gracias por el apoyo brindado y por la asesoría prestada.

A toda mi familia, por estar siempre a mi lado. Ustedes son tantos que se me hace imposible nombrarlos a todos, a todos los quiero por igual.

A todos mis amigos, a todos aquellos que tienen un lugar muy especial en mi corazón y han sido en su momento un apoyo en mi vida.

**Eliana Valdez**



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y la Virgen por ser mi guía y permitirme alcanzar este éxito.

A mi madre Migdalia Sotillo, por ser el pilar más fuerte en mi vida gracias por todo el sacrificio que ha hecho para que este sueño sea posible. La quiero muchoo!!!!

A mis hermanos Mairén, Magdelys, Maruannys y Jesús, por ayudarme siempre que lo he necesitado, les agradezco todo el esfuerzo que han hecho por mí. Los adoro.

A mis sobrinos bellos Melvin José, Mariannys Nazareth y Leonardo Antonio por estar allí brindarme su alegría y todo su cariño.

A mis cuñados que de una u otra manera siempre estuvieron pendiente de mí. Gracias.

A mi novio Manuel Ramírez por su amor incondicional, por su paciencia y comprensión gracias por brindarme la ayuda y el apoyo que tanto necesite... Te quiero mucho.

A mi compañera de áreas y amiga Eliana Valdez le doy gracias a Dios de haberte conocido este logro también te lo debo a ti ya que con tu valiosa colaboración fuimos capaces de vencer todos los obstáculos y adversidades, y también por aguantarme no fue fácil... Gracias amiga.

A mis compañeros de clase Ángela, Kelly, Yetzenia, y Jorge fueron muchos los momentos compartidos con ustedes, estando siempre presente en las buenas y las malas. Gracias por su amistad.

A mi amiga Yolanda B... gracias por ser esa persona con la que cuento siempre, q tiene la cualidad de tener una solución a los problemas, por apoyarme siempre que estaba a su alcance, por personas lindas como tu existe la amistad. Te quiero mucho amiga.

A la familia Guzmán León por toda la ayuda que me brindaron y abrirme las puertas de su casa en todo momento. Mil gracias.

A Salomoncito Morón por darme una oportunidad de conocerlo y conocer a su familia para así darme cuenta que son excelentes personas.

A la familia Morón por su colaboración y comprensión cuando la necesite lo cual fue importante en la culminación de mi carrera. Gracias.

A la familia Ramírez Salazar por el cariño, comprensión y respeto brindado en todo momento y por dejarme formar parte de su familia. Gracias por todo.

A mi herma y amiga Marisol por siempre brindarme tu apoyo y escucharme en cada momento que necesitaba hablarte doy gracias por hacerme saber que cuento contigo incondicionalmente te deseo muchos éxitos en tu vida.

A Johanna por su apoyo y enorme colaboración siempre que estuvo a su alcance.

A mi amigo Carlos Soto por su colaboración que a pesar de ser en los últimos momentos de mi carrera fue muy importante. Gracias.

A el profesor Hernán Raven por compartir sus conocimientos y por su valiosa colaboración en el desarrollo y elaboración de este proyecto. Gracias profesor.

A la profesora Isvelia Avendaño por su asesoría y colaboración.

A mis madrinas Naileth y Esperanza y a mis vecinos Adria y Silvia por estar pendiente de mí y mis logros: Gracias.

A todos mis amigos que no por estar de últimos son menos importantes Andrés Mata, Jesmar , Graciela , Grace , Adrian ,Lili , Nelson , Frijol , Misleni , Andreina Mata , Francisco Borges , José Noriega , Fran Bolívar , José Gerardo , Carlos Arias , gracias por permitirme conocerlos y aprender a quererlos y a los que no creían también gracias pero vean es cierto.

**Marielquis Quami**

## INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
INDICE GENERAL .....	xii
INDICE DE TABLAS .....	xvii
INDICE DE FIGURAS.....	xviii
CAPITULO I.....	20
INTRODUCCION .....	20
1.1 Introducción .....	20
1.2 Planteamiento del problema.....	21
1.2 Objetivo general .....	22
1.3 Objetivos específicos .....	22
CAPITULO II .....	24
MARCO TEORICO.....	24
2.1 Antecedentes .....	24
2.2 Generalidades del gas natural.....	24
2.2.1 Composición de gas natural .....	25
2.2.2 Clasificación del gas natural .....	26
2.2.3 Procesamiento del gas natural.....	26
2.2.4 Usos de gas natural .....	27
2.3 Definiciones básicas.....	30
2.3.1 Gas licuado.....	30
2.3.2 Gas licuado del petróleo.....	31
2.3.3 Líquido del gas natural.....	31
2.3.4 Gas natural licuado.....	31
2.3.5 Composiciones típicas.....	32

2.3.6 Propano .....	32
2.3.7 Propiedades del propano .....	33
2.4 Definiciones relacionadas al transporte en buque .....	34
2.4.1 Buques.....	34
2.4.2 Transporte marítimo.....	34
2.4.3 Terminal .....	35
2.4.4 Transportador de LGN (líquidos del gas natural) .....	35
2.4.5 Buque de LGN (líquidos del gas natural) .....	35
2.4.6 Buques de GLP (gases licuados de petróleo).....	36
2.4.6.1 GLP semirefrigerado.....	36
2.4.6.2 GLP semipresurizado/refrigerado .....	36
2.4.6.3 GLP totalmente refrigerado .....	37
2.5 Tipos de almacenamiento de los líquidos del gas natural .....	37
2.5.1 Almacenamiento presurizado.....	37
2.5.1.1 Tanques cilíndricos .....	38
2.5.1.2 Tanques esféricos .....	38
2.5.2 Tanques no presurizados.....	39
2.5.3 Tanques refrigerados.....	39
2.5.3.1 Tanque refrigerado de pared simple.....	40
2.5.3.2 Tanque refrigerado de pared doble .....	40
2.5.4 Tanques atmosféricos.....	41
2.6 Consideraciones de diseño de tanques refrigerados.....	42
2.6.1 Temperatura .....	42
2.6.2 Presión.....	42
2.6.3 Corrosión.....	42
2.6.4 Carga .....	42
2.6.5 Materiales.....	43
2.7 Accesorios de los tanques refrigerados .....	44
2.7.1 Boquilla.....	44

2.7.2 Equipos de medición .....	44
2.7.3 Escotillas .....	44
2.7.4 Boca de inspección.....	44
2.7.5 Escaleras.....	45
2.7.6 Respiradores.....	45
2.7.7 Rociadores de agua .....	45
2.7.8 Termocuplas.....	45
2.8 Tipos de tanques según especificaciones del Código CIG.....	45
2.8.1 Tanques estructurales .....	46
2.8.2 Tanques de membrana .....	46
2.8.3 Tanques de semimembrana.....	48
2.8.4 Tanques independientes .....	48
2.9 Consideraciones económicas para la selección del almacenaje de los líquidos del gas natural.....	50
2.10 Generalidades del diagrama de fase.....	51
2.10.1 Punto crítico .....	52
2.10.2 Punto triple.....	53
2.10.3 Punto de ebullición.....	53
2.10.4 Punto de fusión.....	53
2.10.5 Diagrama de fase de presión – temperatura de mezclas de hidrocarburos.....	53
2.11 Variables operacionales de almacenamiento .....	55
2.11.1 Variables de operación.....	55
2.12 Sistema de control de variables.....	56
2.12.1 Elementos de un sistema de control.....	57
2.12.2 Operaciones básicas de un sistema de control .....	57
2.12.3 Tipos de sistemas de control .....	58
2.13 Clasificación de los tipos de instrumentos medidores según la variable de proceso.....	59

2.13.1 Medidores de presión .....	59
2.13.2 Medidores de temperatura.....	61
2.13.3 Medidores de caudal .....	62
2.13.4 Medidores de nivel.....	63
CAPÍTULO III .....	65
DESARROLLO .....	65
3.1 Metodología .....	65
3.1.1 Revisión bibliográfica .....	65
3.1.2 Descripción del proceso de llenado de un buque con propano refrigerado .....	65
3.1.3 Identificación de las variables de operación que intervienen en el llenado .....	65
3.1.4 Descripción de la técnica de refrigeración de propano .....	66
3.1.5 Condiciones a las cuales se almacena el gas propano.....	66
3.1.6 Análisis de las condiciones a las cuales se realiza el llenado de buques ...	66
3.1.7 Condiciones y variables críticas en proceso de almacenaje y transporte de un buque con propano refrigerado.....	66
3.1.8 Diagrama de flujo del proceso de control para el llenado de un buque con propano refrigerado .....	66
3.1.9 Redacción de la monografía.....	66
3.2 Proceso de llenado de buques con propano refrigerado.....	67
3.2.1 Carga de buques .....	67
3.2.2 Sistemas en funcionamiento en el llenado de buques .....	68
3.2.3 Alineación de válvulas .....	69
3.2.4 Equipo de carga y descarga.....	69
3.3 Variables de operación que intervienen en el proceso de llenado .....	71
3.3.1 Presión.....	71
3.3.2 Temperatura .....	71
3.3.3 Nivel.....	72

3.3.4 Caudal .....	72
3.4 Técnica de refrigeración de propano.....	73
3.5 Condiciones de almacenaje del propano .....	74
3.5.1 Diagrama de fase del propano.....	74
3.5.2 Características de los tanques de almacenaje de propano refrigerado .....	74
3.6 Condiciones a las cuales se realiza el llenado de buques.....	75
3.6.1 Capacidad de flujo de las líneas de carga .....	75
3.6.2 Caudal máximo .....	76
3.6.3 Pérdidas por presión.....	77
3.6.4 Descripción del proceso que ocurre en la línea de carga de propano líquido al terminal marino. ....	78
3.7 Condiciones y variables críticas en el proceso de almacenaje y transporte de un buque con propano refrigerado.....	81
3.7.1 Sistema de control de temperatura .....	83
3.7.2 Sistema de control de presión .....	84
3.7.3 Sistema de control de nivel .....	87
3.8 Diagrama de flujo del proceso de control para el almacenaje y el llenado de un buque con propano refrigerado.....	89
CAPITULO IV .....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
4. 1 Conclusiones .....	93
4.2 Recomendaciones.....	94
BIBLIOGRAFIA .....	95



## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composiciones típicas de los gases licuados .....	32
Tabla 2.2 Propiedades físico - químicas del propano. ....	33
Tabla 3.1 Características de los brazos de carga Nro 2 (D10-90902) y Nro 3 (D10-90903).....	80
Tabla 3.2. Condiciones críticas de almacenaje de propano refrigerado.....	82
Tabla 3.3 Filosofía de control de temperatura del sistema propano. ....	84
Tabla 3.4 Filosofía de control de presión del sistema propano.....	86
Tabla 3.5 Filosofía de control de sobrepresión del sistema propano .....	87
Tabla 3.6 Filosofía de control de presión de vacío del sistema propano. ....	87

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Composición del gas natural.....	25
Figura 2.2 Procesamiento del gas natural .....	27
Figura 2.3. Uso doméstico del gas natural .....	28
Figura 2.4. Uso industrial del gas natural .....	28
Figura 2.5. Uso vehicular del gas natural.....	29
Figura 2.6. Cogeneración eléctrica.....	30
Figura 2.7 Buque especializado. ....	34
Figura 2.8 Buque de LGN.....	35
Figura 2.9 Buque de GLP semirefrigerado. ....	36
Figura 2.10 Buque de GLP semipresurizado/refrigerado. ....	36
Figura 2.11 Buque de GLP totalmente refrigerado.....	37
Figura 2.12 Tanque cilíndrico presurizado .....	38
Figura 2.13 Tanque esférico presurizado .....	39
Figura 2.14 Tanque refrigerado de pared simple .....	40
Figura 2.15 Tanque refrigerado de pared doble .....	41
Figura 2.16 Tanque atmosférico .....	41
Figura 2.17. Tanques rectangulares y prismáticos, autosoportados para buques totalmente refrigerados con sistema de membrana. ....	47
Figura 2.18. Tanques independientes tipo “A” .....	49
Figura 2.19. Tanques de GNL para barcos totalmente presurizados y refrigerados. ..	49
Figura 2.20. Tanques Tipo C, utilizados en buques semirefrigerados.....	50
Figura 2.21. Diagrama de fase .....	52
2.10.4 Punto de fusión.....	53
Figura 2.22 Diagrama de fase de mezclas de hidrocarburos.....	54
Figura 2.23. Esquema de un sistema de control.....	57
Figura 2.24 Esquema de un sistema de control de lazo abierto. ....	58

Figura 2.25 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado. ....	59
Figura 3.1 Buque gasero para transporte de propano.....	68
Figura 3.2 Arreglo típico para carga de productos refrigerados. ....	71
Figura 3.3 Esquema de proceso de enfriamiento de gas natural mediante expansión con válvula [Joule-Thompson ]......	73
Figura 3.4 Diagrama de fases del propano.....	74
Figura 3.5 Esquema de Brazos Cargadores del Muelle 8 .....	79
Figura 3.6 Brazos de Carga D10-9092 y D10-9093 .....	81
Figura 3.7 Control de temperatura para almacenaje de propano refrigerado.....	83
Figura 3.8 Control de presión para almacenaje de propano refrigerado. ....	86
Figura 3.9 Control de nivel para almacenaje de propano refrigerado.....	89

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1 Introducción

El gas natural es un hidrocarburo que representa una de las principales fuentes de energía a nivel mundial. Presenta una gran cantidad de usos en el ámbito doméstico, industrial y comercial. Generalmente se transporta utilizando gasoductos, pero para grandes distancias, resulta más económico usar buques. Para transportarlo así es necesario licuarlo, dado que a la temperatura ambiente y a la presión atmosférica ocupa un volumen considerable. Para obtener el gas natural licuado se puede someter dicho gas a un proceso de refrigeración que consiste en llevar el gas a una temperatura aproximada de  $-47\text{ }^{\circ}\text{F}$  con lo que se consigue reducir su volumen en 600 veces. Ésto permite transportar una cantidad importante de gas en buques, siendo ésta la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente. Para lograr esto, se hace necesario controlar las variables y parámetros de seguridad que proporcionen las condiciones óptimas de operación. Dicho control abarca una serie de pasos que se relaciona con la seguridad del proceso, por lo tanto resulta conveniente y beneficioso la inversión que se hace en dichos sistemas de control, para así mantener el equilibrio de operación, para prevenir y evitar accidentes catastróficos. Las variables involucradas en éste proceso poseen condiciones mínimas, normales y máximas de operación; que sirve para llevar a cabo el análisis del sistema de control, el cual tiene como propósito ser utilizado como guía en la toma de decisiones en cuanto al control de proceso, operación y emergencia del sistema, así como también evitar una mala operación fuera de los límites de seguridad. El propano líquido se transporta a presión atmosférica en buques especialmente contruidos, en donde se encuentran

involucradas todas las variables de operación (presión, temperatura, nivel, caudal). Un proyecto de refrigeración de propano para su transporte en buques es altamente complejo tanto desde el punto de vista técnico así como del comercial. Por lo tanto, el objetivo principal del presente proyecto de investigación es determinar las variables de control que deben considerar en el proceso de llenado de un buque con propano refrigerado.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El propano es un hidrocarburo, compuesto de hidrógeno y carbono sin color ni olor, que se extrae del petróleo en las operaciones de refinación del gas natural y gases asociados. En su estado natural el propano es gaseoso, pero sometido a temperaturas de refrigeración bajo cero y a altas presiones se licúa, llegando a reducir su volumen hasta 600 veces, lo que hace posible su manipulación, almacenamiento y transporte. El proceso de licuefacción se inicia cuando el petróleo crudo procedente de los pozos petroleros es procesado para obtener los diferentes componentes que contiene, entre los cuales se obtienen gas húmedo, naftas o gasolinas, queroseno, gasóleos atmosféricos o diesel y gasóleos de vacío. El proceso de licuefacción es similar al de refrigeración común: se comprimen los gases refrigerantes produciendo líquidos fríos, como el propano, que luego se evapora a medida que intercambian calor con la corriente de gas natural. De este modo, el gas propano se enfría hasta el punto en que se convierte en líquido. Una vez que el gas ha sido licuado se somete a un proceso de Joule-Thompson o expansión con extracción de trabajo para poderlo almacenar a presión atmosférica. El propano producido se almacena en tanques especiales para luego ser transferido a buques tanques de transporte a una temperatura de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a una presión de  $18\text{ kg/cm}^2$ .

Los buques de transporte de gas natural licuado, también denominados metaneros son probablemente los barcos mercantes más sofisticados y de más alta

tecnología, por lo que el transporte de este gas requiere de una inversión considerable para cubrir estas necesidades tecnológicas. Estos buques cuentan con ciertas condiciones de P y T para poder almacenar este tipo de gas natural, donde se tienen que tomar en cuenta ciertos parámetros de control que faciliten el transporte y la manipulación del mismo. Esta técnica utilizada permite almacenar aproximadamente 600 veces su volumen, lo que genera una ganancia máxima aunque la inversión es considerable por el tipo de transporte que se necesita para trasladar este gas a distancias muy largas, igual es muy rentable llevar a cabo este proceso.

En el siguiente trabajo se estudiarán todas las variables que se toman en cuenta al momento de controlar los parámetros utilizados en este tipo de almacenaje y transporte, se deben considerar todas las variables de control para así evitar pérdidas económicas, accidentes, etc. Se describirá brevemente como es el proceso de llenado de los buques, se procederá a identificar las variables del proceso de llenado, se estudiará la técnica de refrigeración de propano, la cual permite almacenar el gas en grandes volúmenes para manipulación y transporte tomando en cuenta las condiciones de P y T adecuadas a este tipo de gas, luego de establecidas todas estas condiciones se evaluarán todos los procesos que permitan obtener los resultados necesarios para así poder realizar el proceso de llenado.

## **1.2 Objetivo general**

Determinar las variables de control que se deben considerar en el proceso de llenado de un buque con propano refrigerado.

## **1.3 Objetivos específicos**

1. Describir el proceso de llenado de un buque con propano refrigerado.
2. Identificar las variables de operación que intervienen en el llenado.

3. Describir la técnica de refrigeración de propano.
4. Establecer las condiciones a las cuales se almacena el gas propano.
5. Analizar las condiciones a las cuales se realiza el llenado de buques.
6. Definir las condiciones y variables críticas en el proceso de almacenaje y transporte de un buque con propano refrigerado.
7. Elaborar un diagrama de flujo del proceso de control para el llenado de un buque con propano refrigerado.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Antecedentes**

Antes de profundizar en nuestra investigación es importante resaltar los trabajos que han sido realizados con anterioridad y que se encuentran relacionados con el tema a tratar en el presente proyecto. Tal como se muestra a continuación donde se destacan los autores y un breve resumen de sus trabajos.

En año 2007, D. Carreño, realizó en su trabajo un estudio de los sistemas de control y seguridad en los procesos de almacenaje refrigerado de los productos del gas natural, para ello tomó en cuenta la aplicación y consideración de dichos sistemas en el diseño de tanques refrigerados, a fin de establecer las óptimas condiciones de operación en los procesos de almacenamiento refrigerado.

En año 2007, D. Oliveros y M. Brito, realizaron en su trabajo de grado un análisis de un sistema de control de las variables de proceso de un tanque refrigerado, dicho control sigue una serie de pasos que involucra la seguridad del proceso, los cuales están orientados a vigilar las variables asociadas las cuales poseen condiciones mínimas y máximas de operación, además de una filosofía de control específica.

#### **2.2 Generalidades del gas natural**

Es un hidrocarburo que se origina en las rocas porosas del interior de la corteza terrestre como consecuencia de la descomposición de los sedimentos de la materia orgánica y se encuentra en acumulaciones de petróleo crudo o cerca de ellas. El gas

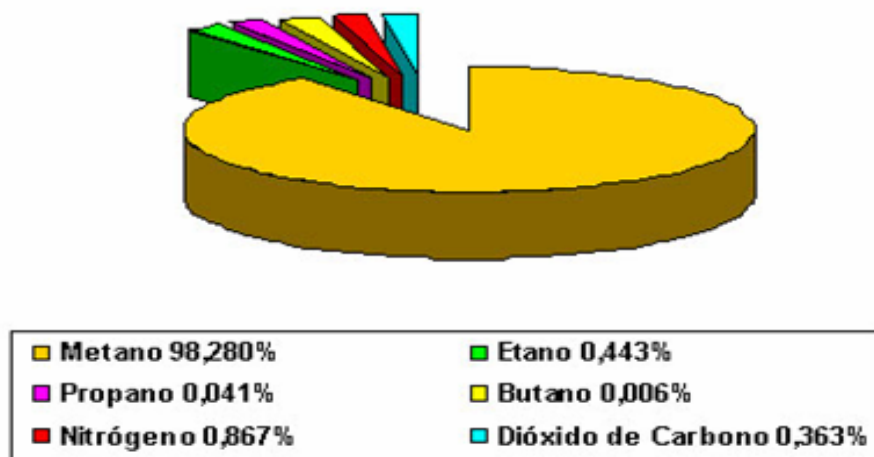


natural extraído de los yacimientos, es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire. Es una mezcla en donde el metano ( $\text{CH}_4$ ) se encuentra en grandes proporciones.

El gas natural es una energía eficaz, rentable y limpia, tiene el menor impacto ambiental de todos los combustibles, y ocupaba el tercer lugar entre las fuentes de energía primaria a nivel mundial.

### 2.2.1 Composición de gas natural

Aunque la composición del gas natural varía en función del yacimiento del que se extrae está compuesto principalmente por metano en un porcentaje mayor a 90%. Además lleva en su composición otros hidrocarburos más ligeros, como el etano, el propano y el butano, en cantidades significativas. Otros de sus componentes son el sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, nitrógeno, agua entre otros. (Figura 2.1)



Composición del gas natural.

Figura 2.1. Composición del gas natural

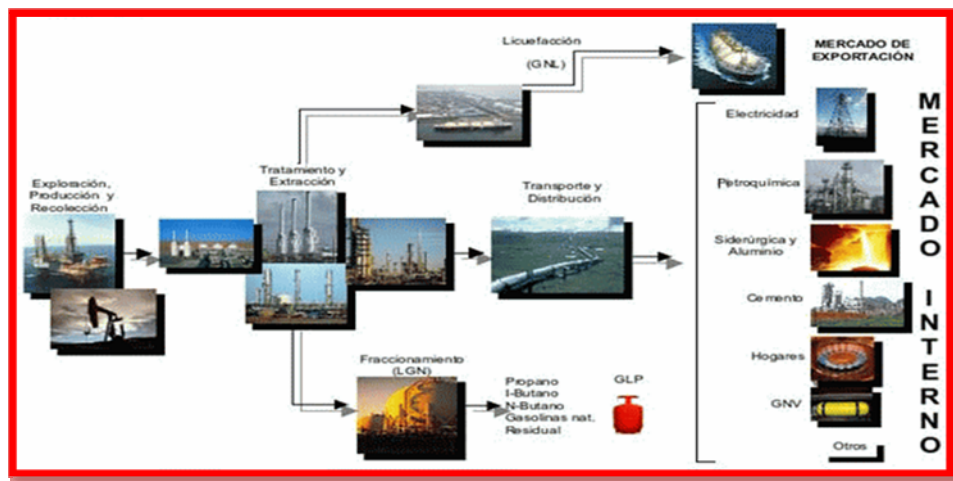
### 2.2.2 Clasificación del gas natural

- Gas dulce: es aquel que contiene cantidades de sulfuro de hidrógeno menores a 4 ppm, v.
- Gas ácido: es aquel que contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), dióxido de carbono y otros componentes ácidos por lo cual se vuelve corrosivo en presencia de agua.
- Gas húmedo: de él se pueden obtener cantidades considerables de hidrocarburos líquidos, de aproximadamente 3,0 GPM.
- Gas seco: es un gas que está formado principalmente por metano y etano.

### 2.2.3 Procesamiento del gas natural

- Acondicionamiento del gas natural: a través de éste proceso el gas se separa en:
  1. Gas natural seco (metano y etano) que puede ser transportado y distribuido por gasoductos hasta su destino final de consumo.
  2. Líquidos de gas natural (LGN): que están constituidos por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados que se transportan por poliductos hasta las plantas de fraccionamiento.
- Fraccionamiento de los componentes del LGN: consiste en la separación de los líquidos del gas natural en:
  1. Propano y butano.
  2. Gasolina natural.

En la figura 2.2 se observa el procesamiento del gas natural.



**Figura 2.2 Procesamiento del gas natural**

La obtención de los líquidos de gas natural resulta ser un proceso que incrementa el valor agregado de su utilización. Por ello, existen diferentes maneras de ser producidos, siendo una de las más utilizadas el enfriamiento de la corriente de gas hasta temperaturas criogénicas, para lograr la condensación de los componentes más pesados, y así ser separados para su posterior uso.

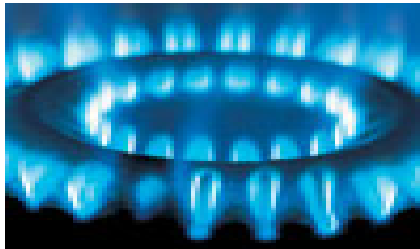
#### **2.2.4 Usos de gas natural**

El uso del gas natural como combustible se ha extendido mucho en los últimos años debido, entre otras cosas, a que su combustión es muy poco contaminante en comparación con la de otros combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo.

En la actualidad, el gas natural y sus derivados suponen un 20 % del consumo energético mundial, cifra que va en aumento al tiempo que disminuye la del consumo del petróleo y sus derivados. La razón principal es su consideración como fuente de energía limpia, ya que reduce considerablemente las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

- Uso doméstico

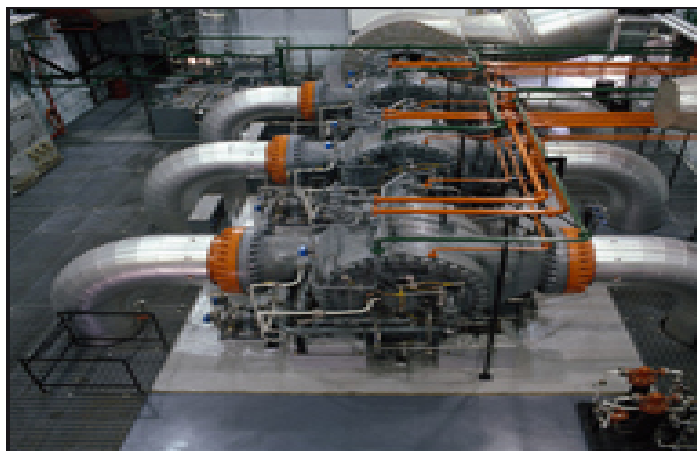
En el ámbito doméstico, el gas natural tiene una gran cantidad de aplicaciones entre las cuales se pueden mencionar: confección de alimentos, calentamiento de agua, acondicionamiento del ambiente, lavado y secado de ropa. (Figura 2.3).



**Figura 2.3. Uso doméstico del gas natural**

- Uso industrial

El gas natural tiene diversos usos en la siderúrgica y metalúrgica, industria del vidrio, cemento, textil, cerámica, industria de la madera y el papel, entre otros. (Figura 2.4).



**Figura 2.4. Uso industrial del gas natural**

- Uso vehicular

Hoy en día el uso del gas natural como combustible vehicular en empleado en varios países lo cual permite un sustancial ahorro tanto a los propietarios como a los usuarios de los servicios de transporte. (Figura 2.5). Además reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en un 70%, y no produce compuestos de azufre ni partícula, minimizando la contaminación y la seguridad.



**Figura 2.5. Uso vehicular del gas natural**

- Cogeneración eléctrica

En este proceso se obtiene energía eléctrica o mecánica y energía calorífica útil, a partir de un solo combustible, la generación simultánea de electricidad y calor en las plantas de cogeneración permite un incomparable grado de aprovechamiento de la energía del combustible. (Figura 2.6).



**Figura 2.6. Cogeneración eléctrica**

## **2.3 Definiciones básicas**

### **2.3.1 Gas licuado**

Es un líquido que a condiciones normales de presión y temperatura (14,7psia y 60°F) es un gas. Refrigerar un gas licuado significa bajar su temperatura hasta el punto de ebullición a presión atmosférica.

Los gases licuados de los hidrocarburos que se manejan en Venezuela podemos clasificarlos en tres tipos:

- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Líquidos del gas natural (LGN)
- Gas natural licuado (GNL)

### **2.3.2 Gas licuado del petróleo**

Es una mezcla en proporciones variables de dos componentes del gas natural, que a temperatura ambiente y presión atmosférica se encuentra en estado gaseoso, pudiendo licuarse a esa presión si se enfría a  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El GLP se almacena y transporta en forma líquida y posee un mayor poder calorífico que el GNL, siendo sus vapores más pesados que el aire, por lo que tienden a acumularse en zonas más bajas, contrario a lo que ocurre con el gas natural o metano que es más liviano que el aire.

### **2.3.3 Líquido del gas natural**

Estos compuestos son hidrocarburos con enlaces simples de carbono, los cuales bien sea por la alta presión o baja temperatura pueden ser mantenidos en estado líquido. Los líquidos del gas natural son: etano, propano, butano y otros componentes más pesados. Estos se extraen del gas natural mediante procesos criogénicos bajando su temperatura y disminuyendo así su volumen. Esta característica permite que sean almacenados y transportados de manera fácil y eficiente.

### **2.3.4 Gas natural licuado**

El gas natural licuado es el metano en estado líquido. Para licuar este hidrocarburo se debe someter a procesos criogénicos a fin de bajar su temperatura, en el orden de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  bajo cero, reduciendo su volumen en una relación de 1:600, entre el volumen que ocupa en estado gaseoso y el ocupado en forma líquida, para poder transportarlo en grandes cantidades hacia centros de consumo, utilizando buques cisternas metaneros diseñados para tal fin.

### 2.3.5 Composiciones típicas

En la siguiente tabla se muestran las composiciones típicas de los gases licuados.

**Tabla 2.1 Composiciones típicas de los gases licuados**

<b>PRODUCTO</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>% MOLAR</b>
<b>GLP</b>	Etano	0,2
	Propano	49,5
	Butanos	49,0
	Pentanos	1,3
<b>LGN</b>	Etano	0,9
	Propano	5,5
	Butanos	28,6
	Pentanos	8,0
	Hexano +	2,7
	Heptano +	3,3
<b>GNL</b>	Metano	92,0
	Etano	5,0
	Propano	3,0

### 2.3.6 Propano

Es un combustible hidrocarburo subproducto del procesamiento del gas natural y de la refinación del petróleo. En condiciones ambientales es claro, sin color y sin olor. Se convierte en líquido a presión moderada y es almacenado y provisto en su estado líquido. El propano es 270 veces más denso como líquido que como vapor y es un abundante recurso de energía.



### 2.3.7 Propiedades del propano

El propano presenta una serie de características físico-químicas las cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

**Tabla 2.2 Propiedades físico - químicas del propano.**

PROPIEDADES	CARACTERISTICAS
Color	Gas incoloro
Olor	Algo dulce. Sin olor a pequeñas concentraciones
Masa molecular (g/gmol)	44
Punto de fusión °C	-188
Punto de ebullición °C	-42.1
Temperatura crítica °C	97
Presión de vapor, 20 °C (Bar)	8.3
Densidad relativa del gas (aire= 1)	1.5
Densidad relativa del líquido (agua=1)	0.58
Solubilidad en agua (mg/l)	75
Rango de inflamabilidad (% de volumen en aire)	2.2 a 9.5
Temperatura de ignición °C	470
Estado físico	Gas licuado

## 2.4 Definiciones relacionadas al transporte en buque

### 2.4.1 Buques

Es un barco con cubierta que por su tamaño, solidez y fuerza es apropiado para navegaciones o empresas marítimas de importancia. Son especialmente construidos para el transporte de petróleo y sus derivados (líquidos inflamables o combustibles) a granel.

### 2.4.2 Transporte marítimo

La gran variedad de productos que se transportan por vía marítima, y por las propias características de éstos, definen todo un conjunto de buques especializados que configuran los diferentes modos de transporte. Figura 2.7.



**Figura 2.7 Buque especializado.**

### 2.4.3 Terminal

Instalación marítima que recibe y almacena petróleo crudo y productos de producción costa a fuera vía ductos y/o buques tanques.

### 2.4.4 Transportador de LGN (líquidos del gas natural)

Buque tanque especialmente diseñado para transportar líquidos del gas natural, dotado con recipientes para presión, con aislamiento. La carga es refrigerada a  $-47\text{ }^{\circ}\text{F}$  aproximadamente.

### 2.4.5 Buque de LGN (líquidos del gas natural)

Diseñado para transportar grandes volúmenes de LGN. Su punto de ebullición es de  $-47\text{ }^{\circ}\text{F}$ . El transporte es criogénico y se mantiene a la temperatura de ebullición exclusivamente por el aislamiento. La capacidad es de 120.000 a 130.000  $\text{m}^3$ . (figura 2.8).

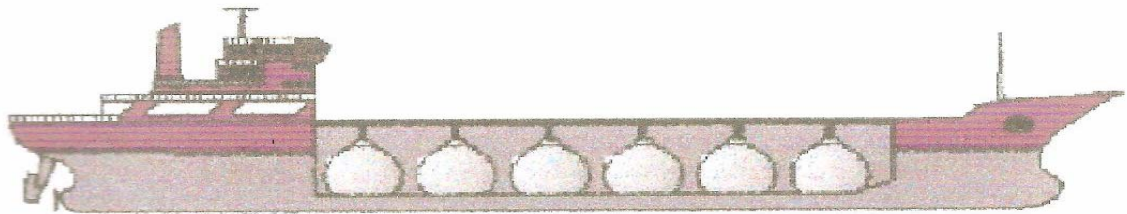


**Figura 2.8 Buque de LGN**

## 2.4.6 Buques de GLP (gases licuados de petróleo)

### 2.4.6.1 GLP semirefrigerado

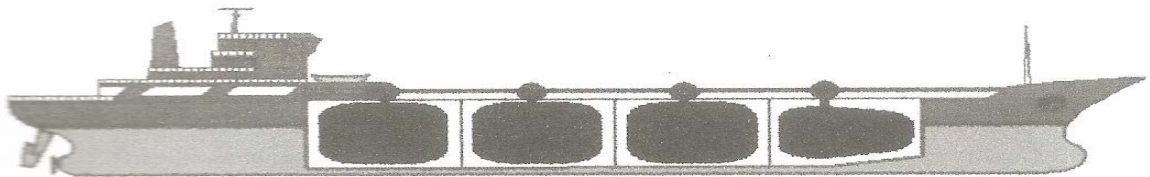
La presión de trabajo es de  $6,5 \text{ Kg/cm}^2$ . Aislamiento térmico y planta de relicuefacción. Temperaturas de  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  y capacidad aproximada de  $7.500 \text{ m}^3$ . (figura 2.9).



**Figura 2.9 Buque de GLP semirefrigerado.**

### 2.4.6.2 GLP semipresurizado/refrigerado

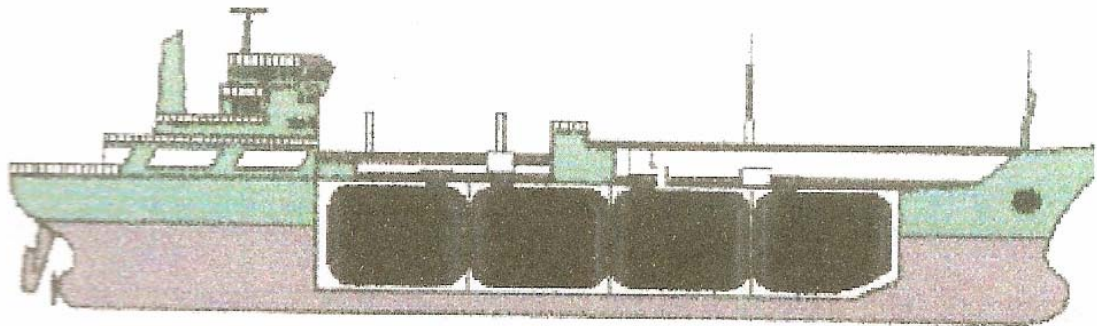
Abarcan desde una presión media de  $6,5 \text{ Kg/cm}^2$  a una temperatura de hasta  $-48 \text{ }^\circ\text{C}$  (la mayoría de GLP y gases químicos). Capacidades de  $1500 \text{ m}^3$ . Transportan una amplia gama de gases, desde mezclas de GLP al cloruro de vinilo, propileno y butadieno. (figura 2.10).



**Figura 2.10 Buque de GLP semipresurizado/refrigerado.**

### 2.4.6.3 GLP totalmente refrigerado

La presión de transporte es aproximadamente la presión atmosférica. La temperatura puede llegar hasta  $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Capacidades entre  $10.000$  y  $50.000\text{ m}^3$ . Aislamiento térmico y planta de relicuefacción. (figura 2.11).



**Figura 2.11 Buque de GLP totalmente refrigerado.**

## 2.5 Tipos de almacenamiento de los líquidos del gas natural

### 2.5.1 Almacenamiento presurizado

La presión de diseño es el parámetro que se considera más importante en este tipo de almacenamiento. Los LGN pueden ser almacenados en superficie a temperatura ambiente. La presión máxima de operación se determina mediante el cálculo de vapor del líquido a la temperatura máxima de operación esperada. Un factor de seguridad de 10% y no menor de 5 lpca se añade para obtener la presión de diseño, debido a que el butano y la gasolina natural pueden tener presión de vapor a menor a la presión atmosférica y baja temperatura.

Los tanques para almacenar LGN en forma presurizada pueden ser:

### 2.5.1.1 Tanques cilíndricos

Son construidos con palcas de acero y pueden ser verticales u horizontales. Almacena un volumen determinado entre 2.000 y 10.000 Bls y pueden realizar funciones tanto de separador como de almacenamiento. (figura 2.12).



**Figura 2.12 Tanque cilíndrico presurizado**

### 2.5.1.2 Tanques esféricos

Generalmente almacenan mayor cantidad que los tanques cilíndricos en un rango de 1.000 a 60.000 Bls y para presiones de 5 psig. Su fabricación es de gran facilidad, éstos se pueden armar en el campo particularmente las esferas presurizadas, lo que lo hace más económico. Una desventaja de dichos tanques es que corre el riesgo de sobre presionar hasta el punto de ruptura y ocasionar daños a las demás instalaciones. (figura 2.13).



**Figura 2.13 Tanque esférico presurizado**

### **2.5.2 Tanques no presurizados**

Se emplean para productos con presiones de vapor por debajo de la presión atmosférica a la máxima temperatura esperada, si la presión de vapor del líquido del gas natural no es suficiente para prevenir evaporación excesiva, el líquido puede ser almacenado en tanques cilíndricos verticales no presurizados.

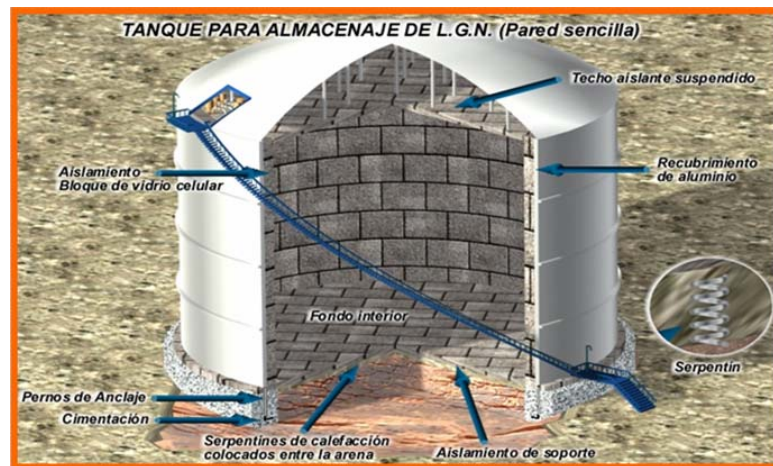
### **2.5.3 Tanques refrigerados**

Diseñados para almacenar productos por debajo de la temperatura ambiente. Estos tanques trabajan a presiones bajas lo que permite mayor seguridad en su manejo, requieren menos costos al permitir almacenar grandes volúmenes de gas.

La temperatura de operación es la temperatura de ebullición de los productos, mediante un sistema de refrigeración mecánica se mantienen las condiciones de presión y temperatura de los productos almacenados.

### 2.5.3.1 Tanque refrigerado de pared simple

Son similares a los tanques atmosféricos. La cara externa se encuentra aislada con poliuretano y bloques de vidrio celular recubierto con una chaqueta de aluminio. Presentan un techo en forma de domo o sombrilla. (figura 2.14).

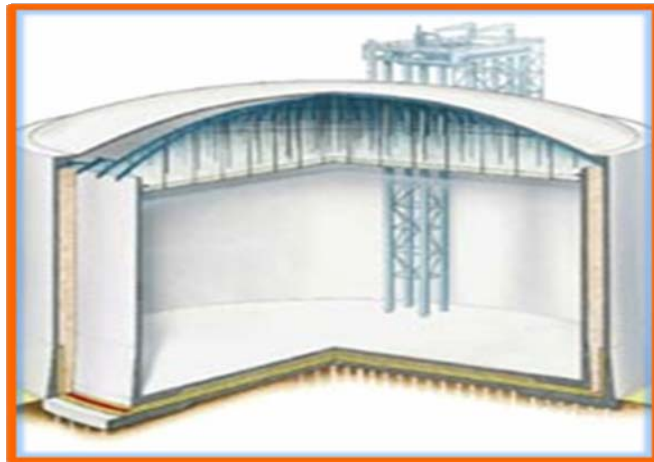


**Figura 2.14 Tanque refrigerado de pared simple**

### 2.5.3.2 Tanque refrigerado de pared doble

Están compuestos por dos paredes. El espacio anular entre ellas está cubierto por un aislante de perlita extendida, con una manta interna de fibra de vidrio. El tanque interno está fabricado generalmente de acero al 9 % níquel y el tanque externo generalmente es construido de acero al carbón y/o concreto pretensado. (figura 2.15).





**Figura 2.15 Tanque refrigerado de pared doble**

#### **2.5.4 Tanques atmosféricos**

Son diseñados para almacenar productos que no superan la presión atmosférica. Usualmente emplea tanques cilíndricos verticales con rangos en lo que concierne a sus tamaños, desde tanques pequeños que son fabricados en talleres hasta recipientes muy grandes que tienen que ser fabricados en el campo debido a sus dimensiones. Su presión de operación es baja lo que permite mayor seguridad al momento de manejarlos, permite almacenar volúmenes de hasta 10.000 bls. (figura 2.16).



**Figura 2.16 Tanque atmosférico**

## **2.6 Consideraciones de diseño de tanques refrigerados**

### **2.6.1 Temperatura**

Para el diseño de un tanque refrigerado o criogénico la temperatura debe ser la mínima a la cual el contenido del tanque será enfriado.

### **2.6.2 Presión**

Los componentes del tanque deben ser diseñados para una presión no menor del valor a la cual son ajustadas las válvulas de seguridad y por otro lado no menor del máximo vacío parcial que pueda ser generado en ese espacio.

### **2.6.3 Corrosión**

La corrosión en los tanques puede ser causada principalmente por las características químicas del líquido, así como también por fuentes atmosféricas. La tasa de corrosión debido a la naturaleza del líquido almacenado puede ser determinada por la literatura existente.

La corrosión atmosférica, particularmente, en ambiente marino se minimiza con un buen recubrimiento del sistema y mantenimiento periódico de limpieza y pintura.

### **2.6.4 Carga**

Lo grandes recipientes de almacenamiento de líquidos refrigerados, se deben diseñar tomando en cuenta las siguientes cargas:

- Carga por expansión térmica diferencial.

- Máxima presión interna o vacío parcial.
- Cargas externas y momentos obtenidos de la conexión de las tuberías.
- Peso del tanque, aislamiento, revestimiento, máximo volumen del líquido y máxima presión de operación.
- Cargas naturales como: viento, nieve, terremotos.
- Sistema de soporte
- Cargas adicionales como: plataformas, escaleras y tuberías.
- Cargas concentrados en el fondo del tanque debido al peso de las paredes, el techo, el aislamiento, el revestimiento y demás accesorios.

### **2.6.5 Materiales**

Los materiales para tanques de almacenaje refrigerado son clasificados como componentes primarios y secundarios.

Los componentes primarios en general pueden ser:

- Los que están expuestos a choques térmicos (boquillas de succión y llenado).
- Los que por falla de material permitirán derrame de líquido (paredes).
- Aquellos que son sometidos a un nivel significativo de esfuerzo (paredes a nivel del fondo del tanque).
- Aquellos que están expuestos a la temperatura refrigerada (pared interna).

Los componentes secundarios incluyen aquellos que no serán sometidos a grandes esfuerzos por el líquido almacenado, si fallan no producirán derrame del líquido.

Además de los aspectos antes mencionados para la selección de materiales deben tomarse en cuenta otras consideraciones, tales como:

- Resistencia por tensión o por esfuerzo mínimo aparente.
- Ductilidad.
- Resistencia al impacto.
- Esfuerzos permitidos de diseño.

## **2.7 Accesorios de los tanques refrigerados**

### **2.7.1 Boquilla**

Son conexiones de entrada y salida ubicadas en el casco y en los respiradores del techo.

### **2.7.2 Equipos de medición**

Este equipo se emplea para transmitir el nivel de contenido de líquido al medidor automático colocado fuera del tanque, y al panel súper visorio de la oficina de despacho a través de impulsos eléctricos.

### **2.7.3 Escotillas**

Están instaladas en la boca de inspección del techo para permitir la medición del líquido contenido en el tanque.

### **2.7.4 Boca de inspección**

Facilita el acceso al interior de los tanques cuando estos están vacíos, para reparaciones internas, inspecciones programadas y mantenimiento.

### **2.7.5 Escaleras**

Se emplean para subir al techo al efectuar mediciones, inspecciones, mantenimiento, etc.

### **2.7.6 Respiradores**

Ubicados en el techo, impiden la acumulación de presiones excesivas dentro del tanque.

### **2.7.7 Rociadores de agua**

Se utilizan como medio de protección para los tanques en caso a que estén expuestos a un incendio, y se alimentan por una línea de agua que funciona desde el interior del muro.

### **2.7.8 Termocuplas**

Se utiliza para la observación visual de la temperatura del producto por medio de termómetros físicamente instalados o indicación por control remoto a través del equipo electrónico.

## **2.8 Tipos de tanques según especificaciones del Código CIG**

Dependiendo del tipo de producto transportado, los barcos son denominados por letras diferentes. A los buques gaseros se les asigna la letra “G”. Para GNL y etileno se usa 2G, para GLP, amoníaco y otros gases licuados con puntos de ebullición aproximados: 2G/2PG. Los gases refrigerantes y nitrógeno deben ser transportados en buques 3G.

### **2.8.1 Tanques estructurales**

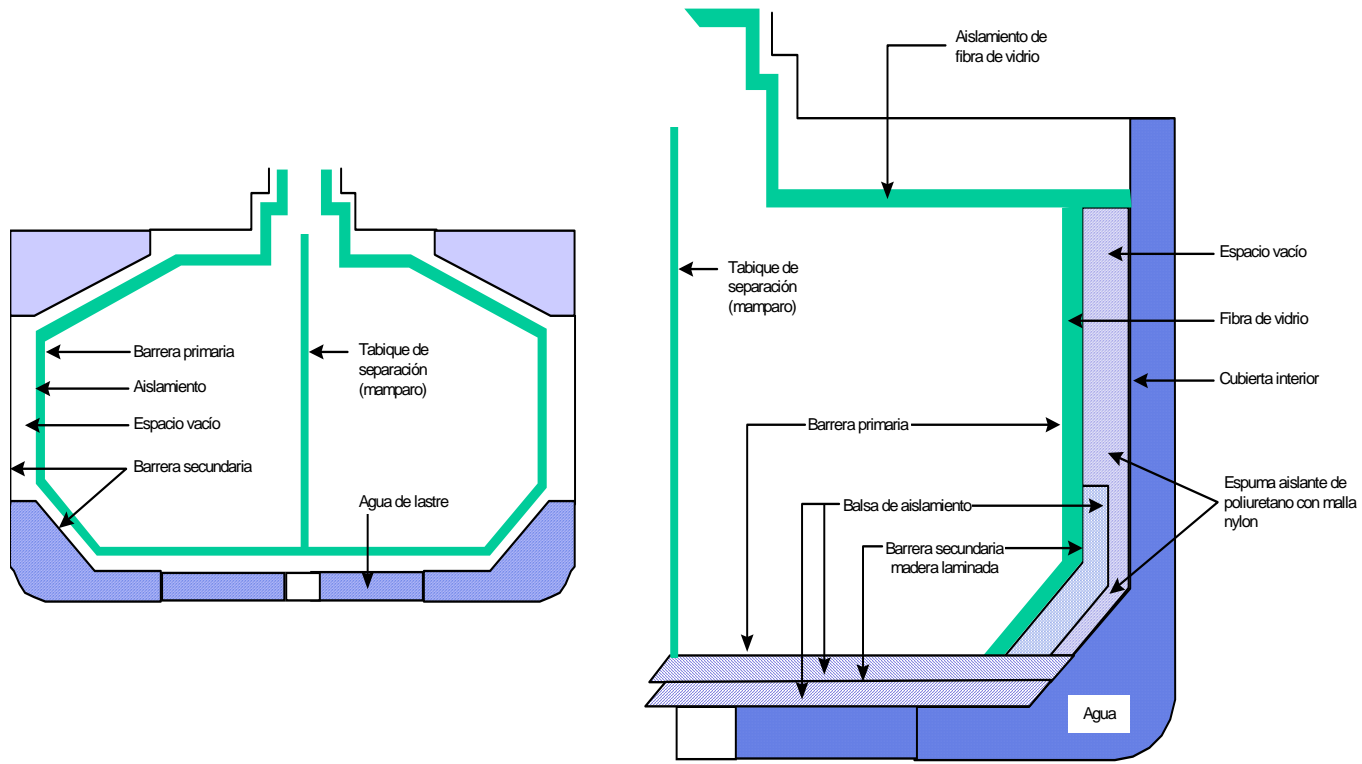
Son los que forman parte estructural del casco del buque y están sometidos de igual manera al esfuerzo impuesto por las cargas que actúan sobre el casco. Estos tanques solo pueden utilizarse para el transporte de productos cuyos puntos de ebullición no sean inferiores a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estos tanques son generalmente esféricos y están destinados a cargar butano.

### **2.8.2 Tanques de membrana**

Son los que carecen de sustentación propia y están formados por una delgada capa o membrana que lo aíslan de la estructura metálica del casco, proyectada para soportar las expansiones y contracciones sin que esto le imponga un esfuerzo excesivo. Se utilizan aleaciones de acero con 36% de níquel, ya que éste tiene un coeficiente de expansión muy bajo y soporta muy bien las contracciones de las cargas criogénicas.

Este tipo de tanques está diseñado con dos paredes metálicas donde la primera barrera del tanque soporta las presiones de vapor y las condiciones de carga (presión hidrostática) del producto; mientras que la segunda barrera o membrana protege del calor y de colisiones al tanque. Poseen material aislante de baja conductividad térmica, no inflamable, habilidad para soportar daños mecánicos y liviano.

La primera membrana metálica es de acero inoxidable o austenítico. Existen otros tipos de tanques autoportados tipo prismático con sistema de membrana que poseen una balsa de aislamiento, con maderas laminadas para absorber vibraciones. (figura 17).



a) Corte transversal de un tanque de membrana

**Figura 2.17. Tanques rectangulares y prismáticos, autoportados para buques totalmente refrigerados con sistema de membrana.**

### **2.8.3 Tanques de semimembrana**

Estos tanques carecen de sustentación propia y están formados por una capa (aislamiento), que en alguna parte se puede apoyar en la estructura del casco. Los tanques con semimembrana fueron diseñados originalmente para ser transportadores de GNL; sin embargo no fueron construidos para este uso, sino para buques totalmente refrigerados de GLP, por poseer condiciones menos extremas de temperatura que las del gas natural.

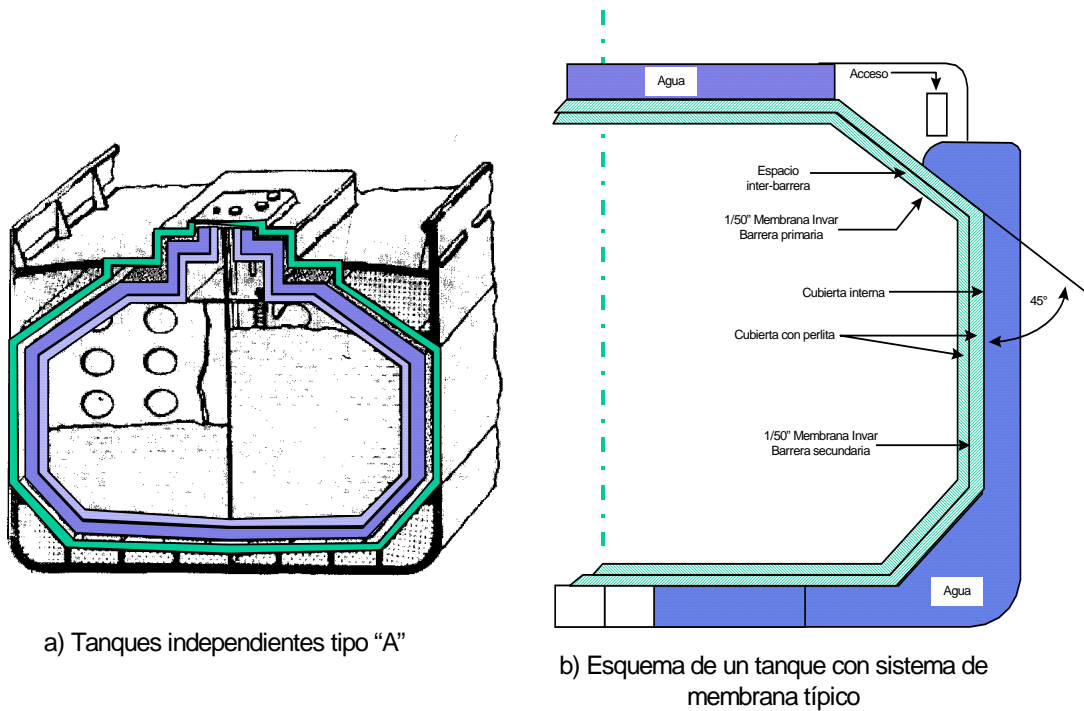
### **2.8.4 Tanques independientes**

Son autosustentables que no forman parte del casco ni contribuyen con su resistencia. Estos tanques evitan posibles fugas de productos y extienden un período de emergencia (2 semanas) mientras se corrigen fallas. Existen tres tipos de tanques: A, B, y C, los cuales poseen espacios vacíos de separación

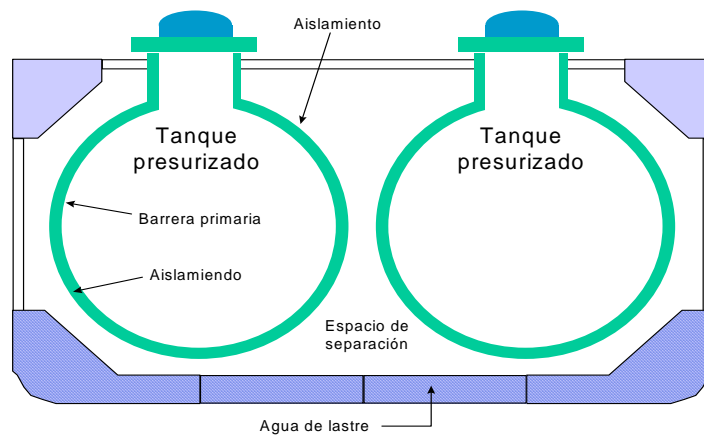
El tanque tipo A tiene una membrana integral requerida para asegurar una completa barrera secundaria en el embarque, cuando el producto se almacena en sistemas de bajas presiones (figura 18).

Los tanques independientes tipo B son aquellos proyectados tomando en cuenta la resistencia a la fatiga y las características de propagación de grietas. Están construidos con una aleación de aluminio o de acero con 9,5 % de níquel; poseen aislamiento con barrera redondeada, aislamiento parcial a base de poliuretano y soporte reforzado de las partes laterales inferiores. Son los utilizados para transporte de GNL y etileno (figura 19).



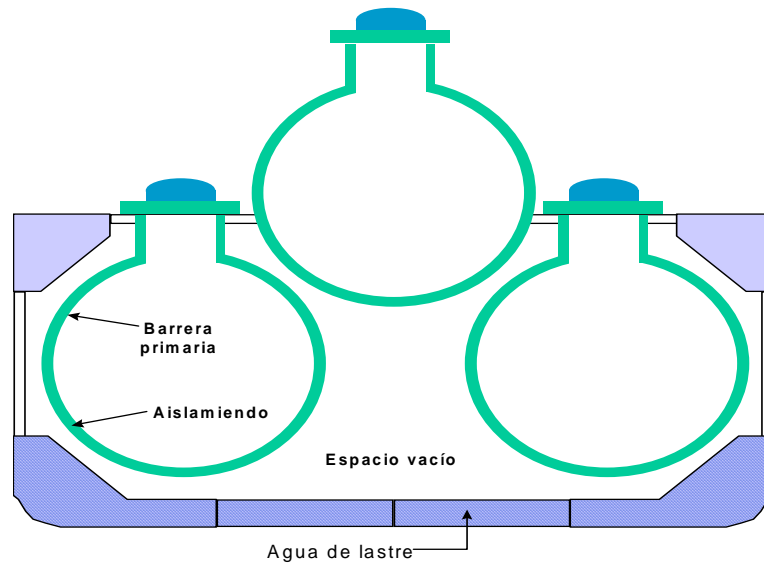


**Figura 2.18. Tanques independientes tipo "A"**



**Figura 2.19. Tanques de GNL para barcos totalmente presurizados y refrigerados.**

Por su parte, los tanques independientes tipo C son recipientes esféricos presurizados; requieren solamente una segunda barrera parcial y algunas veces no se exige barrera secundaria. Por lo general este tipo de tanques se encuentra en barcos semirefrigerados (figura 20).



**Figura 2.20. Tanques Tipo C, utilizados en buques semirefrigerados.**

## **2.9 Consideraciones económicas para la selección del almacenaje de los líquidos del gas natural**

Se pueden establecer diferentes consideraciones de acuerdo al tipo de producto que se esté manejando, en este caso mencionaremos algunos criterios para el caso específico del propano.

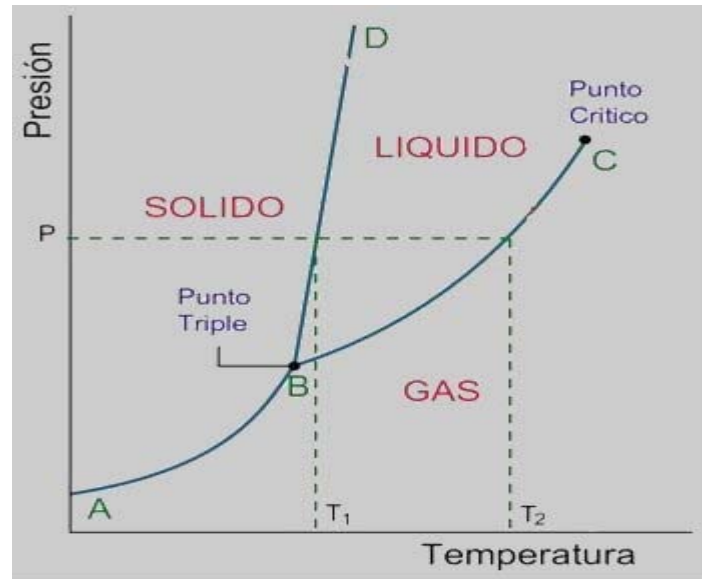
- Para una capacidad de almacenaje hasta 15.000 Bls y con una tasa de llenado relativamente alta (5.000 Lb/h – 282 bls/h), el almacenaje presurizado probablemente sea la opción más factible.

- El almacenaje de volúmenes de propano entre 15.000 y 40.000 bls, generalmente, es más económico en recipientes no presurizados, requiriéndose una mínima capacidad de refrigeración.
- Cuando se tienen volúmenes superiores a los 60.000 bls, el almacenaje refrigerado resulta la alternativa más económica.

Además de las consideraciones antes mencionadas, resulta importante que la escogencia del sistema de refrigeración sea compatible con las instalaciones de almacenaje, para obtener un menor costo de instalación y economía y los costos de operación.

### **2.10 Generalidades del diagrama de fase**

Es a la representación gráfica de las fronteras entre diferentes estados de la materia de un sistema, en función de variables elegidas para facilitar el estudio del mismo. Los diagramas de fase más sencillos son los de presión - temperatura de una sustancia pura. En el eje de ordenadas se coloca la presión y en el de abscisas la temperatura.



**Figura 2.21. Diagrama de fase**

La figura 2.21 representa el diagrama de fases de una sustancia. En los ejes están representados los valores de presión y temperatura y las tres curvas AB, BD y BC, la frontera entre los tres estados.

Si el punto de presión y temperatura en que está la sustancia cae en alguna de las áreas señaladas como sólido, líquido o gas, ese será su estado para esas condiciones.

### 2.10.1 Punto crítico

Indica el valor máximo de temperatura en el que pueden coexistir en equilibrio dos fases. Representa la temperatura máxima a la cual se puede licuar el gas simplemente aumentando la presión. Gases a temperaturas por encima de la temperatura del punto crítico no pueden ser licuados por mucho que se aumente la presión. En otras palabras, por encima del punto crítico, la sustancia solo puede existir como gas. Modificando la presión y temperatura en valores alrededor del

punto crítico se producen reacciones que pueden tener interés industrial.

### **2.10.2 Punto triple**

En este punto en la sustancia coexisten en equilibrio los tres estados, está parcialmente sólida, parcialmente líquida y parcialmente gaseosa. Para valores de presión o temperatura más bajas que el punto triple la sustancia en cuestión no puede existir en estado líquido y solo puede pasar desde sólido a gaseoso en un proceso conocido como sublimación.

### **2.10.3 Punto de ebullición**

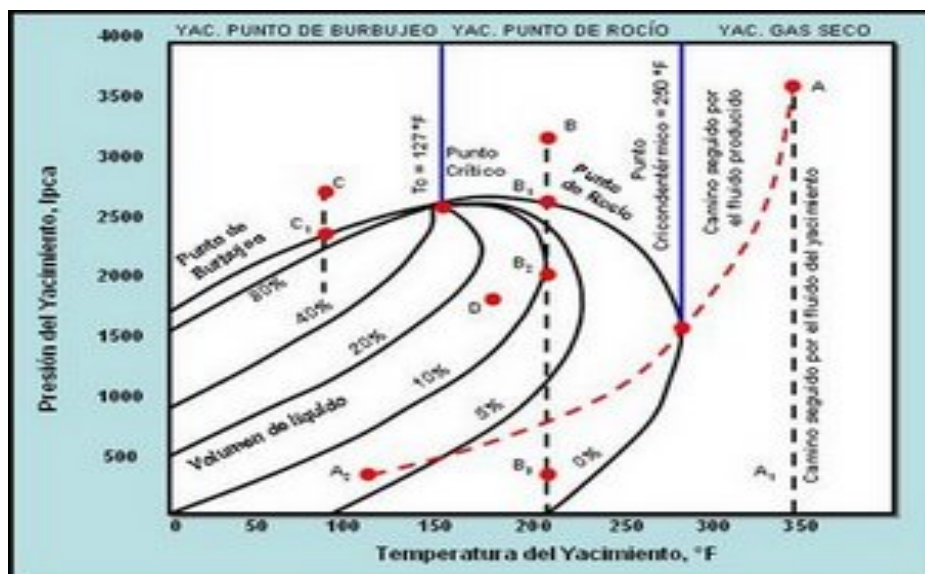
El punto de ebullición de una sustancia, es aquel valor de temperatura para el cual coexisten en equilibrio, los estados líquido y gaseoso a determinada presión.

### **2.10.4 Punto de fusión**

El punto de fusión de una sustancia, es aquel valor de temperatura para el cual coexisten en equilibrio, los estados líquido y sólido a determinada presión.

### **2.10.5 Diagrama de fase de presión – temperatura de mezclas de hidrocarburos**

La mejor forma de observar los cambios de fase de las mezclas de hidrocarburos que se presentan naturalmente en yacimientos de petróleo y gas, es a través de un diagrama de Presión – Temperatura (P-T). (figura 2.22).



**Figura 2.22 Diagrama de fase de mezclas de hidrocarburos.**

La envolvente de fases que resulta de unir las curvas de puntos de burbujeo y puntos de rocío. En los puntos de burbujeo el sistema (mezcla de hidrocarburos) se encuentra en fase líquida en equilibrio con una cantidad infinitesimal (burbuja) de gas. En los puntos de rocío el sistema se encuentra en fase gaseosa en equilibrio con una cantidad infinitesimal (gota) de líquido.

La envolvente de fases divide el diagrama en tres regiones: la del líquido que está situada fuera de la envolvente y a la izquierda de la temperatura crítica; la del gas que también está fuera de la envolvente pero a la derecha de la temperatura crítica y la de dos fases que se encuentra dentro de la envolvente y donde se hallan en equilibrio el gas y el líquido. En ésta región se observan las líneas de isocalidad, que son líneas que unen puntos de igual porcentaje volumétrico de líquido en la mezcla líquido – gas. De esta forma, las curvas de burbujeo y rocío son líneas de 100 % y 0 % de líquido, respectivamente. Todas estas líneas de isocalidad también convergen en el punto crítico.

Otro punto observado en el diagrama de fase es el punto de temperatura cricondentérmica, que es la máxima temperatura a la cual existe equilibrio entre vapor y líquido. También se observa el punto de presión cricondentérmica, que se define como la máxima presión a la cual existe el equilibrio vapor y líquido.

## **2.11 Variables operacionales de almacenamiento**

### **2.11.1 Variables de operación**

**Presión:** se define como una fuerza por unidad de área de superficie y puede expresarse en unidades como pascal, bar, atmósfera, etc. La presión de un fluido resulta de un intercambio de la cantidad de movimiento entre las moléculas del fluido y la pared que lo contiene.

**Temperatura:** es la variable física más comúnmente medida en procesos industriales. La temperatura de un sistema es una cantidad relacionada con la energía promedio de las partículas que intervienen en el sistema.

La temperatura es expresada en Celsius basada entre el punto de congelación y el punto de ebullición del agua a la presión atmosférica

**Nivel:** representa la cantidad de materia contenida en un depósito y se determina mediante la medición de la altura que alcanza el contenido sobre una línea de referencia relacionada con la capacidad del depósito.

La variable nivel es muy importante para el funcionamiento correcto de los procesos industriales. Su importancia radica en la consideración del balance adecuado de materias primas y de productos finales.

**Caudal:** la variable caudal representa el movimiento de fluidos tanto líquidos

como gaseosos empleados en diversos procesos industriales. Se expresa en unidades de volumen de masa por unidad de tiempo o masa por unidad de tiempo.

La variable controlada en el proceso es aquella condición o cantidad que se controla. Es una condición o característica del medio controlado. Por ésta razón la variable controlada en un tanque refrigerado es la temperatura y el medio controlado es el líquido almacenado.

Las variables que se manipulan son aquella cantidad o condición que se varía por el controlador automático de manera que el valor de la variable controlada resulte afectada en la proporción debida.

La variable manipulada es una condición o característica del agente de control. El agente de control el aquel proceso energía o matemática del cual la variable manipulada es una condición o característica. Estas variables pueden ser: presión, temperatura y nivel. En general, son todas aquellas variables que se monitorean, que se miden.

## **2.12 Sistema de control de variables**

El objetivo de control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperatura, presión, flujo, caudal y composición. Los procesos son de naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y no si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.



### 2.12.1 Elementos de un sistema de control

Un sistema de control se compone de:

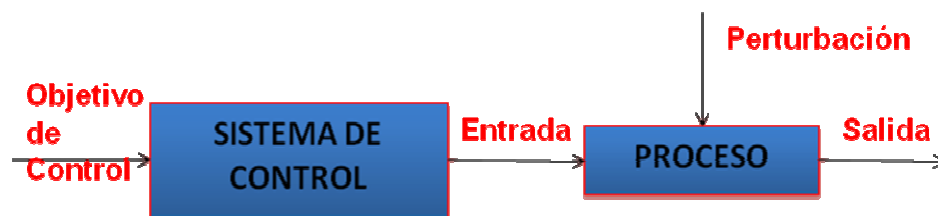
- **Proceso:** sistema al que se desea controlar.
- **Elemento primario de control (sensores):** tiene contacto con la variable dinámica que se está midiendo.
- **Controlador:** a partir de las señales obtenidas por los sensores, compara una referencia y ejerce una acción correctiva de acuerdo con la desviación.
- **Elemento final de control:** efectúa la acción de control que afecta al proceso.

### 2.12.2 Operaciones básicas de un sistema de control

- **Medición:** la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
- **Decisión:** con base en la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable en el valor que desea.

**Acción:** como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

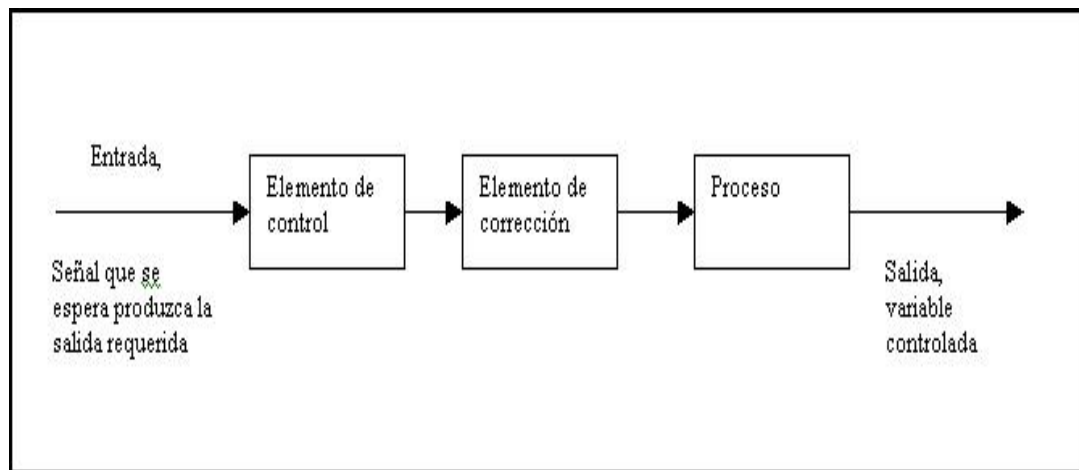
La siguiente figura muestra el esquema de un sistema de control. (figura 2.23).



**Figura 2.23. Esquema de un sistema de control.**

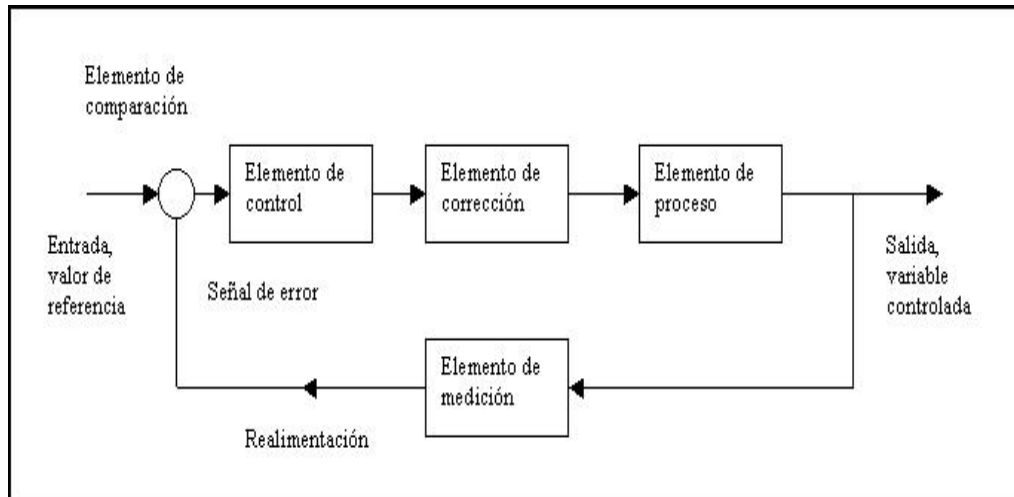
### 2.12.3 Tipos de sistemas de control

A) Sistema de control de lazo abierto: es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. (figura 2.24).



**Figura 2.24 Esquema de un sistema de control de lazo abierto.**

B) Sistema de control de lazo cerrado: son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. (figura 2.25).



**Figura 2.25 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado.**

### **2.13 Clasificación de los tipos de instrumentos medidores según la variable de proceso.**

Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de señal medida, siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso.

#### **2.13.1 Medidores de presión**

- Tubo bourdon: es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora por un sector dentado y un piñón.
- Elemento en espiral: se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.
- Diafragma: consiste en una o varias capsulas circulares conectadas

rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada capsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento. Es utilizado para pequeñas presiones.

- Fuelle: es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. Se emplean para pequeñas presiones.
- Resistivos: es uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o capsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión.
- Magnéticos: Se clasifican en dos grupos según el principio de funcionamiento:
  - a) Transductores de inductancia variable: en los que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia, de ésta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.
  - b) Transductores de reluctancia variable: consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.
- Capacitivos: se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.
- La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores, uno de capacidad fija

o de referencia y el otro de capacidad variable.

- **Extensométricos:** se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.
- **Piezoeléctricos:** son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica.

### **2.13.2 Medidores de temperatura**

- **Termómetro de vidrio:** consta de un dispositivo de vidrio que contiene, por ejemplo mercurio y que al calentarse se expande y sube en un tubo capilar.
- **Termómetro bimetalico:** un típico termómetro bimetalico contiene pocas partes móviles solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral y el propio elemento bimetalico. Se fundamenta en la diferencia del coeficiente de dilatación de dos metales diferentes laminados conjuntamente.
- **Termómetro de bulbo y capilar:** es un termómetro de presión donde el elemento sensor consiste en un bulbo que contiene gas. Como el gas está encerrado, los cambios de temperatura se traducen en cambios de presión. Esto se transmite a una espiral (como el tubo Bourdon) que transmite el movimiento a la aguja indicadora.
- **Termistores:** son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura.

- Termopares: es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

### 2.13.3 Medidores de caudal

- Placa de orificio: consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan ésta presión diferencial lo cual es proporcional al cuadrado del caudal.
- Tobera: es un dispositivo que convierte la energía potencial de un fluido (en forma térmica y de presión) en energía cinética. Con él se pretende acelerar un fluido para la aplicación de que se trate. El aumento de velocidad que sufre el fluido en su recorrido a lo largo de la tobera es acompañado por una disminución de su presión y temperatura, al conservarse la energía.
- Tubo venturi: permite la medición de caudales 60% superiores a los de la placa de orificio en las mismas condiciones de servicio. Posee una gran precisión y permite el paso de fluidos con un porcentaje relativamente grande de sólidos.
- Tubo pitot: es simplemente un tubo hueco de sección circular de pequeño diámetro, doblado en  $L$  y cuyo eje se alinea con la dirección de la velocidad del flujo en el punto de medida. Se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluido limpios con una baja pérdida de carga.
- Tubo annubar: consiste de varios tubos Pitot ubicados a través de la tubería

para proveer una aproximación al perfil de velocidad. El caudal total puede determinarse a partir de esas múltiples mediciones.

- Rotámetro: son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo de fluidos.
- Vertedero: se utiliza para la medición de caudal en canales abiertos, los cuales provocan una diferencia de altura del líquido en el canal entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo.

#### **2.13.4 Medidores de nivel**

- Medidor de sonda: consiste en una varilla o regla graduada de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada del líquido. Se utiliza en tanques de gasolina.
- Varilla graduada: es un medidor que consiste en un gancho que se sumerge en el seno del líquido y se levanta hasta después que el gancho rompe la superficie del líquido.
- Cinta graduada y plomada: se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque.
- Nivel de cristal: Este tipo de accesorios son la manera más sencilla de indicar el nivel en un tanque, ya que son de indicación directa, cristal plano tipo reflex y transparente.

- Flotador: consiste en un flotador situado en el seno del líquido y contacto al exterior del tanque indicando directamente el nivel.
- Medidor manométrico: consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque. El manómetro mide la presión debida a la temperatura del líquido que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento.
- Medidor de membrana: Consta de una membrana acoplada a la pared del recipiente en el punto en el que se quiere detectar el nivel. Cuando el material llega a la altura del interruptor, presiona la membrana y actúa un conmutador.  
Granulometría media y pequeña.
- Medidor de presión diferencial: consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto en el fondo del tanque.



## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO**

#### **3.1 Metodología**

##### **3.1.1 Revisión bibliográfica**

Se procedió a obtener toda la información necesaria para el desarrollo del proceso del llenado del buque de propano refrigerado. Se realizó un diagrama general sobre los puntos que necesitan ser investigados a fin de obtener toda la información necesaria para desarrollar la temática propuesta. El desarrollo de esta etapa consiste en la revisión de tesis de grado y textos relacionados con el tema.

##### **3.1.2 Descripción del proceso de llenado de un buque con propano refrigerado**

En esta etapa se describió el proceso mediante el cual se almacena el gas natural en los buques para su transporte, mediante el estudio del proceso de la carga de buques, la alineación de las válvulas y la descripción de los equipos de carga y descarga.

##### **3.1.3 Identificación de las variables de operación que intervienen en el llenado**

Durante esta etapa se procedió a identificar las variables (presión, temperatura, caudal, nivel) del proceso, las cuales son necesarias para mantener las condiciones mínimas y máximas de operación, empleando para ello el estudio de los sistemas de control que intervienen en el proceso.

### **3.1.4 Descripción de la técnica de refrigeración de propano**

Esta etapa constó del estudio detallado de cómo es refrigerado el propano.

### **3.1.5 Condiciones a las cuales se almacena el gas propano**

Durante esta etapa toman en cuenta las condiciones principalmente de P y T que se deben considerar para su almacenaje, el diagrama de fases del propano permitió conocer estas condiciones a las cuales se licúa el gas.

### **3.1.6 Análisis de las condiciones a las cuales se realiza el llenado de buques**

Se determinaron los parámetros y variables necesarias en el procedimiento del llenado de buques, específicamente para el transporte de propano refrigerado.

### **3.1.7 Condiciones y variables críticas en proceso de almacenaje y transporte de un buque con propano refrigerado**

Esta etapa permitió establecer todos los límites de las variables más significativas que se necesitan para realizar este tipo de proceso.

### **3.1.8 Diagrama de flujo del proceso de control para el llenado de un buque con propano refrigerado**

Diagrama de flujo del proceso de llenado del buque de propano refrigerado.

### **3.1.9 Redacción de la monografía**

Análisis de la información obtenida para la realización de este proyecto, así

como conclusiones y recomendaciones.

## **3.2 Proceso de llenado de buques con propano refrigerado**

### **3.2.1 Carga de buques**

Los equipos y sistemas que se encuentran asociados al manejo de productos refrigerados dependen de la capacidad de almacenaje que se requiera y a la naturaleza de las operaciones que se realicen. En aquellas en donde se maneja un volumen considerado de alimentación continua, se requiere de una planta de refrigeración, para eliminar calor de las líneas de transferencia y/o tanques de almacenamiento.

Los buques cisternas se utilizan para el transporte de estos productos refrigerados, los cuales presentan instalaciones similares a las de las plantas de almacenamiento (bombas, compresores, tanques línea y sistemas de protección) (figura 3.1). Se encuentran especialmente contruidos con casco doble. El sistema de contención de carga se diseña y construye utilizando materiales especiales para el aislamiento, para asegurar el transporte seguro de esta carga criogénica.

Los buques cisternas están diseñados para manejar diferentes productos refrigerados en un mismo tanque y transportar hasta tres segregaciones distintas, a diferencia de las plantas de almacenamiento, por lo cual resulta de suma importancia la inspección de estos tanques antes de cargarlos, para evitar contaminación y pérdida de calidad del producto.

El buque de carga cuando se encuentra en el puerto de carga normalmente tiene en sus tanques una pequeña cantidad de LGN, las líneas de carga deben estar libres de aire y humedad y una temperatura de, 0 por debajo de los  $-160$  °C. Si la temperatura de los tanques fuese superior a esos  $-160$  °C debe procederse al (COOL-

DOWN o enfriamiento de los tanques en el mar antes de la llegada, para asegurarse de que al ponerse el buque a la carga estén suficientemente frío tanto los tanques como las líneas y domos con el objeto de lograr una mayor velocidad de carga y no incurrir en demoras. Si la llegada al puerto de carga fuese después de una varada o de una parada del buque por revisiones, reparación o inspecciones (en que es preciso calentar, inertizar y airear los tanques) se arribará con los tanques y líneas inertizados a temperatura ambiente.



**Figura 3.1 Buque gasero para transporte de propano**

### **3.2.2 Sistemas en funcionamiento en el llenado de buques**

- Analizadores de gases
- Nitrógeno y alarmas
- Suministro de aire motor y aire instrumentos
- Manómetros de presión en tanques
- Registradores de temperatura en tanques
- Registradores de temperatura en casco
- Indicadores de nivel en diferentes partes del tanque de carga

### **3.2.3 Alineación de válvulas**

Todas las válvulas que vayan a ser utilizadas en las operaciones de carga deberán estar cerradas y alineadas, una vez alineadas se comenzará la carga (Embarque de LGN). Luego de calculada la cantidad de LGN remanente en los tanques se avisará a la terminal de que el buque está en disposición de comenzar la carga. En tierra, el personal de la terminal dispondrá los brazos de carga adecuadamente para facilitar la retirada de las bridas ciegas desde la plataforma de conexión. De haber agua en dicha plataforma, es decir, en las bandejas recogedoras de goteos criogénicos que van bajo enjaretado, se escurrirán. El personal de la terminal despresurizará los brazos abriendo las correspondientes válvulas atmosféricas, una por brazo, y después avisará a bordo para que el personal de plataforma de carga (oficial de carga de máquinas) desmonte las bridas ciegas y conecte los brazos de carga al manifold, presurizados con nitrógeno. Efectuada la conexión, el responsable de la terminal avisará a su control, y al del buque, que a pie de muelle se está en disposición de comenzar a cargar. En el cuarto de control de carga se hará lo mismo. Comprobado tanto abordaje como en tierra, que los compresores estén listos quedando el buque en disposición de recibir la carga en su fase líquida por las válvulas, devolviendo a los tanques de almacenamiento de tierra la fase gaseosa, desplazada por los LGN.

### **3.2.4 Equipo de carga y descarga**

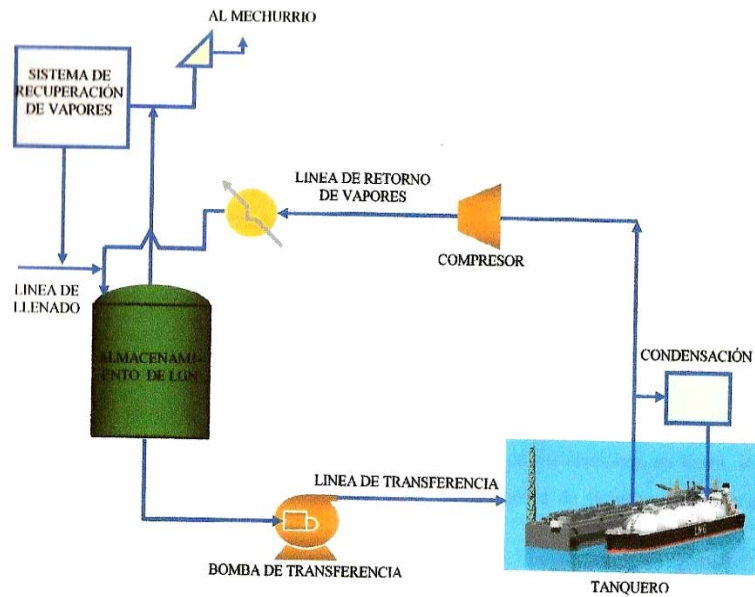
La línea de carga líquida formada por dos o más tuberías corre de proa a popa con conexiones a cada boca del tanque y bifurcaciones necesarias hacia cada banda. Esta línea se conecta con las líneas de conexión a tierra que se ubican generalmente en el centro del buque. La línea de fase gaseosa sirve de complemento a la línea de fase líquida durante las operaciones de carga y descarga. Durante la carga al entrar el líquido en el tanque vacío se produce una vaporización importante, este vapor es

devuelto a la planta en tierra por la línea de fase gaseosa, estableciéndose un circuito cerrado donde el gas es relicuado en la planta. En la descarga se produce un proceso inverso, el gas licuado se envía a los tanques de la terminal y el producto evaporado se relicúa en tierra o vuelve al tanque por la línea de fase gaseosa.

Los venteos de gases de la carga cumplen la función de evitar excesiva presión en los tanques por la evaporización del gas. Consiste en una red conectada a los tanques y cuartos de compresores que descarga por bocas ubicada en la parte alta de los palos.

Las bombas para manipulación de las cargas se encuentran en el cuarto de bombas y generalmente son accionadas por motores eléctricos ubicados en la sala de maquinas, el control del motor se encuentra junto a la bomba y también en el cuarto de control de carga. El movimiento del motor es transmitido a la bomba mediante un embrague hidráulico que pasa al través del mamparo por una prensa estanco al gas. Las bombas poseen un sistema de seguridad que para automáticamente la descarga cuando la presión excede un cierto valor según el tipo de carga. En los buques gaseros se utilizan también bombas de tipo sumergido, constan de un motor eléctrico trifásico cuyo estator se encuentra en un recinto estanco donde recibe la corriente eléctrica.

La refrigeración de la carga se realiza mediante un sistema en que el producto evaporado se comprime, se condensa y se retorna a los tanques. Cuando el buque utiliza gas como combustible, los compresores se usan para recibir los vapores formados en los tanques, elevar su presión al mismo tiempo que se orientan hasta 30 °C para enviarlo a las calderas. (figura 3.2).



**Figura 3.2 Arreglo típico para carga de productos refrigerados.**

### 3.3 Variables de operación que intervienen en el proceso de llenado

#### 3.3.1 Presión

Es importante mantener la presión en el interior del tanque refrigerado dentro del rango de operación por medio del sistema de control de presión, con el fin de proteger al tanque en caso de sobrepresión y en caso de presiones de vacío; y así evitar daños y garantizar el buen funcionamiento del sistema.

#### 3.3.2 Temperatura

Normalmente antes de entrar el líquido al tanque, pasa por un sistema de

enfriadores, donde el líquido intercambia calor con el refrigerante hasta disminuir su temperatura al punto de ebullición a la presión de operación del tanque; es decir el producto entraría al tanque a sus condiciones de almacenaje.

El necesario el control de la temperatura del líquido alimentado al tanque, y éste se efectúa en un sistema de enfriadores, los cuales mantienen el nivel del refrigerante en el refrigerador actuando sobre las válvulas ubicadas en la línea de alimentación de propano en especificación al enfriador. Es importante el control de la temperatura tanto de del líquido como del vapor en el interior del tanque; ya que de detectarse alguna desviación será controlada variando la temperatura del líquido de alimentación.

El control de la temperatura en la fundación del tanque resulta importante, y conviene evitar en todo momento que las temperaturas en las fundaciones y sus zonas adyacentes estén igual o por debajo de la temperatura de almacenaje para evitar congelamiento de la humedad que contenga el suelo.

### **3.3.3 Nivel**

El control de esta variable se hace a través de un controlador de nivel con el que cuenta el tanque, permitiendo monitorear la altura del líquido almacenado, transmitiendo una señal eléctrica a los sistemas de alarmas en caso que sea necesario; para así mantener el nivel del tanque dentro de los rangos de operación.

### **3.3.4 Caudal**

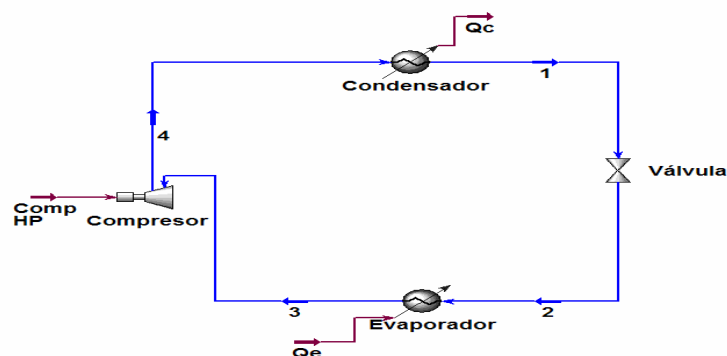
Resulta importante mantener controlada a velocidad del caudal que entra a los tanques de almacenamiento, ya que una excesiva velocidad trae como consecuencia daños en las líneas de carga a los buques por efecto de la erosión.



### 3.4 Técnica de refrigeración de propano

Para convertir el gas natural en líquido, se enfría el gas tratado hasta aproximadamente  $-47\text{ }^{\circ}\text{F}$ , que es la temperatura a la cual el propano se convierte a forma líquida. El proceso de licuefacción es similar al de refrigeración común: se comprimen los gases refrigerantes produciendo líquidos fríos en este caso el propano, que luego se evaporan a medida que intercambian calor con la corriente de gas natural.

De este modo, el propano se enfría hasta el punto en que se convierte en líquido. Una vez que el gas ha sido licuado se somete a una expansión Joule-Thompson. Este proceso de expansión consiste en hacer pasar el gas, primero por un intercambiador de calor para recibir un pre-enfriamiento, y posteriormente a través de una válvula de expansión o estrangulador. Esta expansión es un proceso isoentálpico donde la caída de presión genera una disminución de temperatura, la cual provoca una separación de los líquidos condensables. Generalmente en este tipo de proceso, el gas debe comprimirse para alcanzar la presión requerida para su transporte. (figura 3.3).



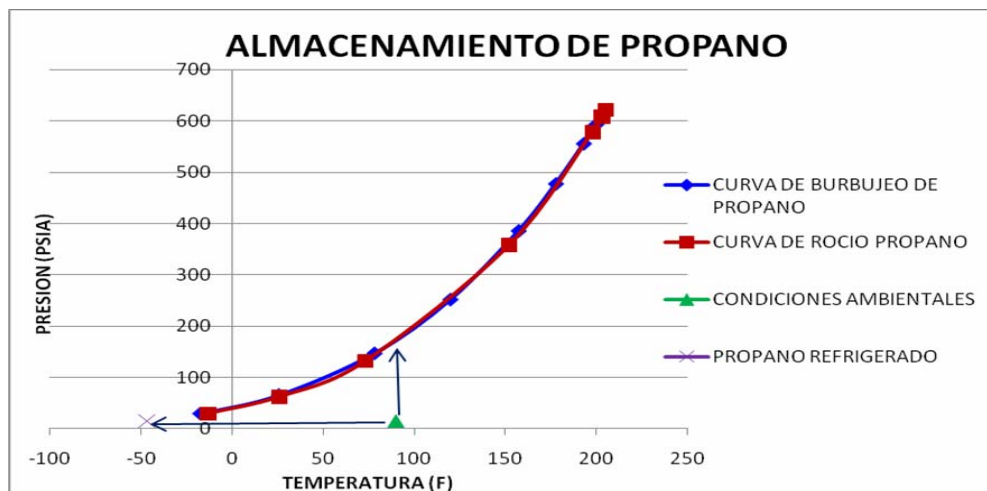
**Figura 3.3** Esquema de proceso de enfriamiento de gas natural mediante expansión con válvula [Joule-Thompson ].

### 3.5 Condiciones de almacenaje del propano

#### 3.5.1 Diagrama de fase del propano

El almacenaje de gases en su punto de ebullición ha provisto a la industria del método más económico y seguro para almacenar grandes cantidades de gas en estado líquido.

En la que se refiere al propano se considera que las condiciones de almacenaje son a la presión atmosférica y a la temperatura de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por debajo de ésta se considera almacenaje criogénico. Estas condiciones se establecen a través del diagrama de fases del propano. (figura 3.4).



**Figura 3.4 Diagrama de fases del propano**

#### 3.5.2 Características de los tanques de almacenaje de propano refrigerado

El sistema de contención de carga generalmente es de tipo membrana, se construye utilizando materiales especiales para el aislamiento, para asegurar el

transporte seguro de la carga. Este tipo de tanque está compuesto por dos paredes. El espacio anular entre ellas está cubierto por un aislante de perlita extendida, con una manta interna de fibra de vidrio. El tanque interno está fabricado generalmente de acero al 9 % níquel y el tanque externo generalmente es construido de acero al carbón y/o concreto pretensado.

Son diseñados para evitar derrames y por consiguiente la contaminación. El tanque exterior, retendría las fugas producidas por la perforación del tanque interior y viceversa.

### **3.6 Condiciones a las cuales se realiza el llenado de buques**

#### **3.6.1 Capacidad de flujo de las líneas de carga**

Se refiere a la capacidad de flujo que puede ser transportado, a través de las líneas de carga que van desde los tanques refrigerados hacia el muelle para cargar tanqueros.

Cuando éste fluido circula por la tubería se encuentra expuesto a diferentes obstáculos que pueden impedir o reducir su normal recorrido. Entre los factores que pueden afectar la capacidad de carga, están aquellos que dependen de las propiedades físicas del fluido y las que son ocasionadas por el medio en que se mueve.

- **Rugosidad de las tuberías:** la rugosidad en una tubería que conduce líquidos, es un factor de suma importancia pues éste puede causar el aumento de la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería ocasionando pérdidas de energía en el fluido; ésta es función del material de diseño así como del tiempo de servicio.

Las tuberías utilizadas para el transporte de los productos hacia la plataforma del terminal marino de Jose no poseen una rugosidad significativa, según lo reportado en revisiones hechas por ingenieros en el área por lo que pueden ser consideradas lisas y limpias en su interior lo que permite que el fluido tenga condiciones muy favorables al ser transportado, sin la resistencia ocasionada por la rugosidad de las líneas.

- Temperatura: éste es uno de los parámetros más importantes que se debe tener en cuenta para mantener las condiciones óptimas en las tuberías que transportan productos en estado líquido pues, existen propiedades como la viscosidad y la densidad que están íntimamente relacionadas con ésta variable y tienen influencia en el tipo de fluido ya que, de ellas dependerá si el fluido es laminar o turbulento.
- Perfil topográfico: éste factor toma en cuenta todas las imperfecciones o diferencias de altitud del terreno donde se encuentran instaladas las líneas de carga; representan la energía potencial que influye en la capacidad de movimiento del fluido.

### **3.6.2 Caudal máximo**

Resulta primordial mantener controlado el caudal de alimentación de propano al buque (6000 GPM). Esto se hace a través del control de la velocidad de flujo, ya que es importante mantener dentro de los rangos de operación la velocidad de descarga del tanque de almacenamiento que sería la misma velocidad de llenado del buque (29,32 pie/seg), para mantener un equilibrio en el sistema. Dicha velocidad de flujo se ve estrechamente relacionada con el diámetro de la tubería.

Diámetro de la tubería: las líneas estudiadas para el transporte de los productos hasta el muelle tienen un diámetro en particular para cada una, para el propano el diámetro es de 20", estos diámetros son constantes desde la salida de la bomba en los tanques de almacenamiento hasta la conexión con la tubería del brazo de descarga del producto, en los cuales se presenta una contracción brusca del diámetro, esto trae como consecuencia un aumento de la velocidad media del flujo.

### 3.6.3 Pérdidas por presión

- Pérdidas de presión por válvulas: debido a que la mayoría de los sistemas de tuberías existentes no solo están sustituidos por tramos rectos sino que adicionalmente están acompañados por diferentes tipos de accesorios, tales como: válvulas, codos, bombas, entre otros los cuales incrementan las pérdidas de energía en el sistema. Entre los sistemas de control utilizados en la red de tuberías de transporte de los productos en el muelle de la planta de fraccionamiento, tenemos: válvula de mariposa, válvula de bola y válvula de compuerta.
- Pérdidas de presión por obstrucciones en las líneas: los obstáculos en las tuberías se pueden deber a muchos factores como: la acumulación de impurezas en las tuberías arrastradas por el producto transportado, tales como la formación de hidratos y otros accesorios que traen como consecuencia una pérdida de energía mayor a la que siempre se presenta aumentando así la caída de presión del sistema e impidiendo la normal circulación del producto.
- Longitud: está muy relacionada con las pérdidas de presión a lo largo de una tubería, a medida que aumenta la longitud de un tramo de tubería, mayor será la caída de presión por el desplazamiento del fluido, esto se debe a la influencia que tiene la rugosidad interna de la tubería al estar en contacto con el fluido provocando fricción. Las tuberías evaluadas tienen una longitud

aproximada para las líneas de propano de 11662,077 pie, provocando una caída de presión de 7,85 Psig.

#### **3.6.4 Descripción del proceso que ocurre en la línea de carga de propano líquido al terminal marino.**

Desde el muelle se envía el permisivo de carga a almacenaje donde el panelista enciende las bombas D3-80934 y D3-80937, colocadas en paralelo con una capacidad de 6000 GPM cada una y una presión de descarga de 160 Psig, que reciben el producto desde los tanques de propano para enviarlos a través de las líneas de carga hacia el muelle. Luego a través de la pantalla del PLC se abren las válvulas de control HV-90912 para el brazo D10-90902 y HV-90911 para el brazo D10-90903 con un porcentaje de apertura bajo de 20% para que una vez que fluya la carga éste se eleve hasta llegar a un 56% máximo. Estos brazos cargadores son operados hidráulicamente y están ocupados con válvulas de cierre de emergencia CV-9088T y CV-9088H que permiten el control del flujo al brazo de carga y una válvula MV-90801A y MV-90867 las cuales permiten el paso de los productos, actuadas por resorte que detiene el flujo del producto al ocurrir una separación imprevista entre el barco y el muelle.

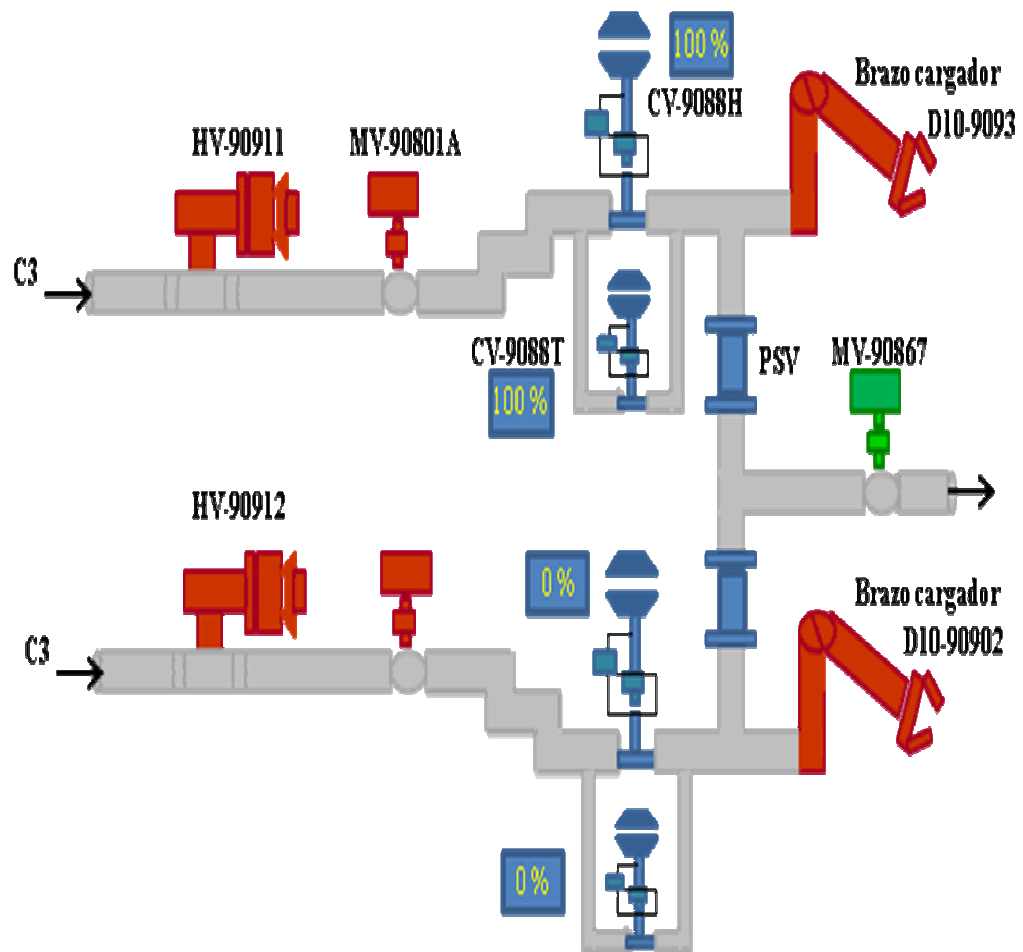


Figura 3.5 Esquema de Brazos Cargadores del Muelle 8

**Tabla 3.1 Características de los brazos de carga Nro 2 (D10-90902) y Nro 3 (D10-90903)**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>Diámetro</b>	<b>10Pulgadas</b>
<b>Brazo Móvil Lado Tierra</b>	<b>31pies - 6pulgadas</b>
<b>Brazo móvil Lado Buque</b>	<b>36 pies - 6 pulgadas</b>
<b>Altura Fulcro</b>	<b>29 Pies</b>
<b>Control</b>	<b>Hidráulico</b>
<b>Temperatura</b>	<b>De 63 a 100°F</b>
<b>Presión de Diseño</b>	<b>720 Psig</b>
<b>Presión de Operación</b>	<b>35 Psig</b>
<b>Caudal</b>	<b>6000 Gpm</b>
<b>Caída de Presión</b>	<b>7,85 Psig</b>
<b>Velocidad</b>	<b>29,32 Pies/Seg</b>





**Figura 3.6 Brazos de Carga D10-9092 y D10-9093**

### **3.7 Condiciones y variables críticas en el proceso de almacenaje y transporte de un buque con propano refrigerado**

Las condiciones mínimas normales y máximas son los valores que pueden tomar los parámetros característicos del proceso, en cuyos rangos y bajo condiciones normales de operación no representan un riesgo para las personas, el ambiente o la instalación.

Se establece en función de evitar los de peligros de proceso y/o mantener la integridad física de los equipos. Sobrepasar estas condiciones en la operación puede resultar un accidente catastrófico o una disminución de la seguridad para el personal,

la instalación o el ambiente.

Su propósito es promover en el operador las acciones necesarias para regresar el proceso a sus límites de operación segura. Usualmente se establece como éste valor el diseño mecánico del equipo, aunque si se sugiere puede tomar un valor superior a éste, siempre que se demuestre documentalmente que por análisis de ingeniería y por inspección el equipo es capaz de soportar ese valor, son riesgos adicionales en los casos de sobre diseño demostrado.

Los límites mínimos y máximos se definen por lo general para las variables de temperatura y presión. Estos valores pueden no definirse para algunas variables cuando:

- No representan ningún peligro.
- Su valor es limitado por otras variables.
- Cuando su valor no es medido ni controlado.

**Tabla 3.2. Condiciones críticas de almacenaje de propano refrigerado.**

Condiciones de Temperatura en el Fondo: (40-60) °F							
Productos	Condiciones de presión (PSIG)			Condiciones de temperatura de almacenamiento (°F)	Condiciones de nivel		
	Min.	Normal	Máx.		Min.	Normal	Máx.
Propano	0,25	0,5	1,5	-46	6'-6''	65'	71'-3''

### 3.7.1 Sistema de control de temperatura

El control de la temperatura del líquido alimentado al tanque se efectúa en la planta de refrigeración, donde el líquido intercambia calor con el refrigerante hasta disminuir su temperatura al punto de ebullición a la presión de operación del tanque. Cualquier desviación de temperatura dentro del tanque será controlada variando la temperatura del líquido de la alimentación.

- Condiciones de almacenaje – 47 °F.
- Medición de temperatura del líquido y el vapor mediante termocuplas: un arreglo de termocuplas es provisto para observar el perfil de temperatura.
- Temperatura en la fundación del tanque: especial atención debe dedicarse al control de temperatura en el fondo del tanque, lo cual normalmente se mantiene en un rango de (40 – 60) °F, para evitar el congelamiento del fondo.

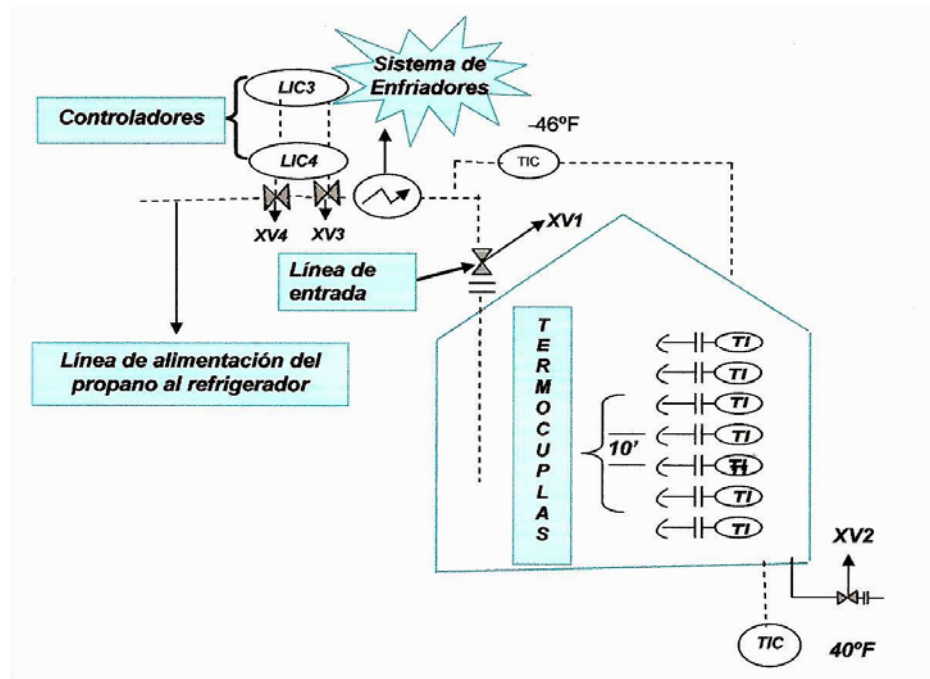


Figura 3.7 Control de temperatura para almacenaje de propano refrigerado

**Tabla 3.3 Filosofía de control de temperatura del sistema propano.**

<b>DISPOSITIVOS</b>	<b>PUNTO DE AJUSTE</b>	<b>ACCION</b>
LIC – 3	Ajustado por el controlador de nivel actuando sobre la válvula XV3, que controla el flujo del refrigerante	Mantiene el nivel del refrigerante en el refrigerador, sobre la válvula de control XV3 y controla la temperatura de alimentación la tanque
LIC – 4	Ajustado por el controlador de nivel actuando sobre la válvula XV4 que controla el flujo del refrigerante	Mantiene el nivel del refrigerante en el refrigerador, sobre la válvula de control XV4 y controla la temperatura de alimentación la tanque
XV3, XV4		Válvula ubicada en la línea de alimentación de propano en especificación hacia el enfriador
TIC	40 °F	Alarma en la sala de control
TIC	-46 °F	Indica la temperatura del líquido antes de entrar al tanque

### 2.7.2 Sistema de control de presión

La presión de operación en los tanques refrigerados, normalmente está muy cerca de la presión de diseño y presión atmosférica, por lo tanto las desviaciones de la presión dentro del tanque pueden ser críticas, lo que amerita un sistema de control riguroso.

- Condiciones de almacenaje 1 atm.

- Alarma de alta presión: es un dispositivo que indica el punto máximo tolerable de presión dentro del tanque. Esta se activa si la presión aumenta por encima de 0,5 psig.
- Alarma de baja presión: se usa como indicador cuando el nivel del líquido está por debajo de 0,25, en éste caso se deben tomar acciones necesarias para asegurar un nivel en el tanque mínimo para evitar que las bombas caviten.
- Válvulas de alivio atmosférico (1,5 psig): sistema de control de emergencia para cuando se ha excedido la presión y han fallado los otros mecanismos de control o se requiere un alivio instantáneo de presión. Esta válvula se encuentran en la parte superior de los tanques.
- Protección por sobrepresión de vacío: este sistema permite efectuar el vacío del tanque. Está compuesto por una válvula para hacer vacío y una para medición. Por cualquier causa como una sobrepresión.
  - ✓ Válvulas de inyección de gas combustible (0,25 psig): la inyección de gas combustible permite contrarrestar el efecto causado por una muy baja presión en el tanque, para ello se puede inyectar productos a temperaturas mayores a las de almacenamiento a fin de evaporar parte del líquido presenta y equilibrar la presión.
  - ✓ Válvulas de admisión atmosférica ( $2''\text{H}_2\text{O}$ ): dispositivo que permite suministrar aire a los tanques para equilibrar su presión interna y así evitar que estos sufran daños físicos. Este sistema se activa cuando los demás dispositivos de control fallan, es decir, en última instancia.

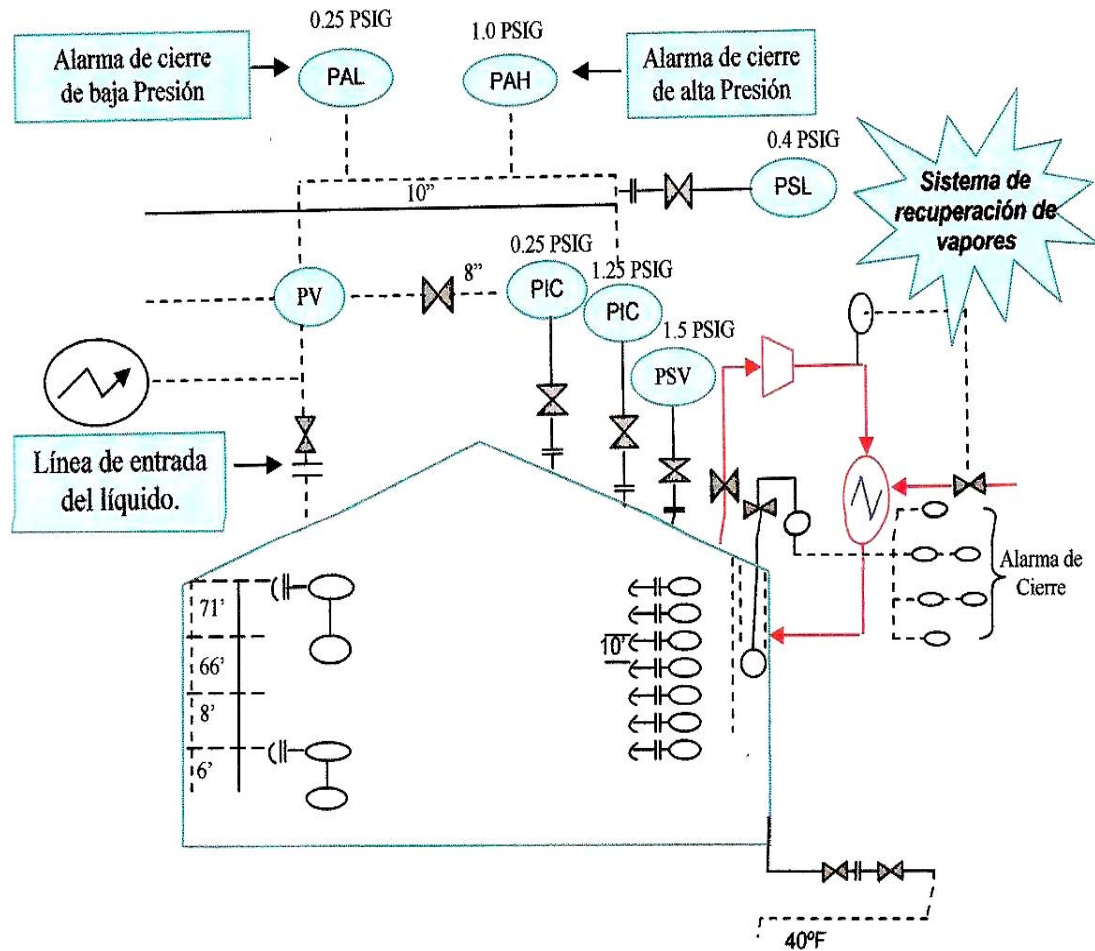


Figura 3.8 Control de presión para almacenaje de propano refrigerado.

Tabla 3.4 Filosofía de control de presión del sistema propano

DISPOSITIVOS	CAUSA	PUNTO DE AJUSTE	ACCION
Controlador de baja presión (PAL)	Baja presión en el tanque	0,25 psig	Alarma en la sala de control
Controlador de alta presión	Alta presión en el tanque	1,0 psig	Alarma en la sala de control

**Tabla 3.5 Filosofía de control de sobrepresión del sistema propano**

DISPOSITIVOS	PUNTO DE AJUSTE	ACCION
Controlador de presión (PIC)	1.25 psig	Controla la presión en el interior del tanque, actuando sobre una válvula que alivia al mechurrio de baja presión
Válvula de seguridad (PSV)	1.5 psig	Válvula de alivio atmosférico cuando falla el controlador (PIC)

**Tabla 3.6 Filosofía de control de presión de vacío del sistema propano.**

DISPOSITIVOS	PUNTO DE AJUSTE	ACCIÓN
Controlador de presión (PIC)	0,25 psig	Controla el funcionamiento de los compresores de vapores de propano; además también controla la presión en el interior del tanque actuando sobre una válvula que permite la entrada del gas en el interior del tanque
Válvula de seguridad (PV)	2" H <sub>2</sub> O	Válvula de admisión atmosférica cuando falla el controlador (PIC)
PSL	0,4 psig	Permite la entrada de gas al interior del tanque

### 2.7.3 Sistema de control de nivel

Este sistema permite la visualización del llenado, cuando el tanque ha alcanzado su máximo nivel. Además, sirve de seguridad, ya que se puede controlar el nivel, no sobrepasando la capacidad del tanque. Sistema compuesto por una válvula de bola.

- Nivel entre 67` - 71`
- ✓ Dispositivo de alto nivel (LAH) y dispositivo de muy alto nivel (LAHH): el controlador de alto nivel envía una señal a la sala de control donde el operador ejecuta las medidas de prevención, manipulando la válvula que se encuentra en la línea de entrada; si el nivel del tanque sigue aumentando hasta llegar 71` el interruptor LSHH automáticamente detiene la operación de llenado, cerrando la válvula ubicada en la línea de entrada del líquido. El tanque debe mantener un nivel a condición normal de 65`.
- Nivel entre 8` - 6`
- ✓ Dispositivo de bajo nivel (LAL) y dispositivo de muy bajo nivel (LALL): cuando el nivel es bajo, el operador toma las medidas preventivas, debido a que el controlador LAL, envía una señal a la sala de control, el cual permite manipular desde la estación la válvula de descarga, de tal forma, evitando que el tanque llegue a un nivel crítico de 6`, si esto ocurriera, el interruptor actúa automáticamente, paran las bombas de servicio, se detiene el vaciado cerrando la válvula de descarga.



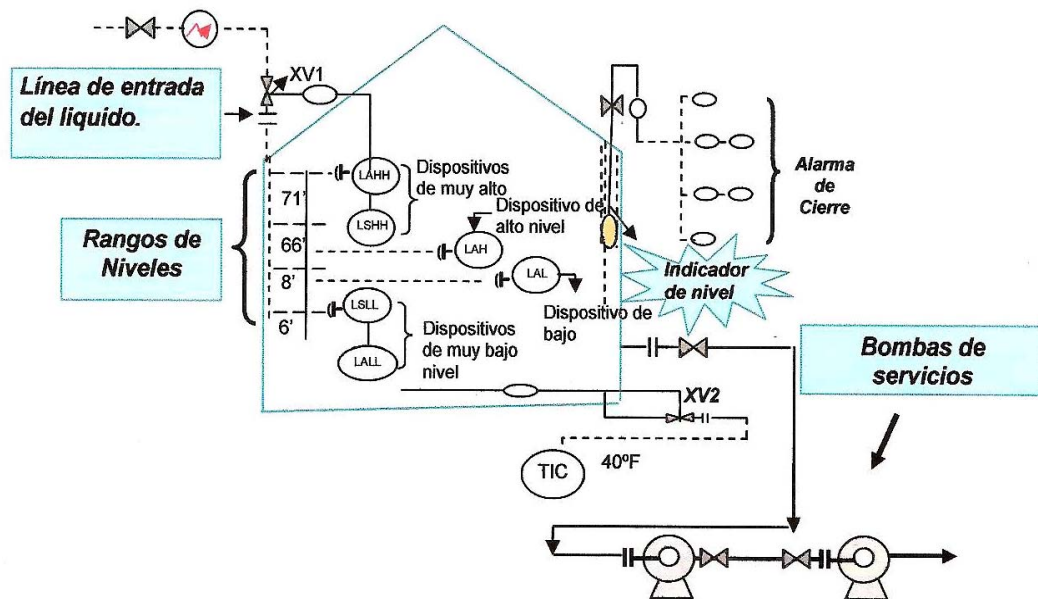
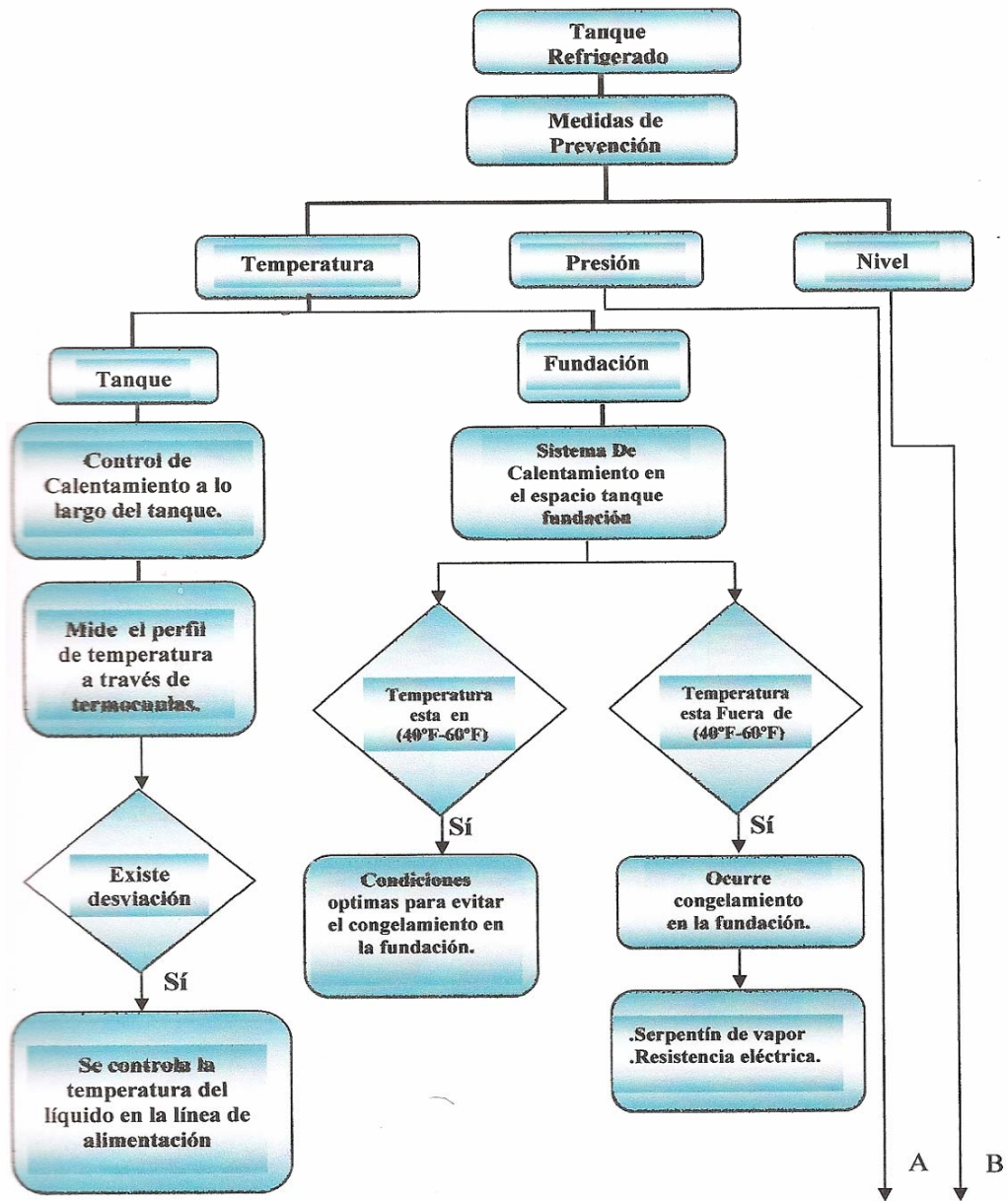
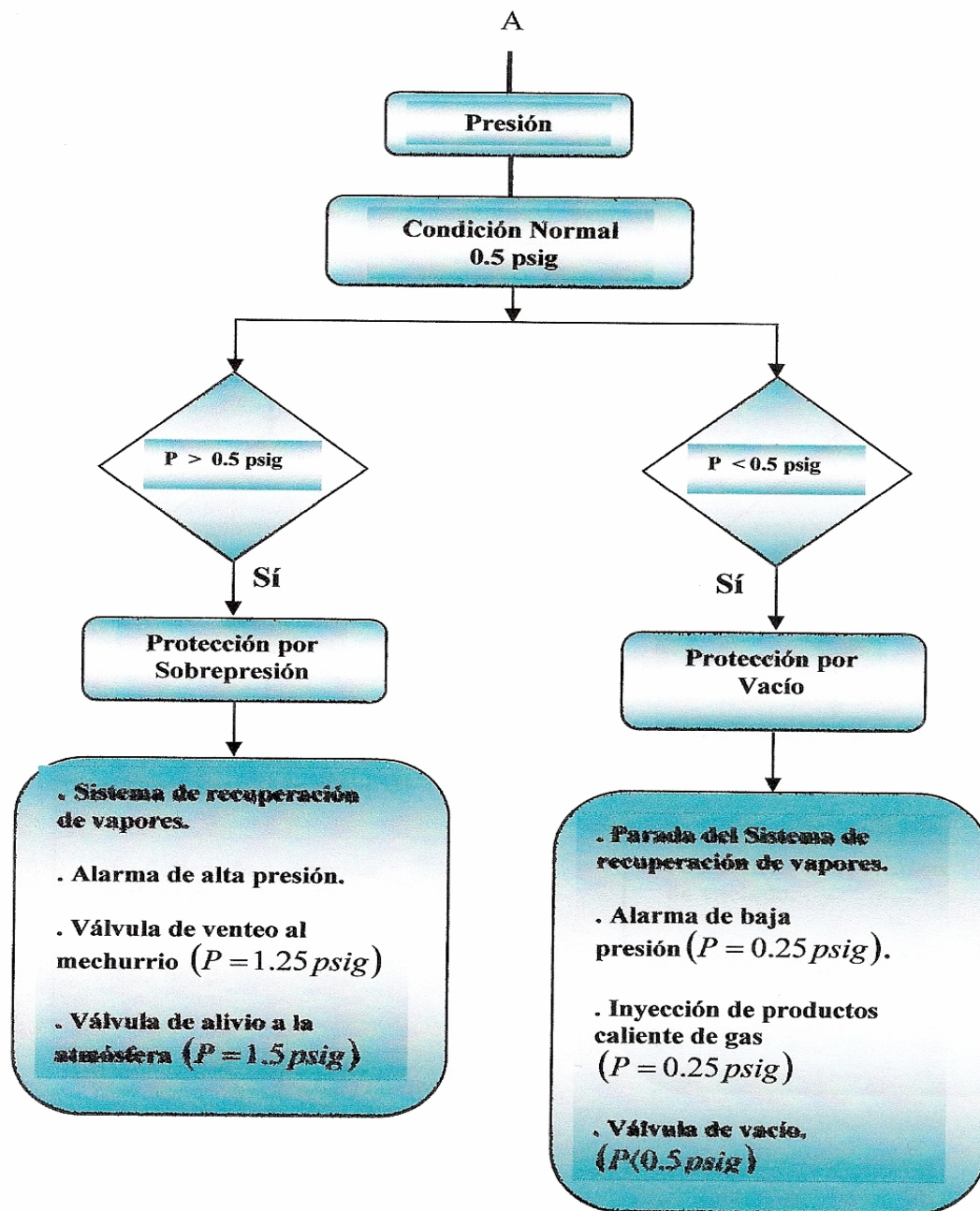
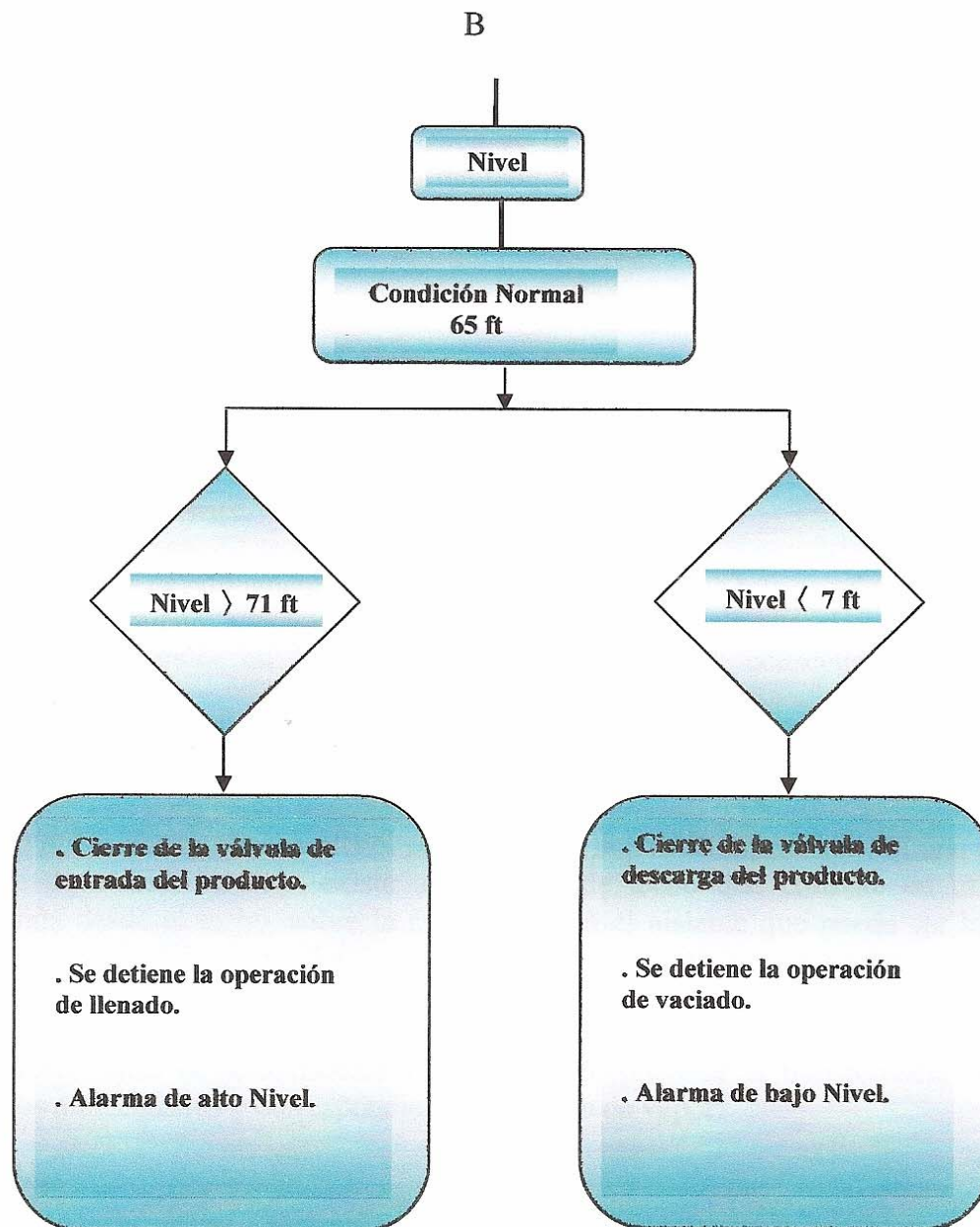


Figura 3.9 Control de nivel para almacenaje de propano refrigerado.

3.8 Diagrama de flujo del proceso de control para el almacenaje y el llenado de un buque con propano refrigerado







## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4. 1 Conclusiones**

1. El llenado de buques con propano es un proceso muy delicado y peligroso que se lleva a cabo bajo estrictas condiciones de presión y temperatura, manteniendo así las propiedades físicas del fluido.

2. Es importante monitorear todas las variables que se encuentran involucradas en el proceso las cuales conforman el sistema de control, para mantener las condiciones óptimas de operación y evitar de esta manera accidentes catastróficos.

3. Las condiciones de almacenaje del propano refrigerado son de una temperatura de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  y de 1 atm de presión.

4. El propano líquido refrigerado permite que sea almacenado hasta aproximadamente 600 veces su volumen.

5. Los tanques para almacenamiento refrigerado, usan como dispositivos de seguridad, la protección por sobrepresión de vacío, el control de la temperatura en la fundación del tanque y válvulas de alivio atmosférico.

6. El objetivo del control de proceso es mantener en equilibrio termodinámico las variables críticas del mismo tales como: temperatura, presión, flujo, nivel y composición.

7. El almacenaje de gases en estado líquido resulta el método más económico para almacenar grandes cantidades de dichos gases en pequeños espacios, lo que lo hace un proceso muy atractivo para el transporte de gases por largas distancias.

#### **4.2 Recomendaciones**

1. Es importante mantener la temperatura de fundación del tanque a las condiciones óptimas (40 a 60) °F, para evitar que el fondo se congele.
2. Tener especial cuidado al momento de manipular las variables de control, a fin de mantenerlas en los límites de operación segura y así evitar accidentes.
3. La técnica de almacenaje refrigerado de los productos del gas natural, se puede decir que es una técnica eficiente en su relación costo/volumen; por lo tanto se recomienda su continua aplicabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

Ogata, K. **“Ingeniería de control moderna”**. Tercera edición. Pearson.

Hernández, J. **“Lazos típicos de instrumentación y control”**. ITESO, Octubre 2003.

Tabares, M. y Martínez, L (2007). **“Diseño de líneas de alimentación y descarga de propano en esferas presurizadas”**.

Oliveros, D y Brito, M (2007). **“Análisis de un sistema de control de las variable de proceso en un tanque refrigerado”**.

Guerra, Oly, (1997). **“Estudio de la influencia de los componentes azufrado sobre la calidad del propano comercial.”**

[www.innenergy.cl/quees.htm](http://www.innenergy.cl/quees.htm)

[w.w.w.sabelotodo.org/térmico/diagramadefases.html](http://w.w.w.sabelotodo.org/térmico/diagramadefases.html).

[es.wikipedia.org/wiki/Gas\\_natural](http://es.wikipedia.org/wiki/Gas_natural).

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

<b>TITULO</b>	Determinación de las variables de control que se deben considerar en el proceso de llenado de un buque con propano refrigerado.
<b>SUBTITULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CDIGO CULAC / E MAIL</b>
Eliana Milagro Valdez Rivas	<b>CVLAC:</b> 16.180.128 <b>E_MAIL:</b> Elianavaldez2329@hotmail.com
Marielquis del Valle Quami Sotillo	<b>CVLAC:</b> 16.077.720 <b>E-MAIL:</b> quamimarielquis@hotmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Variables de control

Llenado

Buque

Propano

Refrigerante



## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	INGENIERÍA QUÍMICA

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

Para obtener el gas natural licuado se puede someter dicho gas a un proceso de refrigeración que consiste en llevar el gas a una temperatura aproximada de -47 °F con lo que se consigue reducir su volumen en 600 veces. Ésto permite transportar una cantidad importante de gas en buques, siendo ésta la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente. Para lograr esto, se hace necesario controlar las variables y parámetros de seguridad que proporcionen las condiciones óptimas de operación. Dicho control abarca una serie de pasos que se relaciona con la seguridad del proceso, por lo tanto resulta conveniente y beneficioso la inversión que se hace en dichos sistemas de control, para así mantener el equilibrio de operación, para prevenir y evitar accidentes catastróficos. Las variables involucradas en éste proceso poseen condiciones mínimas, normales y máximas de operación; que sirve para llevar a cabo el análisis del sistema de control, el cual tiene como propósito ser utilizado como guía en la toma de decisiones en cuanto al control de proceso, operación y emergencia del sistema, así como también evitar una mala operación fuera de los límites de seguridad. El propano líquido se transporta a presión atmosférica en buques especialmente contruidos, en donde se encuentran involucradas todas las variables de operación (presión, temperatura, nivel, caudal). Un proyecto de refrigeración de propano para su transporte en buques es altamente complejo tanto desde el punto de vista técnico así como del comercial.

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

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMRES</b>	<b>ROL/CÓDIGO CVLAC/ E_MAIL</b>				
Isvelia Avendaño	ROL	CA	AS	TU	JU
				X	
	CVLAC	8.024.255			
	E_MAIL	isvelia2009@gmail.com			
Yraima Salas	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
					X
	CVLAC:	8.478.649 Yrasal57@hotmail.com			
E_MAIL					
Oly Guerra	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
					X
	CVLAC:	3.733.796			
E_MAIL	olyguerra1@hotmail.com				
E_MAIL					

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

AÑO	MES	DIA
2010	04	16

**LENGUAJE: SPA**

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

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Variables de control.doc	Aplication / 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: \_\_\_\_\_(OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_(OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pre – Grado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

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

**DERECHOS:**

De acuerdo con el artículo 57 del Reglamento de Trabajos de Grado: “Para la aprobación definitiva de los cursos especiales de grado, como modalidad de trabajo de grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador de una monografía en la cual se profundiza en uno o más temas relacionados con el área de concentración.”

Eliana Milagro Valdez Rivas

**AUTOR**

Marielquis del Valle Quami Sotillo

**AUTOR**

Isvelia Avendaño

**TUTOR**

Yraima Salas

**JURADO**

Oly Guerra

**JURADO**

I

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**